

**BİLKENT ÜNİVERSİTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
BÖLÜMÜ**

**ÜNİVERSİTE - SANAYİ/İŞ DÜNYASI  
İŞBİRLİĞİ PROJELERİ  
2016**

**Derleyenler**

Prof. Dr. M. Selim Aktürk  
Dr. Kemal Göler  
Yeşim Gülseren  
Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan

ISBN: 978-605-9788-06-9

BASKI: Meteksan Matbaacılık, Mayıs 2016.

Bu kitap tanıtım amaçlıdır, parayla satılmaz.

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin  
5. maddesinin 2.fikrası çerçevesinde bandrol taşıması zorunlu değildir.



### **Düzenleme Kurulu:**

Prof. Dr. M. Selim Aktürk  
Dr. Kemal Göler  
Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan  
Yeşim Gülseren  
Onur Altıntaş  
Emirhan Buğday  
Ece Çiğdem

*Bilkent Üniversitesi*  
*Bilkent Üniversitesi*  
*Bilkent Üniversitesi*  
*Bilkent Üniversitesi*  
*Bilkent Üniversitesi*  
*Bilkent Üniversitesi*  
*Bilkent Üniversitesi*

### **Değerlendirme Kurulu**

Prof. Dr. M. Selim Aktürk  
Yrd. Doç. Dr. Çağın Ararat  
Yrd. Doç. Dr. Özlem Çavuş İyigün  
Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu  
Prof. Dr. Nesim Erkip  
Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak  
Dr. Kemal Göler  
Prof. Dr. Ülkü Gürler  
Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara  
Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan  
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Kocabıykoğlu  
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman  
Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar  
Doç. Dr. Osman Oğuz  
Prof. Dr. Mustafa Pınar  
Dr. Nil Şahin  
Doç. Dr. Alper Şen  
Yrd. Doç. Dr. Fehmi Tanrısever  
Yrd. Doç. Dr. Cem Tekin  
Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Toptal  
Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus  
Dr. Oğuzhan Vıcıl  
Prof. Dr. Hande Yaman

## İÇİNDEKİLER

Önsöz-----	xiii
Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı'ndan-----	xiv
Firmalardan Teşekkür Mektupları -----	xxi
Delist Ürün Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi A101 Yeni Mağazacılık A.Ş. -----	1
2016 – 2020 Arası Türkiye Yurt İçi Aktarmasız Hava Yolcu Sayısı Talep Tahmini ve Seçilmiş Rotalar için Uygun Filo Ataması AnadoluJet -----	16
Ürün Farklılaştırma ve Ekstra Servis Fiyatlandırması AnadoluJet -----	29
Montaj Bantlarına Malzeme Taşıma Sistemi Geliştirilmesi Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi İşletmesi -----	42
Pişirici Cihaz Talep Belirsizliği Yüksek İthal Malzemeler İçin Talep Planlaması Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi -----	58
Depo Yerleşim Planı Tasarımı ve Sipariş Toplama Yolları Optimizasyonu Boyner Büyük Mağazacılık A.Ş.-----	71
Depo Kullanım Verimliliğinin Artırılması Doğadan Gıda Ürünleri San. ve Paz. A. Ş. -----	87
Çoklu Projelerde Kaynak Planlaması EnerjiSA -----	102
Kısa Vadeli Yük Tahmin Modeli EnerjiSA -----	114
Sipariş Toplama Yolları Optimizasyonu Ekol Lojistik -----	128
Kanban Besleme Sisteminin İyileştirilmesi Erkunt Traktör -----	141

Teşhir Malzemeleri Dağıtım Maliyeti Optimizasyonu ETİ Gıda San. ve Tic. A.Ş.-----	155
Sıcak Satış Sistemi Lojistik Optimizasyonu ETİ Gıda San. ve Tic. A.Ş. -----	168
Medikal Cihaz Yatırım Stratejilerine Yönelik Etkin Karar Destek Sistemi Koru Hastanesi -----	181
Alternatif Parakende Fiyatlandırma Optimizasyonu IBM USA Data Commerce -----	193
Servis Gelirlerinin İyileştirilmesine Yönelik Yeni Satış Noktalarının Belirlenmesi MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş. -----	
Ara Dağıtım Depoları İçin Yer Seçimi ve Mevcut Depoların Yer Analizi MUDO Satış Mağazaları A.Ş.-----	
Nitelik Bazlı Talep Tahminleme MUDO Satış Mağazaları A.Ş.-----	
Ana Üretim Çizelgesi Optimizasyonu ORS -----	
Kapasite Planlama Optimizasyonu ORS -----	
Mamak Depo PO1 Entegrasyonu ile Verimliliğin Artırılması PepsiCo Türkiye-----	
İç Lojistik İş Yüğü Dengelemesi ve İş Ataması Roketsan A.Ş. -----	
Malzeme Deposu Yerleşiminin İyileştirilmesi Tepe Home Mobilya -----	
Tek Makinede Hazırlık Süresi Bağımlı Parçaların Çizelgelenmesi Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. -----	
Bağışların Etkin Kullanımı için Şubeler Arası Yönetim Planlaması Türk Kızılayı -----	

Lojistik Dağıtım Ağı Optimizasyonu

Unilever -----

Nakliye Araçları için Rota Optimizasyonu

Vivense -----

2015-2016 öğretim yılında gerçekleştirilen öğrenci projeleri, Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Bilkent Üniversitesi TTO (Teknoloji Transfer Ofisi) işbirliğinde yürütülmektedir.

**Bugüne kadar bu programa katılarak katkıda bulunan kuruluşlar:**





**2015-2016 Döneminde Katkıda Bulunan Kişilere Teşekkür Ederiz...**

***Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden***

Prof. Dr. M. Selim Aktürk  
Yrd. Doç. Dr. Çağın Ararat  
Yrd. Doç. Dr. Özlem Çavuş İyigün  
Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu  
Prof. Dr. Nesim Erkip  
Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak  
Dr. Kemal Göler  
Prof. Dr. Ülkü Gürler  
Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara  
Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan  
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman  
Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar  
Doç. Dr. Osman Oğuz  
Prof. Dr. Mustafa Pınar  
Dr. Nil Şahin  
Doç. Dr. Alper Şen  
Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Toptal  
Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus  
Dr. Oğuzhan Vıçıl  
Prof. Dr. Hande Yaman

***Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden***

Yrd. Doç. Dr. Cem Tekin

***Bilkent Üniversitesi İşletme Bölümü'nden***

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Kocabıyıkoglu  
Yrd. Doç. Dr. Fehmi Tanrıseven

***Bilkent Üniversitesi, Teknoloji Transfer Ofisi  
Üniversite-Sanayi İşbirliği Koordinatörü***

Yeşim Gülseren



### *İş Dünyasından Değerli Temsilciler*

Orhan	Dağlıoğlugil	A101 Yeni Mağazacılık
Gürhan	Özesenli	A101 Yeni Mağazacılık
Esra	Özpolat	A101 Yeni Mağazacılık
Erkin	Öztürk	A101 Yeni Mağazacılık
Mehmet Serhan	Akın	AnadoluJet
Muhammet	Ayhan	AnadoluJet
İbrahim	Doğan	AnadoluJet
Rabia Tuba	Görgülü	AnadoluJet
Melih Akif	Gürbüz	AnadoluJet
Murat	Peker	AnadoluJet
Kemal	Yılmaz	AnadoluJet
Serdar	Çevik	Arçelik Bulaşık Mak. İşl.
Oğuzcan	Keskin	Arçelik Bulaşık Mak. İşl.
Hakan	Tolluoğlu	Arçelik Bulaşık Mak. İşl.
Tanzer	Tunçalp	Arçelik Bulaşık Mak. İşl.
Ece	Gürsoy	Arçelik Pişirici Cih. İşl.
Ali Suat	Menemenlioğlu	Arçelik Pişirici Cih. İşl.
İmren	Tüysüz	Arçelik Pişirici Cih. İşl.
S.Sinan	Ergül	Boyner
Ömer	Gümüş	Boyner
Vahap	İlhan	Boyner
Sedef	Nasuhioğlu	Boyner
Mert	Tatalır	Boyner
Ercüment	Balcı	Doğadan
Şeyda	Çelik	Doğadan
Ebru	Kaya	Doğadan
Gözde	Sili	Doğadan
Emre	Taşkın	Doğadan
Seniha	Uyar	Doğadan
Yasemin	Erol	Ekol Lojistik
Oğuzhan	Yıldız	Ekol Lojistik
Özcan	Çavuş	EnerjiSA
Ayhan	Demirci	EnerjiSA
Gül	Erol	EnerjiSA
Mehmet	Fırat	EnerjiSA
Kubilay	Karakuş	EnerjiSA
Banu	Usanmaz	EnerjiSA

Bahar	Aydın	Erkunt Traktör
Neval	Dalarslan	Erkunt Traktör
Mehmet	Efetürk	Erkunt Traktör
Cansu	Furat	Erkunt Traktör
Korcan	Gündüzalp	Erkunt Traktör
Kemal	Korkusuz	Erkunt Traktör
Aydiner	Altun	ETİ GIDA
Pırıl	Cantürk	ETİ GIDA
Koray	Karaaslan	ETİ GIDA
Süleyman	Tekincan	ETİ GIDA
Kerem	Kendirli	ETİ GIDA
Canan	Ökten	ETİ GIDA
Emrah	Zarifoğlu	IBM USA
Ahmet	Akyürek	Koru Hastanesi
Uğur	Çelikkol	Koru Hastanesi
Ali	Özön	Koru Hastanesi
Levent Galip	Yeşil	Koru Hastanesi
Özen	Ergezer	MAN Kamyon ve Otobüs
Kaan	Harmandalı	MAN Kamyon ve Otobüs
Mehmet	Koca	MAN Kamyon ve Otobüs
Okan	Pınar	MAN Kamyon ve Otobüs
Deniz	Baltacı	Mudo
Barış	Karakullukçu	Mudo
Can	Özcan	Mudo
Tarkan	Özkan	Mudo
Bahar	Türkeli	Mudo
Mine	Yardımcı	Mudo
M.Muhlis	Yücebıyık	Mudo
Onur	Akturan	ORS
Alptekin	Demiray	ORS
Aycan	Koloğlu	ORS
Merve	Arslan	Pepsico Türkiye
Erol	Bozkurt	Pepsico Türkiye
Cemil	Çınar	Pepsico Türkiye
Mamak	Depo Ekibi	Pepsico Türkiye
Ferruh Emre	Aytac	Roketsan
Metin Murat	İleri	Roketsan
Bilgehan	Bıyıklı	Roketsan

Emre	Eryiğit	Roketsan
Hasan	Yavuz	Roketsan
Ahmet Nuri	Dervişoğlu	Roketsan
Onur	Durukan	Roketsan
Selçuk	Çıplak	Roketsan
Hasan	Şahin	Roketsan
Okan	Yılmaz	Roketsan
Mustafa	Dağ	Roketsan
Nihat	Anılır	Roketsan
Necip	Akyön	Roketsan
Ali	Pekacar	Roketsan
Coşkun	Çelikel	Roketsan
Bülent	Erkanlı	Roketsan
Mehmet	Çetinkaya	Roketsan
Songül	Anıl	Tepe Home
Ahmet	Çakadur	Tepe Home
Tan Akın	Çakır	Tepe Home
Naz Cansu	Baştaş	TUSAŞ
Ecem	Cephe	TUSAŞ
Mehmet	Ergün	TUSAŞ
Ahmet	Yalçınkaya	TUSAŞ
Kadir	Bulut	Türk Kızılayı
Turan	Çalık	Türk Kızılayı
Sinan	Derindere	Türk Kızılayı
Özge	Doğan Irmak	Türk Kızılayı
Yasin Gökçehan	Erdoğan	Türk Kızılayı
İlkay	Ertürk	Türk Kızılayı
Fatih	Güleç	Türk Kızılayı
Ahmet	Hizanlıoğlu	Türk Kızılayı
Pınar	Özkurt	Türk Kızılayı
Şenel	Özpolat	Türk Kızılayı
Belma	Şütçü	Türk Kızılayı
Bahar	Turna	Türk Kızılayı
Mustafa Kasım	Zorlu	Türk Kızılayı
Batuhan	Aydın	Unilever
Tağra	Bayık	Unilever
Ela	Ermiş	Unilever
Koray	Kalcı	Unilever

Sıla  
Can  
Serkan  
Kemal

Kurt  
Öneş  
Arslan  
Erol

Unilever  
Unilever  
Vivense  
Vivense

## ÖNSÖZ

Bu kitap, 2015-2016 öğretim yılında Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü tarafından gerçekleştirilen Üniversite-Sanayi İşbirliği Bitirme Projeleri özetlerini kapsamaktadır. Programımız 22 yıl önce sistem tasarımı derslerinin sanayi projelerine dönüştürülmesi ile başlamıştır. Bu süre içerisinde farklı sektör ve büyüklükte 86 şirketle toplam 397 proje gerçekleştirilmiştir.

Endüstri Mühendisliği Bölümü son sınıf öğrencilerinden oluşan proje ekipleri, şirket yetkilileri, üniversite akademik danışmanları ve Bilkent Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi'nin de desteği ile firmaların belirlediği gerçek problemler üzerinde çalışmaktadır. Yapılan projeler sonucunda ortaya çıkan ürün, yöntem veya hizmet, ilgili firmaya önemli yarar ve katma değer sağlamaktadır.

Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı ve Yarışması da 2002-2003 yılında yapılan projelerin ilgili tüm firma, kuruluş ve üniversitelerle paylaşılması, iş dünyasının seçkin kuruluşlarının birbirleriyle ve üniversite ile olan etkileşiminin artırılması ve öğrencilerimizin iş hayatına daha donanımlı hazırlanmasını sağlamak amacıyla başlatılmıştır. Her yıl sistematik ve etkin bir şekilde yapılan bu çalışmaların daha kalıcı ve yaygın olarak paylaşılması amacıyla da "Endüstri Projeleri" kitabı serisi hazırlanmış ve bu dönemde gerçekleştirilen projeler gizlilik ilkesine bağlı kalınarak özet halinde sizlere sunulmuştur.

Kitaba girecek olan projelerin seçim aşamasında desteklerini esirgemeyen "Değerlendirme Kurulu"muza, fuar ve yarışma jürimizde görev alan Anıl Yılmaz (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Başkanlığı), Dr. A. Hakan Özdemir (Bilkent Üniversitesi, TTO), Dr. Alptekin Demiray (Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş. ), M. Bora Dilik (Nevzat Ecza) ve Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar'a (Bilkent Üniversitesi) teşekkür ederiz.

*Sistem Tasarımı Dersi Koordinatörleri :*

Prof. Dr. M. Selim Aktürk  
Dr. Kemal Göler  
Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan

***Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü***

***Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Başkanı'ndan***

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü olarak öğrencilerimizin teknolojik ve sosyal değişikliklere uyum sağlayabilen, yaşam boyu öğrenmeyi hedefleyen ve sorgulayan iyi bir endüstri mühendisi olarak mezun olmasını amaçlamaktayız. Karmaşık sistemler ve problemlere bir bütün olarak bakabilme ve analitik düşünebilme yeteneğinin kazandırılması, eğitim programımızın en önemli amaçlarından. Bu doğrultuda Bölümümüz 2007 yılında Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) adlı bağımsız kuruluş tarafından eğitim kalitesini belgeleyen tam akreditasyonu Türkiye'de ilk alan mühendislik bölümüdür.

Eğitimde dünya çapında kalite standartlarını kullanan Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, **Üniversite-Sanayi İşbirliği** adı altında ülkemizde örnek gösterilen programını 22 yıldır başarılı bir şekilde uygulamaktadır. Bu programın ana hedefi son sınıf öğrencilerine kapsamlı ve derinlikli bir mesleki deneyim kazandırmaktır. Bu kapsamda 5-6 kişilik proje ekipleri, akademik ve iş dünyasından danışmanların gözetiminde firmanın gündemine girmiş olan ve çözüm bekleyen gerçek problemlerini çözmektedirler.

Bu yıl 14.sünü düzenlediğimiz Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı ve Yarışması'nda 27 proje yer almaktadır. Bu organizasyonda bütün bir yıl boyunca projeleri üzerinde özveri ile çalışan öğrencilerimizin çalışmaları sergilenmekte ve projelerine ait sunumlar yapılmaktadır. Öğrencilerimizi bu vesile ile kutluyor ve programa büyük katkıları olan tüm firma yetkililerine ve danışmanlarımıza teşekkür ediyorum.

Ayrıca bütün bu süreç boyunca yoğun ve özverili çalışmalarıyla programın hedeflerine uygun şekilde yürümesi için büyük çaba gösteren program koordinatörleri Dr. Kemal Göler, Prof. Dr. Oya Ekin Kardeşan hocalarımıza, Bilkent TTO Üniversite-Sanayi İşbirliği Koordinatörümüz Yeşim Gülseren'e, asistanlarımız Onur Altıntaş, Emirhan Buğday, Ece Çiğdem ve emeği geçen herkese çok teşekkür ediyorum.

Saygılarımla,

Prof. Dr. M. Selim Aktürk  
Bilkent Üniversitesi  
Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı

## FİRMALARDAN TEŞEKKÜR MEKTUPLARI

### *BOYNER Operasyon ve IT Genel Müdür Yardımcısı'ndan*

Boyner Büyük Mağazacılık A.Ş. 1981 yılında kurulmuş, Boyner Holding bünyesinde, Türkiye'nin en büyük perakende gruplarından biridir. Yüzlerce markası ve ürün seçeneği ile müşterilerine en iyi hizmeti sunmayı amaçlamaktadır.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğrencileri, akademisyenleri ve koordinatörlerinin katkıları ile gerçekleştirdiğimiz “BBM Sezon Depo Yerleşke Planı Tasarımı ve Sipariş Toplama Algoritmaları Uygulamaları” projesi; hızlı büyüme sonucunda Boyner Sezon Deposu'ndaki dağınık yerleşmeden dolayı ortaya çıkan verimsizliği azaltmayı hedeflemiştir. Uygulanabilir yerleşke tasarıları tanımlandıktan sonra, bu tasarımlarda kullanılacak sipariş toplama ve birleştirme algoritmaları bu tasarımlara entegre edilmiştir.

Şirketimiz, çalışanlarımız ve müşterilerimiz için faydalı olduğuna inandığımız bu projede, özverili çalışmalarından dolayı Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencilerine, Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümüne ve Akademik Danışmanlara teşekkürlerimizi sunarız.

Sedef Nasuhioğlu  
Boyner Büyük Mağazacılık A.Ş.  
Operasyon & IT GMY



### ***ENERJISA Enerji A.Ş. Bilgi Sistemleri Direktörü'nden***

Sabancı Şirketler grubuna bağı Enerjisa Enerji A.Ş. Bilgi Teknolojileri Bölüm Başkanlığı, Sabancı topluluğunun Enerji Şirketleri çatısı altındaki tüm dağıtım, perakende, üretim, ticaret şirketlerinin IT projelerine destek sağlamaktadır. 11 adet şirketin, hem teknolojik altyapılarının hem de bilgi teknolojileri projelerinin gerçekleştirilmesi, sürdürülebilirliklerinin sağlanması ve iyileştirilmesi faaliyetlerinin yürütülmesi başkanlığın görevidir. Bilgi Teknolojileri Bölüm Başkanlığının kaynakları; kadrolu çalışanlarının yanı sıra, uzun dönem sözleşmeli personelden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak gerek duyulduğu anda kısa dönemli kaynak tedariki yapılabilmektedir.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencilerinin gerçekleştirdiği çalışmada, kısıtlı kaynak problemimiz, Enerjisa Enerji A.Ş. tarafında gerçekleştirilecek projeleri en çoklayacak şekilde bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Yapısı itibariyle büyük bir veri ve karmaşık kısıtlara (kaynak yetkinlikleri, proje öncelikleri vb) sahip bu model farklı amaç fonksiyonları ile çalıştırılarak, en iyi çözümün elde edilmesi sağlanmıştır. Çıktı verilerin anlamlı gösterimi için ek çalışmalar da yapılmıştır.

Bu çalışmalar sırasında gösterdikleri gayretli ve özenli yaklaşımlarından dolayı Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü proje ekibine teşekkür ediyor, planlama faaliyetlerimize olumlu katkısı olacak bu çalışma için kendilerini kutluyoruz.

Mehmet FIRAT  
Enerjisa Enerji A.Ş.  
Bilgi Teknolojileri Bölüm Başkanlığı  
Bilgi Sistemleri Direktörü

***KORU Sağlık ve Eğitim Grubu Eğitim ve CRM Yöneticisi'nden,***

Kurucularımız olan Prof. Dr. Hasan BİRİ ve Prof. Dr. Aydan BİRİ tarafından 2010 yılında Kuru Balgat Hastanesi olarak temelleri atılan "Kuru Sağlık ve Eğitim Kurumlarımız" bünyesinde bugün;

- 40.000 m2 kapalı alana sahip Türkiye'nin en büyük özel hastane komplekslerinden olan ve 2014 yılı Eylül ayından itibaren Çukurambar'da faaliyet gösteren Kuru Ankara Hastanemiz,
- 2012 yılında kurulan Kuru Sincan Hastanemiz ve Sincan Görüntüleme Merkezimiz,
- 2013-2014 döneminde eğitim ve öğretime başlayan Balgat'ta faaliyet gösteren Kuru Sağlık Koleji, Anadolu Sağlık Meslek ve Anadolu Lisemiz,
- 2015-2016 yılında eğitim ve öğretime başlayan ve Balgat'ta faaliyet gösteren Yüksek İhtisas Üniversitemiz bulunmaktadır.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün çok değerli akademisyen ve öğrencileriyle Bilkent TTO çatısı altında gerçekleştirdiğimiz "Medikal Cihazlar İçin Yatırım Stratejileri ve Verimlilik Optimizasyonu Karar Destek Sistemi" projemizle sadece hastanelerimiz değil tüm sağlık sektörü için geleceğe ışık tutacak önemli bir çalışma yapıldığı kanaatindeyiz.

Farkındalık, değişim ve gelişimin vazgeçilmez olduğu günümüz rekabet koşullarında, bu projemizin sonunda, özellikle sağlık sektörü için çok yüksek maliyetler gerektiren medikal cihaz yatırım kararlarının gerekli ve yeterli analitik ve stratejik çalışmalar ışığında verilmesi adına verimli bir karar destek sisteminin ortaya çıktığını düşünüyoruz.

Kurumumuz adına, keyifli bir ekip dayanışmasıyla ilerleyen etkin proje çalışmamızda emeği geçen akademisyen ve öğrencilerimize teşekkür eder, işbirliği ve dostluklarımızın ömür boyu sürmesini temenni ederiz.

Levent Galip YEŞİL  
Kuru Sağlık ve Eğitim Kurumları  
Eğitim ve CRM Yöneticisi & Bilkent Proje Koordinatörü

## ***MAN Kamyon ve Otobüs Tic A.Ş***

MAN ve NEOPLAN marka otobüsler ile MAN marka kamyonların yurtiçi satış, pazarlama ve satış sonrası hizmetleri, MAN Kamyon ve Otobüs Ticaret A.Ş. tarafından yürütülmektedir. Şirket, Türkiye genelinde 9 bayii, merkez ve İstanbul şubesiyle satış ve pazarlama faaliyetlerini ve 31 servisi ile de satış sonrası hizmetlerini başarıyla sürdürmektedir. Uluslararası taşımacılık sektöründeki rekabet, artan taleplerden ve masraflardan etkilenmiş durumdadır. Günümüzde başarılı olmak isteyen bir kişi, sadece performanslı, güvenilir ve ekonomik araçlar yapmakla kalmayıp aynı zamanda profesyonel bir iş ortağı hizmetini de sunmak zorundadır.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğrencileri, akademisyenleri ve koordinatörlerinin katkıları ile “Servis gelirlerinin iyileştirilmesine yönelik yeni satış noktalarının belirlenmesi “ proje konusu çalışılmıştır. Bu proje, servislere gelen araç giriş sayısında azalmaya sebep olan etkenleri ve etki oranlarını belirlemeye, bu etkenlere bağlı olarak araç giriş sayısı tahmin aracı oluşturmaya ve araç giriş sayısını artırmak için yeni servis noktası önerisinde bulunmaya odaklanmıştır. Şirket Türkiye genelinde birçok farklı şehirde otobüs ve kamyon satış noktaları ve servis noktaları ile hizmet vermektedir. Servis gelirlerini arttırmak amacıyla yeni servis noktası önerisinde bulunabilmek için proje kapsamında; servis kapasiteleri, şehirlere kayıtlı araç sayıları ve şehirlerin mevcut servis noktalarına uzaklıklarına bağlı olarak 81 ili bölgelere ayırmaya da odaklanılmıştır. Proje sürecinde iki farklı ana yöntem oluşturularak mevcut problemlerin çözülmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemlerin ilkinde, servislere gelen araç sayısını etkileyen etkenleri bulmak ve gelecek dönemler için araç giriş sayısı tahmini yapabilmek için regresyon modeli oluşturulmuştur. Diğer yöntemde ise, servislere gelen araç giriş sayısını artırmak adına açılacak yeni satış noktasının konumunun belirlenmesi için matematiksel modeller tasarlanmıştır.

Proje sonucunda oluşturulan modeller ve tahmin aracı tarafımızdan kabul edilmiştir. Bununla birlikte, matematiksel modellerin sonucunda çıkan konumlara açılacak satış noktası sayesinde şirketin pazar payının artacağı ve bu sayede servislere giren araç sayısında artıştan dolayı servis gelirlerinin artacağı öngörülmektedir. Ayrıca, tasarlanan tahmin aracı , servis lokasyon belirleme sorunsalındaki gelecek stratejilerimizi belirleme noktasında şirketimize kolaklık sağlayacaktır.

Şirketimiz, çalışanlarımız ve müşterilerimiz için faydalı olduğuna inandığımız ve hayata geçireceğimiz bu projede, özverili çalışmalarından dolayı Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencilerini kutlar, şirketimiz çalışanları ile birlikte ortak gayret içinde bulunan Bölüme, Akademik Danışmanlara ve Bilkent TTO'ya teşekkürlerimizi sunarız.

Özen Ergezer

MAN Kamyon ve Otobüs Tic. A.Ş.  
Yedek Parça Müdürü

***Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş. Üretim Planlama Müdürü'nden***

Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş. (ORS) bilyalı rulman, konik rulman, silindirik rulman, makara, bilezik ve burç üretimi yapan Ortadoğu'nun ilk, Türkiye'nin tek entegre rulman üretim firmasıdır. 1982 yılında kurulan şirket, 1986 yılında 4 milyon adet/yıl üretim kapasitesi ile seri üretime başlamış, geçtiğimiz 30 yıl içerisinde üretim kapasitesi 90 milyon adet/yıla, çalışan sayısı ise 2000 kişiye ulaşmıştır. Dünya çapında yüzlerce müşterisi olan şirketin ana müşteri grubunu otomotiv, beyaz eşya ve elektrik motoru üreticileri oluşturmaktadır. Toplam satışının %70'lik kısmını başta Batı Avrupa ve Kuzey Amerika ülkeleri olmak üzere sanayi ve teknolojisi en üst seviyedeki ülkelere gerçekleştiren şirket, Türkiye'nin ilk 500 sanayi kuruluşu arasında yer almaktadır.

ORS, eğitime sağladığı her türlü katkıyı sosyal sorumluluğunun bir gereği olarak görmekte, birçok üniversite ile benzer projeler sürdürmekte, her yıl yüzlerce öğrenciye proje ve staj imkânı sağlamaktadır. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ile 2000 yılından bu yana yürütülen projeler ise profesyonel yönetimi, çalışma disiplini ve ortaya çıkardığı katma değer açısından ayrı bir değere sahiptir. Türkiye'deki üniversite – sanayi işbirliğinin en başarılı örneklerinden olan bu projelerin gerçekleşmesini sağlayan üniversite yönetimi, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün değerli öğretim üyeleri, asistanları ve Bilkent TTO her türlü takdiri hak etmektedir.

2015-2016 akademik yılında gerçekleştirdiğimiz “Ana Üretim Çizelgesi Optimizasyonu” ve “Kapasite Planlama Optimizasyonu” projelerinin gerek şirketimiz için, gerekse öğrenci arkadaşlarımız için son derece faydalı projeler olduğuna inanıyor, rekabet gücümüzü artıracığına inandığımız bu konularda yapacağımız yeni Ar-Ge çalışmalarımız için gerçekleştirilen projelerin iyi bir başlangıç olacağını düşünüyoruz. İki ayrı grup olarak, söz konusu projeleri beraber yürüttüğümüz 12 öğrenci arkadaşımıza katkılarından dolayı teşekkür ediyor, bundan sonraki iş ve akademik hayatlarında başarılar diliyoruz.

Dr. Alptekin DEMİRAY  
Üretim Planlama Müdürü  
SAP Program Yöneticisi

### ***Türk Kızılayı Genel Müdürlüğü'nden***

Türk Kızılayı “Türkiye’de ve dünyada, insani yardım hizmetinde model alınan, insanların en zor anlarında yanındaki kuruluş olmak” vizyonu çerçevesinde, Genel Merkezi, 700’e yakın şubesi ve yurtdışı delegasyonları ile faaliyet gösteren en büyük uluslararası insani yardım örgütlerinden biridir.

Bu vizyon doğrultusunda, bilimsel ve teknolojik gelişmeler yakından takip edilmekte, sağlanan ilerlemeler iş süreçlerine entegre edilmekte ve bu amaçla güzide eğitim kurumlarımızdan olan Bilkent Üniversitesi ile de ortak projeler yürütülmektedir.

Bu kapsamda, Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencileri, akademisyenleri ve koordinatörlerinin katkıları ile yardım malzemelerinin Kızılay Şubeleri aracılığıyla etkin biçimde dağıtımını sağlamak üzere bir yönetim sistemi oluşturulmuştur.

Kızılay’a emanet edilen yardım malzemesinin, en çok ihtiyaç duyan kişiye en kısa sürede ulaştırılması süreçlerini optimize eden sistemin test uygulaması sonucunda; malzemelerin kat ettiği mesafelerin kıaldığı ve nakliye giderlerinin azaldığı, depolama süre ve ihtiyacının azaldığı, yardım alanların bekleme süresinin azaldığı ve memnuniyet düzeyinin arttığı gözlemlenmiştir. Ek olarak, bu sistemin Genel Merkez-şube ve şube-şube iletişiminin güçlendirilmesi çabalarımız üzerinde olumlu etkileri olacağı değerlendirilmektedir.

Türk Kızılayı ailesi olarak faydalı olduğuna inandığımız ve tüm şubelerimizi kapsar biçimde hayata geçirmeyi planladığımız bu projede, özverili çalışmalarından dolayı Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğrencilerini kutlar, kurumumuz çalışanları ile birlikte ortak gayret içinde bulunan Bölüme, Akademik Danışmanlara ve Bilkent TTO’ya teşekkürlerimizi sunarız.

Özge DOĞAN IRMAK  
Türk Kızılayı  
Stratejik Yönetim Bölüm Müdürü

# **Delist Ürün Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi**

## **A101 Yeni Mağazacılık A.Ş.**

### **Proje Ekibi**

İrem Akçakuş  
Serhan Bayram  
Hatice Çözeli  
Tamer Hisar  
Zeynep Tutar  
Gizem Yılmaz

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

Gürhan Özesenli  
A101 Yeni Mağazacılık A.Ş., Proje Yöneticisi

### **Akademik Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Cem Tekin  
Bilkent Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

## **ÖZET**

A101, ürün yelpazesine ürün ekledikçe düşük performans gösteren ürünleri delist etmektedir. Mevcut sistemde delist sürecinde nesnel kararlar verilemediği ve kararların performanslarının ölçülemediği saptanmıştır. Bu proje kapsamında satış, ciro ve kar performans ölçütleri dikkate alınarak bir delist karar destek sistemi oluşturulmuştur. Önerilen sistemler, Manüel Karar Destek Sistemi ve Otomatik Karar Destek Sistemi olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Manüel Karar Destek Sistemi altında Aralık Taraması ve Sırt Çantası Modeli çalışmaktadır. Otomatik Karar Destek Sistemi altında ise Pareto Optimum Küme ve Thompson Örnekleme bulunmaktadır. Önerilen yöntemlerin, şirketin mevcut delist sisteminden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Delist, Performans Ölçütleri, Pareto Optimum, Thompson Örnekleme

## **1. Şirket Tanıtımı**

A101, 2008 yılında İstanbul merkezli kurulmuş, yüksek indirim prensibi ile çalışan, temel ihtiyaç maddelerini uygun ve rekabetçi fiyatlarla tüketiciye sunan bir perakende market zinciridir. Geçen yedi yıl içerisinde şirket hızlı bir büyüme gerçekleştirmiştir. 5000'den fazla şubesi, 28 lojistik aktarma deposu, 25000'den fazla çalışanı, 20 farklı ürün ailesinden 1000'i aşkın ürün çeşidi ile müşterilerine hizmet sağlamaktadır. Şu anda, Türkiye'nin 81 ilinde şubesi bulunan tek perakende market zinciri konumundadır.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Projenin başlangıç noktası olan ve şirketin sistem analizinde kullanılan veriler beş farklı satış mağazasının iki yıllık satış verilerinden sağlanmıştır. Satış verileri kullanılan mağazaların, farklı bölgelerden seçilmesine özellikle dikkat edilmiştir. Projenin kapsamında beş mağazadan toplanan veriler birleştirilmiş ve ülke çapındaki tüm mağazaları temsil eden tek bir satış mağazası gibi yorumlanmıştır. Şirket tarafından sağlanan veriler; ürün adı, ürün kodu, satış sayısı, satış cirosu, ürün kar marjı, fire miktarı, hacim ve satış tarihi bilgilerini içermektedir. Veri analizi yapılırken, her bir ürünün satış miktarı, cirosu ve karı haftalık olarak gruplandırılmıştır. Şirketin talebi üzerine, bazı ürünler promosyon ürünü ya da mağazanın bulunduğu bölgeye özgü olduğu için, proje için kullanılacak verilere dahil edilmemiştir. Ürünlerin performans analizi için gerekli olan uygun veri kümesini sağlamak için, her ürün kategorisi haftalık satış miktarı, ciro ve kar performans ölçütleri ile ilgili veri sağlayacak şekilde alt kümelere ayrılmıştır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

A101, üç aylık periyotlar halinde, ürün yelpazesindeki bazı ürünleri satıştan kaldırmakta ve bu ürünlerin yerine yeni ürünler satışa sunmaktadırlar. Bu sürece "ürün delist etme" denir. A101 yüksek indirim motivasyonu ile hizmet sunmaktadır. Bu nedenle A101 şubeleri çeşitli kısıtlayıcı çalışma faktörlerine sahiptir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Her şube 200 ile 220 m<sup>2</sup> genişliğe sahiptir.
- Bir şubede dört ya da beş personel hizmet vermektedir.
- Şubeler sadece belirli sayıda ürünü sunabilecek hacme sahip oldukları için ürün sayısı en fazla 1000 civarı olabilmektedir.
- Şubelerde mimari tasarım, raf düzenleme gibi maliyetleri yükseltici ancak katma değeri tam olarak ölçülemeyen harcamaların yapılmamasına özen gösterilmektedir.
- Şubelerde sunulan ürün bölgesel değişiklikler gösterebildiği gibi bir ürün grubundan bilinen bir marka ve bunun muadili bir markanın ürünü sunulabilmektedir.

Bu faktörlerin yanında şirket hizmetlerini sürekli kılabilmek için yeni ürünleri yelpazesine eklemek durumundadır; ancak belirtilen kısıtlamalardan dolayı ürün sayısı belirli bir kapasiteyi geçememektedir. Bu nedenle her ürünü çeşitli performans ölçütlerinden geçirmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Ürün karlılık marjı ve satış sayısı
  - Ürünün kayıp, çalıntı, bozulma vb. dış faktörlerden dolayı kullanılamaması
  - Depo-şube veya şube-şube arası taşıma maliyetleri
  - Raf kaplama alanı ve raf verimlilik oranları
  - Muadil ürün olanakları
- Bu ölçütlere göre düşük performans gösteren ürünler liste dışı edilir

ve yeni ürünler ürün yelpazesine eklenir.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

A101'in Türkiye genelindeki bütün mağazaları standart bir yapıya sahiptir ve hepsinde satılan ürünler aynıdır. Bu nedenle, ürün yelpazesinde yapılacak değişiklikler her mağazaya uygulanmaktadır. Şirketin mevcut ürün delist sürecinde, delist edilecek ürünlerin belirlenmesinde satış müdürlerinin oyları ve ortak düşünceleri kullanılmaktadır. Her üç ayda bir, İstanbul genel merkezde yapılan toplantılarda, satış müdürleri delist adaylarını toplantı gündemine sunar ve oylamayla ürünün satışına devam edilip edilmeyeceğine karar verilir.

Mevcut sistemde kullanılan delist süreci şirketin zaman kaybı yaşamasına neden olmakta ve nesnel bir karar verilmesinin önüne geçmektedir. Nesnel kararların yoksunluğu, delist edilecek ürünlerin oylamayla belirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yapılan delist sonuçlarından şirketin nasıl etkilendiği bilinmemekte ve delist edilen ürünler ile ilgili senaryo analizi yapılamamaktadır. Delist edilecek ürünlerin öznel bir şekilde seçilmesi ve tüm ürünlerin değerlendirilmeye alınmaması, daha düşük performanslı bir ürünün gözden kaçmasına sebep olabilmektedir.

Satış müdürleri tarafından delist edilmesi gereken ürünlerin seçilme nedeni kesin olarak bilinmese de, bu seçimin yapılmasında belirli performans ölçütlerinin etkisi vardır. Bu performans ölçütlerine örnek olarak ürünün satış sayısı, hacmi, lojistik maliyetleri, fire miktarı, getirdiği kar ve cirosu verilebilir.

Mevcut sistemde satış müdürlerinin kararlarının delist edilecek ürün seçiminde dikkate alınması, sistemin özneliğini göstermektedir. Ürünlerin performanslarının yanı sıra satış müdürlerinin belirli bir ürün üzerindeki kişisel tercihleri delist edilecek ürün seçiminde etkili olabilmektedir. Bu projeye şirketin ürün delist süreci bilimsel temellere oturtulmaya, kontrol edilebilir ve ölçülebilir bir karar destek sistemi oluşturulmaya çalışılmaktadır.



### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Mevcut sistemde, her üç ayda bir yapılan toplantılarda çeşitli ürünler düşük performanslı olarak belirlenmekte ve satış müdürleri tarafından oylanarak hangi ürünlerin delist edileceğine karar verilmektedir; fakat bu süreç öznel kararların alınmasına neden olabilmektedir ve bilimsel yöntemlere dayanmamaktadır. Şirket tarafından belirtildiği üzere delist süreci şirket müdürlerinin inisiyatifine bırakıldığı için düşük performans gösteren bazı ürünler gözden kaçabilmektedir. Sistemdeki bir diğer eksiklik de delist kararlarının ne kadar etkili olduğu kontrol edilememekte ve ölçülememektedir. Bir ürün yerine bir başka ürünü delist etmenin şirkete getireceği kar marjı, lojistik maliyeti, fire miktarı ve fiziki hacim olarak farkının ne olacağı bilinmemektedir. Bu nedenle şirket delist kararlarının ne kadar verimli olduğunu ölçememektedir.

#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Delist ürün karar sürecindeki temel problem, mevcut sistemin bilimsel yöntemlerden yoksun olmasıdır. Delist süreci için standart bir yöntem olmayışı ve delist kararların satış müdürlerinin oylaması sonucu verilmesi, sistemin nesnel ve sistematik bir hale gelmesini engellemektedir. Sistem bilimsel bir yaklaşıma sahip olmadığı için delist süreçlerinde hangi etkenlerin ne derece göz önünde bulundurulduğu bilinmemektedir. Bunun yanında, ürünlerin performanslarının düzenli ve sistematik bir biçimde takibi yapılamamaktadır. Şirket için düzenli veri girişi sağlayan ve ürün performanslarının sistematik ve nesnel bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan bir karar destek sistemi ve arayüz geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Mevcut sistemdeki problemlere çözüm bulmak amacıyla literatür taraması yapılmıştır. Sistemdeki eksiklerin giderilmesinde etkili olacağı düşünülen makalelerdeki yöntem ve modeller şirketin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde uyarlanmıştır.

Şirketin sezgisel olarak her bir performans ölçütü için belirlediği ağırlıkların öğrenilmesinde makine öğrenimi algoritmalarının etkili olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla Yankov vd. (2015), Karnin vd. (2013) ve Radlinski vd. (2008) tarafından önerilen yöntemler incelenmiş ve Thompson Örnekleme sezgisel yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntem, şirketin karar mekanizmasını öğrenerek, delist sürecinde hangi faktörlerin önemli olduğu konusunda bilgi verir ve geçmişteki delist kararlarına uygun olacak şekilde karar vererek sistemin standartlaşmasına yardımcı olur.

*EORMS* (2001)'de kullanıldığı üzere şirket için ürün listelemeleri durumunda, şirket tarafından açılmak istenen hacimi kullanarak çalışan bir Sırt Çantası modeli kurulmuştur. Bu model,

açılmak istenen hacmi bir parametre olarak alır ve bu hacimi sağlayan en düşük performanslı ürün kümesini bulmaya çalışır.

Problem tanımına göre, delist edilecek ürünler birden fazla performans ölçütünü göz önünde bulundurarak önerilecektir. Bu nedenle, delist adaylarının saptanması için çok amaçlı optimizasyon probleminin çözülmesi gerekmektedir. Yapılan literatür taraması sonucunda, bu problemin çözümü için Mishra ve Harit (2010) tarafından geliştirilen algoritmanın kullanılmasına karar verilmiştir.

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Şirket için tasarlanan sistem, delist karar sürecinde şirketin istekleri doğrultusunda öneriler yapabilecek şekilde hazırlanmıştır. Sistem bu önerileri yaparken aynı kategoride yer alan her ürün için, karlılık, satış adedi, ciro ve hacim gibi belirlenmiş ölçütleri göz önünde bulundurarak ürünler arasında performans değerlendirmesi yapmaktadır. Bu sayede sistem, düşük performanslı ürünleri tespit ederek, delist edilebilecek ürünler olarak kullanıcıya öneride bulunmaktadır. Buna ek olarak, tasarlanmış olan sistem şirketin öncelikleri doğrultusunda, performans ölçütleri için farklı ağırlıklar verilerek farklı sonuçlar elde etmeyi de mümkün kılmaktadır. Böylelikle geliştirilen sistem A101'e farklı senaryoların da analizini yapma olanağı sağlar.

Sistem delist edilecek ürünleri önerirken Manüel Karar Destek Sistemi ve Otomatik Karar Destek Sistemi olmak üzere iki farklı yöntem grubundan yararlanmaktadır. Manüel Karar Destek Sistemi, Aralık Taraması ve Sırt Çantası Modeli yöntemlerini içerir. Aralık Taraması, şirketin performans ölçütlerine verdiği ağırlıklara göre düşük performans göstermiş olan ürünleri, delist ürün adayları olarak bulur. Sırt Çantası Modeli ise delist edilecek ürün önerisi yaparken, listelenmek istenen ürünleri de hesaba katmaktadır. Şirket listeleyeceği ürünler için gerekli olacak olan hacim bilgisini sisteme girdikten sonra model, bu hacmi sağlayacak düşük performanslı ürünleri delist önerileri olarak sunmaktadır.

Otomatik Karar Destek Sistemi, Thompson Örnekleme ve Pareto Optimum Küme yöntemlerini içerir. Thompson Örnekleme, şirketin önceden vermiş olduğu delist kararlarını inceleyerek, delist etme karar sürecini otomatikleştirmeyi mümkün kılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde tasarlanan algoritma, şirketin farklı kategoriler için performans ölçütlerine verdiği ağırlıkları öğrenip şirketin önceliklerini dikkate alarak önerilerde bulunmaktadır. Pareto Optimum Küme yöntemi ise performans ölçütleri bakımından her koşulda düşük performans gösteren ürün kümesini bularak delist ürün adayları olarak sunmaktadır.

Şirket için tasarlanan bu sistem hazırlanan bir kullanıcı arayüzü ile şirkete sunulmuştur. Hazırlanan bu arayüz sayesinde şirket farklı

senaryolar için kullanılacak olan farklı yöntemlere tek bir arayüzden ulaşabilir.

#### **4.1 Manüel Karar Destek Sistemi**

Manüel Karar Destek Sistemi altında iki farklı yöntem incelenecektir. Manüel Karar Destek Sistemi, şirkete ürünleri kendi kontrolleri dâhilinde farklı kısıtlar altında değerlendirerek değişik senaryolar elde etmesini sağlar.

##### **4.1.1 Aralık Taraması**

Aralık Taraması yöntemi, şirketin var olan performans ölçütlerinin her birine değişik ağırlıklar vererek farklı ürün delist senaryolarını incelemesini sağlar. Satış, kar, ciro vb. performans ölçütlerinin toplam bir performans şeklinde ifade edilebilmesi için tüm performans ölçütleri 0-1 arasında ölçeklendirilir ve kendilerine verilen ağırlık değeriyle çarpılır. Ancak bu değerlendirme, verilen ağırlıkların noktasal değerleri yerine belli bir aralıkta yapılır. Bu sayede, önerilen sistemin verilen ağırlık değerinde kötü performansta bulunan, fakat verilen ağırlık değerinin çevresinde performansı iyi olan bir ürünü elemesi önlenir.

Ağırlık aralığı, belirli hassasiyet analizleri yapılarak elde edilir. Şirket tarafından performans ölçütüne girilen ağırlık değeri, alınacak ağırlık aralığının ortalaması olarak kabul edilir. Ağırlık aralığının belirlenmesinin ardından aralık içinde tekrarlamalar yapılarak ürünler değerlendirilir. Her tekrarlama düşük performans gösteren ürünler, olası delist adayları olarak etiketlenir. Bu tekrarların ardından her ürünün kaç defa etiketlendiği hesaplanır ve en fazla gözlemlenen ürünler, kaç defa etiketlendikleri dikkate alınarak olası delist adayları olarak sıralanır. En fazla etiketlenen üründen, en az etiketlenen ürüne doğru kullanıcıya delist adayları listesi sunulur.

##### **4.1.2 Sırt Çantası Modeli**

Sırt Çantası modeli, Aralık Taraması yöntemiyle beraber çalışır, fakat yeni ürünlerin ürün ailesine eklenmesi durumunu göz önüne alır. Yeni ürünler, ürün ailesine eklenirken mağaza içinde belirli bir hacim açılmasını gerektireceğinden bu hacim Sırt Çantası modeli için bir parametre olarak alınır. Bu parametre ile birlikte her performans ölçütü için şirket tarafından girilen ağırlıklar modele alınır. Sırt Çantası modeli içinde değerlendirilecek olası delist adayları ürünler kümesi girilen ağırlıklarla Aralık Taraması yöntemi kullanılarak bulunur. Bu küme içinden gerekli hacim ihtiyacını sağlayacak ürünler, Sırt Çantası modelini çalıştırarak tespit edilir ve delist adayları ürünler olarak sunulur.

#### **4.2 Otomatik Karar Destek Sistemi**

Otomatik Karar Destek Sistemi altında iki farklı yöntem çalışır. Otomatik Karar Destek Sistemi, nesnel bir şekilde ürünlerin performanslarını inceleyerek şirkete delist önerisinde bulunur. Pareto

Optimum Küme, her bir performans ölçütü için düşük performans sahibi ürünleri bulup delist adayları olarak önerir. Thompson Örneklemesi ise şirketin karar verme mekanizmasını öğrenerek bu mekanizma üzerinden delist adaylarını bulur.

#### **4.2.1 Pareto Optimum Küme**

Projede birden fazla performans ölçütü kullanıldığından en iyi delist adaylarını bulmak için çok amaçlı optimizasyon probleminin çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle birden fazla en iyi çözüm olabilir. Bu çözümlerin oluşturduğu kümeye Pareto Optimum Küme adı verilir. Delist ürün adaylarının oluşturduğu Pareto Optimum Küme'nin bulunması hedeflendiğinden dolayı düşük performanslı ürünler delist için yüksek performanslı ürünlere tercih edilir. Bundan dolayı, sistemde baskınlık şöyle tanımlanmaktadır: Baskın olan ürün hiçbir performans ölçütünde diğer ürünlerden daha yüksek performans göstermez ve en az bir performans ölçütünde diğer ürünlerden daha düşük performansa sahiptir. Otomatik karar destek sisteminde, bir ürün diğer hiçbir ürün tarafından baskılanmıyorsa Pareto Optimum Küme'nin elemanıdır.

Otomatik karar destek sisteminde, baskın olan ürünlerin bulunması için kullanılan algoritma şu şekilde çalışır: Ürünler ilk performans ölçütü için küçükten büyüğe doğru sıralanır ve ilk ürün Pareto Optimum Küme'ye eklenir. Kümedeki ürünler, ilk performans ölçütüne göre sıralanmış olan diğer ürünlerle karşılaştırılır. Kümedeki bir ürün sıralanmış listedeki ürün tarafından baskılanıyor ise kümeden çıkarılır; sıralanmış listedeki bir ürünü baskılıyorsa o ürün listeden çıkarılır. Karşılaştırma sırasında listedeki ve kümedeki üründen herhangi biri diğerini baskılamıyorsa, listedeki ürün kümenin bir elemanı olur. Bu karşılaştırma işlemlerinin tamamlanmasıyla Pareto Optimum Küme bulunur (Ek 1).

Otomatik karar sisteminde, kullanıcı arayüzün sunacağı delist adaylarının sayısı için bir alt sınır belirleyebilir. Algoritmanın bulduğu kümedeki delist aday sayısı kullanıcının belirlediği alt sınırdan az ise, kümedeki elemanlar değerlendirmeden çıkarılır ve algoritmanın tekrar uygulanmasıyla, ikinci bir küme bulunur ve ilk kümeye eklenir. Alt sınıra ulaşıncaya kadar bu işlem bu şekilde devam eder.

#### **4.2.2 Thompson Örneklemesi**

Thompson Örneklemesi, sistemin rastgele olaylar karşısındaki kazancını en yüksek düzeye çıkarmaya çalışan makine öğrenimi sezgisel yöntemidir. Bu yöntem geçmişteki verileri inceleyerek sistemin işleyiş biçimini öğrenir ve mevcut durum için delist önerilerinde bulunur. Bu projede, delist sürecinde şirket tarafından her bir performans ölçütüne sezgisel ağırlık verildiği varsayılmıştır. Bu sezgisel ağırlıklar, ürünlerin delist edilme sürecinde önemli rol oynamaktadır. Thompson Örneklemesi yöntemi uygulanırken performans ölçütlerine göre bölgeler oluşturulur ve geçmişte delist edilen ürünlerin düştükleri

bölgeler belirlenir. Böylece, her bir bölge için o bölgeye düşen ürünlerin şirket tarafından delist edilme olasılıkları bulunur. Delist adayları ürünlerin düştükleri bölgelerin delist edilme olasılık fonksiyonları kullanılarak belirlenir (Ek 2).

Thompson Örnekleme sadece mevcut geçmiş verileri kullanan statik bir yöntem değildir. Sisteme ürünlerin performanslarını ve delist kararlarını içeren veri girişi olduğu sürece yöntem kendini güncellemektedir.

### **5. Kullanıcı Arayüzü**

A101 proje kapsamında, ürünlerin performanslarını göz önünde bulundurarak delist ürün adaylarını belirleyecek kullanıcı dostu bir karar destek sistemi arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz Java Swing kullanılarak tasarlanmıştır. Şirket bu sistem yardımıyla performansı düşük olan ürünleri tespit edebilir. Bu arayüzde, öncelikle kullanıcının belli bir ürün kategorisine ait Excel dosyası yüklemesi gerekmektedir (Ek 3). Bu dosya, tüm mağazaların belirli bir dönemi kapsayan haftalık toplam satış, kar, gelir değerlerini ve ürünlerin hacim bilgilerini içeren dört ayrı sayfa içermelidir. Arayüz, bu bilgilerin kullanıcıya sunulan delist adaylarını belirleyen yöntemlerde kullanılmasını sağlar. Bir sonraki aşamada kullanıcı Delist Operasyonları sayfasına yönlendirilir. Bu sayfa kullanıcıya delist işlemini manüel ya da otomatik olarak gerçekleştirmek üzere iki seçenek sunar. Otomatik delist seçeneği kullanıcıdan performans ölçütleri için ağırlık bilgisi istemez ve Pareto Optimum Küme yöntemini kullanarak delist edilmeye uygun ürünleri belirler (Ek 4). Manüel delist seçeneği ise hacim öncelikli ve performans öncelikli olarak ikiye ayrılmaktadır (Ek 5). Kullanıcı ürün yelpazesine yeni bir ürün eklemek ve bu ürünün hacmi kadar yer açmak istiyorsa hacim öncelikli manüel delist seçeneğini kullanabilir. Hacim öncelikli delist seçeneği Sırt Çantası modelini kullanmaktadır ve bu seçeneği tercih eden kullanıcının her bir performans ölçütü (satış, kar ve gelir) için ağırlık girmesi gerekmektedir. Böylece, arayüz kullanıcıya gerekli hacmi sağlayan düşük performanslı ürünleri delist adayı olarak belirler. Performans öncelikli manüel delist seçeneği ise Aralık Taraması yöntemi kullanır ve kullanıcının performans ölçütlerine verdiği ağırlıkları göz önünde bulundurarak delist adaylarını belirler.

### **6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Delist karar destek sistemi için önerilen yöntemlerin birbirleriyle ve mevcut sistemle karşılaştırılması, ele alınan üç performans ölçütü olan satış, kar ve ciro üzerinden yapılmıştır. Bu değerlendirme, şirketin geçmiş delist kararları üzerinden olası ağırlık değerleri bulunarak yapılmıştır. Olası ağırlık değerleri, şirketin delist etmiş olduğu ürünlerin buldukları ürün kümesi içinde verilmiş ağırlık değerleriyle en düşük performans göstermiş oldukları varsayımıyla bulunmuştur.

Satış performans ölçütü üzerinden yapılan değerlendirme, bu ölçüt altında en iyi sonuç veren yöntemin Pareto Optimum Küme olduğunu göstermiştir (Ek 6). Kar performans ölçütü altında en iyi çalışan yöntem, Aralık Taraması yöntemi olmuştur (Ek 7). Aralık Taraması yöntemi, ciro performans ölçütü altında da en iyi çalışan yöntem olarak sonuçlanmıştır (Ek 8). Pareto Optimum Küme yöntemi; mevcut sisteme kıyasla satış, kar ve ciro bakımından sırasıyla %6.67, %14.52, %19.86 iyileştirme göstermiştir. Thompson Örneklemesi ise satış, kar ve ciro bakımından sırasıyla %4.33, %11.04 ve %15.96 iyileştirme göstermiştir. Aralık Taraması yöntemi ise mevcut sisteme göre, kar ve ciro bakımından sırasıyla %18.84 ve %23.76 iyileştirme göstermiştir. Aralık Taraması yönteminin, kar ve ciro ölçütü bakımından, Thompson Örneklemesi ve Pareto Optimum Küme yöntemlerine kıyasla daha iyi performans göstermesi, şirketin satış ölçütüne ağırlık verip kar ve ciro ölçütlerini, satış ölçütünden daha az dikkate aldığını gösterir. Pareto Optimum Küme, nesnel olarak ürünlerin performanslarını değerlendirdiğinden şirketin karar verme sistemini öğrenen Thompson Örneklemesi yöntemine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Her yöntem için mevcut delist sistemiyle yapılan kıyaslamaların ardından yöntemlerin firmanın mevcut sisteminden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

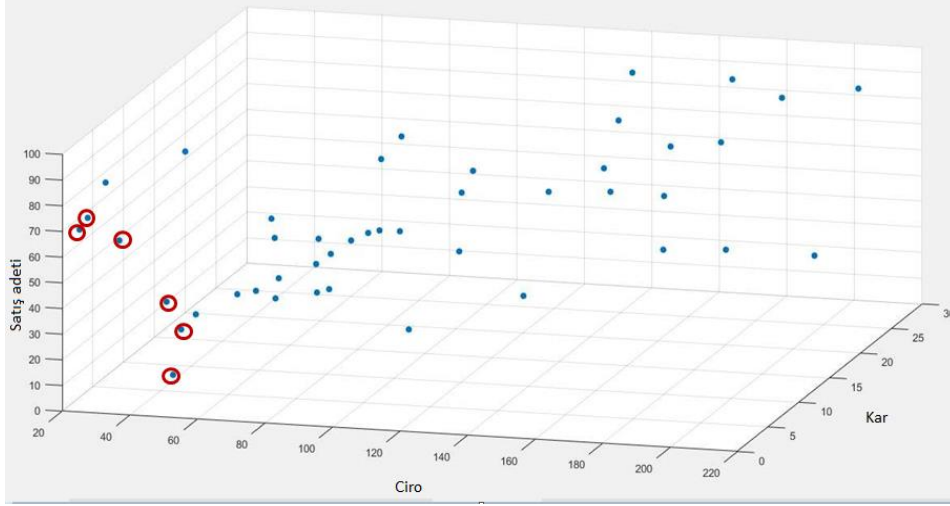
Firmanın yöntemleri uygulamaya başlaması için yöntemler iki aşamada gruplandırılmıştır. Firma, birinci aşamada öncelikli olarak Pareto Optimum Küme yöntemini kullanarak nesnel performans değerlendirmeleri sonucunda delist ürün adaylarına ulaşabilir. Firma, Pareto Optimum Küme yöntemiyle eş zamanlı olarak Manüel Karar Destek Sistemini kullanarak performans ölçütlerine verdiği değişik ağırlık değerleriyle farklı senaryoları değerlendirebilir. Thompson Örneklemesi yönteminin uygulamaya geçmesi ikinci aşamada yer alır. Thompson Örneklemesi, şirketin karar verme sistemini öğrendiğinden yeterli geçmiş verinin elde edilmesiyle beraber uygulamaya geçebilir. Otomatik Karar Destek Sistemi altında önerilen Pareto Optimum Küme ve Thompson Örneklemesi, çalışma sistemlerinin farklı olması nedeniyle firmaya ürünlerini birden fazla açıdan değerlendirmesini sağlamaktadır. Firmaya ulaştırılan arayüz, firma tarafından onaylanmıştır ve deneme amaçlı bir mağazada kullanılmaya başlanmasına karar verilmiştir.

## KAYNAKÇA

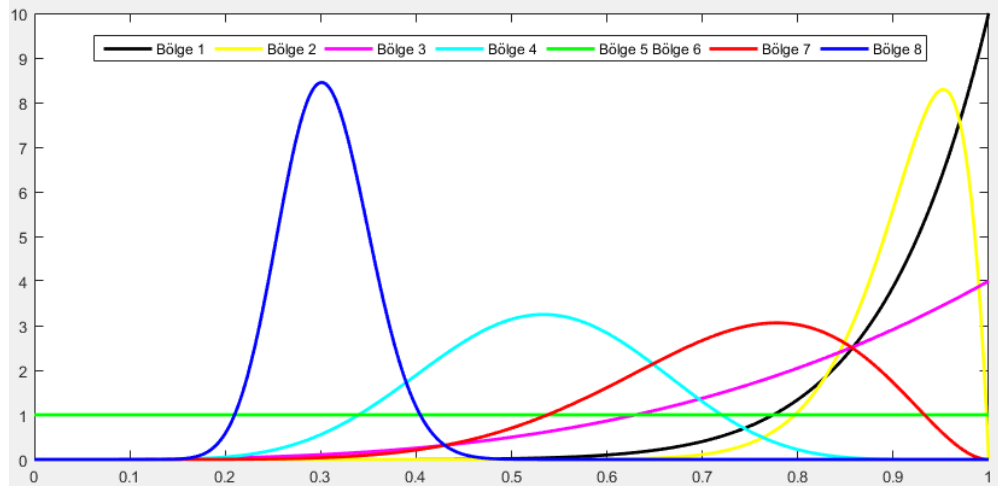
- Karnin, Z., Tomer K., and Oren S. 2013. Almost optimal exploration in multi-armed bandits. Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning (ICML-13).
- Knapsack Problem. Encyclopedia of Operations Research & Management Science (2001): 431.
- Mishra K.K., Sandeep H., 2010. A Fast Algorithm for Finding the Non Dominated Set in Multi objective Optimization. International Journal of Computer Applications, 1(25), 35-39
- Pampel, F. C. 2000. Logistic regression: a primer. Thousand Oaks, Calif. Sage Publications, 2000.
- Radlinski F., Kleinberg R., Jeachims T. 2008. Learning Diverse Rankings with Multi-Armed Bandits. International Conference of Machine Learning.
- Ward, J., Bin, Z., Jain, S., Fry, C., Olavson, T., Mishal, H., & Woods, J. 2010. HP Transforms Product Portfolio Management with Operations Research. Interfaces, 40(1), 17-32.
- Yankov, D., Berkhin, P., & Li, L. 2015. Evaluation of Explore-Exploit Policies in Multi-Result Ranking Systems.

## EKLER

### Ek 1: Bir Kategori için Pareto Optimum Küme

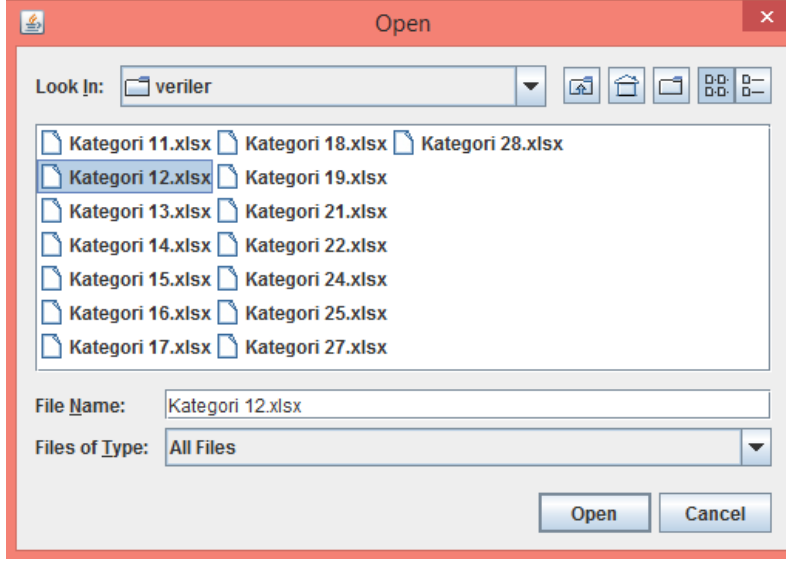


### Ek 2: Bir Kategori için Bölgelerin Beta Dağılımları

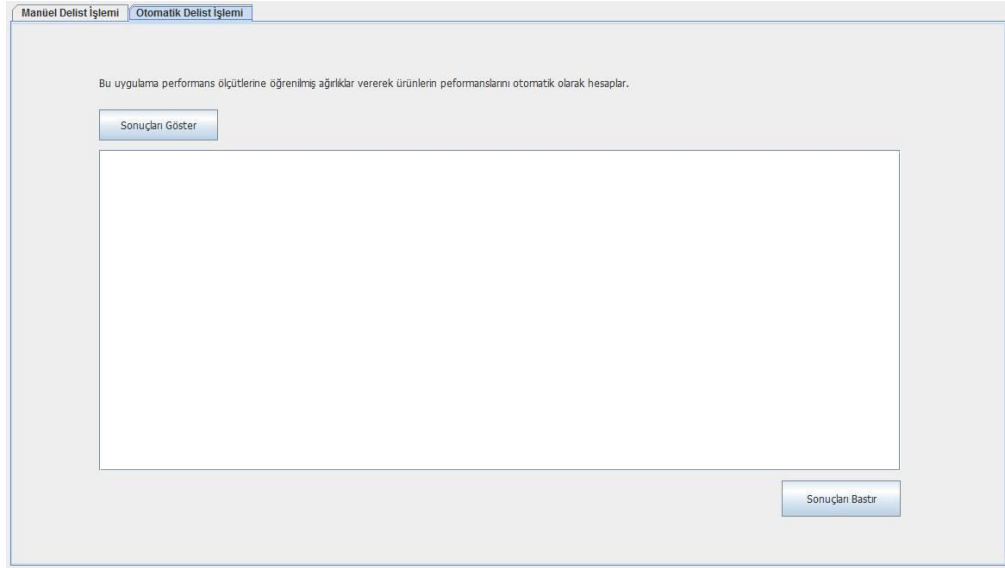


### Ek 3: Kullanıcı Arayüzü Dosya Yükleme Ekranı





#### Ek 4: Kullanıcı Arayüzü Otomatik Delist Ekranı



#### Ek 5: Kullanıcı Arayüzü Manüel Delist Ekranı

Manuel Delist İşlemi | Otomatik Delist İşlemi

Performans Öncelikli | **Hacim Öncelikli**

Kullanıcı yer açmak istediği hacmi belirttikten sonra her bir performans ölçütünün ağırlığına karar verebilir ve farklı senaryoları karşılaştırabilir.

**1. Senaryo**

Satış  %

Kar  %

Gelir  %

Hacim  cm<sup>3</sup>

**4. Senaryo**

Satış  %

Kar  %

Gelir  %

Hacim  cm<sup>3</sup>

**2. Senaryo**

Satış  %

Kar  %

Gelir  %

Hacim  cm<sup>3</sup>

**5. Senaryo**

Satış  %

Kar  %

Gelir  %

Hacim  cm<sup>3</sup>

**3. Senaryo**

Satış  %

Kar  %

Gelir  %

Hacim  cm<sup>3</sup>

**6. Senaryo**

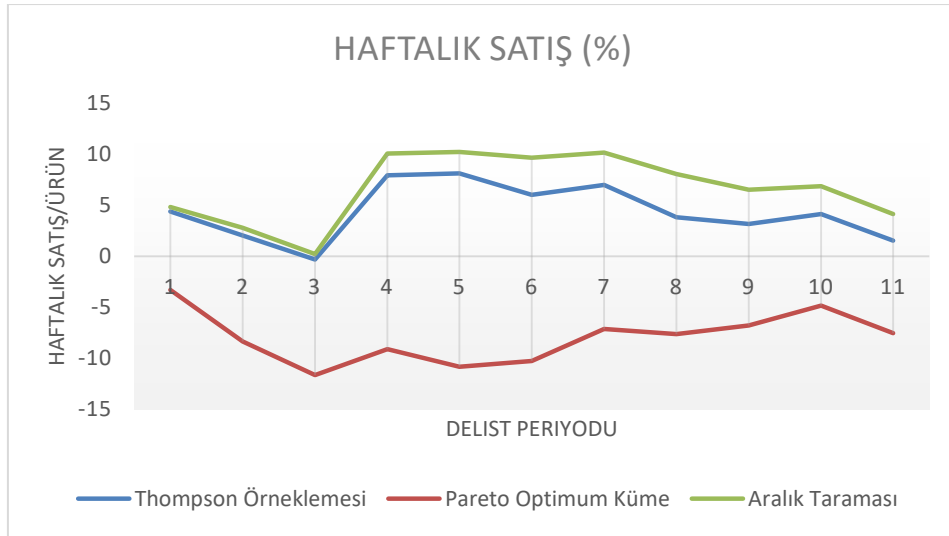
Satış  %

Kar  %

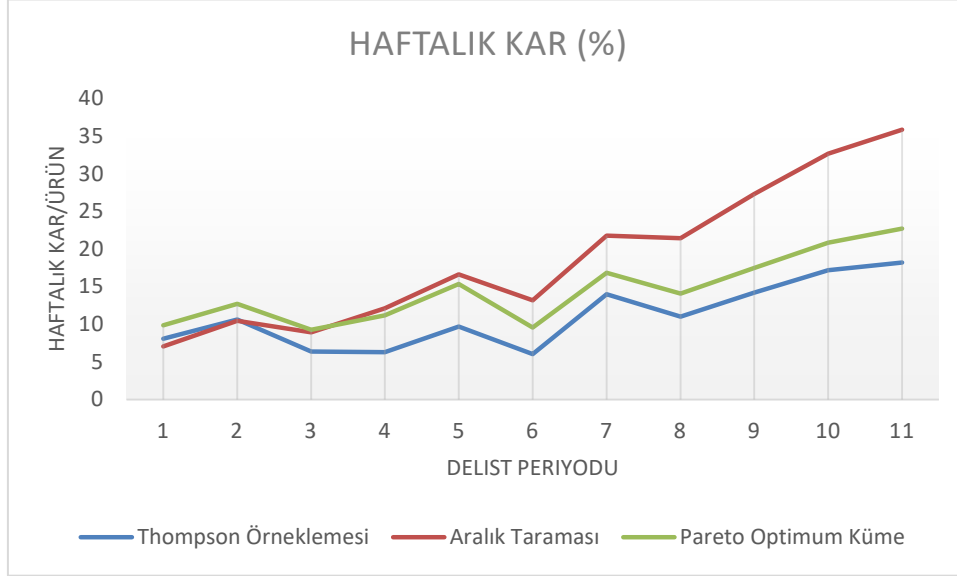
Gelir  %

Hacim  cm<sup>3</sup>

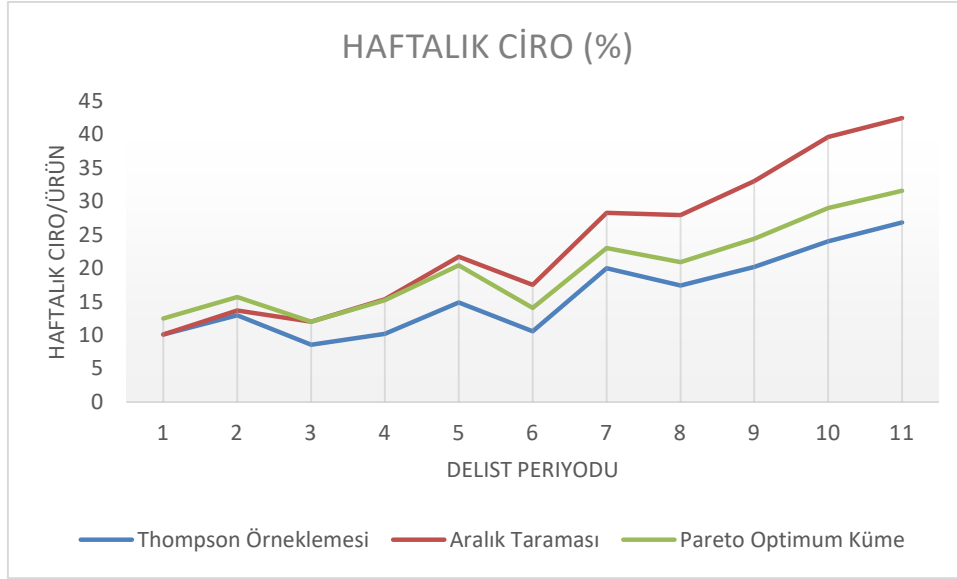
### Ek 6: Geliştirilen Yöntemlerin Haftalık Satış için Performans Karşılaştırması



### Ek 7: Geliştirilen Yöntemlerin Haftalık Kar için Performans Karşılaştırması



**Ek 8:** Geliştirilen Yöntemlerin Haftalık Ciro için Performans Karşılaştırması



# 2016- 2020 Arası Türkiye Yurtiçi Aktarmasız Uçuşların Talep Tahmini ve Seçilmiş Rotalar için Uygun Filo Ataması

## AnadoluJet

### Proje Ekibi

Tuğçe Akın  
Özgün Deniz Azazi  
Andaç Gülşe  
Ayşenur Karagöz  
Neslişah Sümer  
Munise Kübra Şahin

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Muhammet Ayhan  
AnadoluJet, Tarife ve Network Planlama Uzmanı

### Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Çağın Ararat  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Aktarma merkezlerindeki yoğunluk, rotalara ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır. Firma aktarmasız uçuş pazarında önemli bir yer edinmek istemektedir. Bu sebeplerle AnadoluJet, aktarmasız uçuş sayılarını ve yurtiçi pazar payını artırmayı planlamaktadır. Projenin amaçları, ekonomik ve coğrafik değişkenlere dayalı bir talep tahmin modeli geliştirmek ve noktadan noktaya rota ve filo atamasını yapacak bir rotalama modeli oluşturmaktır. Projenin sonucu olarak 2016-2020 yurtiçi aktarmasız yolcu talep tahmini, uygun rota ve filo atamaları yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yurtiçi hava taşımacılığı, talep tahmini, rotalama, filo ataması

## 1. Şirket Tanımı

AnadoluJet, 23 Nisan 2008 tarihinde Türk Hava Yollarının (THY) yeni bir ticari markası olarak kurulmuştur. AnadoluJet, ilave servislerin sadeleştirilmesi ve ekonomi sınıfı yapılandırmasıyla daha geniş kitleye hitap etmeyi amaçlamıştır. Sekiz uçakla operasyona başlayan AnadoluJet, Nisan 2016 itibarıyla 29 uçak ile hizmet vermektedir. AnadoluJet tarafından şu anda kullanılan uçak tipleri ve kapasiteleri şu şekildedir: 189 yolcu kapasiteli Boeing 737-800 ve 118 yolcu kapasiteli Embraer 195. AnadoluJet filosu, 26 adet Boeing 737-800 ve üç adet E-195'ten oluşmaktadır.

AnadoluJet, mevcut iş modelinde topla-dağıt sistemi kullanmaktadır. Topla-dağıt sisteminden kaynaklı gecikme ve uçağın uzun süre yerde kalmasını engellemek amacıyla dalga modeli kullanılmaktadır. Dalga modelinde, uçuşlar belirli zaman aralıklarına çizelgelenmektedir. Dalga modelindeki zaman aralıkları, bir uçağın aktarma merkezinden çıkıp aynı aktarma merkezine dönene kadarki uçuş zamanına göre belirlenir. Yolcular, bir dalga ile bir aktarma merkezinde toplanır ve oradan gitmek istedikleri noktalara dağıtılır.

AnadoluJet mevcut sistemde, topla-dağıt sisteminin yanı sıra, sekiz rotada noktadan noktaya uçuş sistemini de kullanmaktadır. Bu rotalar, Trabzon-Kocaeli, Trabzon-Bursa, Erzurum-Bursa, Antalya-Nevşehir İzmir-Nevşehir, Bursa-Diyarbakır, Bursa-Muş ve Bursa-Samsun'dur. Noktadan noktaya uçuş sisteminde, herhangi bir aktarma merkezine ihtiyaç duyulmaksızın yolcular istedikleri noktaya uçak değiştirmeden veya aktarma merkezinde beklemeden varabilirler.

## **2. Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Problem tanımı**

AnadoluJet'in belirli rotalar için noktadan noktaya uçuş sistemine geçiş yapmak istemesinden dolayı, o rotaları belirlemek ve uygun filoları atamak amacıyla kapsamlı bir talep tahmini modeli gerekmektedir. Problemi oluşturan belirti ve şikâyetler aşağıda açıklanmıştır.

#### **2.1.1 Kullanım oranları**

Havacılık sektöründe bir uçağın kullanım oranı, uçağın havada kaldığı süreyle ölçülmektedir. Uçağın günlük ortalama uçuş süresi, belirli bir dönem için uçağın havada kaldığı zamanın bu dönemdeki gün sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. AnadoluJet'in genel ortalama kullanım oranı 9 saat 53 dakikadır ve iyi bir oran olarak görülmektedir. Buna rağmen, belirli rotalar için noktadan noktaya uçuş sistemine geçilmesiyle uçak kullanım oranının artması beklenmektedir. Toplama merkezlerinde meydana gelebilecek hava trafiğinin ve bu trafikten kaynaklanan gecikmelerin aza inmesi, noktadan noktaya uçuş sisteminin beklenen sonuçları arasındadır. Havalimanlarındaki uzun bekleme sürelerinin azaltılmasının uçak kullanım oranı üzerinde olumlu etkisinin olması ve bu etkinin de kârı arttırması beklenmektedir.

### **2.1.2 Aktarma merkezlerindeki yoğunluk**

Tüm uçuşların aktarma merkezlerinde toplanmasından dolayı topla-dağıt sistemi aktarma merkezlerinde yoğunluğa sebep olmaktadır. Marti (2015), yaptığı çalışmada, topla-dağıt sisteminin aktarma merkezlerinde yoğunluğa ve rötarlara, buna bağlı olarak hava trafiğinde yoğunluğun artışına ve hava trafiği kontrolünün zorluğuna yol açtığını göstermiştir. AnadoluJet'in iki aktarma merkezi olan İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı (SAW) ve Ankara Esenboğa Havalimanı (ESB), artan trafikten dolayı çizelgelemede sıkıntı çekmektedir. Durukan (2014) yapmış olduğu araştırmada, SAW'daki trafiğin her yıl %23,9 arttığını ve bir uçuştaki ortalama rötarın 12 dakika olduğunu göstermiştir. Noktadan noktaya uçuş sisteminin, her bir uçuş için aktarma merkezine dönüş zorunluluğunu ortadan kaldırması ile aktarma merkezlerindeki yoğunluğu azaltması beklenmektedir.

### **2.1.3 Talep artışı**

Hava yolu taşımacılığını kullanan yolcu sayıları verileri incelendiğinde son yıllarda ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Bu sebeple, AnadoluJet, artan talebi noktadan noktaya sistemi uygulanan yeni rotalar açarak karşılamayı amaçlamaktadır. AnadoluJet verileri incelendiğinde kullanım oranındaki artışın dikkat çektiği bazı havalimanları bulunmaktadır. Bu havalimanlarına örnek olarak Antalya (AYT), Adana (ADA), Trabzon (TZX), Diyarbakır (DIY) ve İzmir (ADB) verilebilir. Kullanım oranı yüksek olan havalimanları, açılan yeni rotalar için kullanılarak, buralardaki talep karşılandığında AnadoluJet'in rakiplerinin gerisine düşmesinin engellenmesi beklenmektedir.

### **2.1.4 Talep tahminindeki zorluklar**

Noktadan noktaya uçuş sisteminde kullanılacak olan talep tahmininin aktarmasız uçuşlar için yapılması gerekirken AnadoluJet verilerinin sadece aktarmalı yolcu sayılarını içermesi, doğru bir talep tahmini yapmayı oldukça zor hale getirmektedir. Hava yolu taşımacılığı sektöründe talep, ekonomik, demografik, coğrafi ve insani etkenlere bağlıdır. Talebin birden çok etkene bağlı olması ve bu etkenlerin zaman içerisinde değişiklik göstermesi talep tahmininin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Hava yolu taşımacılığı sektörünün büyük ve pahalı bir pazara sahip olmasından dolayı kayıplar ve kazançlar da büyük olmaktadır. Bu durum talep tahminini riskli ve önemli yapmaktadır. Hava yolu talep tahmininde yaygın olarak kullanılan yer çekimi modeli, hava yolu sektöründeki, sosyo-ekonomik ve demografik etkenler gibi, birçok değişkeni göz önüne almaktadır.

### **2.1.5 Pazardaki rekabet**

Türkiye'de AnadoluJet dışında yurtiçi hava yolu taşımacılığında hizmet veren BoraJet, Onur Air, SunExpress ve Pegasus gibi diğer hava yolu şirketleri de bulunmaktadır. Pegasus ve bazı diğer hava yolu

şirketlerinin noktadan noktaya uçuş sistemindeki uçuş ağını yıldan yıla genişletmesiyle AnadoluJet, pazarın gerisinde kalmamak ve gelişmekte olan bu pazara ürün sunmak amacıyla bazı rotalarda noktadan noktaya uçuş sistemine geçmek istemektedir. AnadoluJet, hava yolu taşımacılığındaki gelişmeye rakiplerinden önce ayak uydurarak pazardaki payını ve kârını arttırmayı amaçlamaktadır.

## **2.2 Proje amaçları ve kapsamı**

Problem tanımında da belirtildiği gibi projenin ana amacı, talep tahmini modelinden çıkacak sonuçlar kullanılarak uygun rotaların belirlenmesi ve bu rotalara filo ataması yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda izlenilecek ilk adım, AnadoluJet tarafından talep tahmini için sağlanan verilerin yönseme ve mevsimsellik açısından incelenerek uygun tahmin modelinin geliştirilmesidir. Sonraki adım, talebi etkileyecek istihdam oranı, tatil günleri, iki şehir arasındaki haberleşme oranı gibi olası sosyo-ekonomik etkenlerin belirlenmesidir. Uygun bulunan etkenler eklendikten sonra, modelin doğruluğu gerekli yöntemler ile kontrol edilmiş ve 2016-2020 yılları arasında şehirler arası aylık talep tahmini yapılmıştır. Talep tahmini değerlerine bağlı olarak geliştirilen rotalama modeli ile en iyi rotalar belirlenmiş ve uygun filo ataması yapılmıştır.

Proje çıktıları ile öncelikle firmanın Türkiye’de yeni gelişmekte olan aktarmasız uçuş sisteminde gelecekte önemli bir pazar payına sahip olarak lider konumda rol oynaması amaçlanmaktadır. Ayrıca merkez havalimanlarındaki yoğunluğun diğer havalimanlarına kaydırılarak azaltılması ile müşteri memnuniyeti ve uçak kullanım oranlarında artış hedeflenmektedir. Geliştirilecek olan talep tahmini, rotalama ve filo ataması modelleri ile mevcut sistemdeki zorlukların giderilmesi ve artan talebin kolaylıkla karşılanması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda uçuşların zaman planlaması, fiyatlandırma ve mevcut uçuş sayılarının azaltılması proje kapsamında değildir.

## **2.3 Veriler ve yorumlanması**

2010-2015 yılları arasındaki şehirler arası yolcu talebi verileri AnadoluJet tarafından sağlanmış, bu verilerin yıllara göre nasıl değiştiğini görmek için yönseme ve mevsimsellik çözümlemesi yapılmıştır. AnadoluJet tarafından verilen bilgi doğrultusunda kara yolları mesafesi 350 km’nin altında olan rotalar uçuş için anlamlı olmadığından elenmiştir. Ayrıca, bu yıllar boyunca hiç uçuş yapılmayan rotalarda talep tahmini için gerekli bilgi sağlanamadığından bu rotalar da elenmiştir. Eleme sonucunda talep tahmini modeli uygulanacak 438 rota bulunmuştur. Talep tahmin modeli için geniş çaplı bir literatür araştırması yapılmış ve talep tahmin modelinin temelini oluşturan yer çekimi modelinde kullanılan değişkenler araştırılmıştır. Modelde kullanılması olası değişkenler şöyledir: Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) verilerine göre havalimanı yolcu trafiği, tatil günleri,

şehirler arası kara yolu mesafesi, istihdam oranı, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre şehir nüfusları, Türkiye İhracatçılar Meclisi (TIM) verilerine göre ihracat oranları ve bilet fiyatları.

### **3. İlgili Literatür**

Projenin ilk adımı olan talep tahmin modeli için sosyo-ekonomik etkenlerin kullanılmasına karar verildikten sonra yapılan literatür taramasında, bu etkenleri en çok kullanan modelin yer çekimi modeli olduğu görülmüştür. Grosche vd. (2007), çalışmalarında yer çekimi modelinin hava yolu yolcu talep tahmininde kullanılmasında istatistiksel olarak geçerli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yer çekimi modelinin şehir çiftlerinin ekonomik ve coğrafik özelliklerine dayalı değişkenleri kullanmasından dolayı, daha önce hiç uçuş yapılmayan şehir çiftlerinde kullanılması durumunda bile başarılı sonuçlar vereceğini ortaya koymuştur. Daha ileri aşamalarda, yer çekimi modelinin çeşitli coğrafya ve ekonomilerde farklı değişkenler kullanılarak yapılan uygulamaları incelenmiştir. Rengaraju ve Arasan (1992) nüfus, seyahat süresi, mesafe ve servis sıklığı değişkenleri kullanarak 0.952'lik belirleme katsayısına ulaşırken, Russon ve Riley (1993) gelir, nüfus, otoyol mesafesi, aktarmalı/aktarmasız uçuş sayıları, kara yolu ve hava yolu ulaşım mesafesi farkı, hava yolu rekabeti değişkenlerini kullanarak 0.992'lik bir belirleme katsayısına ulaşabilmeyi başarmıştır. Türkiye ekonomisi ve coğrafyası için geçerli olabilecek değişkenleri belirlemeye çalışırken Sivrikaya ve Tunç'un (2013) çalışmaları da incelenmiştir. Bu çalışmalarda özellikle üstünde durulan değişkenlerin şehir nüfusu, yol mesafesi, ortalama bilet fiyatları, yatak kapasitesi, bir rota üzerindeki hava yolu firması sayısı gibi değişkenler olduğu görülmüştür. Yer çekimi modelinin, sosyo-ekonomik etkenleri kullanmasının yanı sıra, yüksek bir doğruluk değerine sahip olması ve literatürde en yaygın kullanılan model olması, bu modelin başlangıç noktası olarak seçilmesindeki temel etkenlerdir. Yer çekimi modeli incelenerek karar verilen değişkenler, daha sonra adimsal regresyon kullanılarak yapılan talep tahmin modelindeki değişkenlerin çoğunu oluşturmuştur.

Projenin ikinci aşaması olan rotalama ve filo ataması modeli için gerçekleştirilen literatür taramasında en sık kullanılan modellerin araç rotalama problemi (ARP) ve periyodik araç rotalama problemi (PARP) olduğu görülmüştür. Christofides'in (1976) çalışmalarında, ARP ve Periyodik-ARP'nin, özellikle tek depo içeren rotalama problemlerinde kullanıldığı görülmüştür. Problemimizin tek depo içeren rotalama problemi olmamasından dolayı ARP ve PARP literatürdeki şekliyle kullanılamamıştır. Buna rağmen, ARP ve PARP'nin bazı kısıtları, buradaki modelin kısıtlarını oluşturmada kullanılmıştır.

### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

#### **4.1 Talep tahmin modeli**



AnadoluJet'ten alınan aktarmalı yolcu verisinde gözlemlenen mevsimsellik ve şirketin isteği doğrultusunda aylık talep tahmini yapılmıştır. Bu tahmin yapılırken zaman serisi çözümlemesi kullanılmış ve sadece geçmiş talebi bulunan hatlar göz önünde bulundurulmuştur. Bunun nedeni geçmiş talebi bulunmayan hatların tahmin için doğru bilgi vermeyecek olmasıdır. Bu modelin çıktısı, ortalama ve filo ataması modeli için girdi olarak kullanılmıştır.

#### **4.1.1 Yer çekimi modeli**

Talep tahmin modeli olarak ilk aşamada ekonomik ve demografik etkenleri içeren yer çekimi modeli kullanılmıştır. İlk modelin girdileri nüfus, demografi, istihdam oranı ve ihracat oranı olarak belirlenmiştir. Demografi değişkeni bir ilde yaşayan insanların hangi ile kayıtlı olduğu bilgisini taşımaktadır. Bu değişkenlerin birbirleriyle ilintilerini kontrol etmek için ilinti matrisi oluşturulup, nüfus ile demografi arasında yüksek ilinti gözlemlenmiştir. Nüfus literatürde daha çok kullanılan bir değişken olduğu için demografi modelden elenip, nüfusun demografiye bağlı bir değişken olarak tekrar tanımlanmasına karar verilmiştir. Böylece demografi değişkeninin taşıdığı bilgi büyük ölçüde korunmuştur. 12 örneklem ile denenen modelin uyum sınamı yapılırken R-kare değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

#### **4.1.2 Talep tahmin modelinin geliştirilmesi**

Talep tahmin modelinin geliştirilmesi sürecinde, farklı değişkenlerin kullanılmasına, yer çekimi modeline bağlı kalınmamasına ve örneklem sayısının artırılmasına karar verilmiştir. Daha önce belirtilen değişkenlere ek olarak, yolcu talebini etkileyeceği düşünülen havalimanı yolcu trafiği, bir ayda üç iş gününden fazla resmi tatil olup olmaması, ay ve bilet fiyatı verileride değişken olarak eklenmiştir. Bu değişkenler içerisinde tatil ve ay kategorisel değişken olarak tanımlanmıştır. Yer çekimi modeli hava yolu yolcu talep tahmininde yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu modelin performansını karşılaştırmak amacıyla basamaklı regresyon modelinin de uygulanmasına karar verilmiştir. Bu süreçte örneklem sayısı 20'ye çıkarılmıştır.

#### **4.1.3 Basamaklı regresyon modeli**

Model geliştirme sürecinin ardından, talep tahmini için basamaklı regresyon kullanılmasına karar verilmiştir. Basamaklı regresyon modeli, yer çekimi modelinden farklı olarak değişkenlerin birbirleriyle ilişkilerini ve her hattın farklı bir talep dağılımı olabileceğini göz önünde bulundurarak her hat için farklı bir model belirler. Bununla birlikte yer çekimi modelinin her hat için aynı modeli kullanması, uyum sınamı açısından basamaklı regresyon modelinden daha kötü sonuçlar vermiştir. Bu nedenle talep tahmini için basamaklı regresyon kullanılmıştır. Yeni modelde kullanılan değişkenlerin

ilintilerini incelemek için ilinti matrisi oluşturulmuş ve çoklu eşdoğrusallığın bir problem oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Modelin sonuçlarına göre kış ve yaz sezonu için toplamda 20 hat belirlenmiştir. Bu hatlar için elde edilen modellerin geçerliliği değişinti çözümlemesi ile sınanmıştır. Bu test sonucunda, bu modellerin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.

#### **4.2 Rotalama ve filo ataması modeli**

Rotalama ve filo ataması modeli, talep tahmini sonuçlarına dayanarak Anaolujet'e 2016-2020 yılları arasında her sezon en çok kârı kazandıracak rotaları ve uçak atamalarını belirlemeyi amaçlamaktadır. noktadan noktaya uçuş sisteminde uçaklar dağıtım merkezi olan havalimanlarına geri dönmezler ve her uçak her günün sonunda hangi havalimanında kalmış ise sonraki gün o havalimanından rotasına başlamak zorundadır. Model ile hem aynı gün uçan uçakların rotalarına hem de mevcut uçakların hangi rotalara atanması gerektiğine karar verilir. Filo ataması ve rotalama kârlılık açısından birbirini etkileyen kararlar olduğu için bu model bütünlük bir çözüm sunmaktadır.

##### **4.2.1 Matematiksel model**

Matematiksel modelimiz, 2016-2020 yılları arasında her yıl yaz ve kış dönemleri olmak üzere on kez çalıştırılmıştır. Modele, her yıl ve dönem için talep tahmini modelinden elde edilen sonuçlar girilmiştir. Model, her yıl her dönem için ayrı haftalık rotalar sunmaktadır. Hafta başında uçaklar en yüksek talepli şehir olan İzmir'den kalkar ve haftanın sonunda yine İzmir'e döner. Hafta içinde her gün her uçağın yatıya bırakılacağı havalimanını model belirler.

Girdi matrislerinin boyutu çok büyük olduğundan önce sezgisel metotla modele girilecek şehir sayısı azaltılmıştır. En yüksek talepli şehir eşleşmelerine göre, yaz için 18 ve kış için 16 şehir belirlenmiştir. Model, MATLAB ve Xpress programları kullanılarak kodlanmış ve çalıştırılmıştır. Modelin girdileri, şehir ikilileri arasındaki talep, günlük en fazla uçuş süresi, uçuş masrafları, bilet fiyatları, uçuş süreleri, uçak sayısı, tipleri ve kapasiteleridir. Modelin amacı ise en büyük kârlılığı veren rotayı ve filo atamasını bulmaktır. Anadolujet'in noktadan noktaya uçuş sistemi için kullanmak istediği uçak tiplerinden Embraer 195'in kapasitesi 118 ve Boeing 737'in kapasitesi 189 kişidir. Her uçağın, uçuş yapabilmesi için sağlaması gereken bir doluluk oranı vardır. Modelde kullanılan doluluk oranı %60'tır. Bu da uçakların kapasitelerinin %60'ını doldurmadan uçuş yapamayacakları anlamına gelmektedir. Her gün uçuş yapılabilecek toplam 18 saat vardır ve bu süre sonunda uçak yatı havalimanında sonraki uçuş gününü bekler. Model, literatür araştırması sonucu araç rotalama probleminin çeşitli uyarlamaları temel alınarak oluşturulmuştur. Fakat mevcut hiçbir model bu problemin kısıtlarına tam olarak karşılık veremediğinden temel literatür modellerine eklemeler ve bu modellerde değişiklikler

yapılmıştır. Kurulan modelde, diğer ARP'lerinin aksine rota başladığı yerde bitmez ve son notayı model kendisi seçer. Bunun dışında uçak kapasitelerine, talebe ve uçuş masraflarına göre model, hangi rotada hangi uçağı kullanacağına kendisi karar verir. AnadoluJet'in sunduğu kullanılabilir uçak tipleri ve sayıları listesinden hangi uçak tiplerinden, hangi yıl, hangi sezon için kaç tane ve hangi rotalarda kullanılması gerektiğini model belirler.

Sonuç olarak model girdi olarak talep tahmini sonuçlarını, kullanılabilir uçak sayısını ve tipine bağlı olarak kapasitelerini, uçuş masraflarını, bilet fiyatlarını, uçuş sürelerini, uçuş yapabileceği günlük toplam süreyi ve doluluk oranını alır. Çıktı olarak ise haftalık toplam kâr, haftalık rota, her rotaya atanan uçak tipi, söz konusu sezonda hangi tip uçaktan kaç tane kullanılacağı, taşınan toplam yolcu sayısı, uçuş sıklıkları ve uçak kullanım oranları elde edilir. Model, Ek 1'de görülebilir. Gerektiği üzere, model 10 defa değişen girdi değerleriyle çalıştırılıp, 5 yıl boyunca her yıl yaz ve kış dönemleri için ayrı bir rota bulmuştur.

## **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Proje, AnadoluJet'in topla-dağıt sisteminden noktadan noktaya uçuş sistemine geçmesi sürecinde 2016-2020 yılları arasındaki talep tahminini, bu talep tahmininin sonuçlarına göre oluşan uygun rotaları ve bu rotalara atanması gereken filoları proje çıktıları olarak sunmaktadır. Belirlenen rotalarda noktadan noktaya uçuş sistemine geçilecek olması bu rotalar için toplama merkezlerinin kullanılması zorunluluğunu ortadan kaldırarak AnadoluJet'in toplama merkezleri kullanımında ciddi bir rahatlama sağlamıştır. Model çıktısındaki rotaların amacı toplam kârı artırmak olduğu için, tek başına uçulacağı takdirde şirketin zarar etmesine neden olacak olan hatlar kârlı hale gelmiştir. Projenin bu yanı AnadoluJet'e hem toplam kârı artırma hem de belli bir rota içerisinde uçulmadığı sürece kâr ettirmeyen hatlardaki pazar payını artırma imkanı sunmuştur. 2016-2020 yılları arasında 5 yıl boyunca kış sezonu için toplam 94 hat açılması öngörülmüştür. Model çıktısına göre kış sezonunda bir haftada taşınan yolcu sayıları ve kullanılan uçaklar şöyledir: 2016 yılında iki tane 189 yolcu kapasiteli uçak ile 19863 kişi; 2017 yılında iki tane 189, bir tane 118 yolcu kapasiteli uçak ile 25024 kişi; 2018 yılında üç tane 189, bir tane 118 yolcu kapasiteli uçak ile 34088 kişi; 2019 yılında üç tane 189, iki tane 118 yolcu kapasiteli uçak ile 36497 kişi; 2020 yılında ise üç tane 189, üç tane 118 yolcu kapasiteli uçak ile 48294 kişi taşınmıştır. Yıllara göre toplamda 2016 yılında 2, 2017 yılında 3, 2018 yılında 4, 2019 yılında 5, 2020 yılında ise 6 uçak kullanılmıştır. Devlet Hava yolları Meydan İşletmesinden (DHMI) aldığımız veriler ve talep tahmini sonuçlarımızı kullanarak yaptığımız hesaplamalar, belirlenen diğer rotalar için de noktadan noktaya uçuş sistemine geçilmesinin bu rotalar üzerindeki şehirlerde AnadoluJet'in

pazar payını artırmasına önemli katkı sağlayacağını göstermektedir. Sonuçlar AnadoluJet market payında 2016 yılında %3.82, 2017 yılında %3.97, 2018 yılında %5.67, 2019 yılında %6.38 ve 2020 yılında %7.32 artış olacağını göstermektedir. Projemizin çevresel bir sonucu olarak noktadan noktaya uçuş sistemine geçilmesi uçakların gideceği mesafeyi kısaltarak CO<sub>2</sub> gaz salınımlarını ciddi oranda azaltmaktadır. Bu azalmayı sayılarla ifade etmek gerekirse 2016 yılında %22.7, 2017 yılında %28.09, 2018 yılında %31.15, 2019 yılında %34.5 ve 2020 yılında %38.89 azalma öngörülmüştür.

## KAYNAKÇA

- Angelelli E., Speranza M.G. , The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities, *European Journal of Operational Research*, Volume 137, Issue 2, 1 March 2002, Pages 233- 247, ISSN 0377-2217.
- Başar, G., Bhat, C. (2004). A parameterized consideration set model for airport choice: an application to the San Francisco Bay Area, *Transportation Research Part B: Methodological*. Volume 38, Issue 10, 889-904. ISSN 0191-2615.
- Christofides, N. (1976). *The Vehicle Routing Problem*.
- Durukan,O. (2014). Air Navigation Service Provider and State Airports Authority of Turkey. Retrieved October 26, 2015, from [http://www.dhmi.gov.tr/dosyalar/annualreport/2014/ANN\\_UAL\\_REPORT\\_2014.pdf](http://www.dhmi.gov.tr/dosyalar/annualreport/2014/ANN_UAL_REPORT_2014.pdf)
- Global Brand. (n.d.). Retrieved October 27, 2015, from <http://www.turkishairlines.com/en-int/corporate/history>
- Grosche, T., Rothlauf, F., & Heinzl, A. (2007). Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13, 175183.
- Hansson, T., Ringbeck, J., Franke, M. (2002). Flight for Survival: A New Operating Model for Airlines, s+b enews.
- Havacılık ve Uzay Teknolojileri. (2014). Retrieved October 25, 2015, from <http://www.udhb.gov.tr/images/faaliyet/a5ec26a31a72281.pdf>
- Marti, L., Puertas, R., Calafat, C. (2015), "Efficiency of airlines: Hub and spoke versus Point-to-Point", *Journal of Economic Studies*, Vol. 42 Iss 1 pp. 157 166. Pegasus History. (2015). Retrieved October 27, 2015, from [http://www.flypgs.com/en/about\\_pegasus/pegasus-history.asp](http://www.flypgs.com/en/about_pegasus/pegasus-history.asp)
- Rengaraju, V.R., Thamizh Arasan, V., 1992. Modeling for air travel demand. *Journal of Transportation Engineering* 118, 371–380.
- Russon, M.G., Riley, N.F., 1993. Airport substitution in a short haul model of air transportation. *International Journal of Transportation Economics* 20, 157–173.
- Sariklis, D., & Powell, S. (2000). A Heuristic Method for the Open Vehicle Routing Problem. *The Journal of the Operational Research Society*, 564-564.
- Sivrikaya, O., & Tunç, E. (2013). Demand Forecasting for Domestic Air Transportation in Turkey. *The Open Transportation Journal*, 7, 20-26.

- Srisaeng, P. (2015). Utilizing advanced modelling approaches for forecasting air travel demand: a case study of Australia's domestic low cost carriers (Doctoral dissertation, RMIT University).
- Suryani, E., Chou, S., Chen, C. (2010). Corrigendum to Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework [Expert Systems with Applications 37 (3) (2010) 2324-2339] , Expert Systems with Applications, Volume 37, Issue 8.
- Taşçı, D., & Yalçınkaya, A. (2015, August 1). Hava yolu Sektöründe Yeni Bir İş Modeli: Bağlı Düşük Maliyetli Hava yolu (Airline Within Airline) Modeli Ve Anadolujet Örneği Bağlamında Bir Karşılaştırma. Retrieved October 28, 2015, from <http://iibfdergi.ogu.edu.tr/makaleler/14505028> 10-2 AUSTOS 2015 Makale 0.pdf
- Wei, W., Hansen, M., (2006). An aggregate demand model for air passenger traffic in the hub-and-spoke network. Transportation Research Part A 40 (10), 841-851. Managing growth to ensure success over the long haul. From <http://www.lhconsulting.com/company/project/air-astana-climbing-to-a-new-growth-level>.

## **EKLER**

### **Ek-1**

#### **Kümeler:**

N: Şehir kümesi

A: Hat kümesi

K: Uçak kümesi

#### **Değişkenler:**

$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } ij \text{ hattı } k \text{ uçağı tarafından kullanıldıysa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$

$P_{ijk}$ :

$F_k$ : k uçağının günlük toplam uçuş süresi

$u_{ik}$ : i şehrinin k uçağı tarafından ziyaret edilme sırası

#### **Parametreler:**

$Q_k$ : k uçağının kapasitesi

$t_{ij}$ : ij hattı için uçuş süresi

$m$ : kullanılan uçak sayısı

$K$ : mevcut kullanılabilir uçak sayısı

$q_{ij}$ : ij hattı için talep miktarı

$p_{ij}$ : ij hattı için bilet fiyatı

$c_{ijk}$ : k uçağının ij hattında uçuş maliyeti

$a_k$ : gün başlangıcında k uçağının kalkış şehri

$T$ : her uçak için günlük en fazla uçuş süresi

$n$ : şehir sayısı

$L$ : yük faktörü

$$\max \sum_i \sum_j \sum_k (P_{ijk} \cdot p_{ij}) - (c_{ijk} \cdot X_{ijk}) \quad (1)$$

*s.t.*

$$\sum_j X_{ijk} = 1 \quad \forall k, i = a_k \quad (2)$$

$$\sum_j X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, k \quad (3)$$

$$\sum_j X_{ijk} = \sum_j X_{jik} \quad \forall k, i \neq a_k \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijk} \cdot t_{ij} = F_k \quad \forall k \quad (5)$$

$$F_k \leq T \quad \forall k \quad (6)$$

$$u_{ik} - u_{jk} - n \cdot X_{ijk} \leq n-1 \quad \forall k, i, j \in \{2, \dots, n\} \quad (7)$$

$$P_{ijk} \leq Q_k \cdot X_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (8)$$

$$P_{ijk} \geq Q_k \cdot X_{ijk} \cdot L \quad \forall i, j, k \quad (9)$$

$$\sum_k P_{ijk} \leq q_{ij} \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k \quad (11)$$

$$P_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j, k \quad (12)$$

$$F_k \geq 0 \quad \forall k \quad (13)$$

$$u_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k \quad (14)$$



# Ürün Farklılaştırma ve Ekstra Servis Fiyatlandırması

## AnadoluJet

### Proje Ekibi

Özge Açıkgöz  
Hande Altaş  
Harun Avcı  
Süleyman Buluş  
Selçuk Dilek  
Gülben Özcan

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Kemal Yılmaz  
AnadoluJet, İş Geliştirme Müdürü, Bölgesel Uçuşlar Bşk.

Mehmet Serhan Akın  
Bölgesel Uçuşlar Bşk./(AnadoluJet İş Geliştirme Md.), Uzman

### Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Kocabıyıkoglu  
Bilkent Üniversitesi, İşletme Fakültesi

## ÖZET

Hava yolu endüstrisinde yan gelir, son yıllarda yükselen bir eğilim haline gelmiştir. Düşük maliyetli hava yolu şirketleri başta olmak üzere dünyada birçok hava yolu şirketi, çeşitli yöntemlerle yan gelirlerinin artırmaya çalışmaktadırlar. AnadoluJet de Türkiye'deki birçok hava yolu şirketi gibi ek servislerle gelirini artırmayı hedeflemektedir. Bu projenin amacı ek geliri artırmak için yöntem ve pazara giriş stratejisi önermektir.

**Anahtar Kelimeler:** Yan gelir, fiyatlandırma, ürün farklılaştırma, hava yolu endüstrisi, ek servis

### 1. Şirket Tanıtımı

AnadoluJet, 28 Nisan 2008'de Türk Hava Yolları'nın alt markası olarak kurulmuştur. Şirketin %49,12'si Türkiye Cumhuriyeti'ne ait olup, %50,88'i halka açık kısım olarak arz edilmiştir. AnadoluJet düşük maliyetli hava yolu şirketi kategorisinde olup, 29 uçaklı filosuyla (26'sı Boeing 737-800) iki ana uçuş noktası olan Esenboğa ve Sabiha Gökçen Havaalanlarından yurt içinde 44 farklı noktaya uçuş hizmeti sağlamaktadır. Türkiye'de hava yolu taşımacılığına olan talebi arttırmak, AnadoluJet'in kuruluş amaçları arasında yer almaktadır.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Problem tanımı**

Düşük maliyetli hava yolu şirketleri gelirlerini, yan gelir kaynaklarından yararlanarak arttırmayı hedeflemektedirler. Yan gelir kısaca seyahat için ödenen bilet ücretinin ötesinde yolculardan, yolculuk öncesi ve sonrası hizmetler veya yolculuk esnası deneyimler karşılığında elde edilen gelir olarak tanımlanmaktadır. Dünyada yan gelir cirosunda fark edilebilir bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle düşük maliyetli havayolları yeni gelir kaynaklarından yararlanarak gelirlerini arttırmak zorunda kalmaktadırlar. AnadoluJet de bir düşük maliyetli hava yolu firması olarak, rakiplerinin gerisinde kalmamak için yan gelirlerini ek hizmetler sunarak arttırmak istemektedir. Yan gelirler literatürde genel olarak alakart özellikler, komisyon ürünleri, sadakat uygulamaları ve reklamlar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

Şu an var olan sistemde AnadoluJet sunduğu ek hizmetler olan, koltuk seçimi ve fazla bagajdan hatırı sayılır bir gelir elde etmemektedir. Şirket koltuk seçimini yolcularına herhangi bir ücret talep etmeden online check-in sırasında yaptırmaktadır. Fazla bagaj ücreti ise kilo başı olup, direk uçuşlarda 6 TL, aktarmalı uçuşlar için ise 8 TL'dir.

### **2.3 Proje kapsamı**

Bu projede alakart özellikler arasında olan koltuk seçimi ve fazla bagaj yan gelir hizmetlerine odaklanılmaktadır. Amaç bu ek servisler için en uygun fiyatı ve AnadoluJet'i rakiplerinden farklı kılabilecek nitelikte pazara giriş stratejileri belirlemektir. Bu stratejiler AnadoluJet'in koltuk seçimi ve fazla bagajdan elde edebileceği geliri arttırmayı hedeflemektedir. Şirket, koltuk seçimi hizmetini, diğer düşük maliyetli hava yolu firmaları gibi ücretlendirmek istemektedir. AnadoluJet uçak altı bagajında 15 kilografa kadar ve el bagajında 8 kilografa kadar herhangi bir ücret talep etmeyecektir. Bu sınırların üstündeki ekstra bagaj hakkını yolcular havaalanına varmadan önce satmak istemektedir.

### **2.4 Kısıtlar**

Müşteri memnuniyetini şu anki seviyede devam ettirmek gelirdeki muhtemel kaybı önlemek açısından oldukça önemlidir. Bu

sebeple, önerilecek olan stratejilerde fiyat, hedef kitlenin beklentilerine uygun olmalıdır. Yolcuların yeni ekstra hizmetler konusundaki algısı bu projede en önemli kısıttır.

Bir diğer kısıt ise rakip hava yolu şirketlerinin pazardaki mevcut uygulamalarıdır. Şirket daha önce böyle bir uygulamada bulunmadığı için rakip şirketlerin meydana getirdiği sınırlardan etkilenecektir. Bu sınırlar şirketin pazardaki gücünü devam ettirebilmesi için oldukça önemlidir.

### 3. Sektör Analizi

Yurt içi rakip firmaların var olan uygulamaları tablodaki gibidir;

Tablo-1: Yurt İçi Rakip Analizi

Yan Gelir Kaynakları		
	Fazla Bagaj	Koltuk Seçimi
Pegasus	+	+
AtlasJet	+	-
Onur Air	+	+
Sun Express	+	+
BoraJet	+	-

Ayrıca Pegasus bazı ek hizmetleri(uçuş sırasında yiyecek, koltuk seçimi, fazla bagaj ve esnek bilet gibi) paket halinde sunmaktadır. Müşteriler biletlerini internetten satın alırken, bu hizmetleri paket halinde alabildiği gibi ayrı ayrı da alabilmektedirler. Aynı uygulama, SunExpress ve OnurAir’da da mevcuttur. Fakat SunExpress fazla bagaj, uçuş sırasındaki yiyecekler ve koltuk seçimini satarken, OnurAir’da satılan paketler uçuş saati esnekliğini de içermektedir. AtlasJet herhangi bir paket önermemekle birlikte yolcularına rezervasyon hakkı tanımaktadır. Bunlara ek olarak, ek hizmetlerin fiyatı sabittir ve yolcuların bilet fiyatını aldıkları tarihlere göre değişmemektedir.

### 4. İzlenecek Yöntem ve Uygulamaları

#### 4.1 Fazla bagajın maliyet analizi

Rakip hava yolu şirketleri fazla bagajı havaalanına varmadan önce sattıkları için AnadoluJet de bu uygulamayı farklı satış kanalları

üzerinden satmak istemektedir. Projede amaç, rakiplerden farklı bir ürün sunarak kârı maksimize etmektir.

Bagajda ekstra maliyete sebep olan iki ana faktör bulunmaktadır. İlki uçaktaki bagaj ağırlığından kaynaklanan yakıt maliyetidir. AnadoluJet filosunda iki farklı uçak tipine sahiptir ve en çok kullanılan Boeing 737-800'dür. Bu sebeple, bu projede Boeing 737-800 üzerinden bir maliyet analizi yapılmış ve bagaj-maliyet ilişkisi bu uçak tipi üzerinden açıklanmıştır. Bir diğer maliyet faktörü ise kabin bagajının izin verilen ağırlığın üstünde olmasından kaynaklanan binış zamanındaki gecikmedir.

#### **4.1.1 Bagaj ağırlığının yakıt maliyetine etkisi**

Yakıt tüketim maliyeti havayollarında büyük bir etkiye sahiptir. Örneğin; küresel olarak jet yakıt maliyeti toplamdaki havayollarının masraflarının %26'sına denk gelmektedir[1]. Bu sebeple, hava yolu şirketleri yakıt kullanım verimliliğini arttırmayı hedeflemektedir. Yakıt tüketimi uçak tipine, uçak ağırlığına ve uçuş süresine göre değişmekte olduğu için projede bir seferde ekstra 1 kilogram taşımanın yakıt maliyetinin hesaplanması gerektiği ön görülmüştür.

TUIFly Nordic hava yolunun 2008 yılında yaptığı bir araştırmaya göre Boeing 737-800 tipli bir uçaktan 1 kilo ağırlık çıkarıldığında senelik \$144 tasarruf edilebilmektedir [2]. Şirket için yakıt ücreti \$700/mt'dir. AnadoluJet için bu fiyat \$487/mt'dir. Ayrıca, TUIFly Nordic şu anda 8 uçaklık filosuyla 23 farklı noktaya uçmakta olup bu uçuşların %75'i mevsimsel uçuşlardır. AnadoluJet ise 29 uçaklı filosuyla 44 farklı noktaya uçmaktadır.

Uçağın taşıma kapasitesini gösteren arz edilen koltuk kilometre (AKK), Aralık 2012 verilerine göre her iki şirket için de haftalık 88 milyon kilometre civarındadır[3][4]. AKK, arz edilen koltuk sayısı ve uçuş mesafesinin çarpımıyla hesaplanarak elde edildiği için Aralık 2012'deki yakıt tüketiminin her iki şirket için aynı olduğu sonucu gözlemlenmiştir. TUIFly Nordic TUI adı altına alınmış ve günümüzde uçak filosunda ve uçuş noktalarında hiçbir değişiklik bulunmamaktadır. AnadoluJet için ise AKK, 3 yılda 4.600 milyon km'den 10.603 milyon km'ye çıkmıştır[1]. Bu sebeple, projede AnadoluJet'in yıllık yakıt tüketim maliyeti TUIFly Nordic'in yıllık yakıt tüketim maliyetinin 2,5 katı olduğu varsayılmıştır.

Tablo 2- TUIFly Nordic ve AnadoluJet'in Boeing 737-800 uçak tipi için 1 kg'ın çıkarılmasından elde edilen yıllık kazanç

	TUIFly Nordic	AnadoluJet
Arz edilene koltuk kilometre	4,5 milyon (Tahmini)	10,6 milyar
Yakıt ücreti	700 \$/mt	487 \$/mt

1 kg'ın B737-800 için yıllık maliyeti	144 \$	<b>250,45 \$</b>
---------------------------------------	--------	------------------

Bu hesaplamaların sonucunda AnadoluJet'in Boeing 737-800 tipi uçağı için fazladan 1 kg'ın tahmin edilen yıllık maliyeti \$250,45 olup 32 uçaklı filoya sahip olan bu şirket her uçuşundan 1 kg'ın çıkarılmasıyla yıllık \$8.014 tasarruf edilebilir.

AnadoluJet'in yıllık ortalama uçuş sayısı 74.095'dir. Bu sebeple, fazladan 1 kg'ın bir uçuş için yakıt tüketim maliyeti \$0,108'dir.

#### **4.1.2 Kabin bagajının biniş süresine etkisi**

İzin verilen kabin bagaj sayısının biniş süresine etkisi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu konudaki analiz Nyquist ve Mcfaddenğ [5] tarafından yazılmış makaleden yararlanılarak yapılmıştır. Bu makaleye göre biniş süresinin toplam maliyete etkisi aşağıdaki formül ile açıklanabilir[5].

$$C = (((B * M) * D) * 365)$$

Formülde C yıllık toplam biniş süresi maliyetini, B ortalama biniş süresini (dakika), M uçağın yerde geçirdiği 1 dakikanın maliyetini, D ise günlük ortalama uçuş sayısını ifade etmektedir. Bu formülü AnadoluJet için uyguladığımızda, bir uçağın yerde bir saniye daha fazla zaman harcamasının yıllık maliyetinin \$22.105 olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Maliyet analizi sonucu, ekstra bagaj fiyatlandırmasında maliyet bazlı fiyatlandırma yapmanın en iyi strateji olmadığı belirlenmiştir. Aynı zamanda olası diğer fiyatlandırma stratejileri için de maliyetin bir kısıt oluşturmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

#### **4.2 Anket**

Ekstra servislerin fiyatlandırması konusunda müşteri tepkisini ölçmek amacıyla 4 Mart 2016 Cuma günü Ankara Esenboğa Havaalanı'nda bir anket çalışması yapılmıştır. Yapılan ankette yolcuların uçuş alışkanlıklarını ve tercihlerini anlamak amacı ile sorular sorulmuştur. Geçersiz ve tamamlanmamış anketler çıkarıldığında 310 adet başarılı anket gerçekleştirilmiştir.

##### **4.2.1 Örnekleme**

Şirket ile yapılan görüşme sonucunda yolcu profilini daha iyi yansıtmak için kota örnekleme tercih edilmiştir. AnadoluJet yolcuları çeşitli rotalara göre gruplandırılmış ve her rotadan belirli bir kota sayısında yolcu ile anket yapılması hedeflenmiştir.

##### **4.2.2 Anket soruları**

Anket 18 çoktan seçmeli ve 2 adet açık uçlu sorudan oluşmaktadır. İlk 6 soru yolcuların uçuş alışkanlıklarını tanımlamak amacı ile, sonraki 3 soru yolcuların ekstra bagaj kullarımlarını analiz

etmek amacı ile, sonraki 7 soru koltuk seçimi fiyatlandırması konusundaki yolcuların tepki ve düşüncelerini analiz etmek amacıyla sorulmuştur. Kalan sorular ise yolcuları demografik olarak tanımlamak amacı ile sorulmuştur.

Açık uçlu sorular yolcularının çeşitli koltuk seçimleri için ödemek istedikleri maksimum miktarı bulmak amacı ile sorulmuştur.

#### **4.2.3 Anket sonuç ve analizi**

Anket yapılan örneklemin yaş ortalaması 35 olarak ortaya çıkmıştır. Gelir düzeyi ortalamasına bakıldığında ise aylık 2.500 TL ve üzeri kazananların çoğunluk oluşturduğu görülmektedir.

Ankette yolcuların AnadoluJet'e ya da diğer hava yolu firmalarına olan sadakatleri incelenmiştir. Bu çalışma yeni getirilen ekstra hizmetlerin yolcuların hava yolu firması tercihlerini nasıl değiştirebileceğine dair çıkarımda bulunmaya yardımcı olmuştur.

Ankette incelenen bir diğer konu ise yolcuların hava yolu firması tercihlerinin arkasındaki etmenlerdir. Fiyat ve hizmet kalitesi yolcuların hava yolu firması seçimlerinde rol oynayan en önemli iki etmen olarak göze çarpmaktadır.

Yolcuların ekstra bagaj alışkanlıkları incelendiğinde, anketten çıkan sonuca göre, AnadoluJet yolcularının yaklaşık yüzde 20'lik bir kesimi yolculuklarında en az bir kere ekstra bagaj hakkını aşmıştır. Bu yolculara bagaj hakkı aşımında hangi tür fiyatlandırma politikasını tercih ettikleri sorulmuş ve bu konuda müşteri tercihleri verisi toplanmıştır.

Ankette sorulan soruların çoğu koltuk seçimi ile ilgili olarak sorulmuştur. Yolcuların koltuk seçimi yapıp yapmadıkları, eğer yapıyorlarsa koltuk seçmekteki nedenleri, çeşitli koltuklar için ödemeye razı oldukları maksimum tutar gibi sorular sorulmuştur. Müşterilerin farklı koltuk tipleri için ödemeye razı oldukları maksimum tutar bilgisi benzetim modelinde kullanılmıştır. Koltuk seçimi nedenlerinde ise cam kenarında oturmak ve çıkışa yakın olmak en çok tercih edilen nedenler olmuştur.

En değerli koltukları belirlemek amacıyla bir soruda yolcuların en çok tercih ettikleri ilk 5 koltuğu koltuk haritası üzerinde numaralandırmaları istenmiştir. Bu soruya verilen cevaplar doğrultusunda bir puanlama sistemi oluşturularak Ek-1'de görülen uçakta en çok tercih edilen koltukların haritası oluşturulmuştur.

Ankette cevap aranan bir diğer konu ise yolcuların biletlerini hangi satış kanallarından satın aldıklarıdır. Bu bilgi sayesinde ekstra hizmetlerin satışının hangi kanallardan başlaması gerektiğine karar verilmiştir. Anket sonucuna göre yolcuların çoğu biletlerini internette temin etmektedirler.

Ankette son olarak yolcuların sunulan iki ekstra hizmete ek olarak paket halinde hangi hizmet ya da hizmetleri tercih ettikleri

sorulmuştur. Anket sonucuna göre mil puanları en çok tercih edilen yan hizmet olmuştur.

### **4.3 Benzetim**

Uygulamaya başlanması düşünülen ekstra hizmetlerden elde edilecek beklenen gelir değerini tahmin etmek için iki farklı programda (Arena ve Matlab) benzetim modeli kurulmuştur.

#### **4.3.1 Matlab**

Matlab modeli ekstra bagaj fiyatlandırmasında iki farklı stratejiyi (paket satışı ve parça satışı) karşılaştırmak amacıyla oluşturulmuştur. Modelin geçerlemesi AnadoluJet'ten alınan yolcu başına düşen ortalama bagaj ağırlığı ve ekstra bagaj satışından kazanılan yıllık gelir baz alınarak yapılmıştır. İlk önerilen stratejide yolcular kendilerine sunulan ekstra bagaj hakkını aştıklarında, 5, 10 ya da 15 kiloluk ekstra paket haklarından kendileri için en uygun olanı seçmekte, ikinci stratejide ise bagaj hakkı aşımında yolcular ekstrasından 15 kiloluk ekstra bir parça bagaj hakkı satın almaktadırlar. Bu iki strateji, her seçeneğe farklı fiyatlar verilen farklı senaryolarda karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Ek-2'de görülen %95 güven aralıkları ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak her senaryoda paket satışından beklenen minimum gelir, parça satışından beklenen maksimum gelirden daha yüksek çıkmıştır.

#### **4.3.2 Arena**

Proje kapsamında Arena programı kullanılarak iki model üzerinde çalışılmıştır. Her ikisi de Ankara başlangıçlı uçuşlar için haftalık ekstra bagaj ve koltuk seçimi gelirlerini hesaplama amacıyla oluşturulmuştur. İlk model anket katılımcılarının sıklıkla kullandığı rotalar üzerinde çalışmaktadır. Sonuç olarak bu model, AnadoluJet'in bütün müşteri kitlesini değil, sadece anket örneklemini yansıtmaktadır. İkinci model ise ek gelirleri Ankara başlangıçlı bütün uçuşlar için anketten elde edilen verileri kullanarak hesaplamaktadır. Dolayısıyla, bu model müşteri davranışlarını ilk model kadar gerçekçi yansıtmayabileceği gibi ek geliri de ilki kadar doğru bir şekilde öngöremeyebilir.

Her iki benzetim modelinde de aynı mantık işlenmiştir. Başlangıç olarak müşterilerin günlük varış oranı (günlük uçuş sayısı\* doluluk oranı\* uçak kapasitesi) hesaplanmış, uçuş sayıları gerçek değerlere, doluluk oranı ise geçmiş verilere göre belirlenmiştir.

İkinci adımda ise her müşteriye anketten elde edilen olasılıklara göre biletini satın alacağı satış kanalı tayin edilmiştir. Bu hesaplama için ankette sadece AnadoluJet'i sıklıkla tercih ettiğini belirten katılımcıların yanıtları göz önünde bulundurulmuştur. Bu modelde, internet sitesi, mobil uygulama, acente, çağrı merkezi ve kontuar olmak üzere beş farklı satış kanalı bulunmaktadır. Daha sonra, koltuk seçimi için hedef kitle internet ve mobil uygulama kullanıcıları olduğundan bunları tercih

edecek müşteriler diğerlerinden ayrılmıştır. İnternet sitesi üzerinden satışın giriş stratejisi için etkili bir seçim olduğunun düşünülmesinin nedenleri anket sonuçlarına göre bu satış kanalının en çok tercih edilen kanal olması ve koltuk şemasının gösterimi açısından müşterinin kullanımında kolaylık sağlamasıdır. Mobil uygulama ise proje kapsamına şirketin isteği üzerine dâhil edilmiştir.

Bir sonraki aşamada ise koltuk seçimi için göz önünde bulundurulması gereken üç kısıt değerlendirilmiştir. Bunlar:(1) beş koltuk tipi için gelen talep, (2) kapasite ve (3) müşterilerin ödemeye razı oldukları en yüksek fiyattır. Beş koltuk tipi ise ön sıra, acil çıkış sırası, cam kenarı, koridor yanı ve orta sıra olarak belirlenmiştir. Benzetimde her müşteri için bu beş koltuk tipinden kısıtlar göz önünde bulundurularak belirlenen olasılıklarla hangisini seçeceği belirlenmiş ve bu koltuk tipinin fiyatı koltuk seçiminden elde edilen yan gelire eklenmiştir.

Modelin buraya kadar olan kısmı koltuk tipleri için farklı fiyatlar içeren 27 farklı senaryo ile denenerek talep kaybından kaynaklı gelirden düşüşü en aza indirgeyecek fiyat aralığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Modelin ekstra bagaj gelirini hesaplayacak kısmı için ise ilk olarak müşterilerin getirecekleri ekstra bagaj için bir olasılık fonksiyonu geçmiş verilere bakılarak oluşturulmuştur. Daha sonra her müşteriye bu olasılık fonksiyonuyla atanan ekstra bagaj ağırlığına göre üç farklı satış stratejisinden elde edilecek gelirler hesaplanmıştır. Bu ek servis için fiyat iyileştirme çalışması, talebin fiyattan nasıl etkileneceği yönündeki veri eksikliğinden dolayı yapılamamıştır.

Ekstra bagaj satışında kullanılacak üç yöntemin fiyatlarını belirlemek için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Kilogram satışı için mevcut uygulama takip edilirken, paket fiyatları pazarda yer alan tek uygulama temel alınarak belirlenmiştir. Parça satışı ise paket fiyatlarına bağlı kalınarak belirlenmiştir.

İki model de öncelikle, koltuk tipleri için ankette müşterilerin ödemeye razı oldukları en yüksek fiyatların ortalamalarına eşit olacak şekilde fiyatlar belirlenip 30 sefer çalıştırılmıştır. Bu tekrarlardan elde edilen sonuçlarla %95'lik güven aralıkları, Ek-3 ve Ek-4'te görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

### **5.Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

AnadoluJet'in yan gelirlerinin artırmak amacı taşıyan proje, şirketin isteği doğrultusunda iki ana yan gelir kaynağına odaklanmıştır: ekstra bagaj ve koltuk seçimi. Ekstra bagaj için yapılan çalışmalarda, maliyetin fiyatlandırmada bir kısıt oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Kurulan her benzetim modelinde paket satışı, parça satışından daha iyi sonuç vermiş, ancak mevcut uygulama kadar ek gelir sağlayamamıştır.

Koltuk seçiminde ise, farklı senaryolar denenerek yan gelir en yüksek değerine çıkarılmaya çalışılmıştır. Ancak, elde edilen fiyat



değerleri ilk giriş için pazardaki fiyatların üstünde olduğundan uygun görülmemiştir. Bunun için giriş stratejisi olarak bu değerlerden daha düşük bir fiyat önerilmiştir.

## **KAYNAKÇA**

- [1] “Turkish Airlines 01 January – 31 December 2014 Board Operational Report” [Online] [Accessed 21 February 2016]
- [2] “Evaluation of fuel saving for an airline” [Online] [Accessed 23 December 2015]
- [3] “Annual Analysis of the EU Air Transport Market 2012” [Online] [Accessed 21 February 2016]
- [4] “Top 50 Low Cost Carriers - ASKs/week - DECEMBER 2012 YEAR ON YEAR” [Online] [Accessed 21 February 2016]
- [5] David C. Nyquist, Kathleen L. McFadden, “A study of the airline boarding problem”, [Online] [Accessed 20 December 2015]

## EKLER

### Ek 1. Anket Sonucu Oluşturulan Koltuk Haritası

	A	B	C	D	E	F	
1	241	25	99				
2	345	37	131	76	12	191	2
3	239	14	64	51	1	155	3
4	147	8	32	23	0	88	4
5	86	11	14	19	0	43	5
6	77	8	15	8	4	46	6
7	76	3	0	7	7	51	7
8	76	1	3	2	4	50	8
9	27	10	0	0	5	63	9
10	33	1	0	6	2	26	10
11	27	3	2	8	3	32	11
12	35	0	0	5	0	20	12
13	30	0	4	15	0	32	13
14	106	7	19	36	5	90	14
15	161	19	69	66	9	134	15
16	47	6	19	10	6	48	16
17	44	0	4	2	0	43	17
18	24	0	0	0	0	27	18
19	14	2	2	0	2	8	19
20	9	1	7	5	4	6	20
21	10	1	2	1	0	3	21
22	6	0	0	0	3	2	22
23	15	0	0	2	0	14	23
24	9	0	0	3	0	5	24
25	12	0	1	1	0	5	25
26	6	0	2	2	0	16	26
27	5	0	0	0	0	4	27
28	13	0	0	5	0	4	28
29	15	0	6	1	0	14	29
30	21	0	4	6	0	13	30
31	15	0	7	5	0	20	31
32	61	0	24	22	1	48	32

## Ek 2. Matlab Modeli Güven Aralıkları

Senaryo	Paket Satışı	Parça Satışı	Seçim
<b>A</b>	[1.822.286, 1.826.337]	[1.771.137, 1.775.360]	Paket Satışı
<b>B</b>	[1.979.336, 1.984.361]	[1.900.537, 1.905.103]	Paket Satışı
<b>C</b>	[2.371.318, 2.375.921]	[2.080.363, 2.084.331]	Paket Satışı
<b>D</b>	[2.557.617, 2.563.345]	[2.454.216, 2.460.710]	Paket Satışı
<b>E</b>	[2.972.857, 2.980.139]	[2.453.819, 2.490.902]	Paket Satışı
<b>F</b>	[3.081.307, 3.089.305]	[2.592.291, 2.599.309]	Paket Satışı
<b>G</b>	[3.607.110, 3.618.718]	[2.648.603, 2.659.615]	Paket Satışı

### Ek 3. Model 1 Güven Aralıkları

Model1 Yan Gelir	Güven Aralığı En Küçük Değer	Güven Aralığı En Büyük Değer	Ortalama Gelir
Kilogram Satışı	267202.46 TL	270574.06 TL	268888.26 TL
Paket Satışı	183904.65 TL	186100.55 TL	185002.60 TL
Parça Satışı	172081.95 TL	174364.05 TL	173223.00 TL
Koltuk Seçimi Geliri	262111.96 TL	263732.38 TL	262922.17 TL

### Ek 4. Model 2 Güven Aralıkları

Model1 Yan Gelir	Güven Aralığı En Küçük Değer	Güven Aralığı En Büyük Değer	Ortalama Gelir
Kilogram Satışı	452200.52 TL	456013.22 TL	454106.87 TL
Paket Satışı	311215.57 TL	313707.43 TL	312461.50 TL
Parça Satışı	291295.93 TL	293810.33 TL	292553.13 TL
Koltuk Seçimi Geliri	443312.11 TL	445216.55 TL	444264.33 TL

## Montaj Bantlarına Malzeme Taşıma Sistemi Geliştirilmesi

# Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi İşletmesi

## Proje Ekibi

Deniz Aktürk  
Gözde Özlem Çınar  
Selin Konur  
Burak Kürkçü  
Serhat Özcan  
Dilara Pamukçi

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

## Şirket Danışmanı

Hakan Tolluoğlu  
Arçelik A.Ş., Endüstri Mühendisi

## Akademik Danışman

Prof. Dr. Hande Yaman  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi'nde, kenet tezgâhlarından montaj bantlarına taşıma yapan havadan konveyör sisteminin tam kapasitede çalışmaması ve montaj bantlarında, şirkete mali açıdan ciddi zararlara neden olan durmaların oluşması projenin ana odak noktasını oluşturur. Mevcut sistem, Arena programıyla benzetim modeli yapılarak montaj bantlarındaki kullanım oranları hesaplanmıştır. Alternatif konveyör sistemleri araştırılmış, çeşitli kriterlere göre en uygun olanı şirketin mevcut konveyör sisteminin yerini almak üzere şirkete sunulmuştur. Sunulan alternatif sistemler Arena'da benzetim modeli yapılarak performans değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Önerilen model üzerinde uygunluk, doğrulama ve sağlama kontrolleri yapılmış; uygulama planı hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Arena benzetim modeli, malzeme taşıma sistemleri, optimizasyon, sezgisel algoritma, geri ödeme süresi analizi.

### 1. Firma Tanıtımı

1993 yılında Ankara Sincan Organize Sanayi bölgesinde kurulan Arçelik Bulaşık Makinesi Fabrikası, 52 milyon dolarlık yatırımla üretim sektörüne girmiştir. Yılda 250 bin bulaşık makinesi üretmeyi hedefleyerek başlayan Arçelik, 2015'te üretim kapasitesini 2 milyona

çıkarmıştır. Fabrika bugün 4 farklı montaj bandında yaklaşık 4000 farklı tipte bulaşık makinesi üretebilmektedir. Müşteri memnuniyetini ve ürün kalitesini artırmak şirketin genel misyonunu oluşturmaktadır.

## **2. Proje Tanımı ve Analiz**

### **2.1 Mevcut sistem analizi**

Fabrikada 4 montaj bandı ve toplamda 8 kenet tezgâhından oluşan zone-1 ve zone-2 üretim alanları vardır. Üretim akışı zone-1, zone-2 ve montaj bantları doğrultusundadır. Üretim, bulaşık makinesinin hammaddesi olan çeliğin kalıplarda şekillenmesi ve çeşitli işlemlerden geçerek montaj bantlarında hortum, tuş, sele gibi ek aksesuarlarla birleştirilmesiyle gerçekleşir.

Kapasiteleri sırasıyla 1150, 400, 1200, 200 adet/vardiya olan montaj bantları 2015 yılında 88 tip bulaşık makinesi üretebilmiştir. 2004 yılında 2 montaj hattıyla 4 tip bulaşık makinesi üreten işletme 2015 yılı itibariyle, montaj hattı sayısını 4'e, gövde tipi sayısını ise 88'e yükseltmiştir. Bu hızlı ve büyük artışı sağlayabilmek için üretim sistemine eklemeler yapılmış; otoban ve konveyör sistemleriyle depolama alanı yaratılarak oluşan aksamalar giderilmeye çalışılmıştır.

Fabrikada 5 farklı tip taşıma ve depolama sistemi bulunmaktadır. Bunlar; ASRS (Automated Storage and Retrieval System), flowlink (havadan konveyör), otoban, yerden manuel taşıma ve EMS (Electric Monorail System)'dir. Fabrikada özellikle ürünlerin taşınması şu şekilde gerçekleşmektedir: İç gövdeler flowlink, otoban ve yerden taşıma ile; yan duvar, dış kapı ve küçük mekanik parçalar ise forkliftlerle taşınmaktadır. Otomasyon sistemiyle taşınan parçalar gövde, iç kapı ve boyalı parçalardır. Fabrikadaki ürünlerin farklı taşıma sistemleriyle akış rotası Ek 1'de görülmektedir.

### **2.2 Bulgu ve şikâyetler**

Arçelik BMİ, taşıma sistemleri açısından incelendiğinde karşılaşılan en büyük problemin montaj bantlarındaki istenmeyen durma zamanları olduğu saptanmıştır. Durma zamanının her bir dakikasının şirkete yarattığı maliyet her montaj hattı için farklı olmak üzere 110-150 Euro'dur. Bu durum firmanın taşıma sistemine dair en büyük şikâyetidir. 2015'te montaj hattı 1'de 1912 dakika, montaj hattı 2'de 870 dakika, montaj hattı 3'te 1340 dakika ve montaj hattı 4'te 375 dakika taşıma sistemlerindeki problemlerden kaynaklı durma zamanı gözlemlenmiştir. Bu durma zamanları şirkete yaklaşık olarak 600.000 Euro'ya mal olmuştur.

Kapasitesi 1300 olan flowlinkin kapasitesinin sadece 800'ünü kullanabiliyor olması da BMİ işletmesinin şikâyetlerinden birini oluşturmaktadır. Flowlinkin 20 yaşında olması sebebiyle sık sık gerçekleşen askı çarpışmaları ve bazı rayların gevşemiş olması flowlinkin kapasitesini düşüren ve iş güvenliği bağlamında tehlike yaratan bir unsurdur. 2015 yılında 228 adet askı çarpışması taşınan

gövdelerin kullanılamaz hale gelmesine neden olmuştur. Bununla birlikte flowlink için izlenebilirliğin hiçbir şekilde sağlanamaması, belli bir anda hangi ürünün nerede olduğunun saptanamaması ve flowlink üzerinde kaç parça ürün olduğunun otomatik bir şekilde kayda geçirilememesi şirketin şikâyetleri arasındadır.

Yerden taşıma sistemi değerlendirildiğinde ise insan kaynaklı problemlere de sık sık rastlanmaktadır. Manuel taşımada taşınan malzemelerin yanlış hatlara gitme olasılığı her zaman mevcut olup bu yanlışlıklar hatların düzenini bozmaktadır. Son olarak, otoban en güvenilir ve şikâyet edilmeyen sistem olarak kabul edilse de, depolama açısından yetersiz olması (350 gövde kapasitesi) ve yalnızca montaj hattı 3'e hizmet etmesi nedeniyle yeterli görülmemektedir.

### **2.3 Problem tanımı ve kapsamı**

**Problem Tanımı:** İç gövdelerin montaj hatlarına taşınması sırasında oluşan, taşıma sistemlerinden kaynaklı hat durması probleminin yeni bir taşıma sistemi geliştirilerek çözülmesidir.

İç gövde parçalarının montaj hatlarına taşınması için yeni bir taşıma sisteminin geliştirilmesi projenin ana kapsamını oluşturmaktadır. Metot belirlendikten sonra bu metodun benzetim modeline entegre edilmesi ve mevcut sistemle karşılaştırdıktan sonra yeni bir sisteme karar verilmesi de projenin kapsamında yer almaktadır. Projenin ekonomik analizi dâhilinde geri ödeme süresi hesaplamaları yapılmıştır.

Projenin temel amacı taşıma sisteminden kaynaklı durma zamanlarını en aza indirmektir. Projenin ikincil hedefleri ise fabrikada bulunan zone-1 tezgahları için optimizasyon yardımıyla bir kurulum karar mekanizması geliştirmek ve ayrıca sisteme izlenebilirlik sağlayacak bir araç tanımlanmasıdır.

### **2.4 Geri ödeme süresi analizi**

Mevcut sistem değerlendirilirken, flowlinkin sistemde kalıp kalmaması gerektiğine karar vermek amacıyla geri ödeme süresi analizi yapılmıştır. Bu analizi yapmak için oluşturulan model belirli parametreler içermektedir:

*x: Zaman (Flowlinkin kaçınıcı yılında olduğunu göstermektedir.)*

*f(x)= x yılında flowlink yüzünden meydana gelen duraksamaların sebep olduğu üretimdeki gecikmeler*

*u(x)= x yılında çarpışma sonucu zarar gören iç kapıların maliyeti*

*z= Hurdaya çıkan yani artık kullanılmayacak olan flowlinkin satışı sonucu elde edilen tutar (Bu miktar fabrikanın bu makinenin tüm parçalarını satacağı düşünülerek belirlenmiştir.)*

*f(x)* parametresi, gelecekte meydana gelecek sistem duraksamaları Weibull dağılım fonksiyonu dediğimiz hata oranı dağılımı  $\alpha=0.5$  parametresiyle modellenmiştir. 1. montaj hattında meydana gelen duraksamaların sebep olduğu maliyet, 133.7



Euro/dk'dır.  $u(x)$  değeri hesaplanırken, geçtiğimiz yıl zarar gören toplam iç kapı sayısı ve her bir iç kapının maliyeti doğrultusunda  $228*14 = 3192$  Euro değeri elde edilmiştir. Yapılan modelde bu değer gelecek yıllar için de aynı kalacak şekilde varsayılmıştır.  $z$  değeri ise makinenin ihale usulü satılacağı varsayılarak tam olarak bir değer belirlenemediğinden 0 olarak alınmıştır. Şirketin benzer sistemi alıp uygulamasının yaklaşık olarak 800.000 Euro olacağı varsayılmıştır. Tüm bu esaslar doğrultusunda oluşturulan denklemler ve model Ek-2'de görülebilir.

Sonuç olarak, yapılacak yeni yatırımın geri ödeme süresi 5 yıl olarak bulunmuştur. Flowlinkin kullanım ömrünün 20 sene olduğu düşünülürse; flowlinkin sistemden çıkarılıp yerine başka bir sistemin getirilmesinin daha karlı bir yatırım olduğu kanısına varılmıştır.

### 3. Literatür Taraması

Çeşitli yazılı ve internet kaynaklarının araştırılması sonucunda üretim sistemlerinde kullanılan 2 temel tip konveyör olduğu saptanmıştır. Bunlar; havadan ve yerden konveyörlerdir. Sistemde var olan konveyör tipi havadan konveyör grubuna girmektedir. Havadan taşıma konveyörleri de *power and free* ve *trolley* konveyör olmak üzere ikiye ayrılır. Havadan taşıma konveyörleri sistemdeki her yere ulaşma esnekliğini sahiptir. Ayrıca, yerdeyken yükleme/boşaltma işlemleri yapıldıktan sonra tekrar havaya kaldırılabilir olmaları sebebiyle en çok tercih edilen konveyör tipleri arasında yer alırlar. *Power and free* konveyörler üzerlerindeki herhangi bir bölüm, tüm sistemi durdurmaya gerek duymadan durdurulabilme ve müdahale edilebilme özelliğine sahipken *trolley* konveyörlerinde böyle bir esneklik bulunmamaktadır. Buna ek olarak, *power and free* konveyörleri üzerinde stok tutabilme özelliği bulunurken *trolley* konveyörlerde böyle bir özellik mevcut değildir. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında literatür taraması *power and free* konveyör sistemlerine odaklanarak gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması şu kriterler baz alınarak hazırlanmıştır: Maliyet, taşıma ve stok kapasitesi ve uygulanabilirlik.

Arçelik'in kaliteye verdiği önem göz önüne alınarak yapılan geniş literatür taraması sonucunda, malzeme taşıma sistemleri piyasasındaki en büyük 3 konveyör üretici firma Caldan Conveyor A/S, Amber Industries Ltd ve Automatic Systems Inc olarak bulunmuştur. Bu 3 firmadan seçilen 6 konveyör tipi derinlemesine incelenmiş ve bu incelemenin neticesinde konveyörlerin *trolley* kapasiteleri ve uygulanabilirlik özellikleri göz önüne alınarak baştaki 6 konveyör tipi 3 benzer seçeneğe indirilmiştir (Ek 3). Bu 3 konveyörün birbirinden farklı olan tek özelliği farklı *trolley* kapasitelerine sahip olmalarıdır. Seçilen firmalar farklı sektörlerdeki üretim tesislerine satış yaptıkları için *trolley* kapasiteleri farklı ürünler için tasarlanmıştır. Bulaşık makinesi işletmeleri için uygun görülen *trolley* kapasitesi düşünüldüğünde Arçelik

BMI'ye tavsiye edilen konveyör, Amber Industries Ltd. şirketindeki Autotrack 50 markalı konveyördür. Seçilen makinenin yük kapasitesinin diğerlerine oranla daha düşük olması şirkete aynı zamanda enerji tasarruflu bir çözüm kazandırmış olacaktır.

Yukarıda belirtilen izlenebilirlik problemi için ise malzeme taşıma sistemine yerleştirilebilecek izleme makinesi araştırılmasında bulunulmuştur. Bakım onarım sistemleri üzerine çalışan Artesis şirketinin bir ürünü olan Motor Condition Monitor (MCM) kolay yerleştirilebilir ve tüm konveyör çeşitlerine uygulanabilir olması bakımından en çok tercih edilen monitör aracıdır. Sistemdeki anlık hataları saptayabilen ve konveyör üzerindeki ürün sayısını sayabilen bir araç olarak Arçelik BMI'de kullanılması önerisi şirkete sunulmuştur.

#### **4. Önerilen Modelin Ekonomik Analizi ve Optimizasyonu**

##### **4.1 Önerilen sistemin geri ödeme dönemi analizi**

Önerilen sistemin ekonomik getirisi (flowlinkin kaldırılması gerektiği daha önceki geri ödeme analizi ile gösterilmiştir) yeni bir geri ödeme analizi ile gösterilmeye çalışılmıştır.

Bu modelde getirisi ve maliyeti olan bir takım hususlar listelenmiş ve daha sonra bu hususlar doğrultusunda yeni bir model oluşturulmuştur. Önerilen sistemin sebep olduğu tek maliyet, sistemi yenileme maliyeti olarak belirlenmiştir. Getiriler ise;

- 1.montaj hattında flowlinkin sebep olduğu hataların yeni sistemde olmayacağı,
- Forkliftlerin 2. ve 4. montaj hatlarında sebep olduğu hataların yeni sistemde olmayacağı (3. montaj hattı otoban sistemine sahip olduğundan bu değişiklikten etkilenmeyecektir.),
- Flowlink yüzünden meydana gelen iç kapılardaki çarpışmaların yeni sistemde olmayacağı,
- Yeni sistemde azalan forklift sayısının daha az işçi gerektirmesi ve işçi sayısında azalmanın olacağı yönünde hesaplanmıştır.

Önceki geri ödeme süresi analizinden farklı olarak, bu sistemde duraksamaların ve hataların olmayacağı varsayılmayacağından ve sistemin gelecekteki davranışını gözlemlemek açısından, bu sistem için bir de bozulma fonksiyonu oluşturulmuştur. 2. montaj hattı için, toplam boşa geçen zamanlara, teknik ve insan kaynaklı hatalara bakılmıştır. Hattın 1150 dakika durduğu bilinmekte olup, gelecekte bu sürenin artacağı veya azalacağı bilinmediğinden, bu sayının sabit kalacağı yönünde modelleme yapılmıştır. 2. montaj hattı için boşa geçen sürenin sebep olduğu maliyet 46.51 Euro/dk olarak bulunmuştur. 4. montaj hattı için de aynı hesaplamalar yapıldığında bu hattın duraksama maliyeti ise 23.26 Euro/dk olarak belirlenmiştir. İşçi sayısının azalması sonucu elde edilen gelir ise 225.000 Euro olarak hesaplanmıştır. Sistemi yenileme maliyeti de önceki modelde olduğu gibi 800.000 Euro olarak modele

eklenmiştir. Tüm bu esaslar doğrultusunda oluşturulan denklemler ve model Ek-4'te görülebilir.

Model sonucunda yapılacak olan bu yatırımın üç sene içinde geri ödemesini tamamlayacağı bulunmuştur. Önerilen sistemin de gelecek 20 yıl boyunca kullanılacağı düşünüldüğünde, flowlinkin ve forkliftlerin önerilen yeni sistemle değiştirilmesi gerektiği şirkete önerilmiştir.

#### **4.2 Zone-1 tezgâhlarının kurulum optimizasyonu**

Proje, temel olarak zone-2 tezgâhlarıyla üretim bantları arasındaki malzeme taşıma sistemlerinin geliştirilmesini hedeflemektedir. Bununla birlikte bu bölümde zone-2 tezgâhlarını besleyen zone-1 tezgâhlarının kurulum optimizasyon problemini çözmek için bir model ve modelin çözümü için sezgisel bir metod önerilmektedir.

Fabrikada üç tane zone-1 tezgâhı bulunmaktadır (Kenet 1, 3 ve 6) ve bu kenetler beş tane olan zone-2 tezgâhlarına ürün sağlamakla görevlidir. Bu kenetlerin her biri iki farklı zone-2 tezgâhına göre kurulum yapabilmektedir. Bununla birlikte bir zone-1 tezgâhı 2 saatlik bir zaman diliminde sadece bir ürüne göre kurulum yapabilmekte ve bir ürün aynı anda sadece bir zone-1 tezgâhından üretilmektedir (fabrika koşulları, bir zone-2 tezgâhının aynı anda iki zone-1 tezgâhına bağlanmasına izin vermemektedir). Bu kısıtlar dâhilinde, zone-2nin taleplerini karşılayacak; aynı zamanda kurulum ve depolama maliyetini minimize edecek bir model geliştirilmiştir. Bu model ve modeldeki parametreler sırasıyla Ek 5 ve Ek 6'da bulunmaktadır.

Modelin çözülebilmesi için bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu metoda göre,  $i=0$ 'ıncı süreden başlayarak her  $i$  süresi için Kenet 2, 4 ve 5'te bir talep varsa bu talebe karşılık gelen zone-1 tezgâhı o süredeki o türe göre kurulum olacaktır. Diğer zone-1 tezgâhları ise stok miktarı az olan Angora tezgâhına kurulacaktır. Eğer bir zone-2 tezgâhının stok miktarı günlük kalan talebi geçerse o ürüne kurulum yapılmayacaktır. Bu metod, kullandığımız standart üretim planı üzerinde kullanılmıştır. Sonuç olarak zone-1'ler için oluşturulan kurulum planı Ek 7'deki tabloda görülebilir.

Bu plana göre zone-1 tezgâhlarında toplamda 9 kurulum yapılacak olup (her bir zone-1 kenetinde üç kurulum), Kenet 1, 3 ve 6 çıktıları toplamda sırasıyla 491, 186 ve 1318 birim depolama alanını kaplamaktadır (bir birimin maliyeti 1.5 Euro olup, her kurulum 40 Euro maliyetlidir). Bunun sonucunda toplamda 3352.5 Euro maliyet yansıtılacaktır. Bu maliyet, belirtilen üretim planına göre bulunmuş olup verilen sezgisel model ile farklı üretim planları için de zone-1 tezgâhlarının kurulum planları kolaylıkla oluşturulabilecek ve maliyet hesaplamaları yapılabilecektir.

#### **5. Önerilen Sistem**

2. kısımda görüldüğü gibi, flowlink şirket için bir maliyet kaynağıdır ve alternatif bir taşıma sistemi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, mevcut taşıma sistemlerinden biri olan flowlinkin dâhil olmadığı iki alternatif taşıma metodu geliştirilmiştir.

### **5.1 Önerilen sistemin girdi ve çıktıları**

Arena benzetim modellerinde fabrikada mevcut olarak kullanılan üretim planı baz alınmıştır (Ek 8). Girdi olarak kullanılan değerler kenet tezgâhlarının ve montaj hatlarının çevrim süreleri, talep edilen üretim miktarları ve üretim kapasiteleridir. Çıktılar ise montaj hatlarının kullanım oranları, ürünlerin sistemde geçirdikleri toplam bekleme süreleri ve sistemde bulunan toplam ürün sayısıdır.

### **5.2 Ana bileşenler ve önerilen sistem tanımı**

Raporda birbirinden farklı ana bileşenlere sahip 2 adet model önerilmektedir. Model A olarak adlandırılan ilk modelde 2 adet taşıma sistemi kullanılmaktadır. Bunlardan biri otoban diğeri ise yerden taşımadır. Sonuç olarak bu modelde, mevcut sistemde flowlink ile taşınan ürünler yerden manuel bir şekilde taşınmaktadır. Model B olarak isimlendirilen 2. modele bakıldığında ise tüm ürünler havadan otomatik taşıma sistemi ve otoban ile taşınmaktadır. Bu modelde yerden manuel taşıma sistemi kullanılmamaktadır.

Önerilen ilk modelde 2 adet depo alanı bulunmaktadır. Bunlar otoban sisteminin deposu (350 adet) ve yerde depolama alanıdır. Önerilen 2. modelde ise havadan otomatik taşıma sisteminin 1500 adetlik ürün depolama özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Bunun dışında 350 adet depo kapasitesine sahip olan otoban da düşünüldüğünde toplam depolama kapasitesi 1850 adede ulaşmaktadır.

### **5.3 Çözüm yaklaşımları**

Mevcut sistem üzerine yeni bir çözüm geliştirilebilmesi için dikkat edilmesi gereken unsurlar uygulanabilirlik, yeni taşıma sisteminin kurulma ve sürdürülme maliyeti ve montaj hatlarının kullanım oranlarıdır. İlk olarak, Model A'ya bakılacak olursa yerde depolama ihtiyacının artması ve fabrikanın sınırlı bir alana sahip olması nedeniyle bu modelin uygulanabilirliği kontrol edilmiştir. Eğer model bu anlamda uygulanabilir olarak değerlendirilse, tüm ürünleri yerden taşımak için gerekli olan fazladan 14 işçinin maliyeti ve montaj hatlarının kullanım oranları incelenecektir. Model B'ye bakıldığında ise flowlink kaldırıldıktan sonra yeni havadan otomatik taşıma sistemini kurmak için yeterli alan olup olmadığı incelenecekler arasındadır. Eğer yeterli alan olduğu tespit edilirse, şirket ile birlikte çalışılarak bu taşıma sistemi için uygun teklifler alınacaktır.

## **6. Modelin Değerlendirilmesi**

### **6.1 Uygulanabilirlik**

Daha önce belirtildiği gibi, Model A'da gövde taşıyan 1 işçi, montaj hatlarının taleplerini karşılamakta yetersizdir ve model

uygulanabilir değildir. Arçelik, üretim taleplerini karşılayabilmek için toplamda 15 işçiyi gövde taşıma için bünyesinde barındırmalıdır. Bu şartın sağlandığı varsayıldığında dahi, fabrikanın kapalı alan kısıtı ve gövde taşımadan sorumlu işçiler için yolların yetersizliği göz önüne alındığında modelin uygulanabilir olmadığı sonucuna ulaşılır. Ayrıca fabrikada mevcut sistemde flowlink üzerinde stok tutulmaktadır. Model A'da flowlink kaldırılıp yerine yerden taşımanın tercih edilmesi ve alan yetersizliği sebebiyle kapasite sorunları doğacaktır. Model B'de ise yerden taşımanın kaldırılması ve flowlink yerine benzeri bir havadan taşıma sisteminin yerleştirilmesi, stok ve kapalı alan kısıtlarının getirdiği problemleri ortadan kaldıracaktır.

### **6.2 Doğrulama ve sağlama**

Sistemin doğrulama ve sağlamanın yapılması için farklı tekniklere başvurulmuştur. İlk olarak, benzetim modeline ait çıktıların fabrikada var olan sistemle örtüştüğü görülmüştür. Fabrikanın mevcut üretim sürecini doğru olarak yansıttığını analiz edebilmek amacıyla gerçek zamanlı görsel animasyon hazırlanmıştır. Son olarak, projeye ait tüm girdiler ve çıktılar şirketteki danışman tarafından kontrol edilmiştir.

### **6.3 Benzetim modeli**

Sonuçları daha iyi değerlendirmek için kullanım oranları, ürünlerin bekleme süreleri ve sistemde bulunan toplam ürün sayısı karşılaştırmalı olarak tablolar halinde verilmiştir (Ek 9). Tablo 1'de, montaj hatlarının kullanım oranları karşılaştırmalı olarak incelenebilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere, montaj hatlarının kullanım oranları Model A'da gözle görülür bir oranda azalmıştır. Bu şartlar altında Model A önerilen çözüm olarak devam edememektedir. Model B incelendiğinde, kullanım oranlarındaki artış göze çarpmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alınarak, raporun sonraki kısmı için sadece Model B önerilecektir.

Şirketlerin, ürünlerin toplam bekleme süresini en aza indirme istemi, bunu, proje kapsamındaki değerlendirme kriterleri açısından oldukça önemli kılmaktadır. Tablo 2'de ürün bazında toplam bekleme süreleri karşılaştırmalı olarak incelenebilir. Model B'deki ürünlerin toplam bekleme süreleri arzu edileceği gibi mevcut sistemle karşılaştığında daha düşüktür.

Sistemdeki toplam ürün sayısı minimuma indirilmesi gereken diğer bir kriterdir. Yüksek sayıda ürün üreten fabrika daha fazla alana ihtiyaç duyar ve bu durum montaj hatlarındaki ürün kuyruklarının artmasına sebebiyet verebilir. Aynı zamanda üretim maliyetleri göze alındığında risk daha da artar. Tablo 3'te, sistemde bulunan toplam ürün sayıları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Model B'nin sistemde bulunan toplam ürün sayısı, fabrikanın mevcut sistemine göre daha azdır.

Kııacası Model B, daha az riskli ve daha az maliyetlidir; çünkü sistemde aynı anda daha az gövde tutulur.

### **7. Uygulama Planı**

Yeni taşıma sisteminin hayata geçirilmesinde izlenecek adımlar şu şekildedir:

1. Mevcut alanın ölçümünün yapılması
2. Gerekli hat uzunluğunun tespit edilmesi
3. Hat üzerinde kaç adet *trolleye* ihtiyaç olduğunun belirlenmesi
4. Her *trolleyde* kaç adet gövde taşınacağına belirlenmesi
5. Üretici şirketten fiyat alınması

### **8. Genel Değerlendirme**

Proje sonucunda şirketin uzun dönemdeki karlılığını artıracak bulgulara ulaşılmıştır. Öncelikli olarak zone-2 ve üretim tezgâhları arasında hatlarda duruşa yol açacak malzeme temin sistemindeki sıkıntılar tespit edilmiş ve bu sistemin bir parçası olan flowlinkin değiştirilmesi önerilmiştir. Flowlink ve manuel yerden taşımaya alternatif olabilecek taşıma sistemleri detaylı olarak yapılan literatür taraması ile araştırılmış ve sonuç olarak üç üretim hattına hizmet edebilecek yeni bir *power and free* konveyör önerilmiştir. Bu sistemin, şirketin karlılığını artıracığı ekonomik geri ödeme analiziyle gösterilmiştir. Sistemin fiziksel olarak monte edilmesi mümkün olmadığından sistemin benzetim modeli, Arena modeli kullanılarak yapılmıştır. Önerilen sistemin üretim hatlarının verimliliğini artıracığı ve gelen ürünlerin ortalama bekleme sürelerini azaltacağı gösterilmiştir. Bunlara ek olarak fabrikanın zone-1 tezgâhlarındaki kurulum karar problemi çözülmüş ve farklı üretim planlarında kullanılacak bir sezgisel metot önerilmiştir.

## KAYNAKÇA

- "Amber Install Overhead Solution for Moving Rubber." Amber Install Overhead Solution for Moving Rubber. <http://www.amber-industries.ltd.uk/news20.html>. Son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.
- "Artesis Motor Condition Monitor (MCM)." Motor Condition Monitor (MCM). <http://www.artesis.com/products/mcm/>. Son erişim tarihi: 22 Aralık 2015.
- "ASI Overhead Power & Free Conveyors - 3, 4 & 6 Inch." ASI. <http://www.asi.com/auto-industrial/overhead-conveyors/power-free.php>. Son erişim tarihi: 23 Aralık 2015.
- "Autotrack Power and Free Conveyor Systems." Amber Industries. <http://www.amber-industries.ltd.uk/overhead-conveyor-autotrack.html>. Son erişim tarihi: 22 Aralık 2015.
- Caldan Conveyor A/S. [http://www.caldan.dk/sites/default/files/TechSpecsPDF/PF200\\_uk.pdf](http://www.caldan.dk/sites/default/files/TechSpecsPDF/PF200_uk.pdf). Son erişim tarihi: 22 Aralık 2015.
- Kelton, W. David, and Randall P. Sadowski. Simulation with Arena. 4. Basım. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2007.
- "Manufacturing Operations Management." MOM– Software: Siemens PLM Software. Siemens. <http://www.plm.automation.siemens.com/mom/index.shtml#lightview&uri=tcm:1466-236238&title=Manufacturing-Operations-Management-Fact-Sheet&docType=pdf>. Son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.
- Meyers, Fred E., and Matthew P. Stephens. Manufacturing Facilities Design and Material Handling. 3. Basım. Columbus, Ohio: Pearson Prentice Hall, 2005.
- Nahmias, Steven. Production and Operations Analysis. 4. Basım. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2001.
- "P&F140 - Power & Free." YouTube. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=SYBBjoJpIzo>. Son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.
- "Rexroth TS5 Powered Roller Conveyor System." YouTube. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=vA3RfpPSHus>. Son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.

## EKLER

### Ek 1. Zone-2'den montaj bantlarına gövde parçalarının taşınma rotası.

	Montaj Hattı 1	Montaj Hattı 2	Montaj Hattı 3	Montaj Hattı 4
Angora 1	flowlink veya yerden taşıma	yerden taşıma	yerden taşıma	yerden taşıma
Angora 2	flowlink veya yerden taşıma	yerden taşıma	otoban veya yerden taşıma	yerden taşıma
Kenet 5	yerden taşıma	yerden taşıma	otoban veya yerden taşıma	yerden taşıma
Kenet 2	yerden taşıma	yerden taşıma	yerden taşıma	yerden taşıma
Kenet 4	yerden taşıma	yerden taşıma	yerden taşıma	yerden taşıma

### Ek 2. Ekonomik Model 1.

$$m(k) = \alpha b k^{b-1}$$

$$m(k) = 1.586 * k^{2.172}$$

$$f(x) = (133.7) * \left( \int_{20}^x 1.586 * (k^{2.172}) dk \right)$$

$$u(x) = \int_{20}^x 3192 dk$$

Amaç fonksiyonu:  $\min(x)$

Kısıtlar:

$$f(x) + u(x) + z - 800,000 \geq 0$$

x: integer

Amaç fonksiyonu:  $\min(x)$

Kısıtlar:

$$133.7 \left( \int_{20}^x 1.586 * (k^{2.172}) dk \right) + \left( \int_{20}^x 3192 dk \right) - 800,000 \geq 0$$

x: tamsayı

### Ek 3. Monte edilebilecek potansiyel konveyör sistemleri.

	Uygulanabilirlik	Trolley Kapasitesi (kg)
Caldan P&F 200	Var	400
Amber Autotrack 50	Var	100
ASI 3"-size Autoflex	Var	450

### Ek 4. Ekonomik Model 2.

i.  $C1 \left( \int_{20}^x f(x) - \int_0^{x-20} f(x) \right)$



$$=133.7 * (\int_{20}^x 1.586 * (k^{2.172}) dk) - \int_0^x 1.586 * (k^{2.172}) dk$$

$$\text{ii. } C2 (\int_{20}^x S2 - \int_0^{x-20} f(x))$$

$$=(50 * (400/430)) * (\int_0^x 1150 dk - \int_0^x 1.586 * (k^{2.172}) dk)$$

$$\text{iii. } C4 (\int_{20}^x S4 - \int_0^{x-20} f(x)) =$$

$$(50 * (200/430)) * (\int_0^x 560 dk - \int_0^x 1.586 * (k^{2.172}) dk)$$

$$\text{iv. } u(x) = \int_{20}^x 3192 dk$$

$$\text{v. } \int_{20}^x 225000 dk$$

**Amaç fonksiyonu min(x)**

**Kısıtlar:**

$$\text{vi. } 133.7 * (\int_{20}^x 1.586 * (k^{2.172}) dk) - \int_0^{x-20} 1.586 * (k^{2.172}) dk +$$

$$(46.51) * (\int_0^{x-20} 1150 dk - \int_0^{x-20} 1.586 * (k^{2.172}) dk) + (23.26) * (\int_0^{x-20} 560 dk - \int_0^{x-20} 1.586 * (k^{2.172}) dk) + \int_{20}^x 225000 dk +$$

$$\int_{20}^x 3192 dk - 800000 \geq 0$$

$$x \geq 20$$

x: tamsayı

**Ek 5. Optimizasyon Modeli**

**Kümeler:**

I = {1, ..., 4} Periyot

J = {1, ..., 5} Ürün Türü: Angora 1, Angora 2, Kenet 5, Kenet 2, Kenet 4

K = {1, ..., 3} Zone-1 Tezgahı: Kenet 1, Kenet 3, Kenet 6

**Karar Değişkenleri:**

Mijk = Periyot i'de ürün türü j için zone-1 tezgâhı k'da ilk kurulum kararı

Yij = Periyot i'de ürün türü j için depodaki ürün miktarı

Xijk = Periyot i'de ürün türü j için zone-1 tezgâhı k'da kurulum kararı

**Parametreler:**

K = Kurulum maliyeti = 40 Euro

C = Depolama Maliyeti = 1.5 Euro

Dij = Periyot i'de ürün türü j için olan talep

Ajk = Bir periyot içerisinde Ürün türü j den Zone-1 tezgâhı k'da üretilebilecek ürün miktarı

Rjk = Zone-1 tezgâhı k'da kurulum zamanına denk gelen ürün türü j miktarı

**Amaç fonksiyonu:**  $\min \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^4 \sum_{k=1}^3 (K * Mijk + C * Yij)$

**Kısıtlar**

$$\sum_{k=1}^3 Xijk \leq 1, \quad i \in I, j \in J$$

$$\sum_{j=1}^5 X_{ijk} \leq 1, \quad i \in I, k \in K$$

$$\sum_{k=1}^3 A_{jk} * X_{ijk}$$

$$- \sum_{k=1}^3 R_{jk} * M_{ijk} + Y_{ij} - Y_{(i+1)j} = D_{ij}, \quad i \in I \setminus \{4\}, j \in J$$

$$M_{ijk} \geq X_{ijk} - X_{(i-1)jk}, \quad i \in I \setminus \{1\}, j \in J, k \in K$$

$$X_{i21}=0, X_{i31}=0, X_{i51}=0, \quad i \in I$$

$$X_{i22}=0, X_{i42}=0, X_{i52}=0, \quad i \in I$$

$$X_{i13}=0, X_{i33}=0, X_{i43}=0, \quad i \in I$$

$$Y_{1j}=0, \quad j \in J$$

$$X_{0jk}=0, \quad j \in J, k \in K$$

$$Y_{ij} \geq 0$$

$$X_{ijk} \geq 0$$

$$M_{ijk} \in \{0,1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K$$

**Ek 6.**

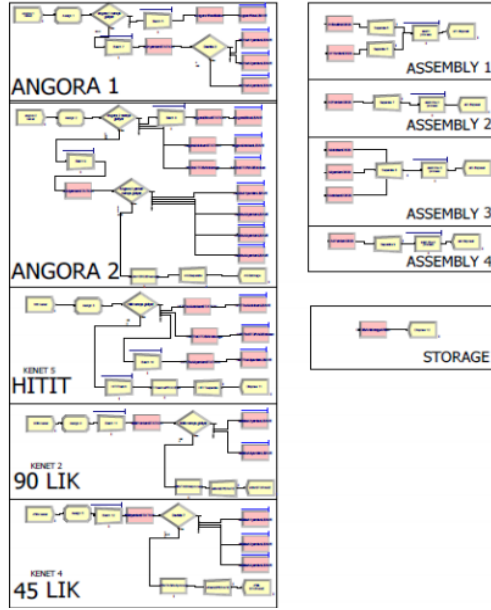
A <sub>jk</sub>	Kenet 1	Kenet 3	Kenet 6
Angora 1	564	537	605
Angora 2	564	537	605
Kenet 5	564	537	605
Kenet 2	564	537	605
Kenet 4	564	537	605

R <sub>jk</sub>	Kenet 1	Kenet 3	Kenet 6
Angora 1	81	52	74
Angora 2	81	52	74
Kenet 5	81	52	74
Kenet 2	81	52	74
Kenet 4	81	52	74

**Ek 7.**

Zaman	Kenet 1	Kenet3	Kenet 6
8-10	Angora 1	Kenet 5	Angora 2
10-12	Angora 1	Angora 2	Kenet 4
12-14	Kenet 2	Angora 2	Kenet 4
14-16	Angora 1	Kenet 5	Angora 2

## Ek 8. Arena Benzetim Modeli



## Ek 9. Tablolar

**Tablo 1**

Montaj Hatları	Şimdiki Sistemin Kullanım Oranları	Model A'nın Kullanım Oranları	Model B'nin Kullanım Oranları
Montaj 1	%92,61	%21,56	%94,97
Montaj 2	%87,93	%61,12	%94,38
Montaj 3	%97,07	%97,07	%97,07
Montaj 4	%99,48	%53,57	%98,51

**Tablo 2**

Ürün Gamı	Şimdiki Sistem için Toplam Bekleme Süreleri (dk)	Model B için Toplam Bekleme Süreleri (dk)
Angora 1	0,67	0,55
Angora 2	0,87	0,37
Hitit	0,62	0,62
90lık	0,96	0,72
45lik	0,71	0,53

**Tablo 3**

Ürün Gamı	Sistemdeki Toplam Ürün Sayısı (birim)(Şimdiki Sistem)	Sistemdeki Toplam Ürün Sayısı (birim)(Model B)
Angora 1	166,39	109,27
Angora 2	162,33	169,73
Hitit	75,51	156,34
90lık	36,51	23,43
45lik	57,60	47,90

# **Pişirici Cihaz Talep Belirsizliği Yüksek İthal Malzemeler İçin Talep Planlaması**

## **Arçelik A.Ő. Pişirici Cihazlar İŞletmesi**

### **Proje Ekibi**

Abdül Kuddüs Sünbül  
Ahmet Asım Kelezoğlu  
Berkan Ören  
Fikri Yılmaz  
Hüseyin Değirmendere  
Murat Bilge

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

İmren Tüysüz  
Arçelik A.Ő. Pişirici Cihazlar İŞletmesi,  
Üretim Planlama Uzmanı

### **Akademik Danışman**

Prof. Dr. Ülkü Gürler  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

### **ÖZET**

Bu rapor proje takımımıza Arçelik Bolu Pişirici Cihazlar İŞletmesi alıŐanları tarafından verilen ham tüketim verilerinin sadeleŐtirilmesini ve ileri dönemler için tahminlerinin yapılmasını içeren projemizi anlatmaktadır. Ham verilere talep tahmini uygulanması için öncelikle sadeleştirme MS Excel yazılımı ile yapılmıştır ve ulaşılan sadeleştirilmiş verilerin talep tahmin metotları, literatür taraması yapıldıktan sonra R programında yapılmıştır. Elde edilen talep tahmin sonuçları, doğrulamaları ve yorumları ise Arçelik PCİ Üretim Planlama Departmanı mühendislerinin halihazırda kullandığı arayüze karar destek sistemi olarak eklenmiştir ve bu arayüz kullanıcı dostu bir hale getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sadeleştirme, Tahmin Yöntemi, Parametrik Sistem, Geliştirilmiş Karar Destek Sistemi

### **1. İŞletme Tanıtımı**

1955 yılında Vehbi Koç ve Lütfi Doruk tarafından kurulup beyaz eşya sektörüne ilk adımlarını atan Arçelik 27.000 alıŐanı ve 5

ülkede 15 üretim tesisi ve kendisine bağlı 10 markası ile 135'ten fazla ülkede ürün ve hizmet sunmaktadır. Projemizin destekçisi ve muhatabı Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi (PCİ) 1977'de kurulmuştur ve şu anda Avrupa'daki en büyük yekpare fırın ve ocak üretim tesisi olma özelliğini taşımaktadır. Günümüzde, Arçelik A.Ş. PCİ tesisinde ocak, mini/midi fırın, tam boy ocaklı fırın ve davlumbaz üretimi yapılmaktadır. Fabrikanın üretim kapasitesi yılda 3.000.000 fırın, 900.000 Ocak ve 300.000 davlumbazdır.

## **2. Analiz**

### **2.1 Mevcut sistem analizi**

Arçelik Bolu Pişirici Cihazlar İşletmesi'nde başta davlumbaz, fırın ve ocak olmak üzere birçok farklı ürün üretilmektedir. Bu ürünlerin çoğunun üretimi çok kısa bir zaman diliminde tamamlanmaktadır. Ürün çeşitliliğinin %47,8'i toplam üretim zamanının %5,6'sını karşılamaktadır. Ancak, bazı modeller seçkin ürünler olarak adlandırılmaktadır ve bu tarz ürünler az sayıda üretilirken, oldukça vakit almaktadır. Bu seçkin ürünler, ürün çeşitliliğinin %7'sini kapsamakta iken, toplam üretim zamanının %52,5'ini işgal etmektedirler (Ek 1).

Kritik bileşenler içeren bu ürünler genellikle daha pahalı olan ürün grubuna girmektedir. Üretilen fırınların %20-25'i yurtiçi pazarına satılırken, %75-80'i başta Birleşik Krallık olmak üzere yurtdışına ihraç edilmektedir.

Şirketin haftalık planlama sürecine göre, ürün taleplerinin öne çekme, iptal ve değişiklik işlemleri ve günlük çizelgeleme işlemleri haftanın başında üretim planlama bölümü tarafından yapılmaktadır. Bu işlemlerden sonra üretim programı işletmeye yayınlanır ve MRP çalıştırılır. Daha sonra ithal malzeme kontrollerinin yapılmasının ardından, kapasite planlaması, satış-üretim-stok analizleri haftanın son iş gününde yapılmaktadır. Hafta sonu ise üretimler sistem tarafından yaratılır ve sistemler arası ana veri birleştirmesi yapılır (Ek 2).

Satış verisine göre; Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım ayları en fazla satış rakamlarının gözlemlendiği aylar olması sebebiyle aynı zamanda en yoğun aylardır. Ayrıca satış ekibinin belirlediği kampanya ürünleri de satış rakamları üzerinde etkilidir.

### **2.2 Semptomlar ve şikâyetler**

Kritik bileşenlerin talep tahminlerindeki sapmalar çok fazladır. Talep tahminleri gerçek satış verilerine göre %50'ye varan oranlarda farklılık göstermektedir. Problemi daha spesifik bir örnekle açıklamak gerekirse; kritik elektronik bileşenler 4-6 ay gibi çok uzun teslim sürelerine sahiptir. Hem taleplerin belirsiz olması hem de teslim sürelerinin çok uzun olması tahminlerin yeterince doğru olmasını engellemektedir. Üretim planlama mühendisleri uzun teslim süresi olan bileşenlerin sipariş tarihlerine karar vermek için bazı sezgisel yöntemler kullanmaktadır ama bu yöntemin iş hayatında sürdürülebilirliği yoktur.

Tedarikçi firmalardan gelen ürünlerde tahmin edilemeyen gecikmeler ortaya çıkabilmektedir. Bu firmalar bulunduğu ülkelere göre farklı çalışma şartlarına ve problemlere sahiptir, örnek olarak farklı tatil zamanları, dağıtım sırasında gümrüklerde karşılaşılan değişik problemler ve ülkelerin finansal durumundan kaynaklı problemler gösterilebilir.

### **3.Proje Tanımı**

#### **3.1 Problem tanımı**

Problem, temelde yüksek değişkenliğe ve az talebe sahip olan ürünlerle ilgilidir. Yaklaşık 200'den fazla ürün firma tarafından bu kategoride değerlendirilmektedir. Bu ürünlerin talep miktarı yıl boyunca büyük değişiklikler ve düzensiz dalgalanmalar göstermekle beraber taleplerinin tahmini zordur. Yılın en fazla 30 günü fabrikada üretime giren bu modellerin bazı bileşenleri kritik bileşenler olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu kritik bileşenler genellikle yabancı tedarikçilerden temin edilmektedir ve bu tedarikçiler Asya'dan Avrupa'ya dünyanın çok farklı bölgelerinde bulunmaktadır. Tedarikçilerin bu derece farklı bölgelerde bulunması, değişken teslim sürelerine sebep olmaktadır. Çünkü tedarikçilerin ülkelerinde firmaların üretim karakterleri çok farklıdır.

Kritik bileşenlerin tedarik süresi çok uzundur ve bazılarının teslim süreleri 6 aya kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, kritik bileşenlerin kullanıldığı ürünlerin bayilere iletim süresi, tedarikçilerden firmaya ulaşma süresiyle karşılaştırıldığında çok kısadır. Bu durum sipariş miktarlarında, teslim sürelerinde ve planlama süreçlerinde belirsizliğe yol açmaktadır.

Siparişe göre üretilen, kritik bileşenlerin kullanıldığı ürünlerin talep miktarlarında belirsizlik mevcuttur ve bu ürünler sene boyunca düzenli olarak üretilen ürünler olmamakla birlikte az sayıda üretilmektedir. Eğer ihraç edilen kritik ürünlerin miktarı müşterilerin isteğinden az sayıda olursa, bu durum müşteri memnuniyetsizliğine ve muhtemel satış kayıplarına sebep olacaktır. Bu sebeple, bu bileşenlerin kullanıldığı ürünlerden alınan ekonomik ve stratejik fayda, diğer ürünlere kıyasla daha düşüktür. Eğer firma, stratejik olarak ithal bileşenleri yüksek miktarda sipariş etmeyi seçerse, eldeki envanter miktarı artacaktır. Dolayısı ile, firmaya ekstra envanter tutma ücreti çıkacaktır. Bu etkenlere paralel olarak, bizim projemizi değerli kılacak nokta, bahsedilen kritik bileşenlerin geliş zamanlarına göre, taleplerdeki belirsizliğin giderilmesi ve sipariş miktarlarının düzenlenmesidir.

#### **3.2 Projenin amaçları ve kapsamı**

Projemizin ana amacı, pişirici cihazlarda kullanılan kritik bileşenlerin gerçek tüketim verilerine en yakın tahminlemeyi gerçekleştirmek ve Arçelik Bolu Üretim Planlama Mühendislerinin kullanımına yönelik kullanıcı dostu bir malzeme ihtiyaç planlaması ara

yüzü yapmaktır. Tahminin daha doğru yapılması ile ürünlerin zamanında tamamlanması ve kısa sürede tüketiciye ulaştırılması mümkün olacaktır. Böylece, yetersiz stok ile karşılaşma oranında azalma olması muhtemeldir. Bu kazanımlar uzun vadede müşteri memnuniyetini arttıracak ve firmanın üretim sistemlerinin daha verimli çalışmasını sağlayacaktır.

#### **4.Önerilen Yöntembilim**

##### **4.1 Literatür araştırması**

Projemizin gidişatını belirlemek amacıyla, sürecin başında bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırma temel olarak verilerin ayrıştırılmasını sağlamak amacıyla hazırlanması planlanan “sadeleştirme modeli” ve sadeleştirilen veriler kullanılarak yapılacak olan tahmin modellerini içermektedir.

Verilerin özelliklerine göre yapılacak literatür araştırması değişeceğinden ötürü, veri özellikleri önem arz etmektedir. Yapılan incelemelerde sahip olduğumuz veri kümesinin nicel ve zaman serisi kategorisinde yer aldığı görüldü. Bu çerçevede veri kümesini temizlemek ve sadeleştirmek için öncelikle bir regresyon modeli kurulması planlandı. Kurulacak regresyon modeli için, lineer regresyon, ANOVA ve çoklu lineer regresyon modelleri incelendi. Lineer regresyon modeli kullanılarak elde edilen modelde veri temizliğinin yeterince iyi yapılamamasından dolayı, veri temizliği ve sadeleştirilmesi için ek bir yöntem kullanılması düşünüldü. Bu sadeleştirme yöntemi Excel üzerinden ilgili veri setindeki uç noktaları daha makul değerlere çekerek, veri setini daha durgun hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntem, ileride yaşanabilecek beklenmedik durumlar için de kullanılabilir.

İkinci aşama ise, sadeleştirme modellerinin araştırılmasıydı. Bunun için bize verilen tüketim verilerinin özellikleri araştırıldı ve uygulanması gereken doğru tahmin metotları belirlendi. Sayısal ve zaman serisinde yer alan veri kümemiz için sıradan tahmin modellerinin en uygun olduğuna karar verildi. Bunun sebebi ise veri kümemizin davranış değişimlerine odaklanmış tarihsel bir set olmasıydı [1]. Seçilen metotların uygulanması, birbirleriyle karşılaştırılması ve doğruluğu araştırıldı. Kullanılmasına karar verilen modeller ise ARIMA, Croston, ThetaF, Mean Forecast Metodu, Random Walk Forecast Metodu, Simple Exponential Smoothing Metodu, Holt’s Linear, Holt Winter’s Metodu, Cubic Spline Forecast Metodu ve Theta Forecast Metodu oldu [2].

Kullanılan 8 ARIMA ve diğer 11 tahmin metodunun uygulanması ile sağlanan model sayısındaki çeşitlilik ve fazlalık, bize farklı sonuçları inceleme ve kıyaslama olanağı verdi. Sonraki aşama ise, her bileşen için bu modellerden hangisinin en uygun olduğunu seçmek oldu. Bunun için, MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean



Square Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) gibi hata terimleri araştırıldı.

#### **4.2 Geliştirilen modeller ve çözüm yöntemleri**

Geliştirilen modeller ve çözüm yöntemleri iki ana adımdan oluşmaktadır. Birincisi ham tüketim verilerinin sadeleştirilmesidir. İkincisi ise sadeleşmiş tüketim verilerinin R istatistik programında 19 farklı talep tahmin metodu kullanılarak talep tahminlerinin yapılmasıdır.

##### **4.2.1. Sadeleştirme**

Bu adımda 10 tane farklı kısımdan oluşan büyük bir MS Excel veri tabanı kullanılmaktadır. Bu özel veri tabanı dosyası; kullanıcıya ham tüketim verilerinin sadeleştirme adımlarından ne şekilde geçtiğini gösterebilen bir arayüz sağlamaktadır. Sadeleştirme adımı Arçelik PCİ'den bizlere verilen 102 tane kritik bileşenin 2010 ve 2015 arasındaki ham tüketim verilerini talep tahmini adımına hazırlamaktadır. Bu hazırlama, ürünlerin talepleri üzerindeki olağandışı ve bilinmeyen etkileri en aza indirmeyi amaçlar.

Sadeleştirme adımı, ham tüketim verilerinin bileşenlere özel aylık talep ortamlarını, sapmalarını ve bu değerler kullanılarak oluşturulan üst limit ve alt limit hesaplarını kapsar. Bu üst ve alt limitleri aşan aylık talepler limitlerin içine çekilmektedir. Alt limit ve üst limit değerleri ilgili ayların ortalamalarına hassasiyet analizi sonucu bulunmuş olan sigma değerinin toplanması ve çıkarılması ile bulunur. Limitlerden herhangi birini aşmış olan veri sahip olduğu ayın diğer yıllardaki verilerinin ortalamasına eşit hale getirilerek bu veriye sadeleştirme yöntemi uygulanmış olur.

Bu sadeleştirme adımının eklenebilecek yeni ürünler için de otomatik çalışması için sistem sadeleştirme sistemi parametrik olarak tasarlanmıştır. Yani bu sisteme yeni bir veri kümesi eklendiğinde ve ya halihazırda bulunan veri kümesinin üzerinde değişiklik yapılması durumunda, sistem içerdiği sadeleştirme adımlarını başka bir işleme gerek kalmadan uygulayacak ve çıkan sonuçları gösterecektir. Aynı zamanda, sadeleştirme fonksiyonlarını içeren MS Excel şu anki zamanı anlayabilmekte ve ona göre işlem yapmaktadır ve R istatistik programının kullanacağı MS Excel dosyasını tek tuşla otomatik olarak istenen dosya konumunda yaratıp, özel kodumuzu R programını açarak çalıştırmaktadır (Ek 3).

##### **4.2.2 Tahmin yöntemi**

Literatür taraması ile birlikte belirlenen ve elimizdeki geçmişe dayalı, nicel ve zaman serisi özelliklerini gösteren veri kümesini kullanarak iyi tahmin sonuçları vermesi planlanan tahmin modelleri belirlendi. Tahmin sonuçlarının alınmasında kullanılması için veri kümemize uygun olan exponential smoothing, ARIMA ve birkaç özel tahmin metodunun uygulanmasına karar verildi. Proje kapsamında uygulanmış tahmin metodlarının isimleri ve özellikleri:

- *Croston's Metodu*: Kesikli talep verilerini kullanarak tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Mean Forecast Metodu*: Bağımsız özdeşçe dağıtılmış olan değerleri kullanarak tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Random Walk Forecast Metodu*: Değişkenin her bir dönem geçtiğinde rastlantısal olarak ilerlediğini varsayarak tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Simple Exponential Smoothing Metodu*: Trend ve sezonsallık gibi özelliklere sahip olmayan verilere uygulanan tahmin yöntemi [2].
- *Holt's Linear Methodu*: Simple Exponential Smoothing metodunun çalışma şekline eğilim özelliğini de hesaba katarak tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Holt Winter's Methodu*: Holt's Linear Methodunun çalışma şekline sezonsallık özelliğini de hesaba katarak tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Cubic Spline Forecast Methodu*: Doğrusal bir tahmin fonksiyonu ile düz ve tarihi bir eğilim kullanarak tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Theta Methodu*: Simple Exponential Smoothing metodunun çalışma şekline sürükleme özelliğini ekleyerek tahmin değerleri veren yöntem [2].
- *Auto ARIMA Forecast Metodu*: 8 tane ARIMA metodunun arasından en iyi sonucu veren metodu bulmaya ve ilgili metodu kullanarak tahmin değerleri veren yöntem [2].

#### **4.2.3 R programı ile kod yazımı**

Ham tüketim verileri sadeleştirildikten sonra istatistiksel bir programlama aracı olan R programının kütüphanesine programda okunmak ve kullanılmak üzere yerleştirdi. Açık kaynak kodlu olan R programına ihtiyacımız olan Excel veri kullanımı ve tahminleme metotları için gerekli paketler (forecast ve XLConnect) yüklendi. XLConnect paketinin sağladığı R ve Excel bağlantısı ile R kütüphanesinde bulunan 102 kritik bileşenin verilerini içeren Excel dosyası okutuldu. 400 satırlık R kodu ile 102 bileşenin verileri okutulup daha önceden belirlediğimiz tahmin metotları uygulandı. Bahsedilen metotlar kullanılırken metotların ihtiyaç duyduğu katsayılar verilerin özelliklerine göre R programına otomatik olarak seçtirildi. En iyi tahmin metodunun seçilmesi için accuracy isimli fonksiyon aracılığı ile eski tarihlerde gerçekleşmiş olan talep değerleri kullanılarak tahmin değerleri bulundu ve bu değerler belirlenmiş bir periyoda sahip olan ve gerçekleşmiş talep değerlerini içeren test verisi ile karşılaştırılarak hata sonuçları bulundu. Bu yöntem kullanılarak tahmin değerleri ile gerçekleşmiş değerleri arasındaki testi yapılmış olan bir bileşenin görsel örneği (Ek 4)'te verilmiştir. Uygulanan modellerin her bileşen için sonuçları R programının içinde değerlendirilip en düşük hata oranlarına sahip iki metodun sonuçlarını arayüzün geliştirildiği özel arayüz

fonksiyonlarının eklendiğini “Malzeme Arayüz İhtiyaç Planlaması” dosyasının son kısmına bastırıldı. R programlama dilinde geliştirilen kodumuz okuduğu dosyanın satır ve sütun sayısına göre çalıştığı için her ay çalıştırıldığında ilerleyen 12 ay için olan sonuçları bastıracaktır. Metot seçimlerini ise güncel hata oranlarından faydalanarak her ay yeniden yapacaktır.

Sonuçlarımız yukarıda görüldüğü şekilde bastırılıp kodumuza eklediğimiz karşılaştırma metotları sayesinde bileşenlerin güvenlik stokuna ihtiyaç duyup duymadığına karar vermesi sağlandı. Sonuç olarak verilen 12 ay ilerisine ait tahminleme sonuçları gösterilen özel formattan alınıp malzeme ihtiyaç planlaması sisteminde karar destek mekanizması olarak kullanılacaktır.

### **4.3 Arayüz**

Geliştirilmiş olan karar destek sistemi, R istatistik programının yaptığı işlemleri daha basit bir arayüzde sunabilmek ve kullanıcı dostu bir kullanım sunabilmek için MS Excel VBA ve özel formatlarla desteklenmiş olup, kullanılan sistemin daha verimli ve hızlı çalışmasını sağlamaktadır. Arayüz desteklemesi hem kullanılan veri tabanında hem de kullanıcının son adımda kullandığı ve ürünler ile ilgili her bilgiyi içeren dosyada kullanılmıştır. Veri tabanındaki arayüz desteklemesi ham ve sadeleştirilmiş verilerin kullanımını kolaylaştırmıştır. Ek olarak R istatistik programının kullanacağı MS Excel dosyasının yaratılması ve R kodumuzun otomatik bir şekilde çalışması için iki tane özel fonksiyonlu tuşlar konulmuştur. Arçelik A.Ş. PCİ Üretim Planlama Departmanı mühendislerinin hali hazırda kullandığı MS Excel dosyasına ise genel anlamda arayüz iyileştirmesi ve özel fonksiyonlarla çalışan grafik oluşturma tuşları, belirli bölümleri gizleme tuşları ve menü eklenmiştir. Ayrıca doğrulamaların görsel hale getirilmesi amacıyla grafik fonksiyonlarına bağlı tuşlar eklenmiştir.

Arayüz geliştirmelerimiz ve çalışmalarımız, kullanıcıların baştan sona hızlı ve görsel bir şekilde süreci MS Excel üzerinden yönetmelerini sağlamaktadır.

## **5. Algoritma Doğrulama ve Performans Ölçülmesi**

### **5.1 Sonuçların değerlendirilmesi**

Proje sürecinde şirketin tahminlerindeki hata oranını azaltmak için çeşitli yöntemler denenmiştir. Çalışmalarımız yalnızca gerçek tüketim verileri üzerinden analiz edilerek yürütülmüştür. Gerçekleşen tüketim rakamları gelecekte oluşacak talep miktarını tahmin etmek için kullanılırken, şirketin kendi ekiplerince yürütülen tahmin sonuçlarını ise bizim çalışmalarımızın sonuçlarının başarı seviyesi göstermesi için kullanmıştır.

#### **5.1.1 Sadeleştirme yöntemi**

Yol haritamız kapsamında öncelikli olarak gerçekleşmiş tüketim verilerin bütününe aykırı değerleri tespit etmek için kendi

geliştirdiğimiz sadeleştirme yöntemini kullanıldı. Bu sadeleştirme yöntemini oluştururken hassasiyet analizini kullanarak çalışmamıza en uygun olan sigma değerini hesaplandı. Sigma değerinin doğruluğunu çalışmanın her aşamasında kontrol ederek bütünsel hataların önüne geçmek amaçlandı. Sigma değeri ile her bileşenin kendine özgü üst ve alt sınırlarını ay bazlı olarak belirlendi. Bu değerlerin dışında kalan verileri kalan yılların ilgili aylarının ortalamasına çekerek sonuçların belirli bir kararlılık seviyesinde kalması sağlandı. Bu kapsamda, tahmin metotlarının sonuçlarını değerlendirilirken eğer sadeleştirme yöntemini kullanılsaydı sonuçlar nasıl olurdu sorusuna cevap vermek için ham verilere aynı metotları uygulanarak sonuçları karşılaştırıldı. Sonuçları incelendiğinde ham verilere tahmin metotları direkt olarak uygulanmış olsaydı şirketin tahmin sonuçlarını 65 bileşenin 20 tanesi iyileştirilebilirken, sadeleştirme yöntemi uygulandıktan sonra 30 bileşenin iyileştirilebildiği gözlemlendi.

### **5.1.2 Promosyon etkisi**

Sadeleştirme yöntemimiz sırasında belirlenen sınırların dışarısında kalan verilere promosyon etkisi eklemeye karar verildi. Bu etki aşağıdaki görülen formülün sonuçlarına göre tahmin sonuçlarına yansıtıldı.

$$ss = z_{\alpha} \times \sqrt{E(L)\sigma_D^2 + (E(D))^2\sigma_L^2}$$

Formül, bileşenlerin tedarikçilerinin teslim sürelerine göre eklenecek miktarı belirlemektedir. Böylelikle uzun teslimat sürelerinden kaynaklanan tahmin hataları en aza indirilmeye çalışılmıştır. Uzun tedarik sürelerinden kaynaklı bu sorun, sene başında şirket tarafından grubumuza yapılan sunum sırasında dile getirilmiş olup bizim bu konuyu dikkate almamıza sebep olmuştur. Promosyon etkisi, önceden 30/65 oranına çıkarttığımız başarı oranımızı şirketin tahmin verilerine göre 37/65 oranına çıkarmamıza yardımcı olmuştur. Bu başarı oranı hesaplarken şirketin tahmin verileri ile grubumuz tarafından bulunan tahmin sonuçları gerçek verilere göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi yapılırken en güncel veriler kullanılmıştır. Altı yıllık veriler kapsamında elde ettiğimiz üç aylık tahmin sonuçları şirketin verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, promosyon etkisi eklenerek tahmin sonuçlarımızın gerçek verilere göre daha aşağıda kalmasından ziyade yukarıda kalması tercih edilmiştir. Bu durum üretimde açık kalmasının önüne geçmektedir.

## **6.Uygulama**

### **6.1 Sistemin uygulanması için gerekli olan dosyalar**

Proje kapsamında takımımız tarafından yaratılmış olan sistemin Arçelik firmasında uygulanabilmesi için sistemin kullanılacağı

bilgisayarlarda gerekli özelliklere sahip olan R ve MS Excel programlarının yüklü olması gereklidir.

### **6.2 Uygulama planı**

Parametrik bir şekilde hazırlanmış olan sistemimiz, bize verilmiş olan 102 bileşenlik verilerle birlikte çalıştırılmış ve gerekli test aşamalarından geçmiştir. Uygulama planı olarak da yaratılan sistem firmadaki bir bilgisayara yüklenerek çalıştırılıp, gerekli olan test aşamalarından geçirilecektir. Sistemimize çalıştırılması gereken diğer bileşenler yüklenecek ve gerekli tahmin değerleri bulunacaktır. Sistem şu an deneme aşamasında olup, sistemin Mayıs 2016 sonu itibariyle uygulamaya geçmesi planlanmaktadır.

### **7. Genel Değerlendirme ve Firmaya Katkılar**

Proje süresince birçok alanda şirkete en iyi şekilde hizmet verebilmek için çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda tahmin metotları çeşitlendirilmiş, verilerin anlaşılması için yoğun miktarda görsellik kullanılmış, sistemi kullanmanın kolay olması için tamamıyla parametrik bir yöntem izlenmiş ve ayrıca bütün süreç en kısa sürede çalışabilmesi üzerine tasarlanmıştır.

#### **7.1.1 Tahmin değerlerindeki iyileştirmeler**

Proje kapsamı boyunca kullanılan çeşitli tahmin metotlarının bulunduğu sonuçlar ile şirketin kendi tahmin etme sistemini kullanarak bulunduğu sonuçlar arasında yapılan performans ölçümleri yardımıyla tahmin değerlerinin gerçek talep değerlerini tutturma oranı yaklaşık olarak %40-60 oranında iyileştirilmiştir. Sadeleştirme metodunun kullanılmaması durumunda %30 olarak görülen tahmin etme değerlerindeki iyileştirme, sadeleştirme metodu ile birlikte %46 ve bu metoda promosyon etkisinin de eklenmesi ile birlikte %57 değerlerine çıkarak, uygulanan modelin tahmin değerleri üzerindeki iyileştirmesini gözler önüne sermiştir. Ayrıca, bileşenleri ithal edildikleri ülkelere göre gruplayarak baktığımızda, tahmin değerlerinde iyileştirme yapılmış olan 37 bileşenden 15 tanesinin Almanya'dan gelen ürünlerde yapıldığı analizi yapıldı. Ek olarak; Romanya, Polonya, Kore, Çin ve İtalya'dan ithal edilen bileşenlerde de iyileştirmeler yapıldığı analizimiz sonucunda gözlemlendi.

#### **7.1.2 Görsellik**

Tahmin metotlarının sonuçları çeşitli grafiklerle şirket çalışanlarının kullanımına sunulmaktadır. Böylelikle sonuçların incelenip karar verilmesi kolaylaştırılmıştır. Görsellik sayesinde şirketin tahmin ekibi tarafından sunulan sonuçlar ile grubumuzun bulunduğu sonuçlar arasında fark %20'den fazla olması durumunda farkın gösterildiği yerde dikkat çekici görseller kullanılmış böylelikle mühendislerin hata yapmasının önüne geçilmek istenmiştir. Farkın fazla olduğu durumda, mühendislerin en iyi ikinci tahmin sonucumuza bakarak hangi sonucun daha doğru olduğuna karar vermesi için destek

mekanizması hazırlanmıştır. Kısaca, görsellik kullanımını kolaylaştırırken hata yapma ihtimalini de azaltmaktadır.

### **7.1.3 Parametrik sistem**

Grubumuz tarafından sunulan sistemin kullanılmasını kolaylaştırmak amacıyla bütün süreç parametrik bir şekilde tasarlanmıştır. Parametrik sistem sayesinde zaman ilerledikçe veya yeni bileşenler sisteme eklendikçe sonuçların incelenebilmesi için herhangi bir işlem yapılmasına gerek kalmayacaktır. Ayrıca bileşenlerin hepsi için eşit sayıda veri girilmesine de gerek yoktur. Proje kapsamında sonuçların arayüz ile tasarlanmıştır. Fakat kullanılan tahmin metotları için R programı kullanılmıştır. Bu duruma rağmen grubumuz tarafından sunulan pakette R programının kullanılmasının şirket çalışanları tarafından ayrıca öğrenilmesine gerek yoktur. Excel üzerinden tek bir tuşa basılarak bütün sistem çalıştırılarak elde edilen sonuçlar, R tarafından tekrar Excele yansıtıldığından dolayı, direkt olarak Excel sayfasından incelenebilmektedir.

### **7.1.4 Sürecin hızlı çalışabilirliği**

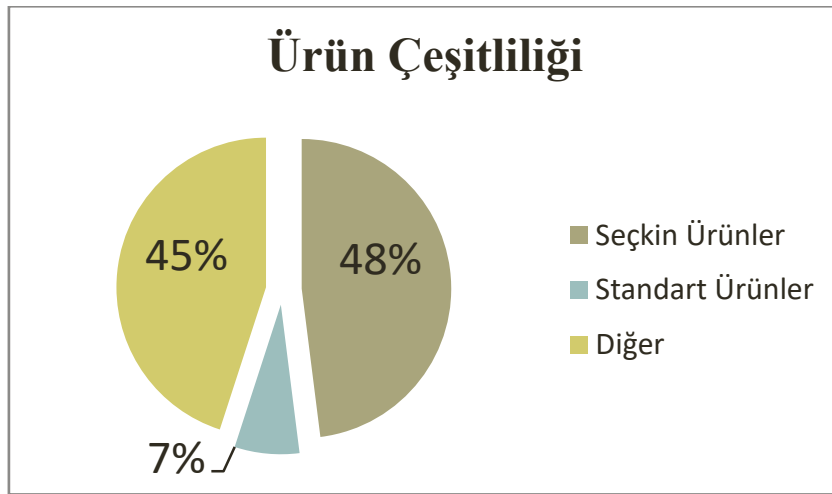
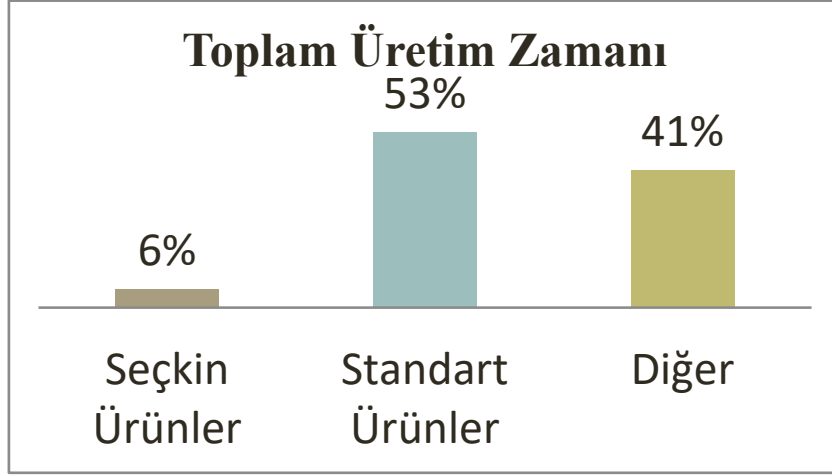
Proje süresince sonuçların en hızlı şekilde elde edilmesi için her adımda verimlilik iyileştirmeleri yapılmıştır. Sistemin sonuç elde etme süresi aşama aşama takip edilerek gereksiz bütün adımlar çıkarılmıştır. İlk aşamalardan son aşamaya gelindiğinde sistemin çalışma hızı yaklaşık %65 oranında artırılmıştır. Son halinde, şirketin bütün verileri sisteme girilse dahi sürecin çalıştırıldıktan sonra tamamlanması kısa bir sürede gerçekleşebilmektedir.

## **KAYNAKÇA**

- [1] Hyndman, Rob J., and Yeasmin Khandakar. "Automatic Time Series Forecasting: The Forecast Package for R." *Journal of Statistical Software* 27.3 (2008): 22. Web. 2016.
- [2] Hyndman, Rob J. "Package 'forecast'." (2015). Web. 13 Jan. 2016.

## EKLER

**Ek 1.** Ürünlerin Üretim Zamanı ve Çeşitliliği Grafikleri

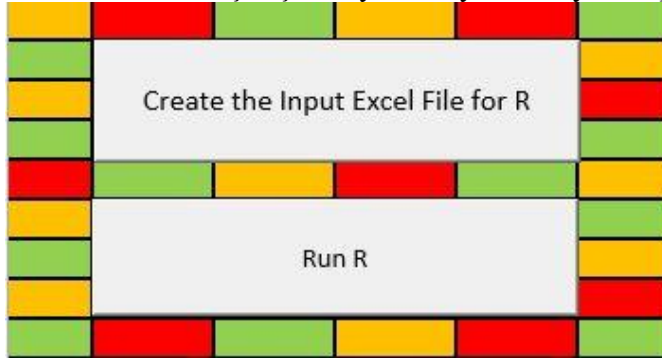


## Ek 2. Haftalık Planlama Süreci

Forecast Release						Forecast Release
Cuma	Ctesi Pazar (Sistem)	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Son talep durumuna göre, sabit dönem dışındaki erken-fazla üretimlerin silinmesi</li> <li>Kapasite planlaması</li> <li>Satış-Üretim-Stok analizi</li> <li>İthal malzeme ötelemelerinin sisteme yansıtılması</li> <li>Ana veri kontrol ve düzenlemelerinin yapılması</li> <li>Talebi olan yeni ürün listesinin yayınlanması</li> <li>İNK süreci - Numune tedarigi, Teacenter süreçlerinin ilerletilmesi</li> <li>Uzun dönemli ithal malzeme siparişlerinin planlanması, firmalara sipariş açılması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3+1.hafta üretimlerinin sistem tarafından yaratılması</li> <li>Son talep durumuna göre, 6 aylık dönem için tahmini üretim ihtiyaçlarının sistem üzerinde yaratılması</li> <li>Alokasyon (Tanımlı öncelikler çerçevesinde, müşteri talepleri ile imkânın ilişkilendirilmesi.)</li> <li>İki sistem arası ana veri entegrasyonu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>One çekme/iptal taleplerinin öğlene kadar işletmeye bildirilmesi</li> <li>Günlük çizelgeleme işlemleri</li> <li>Son talep durumuna göre, varsa üretim iptal/llave işlemlerinin yapılması</li> <li>Program değişiklik talepleri için ithal malzeme kontrolü</li> <li>Uzun dönemli malzeme siparişlerinin planlanması, firmalara sipariş açılması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Günlük çizelgeleme işlemleri</li> <li>Değişiklik taleplerinin programa yansıtılması</li> <li>Uzun dönemli ithal malzeme siparişlerinin planlanması, firmalara sipariş açılması</li> <li>Üretim programının işletmeye yayınlanması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MRP çalıştırılması</li> <li>Yurtiçi tedarikçilere sipariş mektubunun gönderilmesi</li> <li>İthal malzeme kontrolleri</li> <li>TZ tarafından planın değerlendirilmesi, müşteriye confirmasyon verilmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>İthal malzeme kontrolleri</li> <li>TZ tarafından planın değerlendirilmesi, müşteriye confirmasyon verilmesi</li> </ul>	

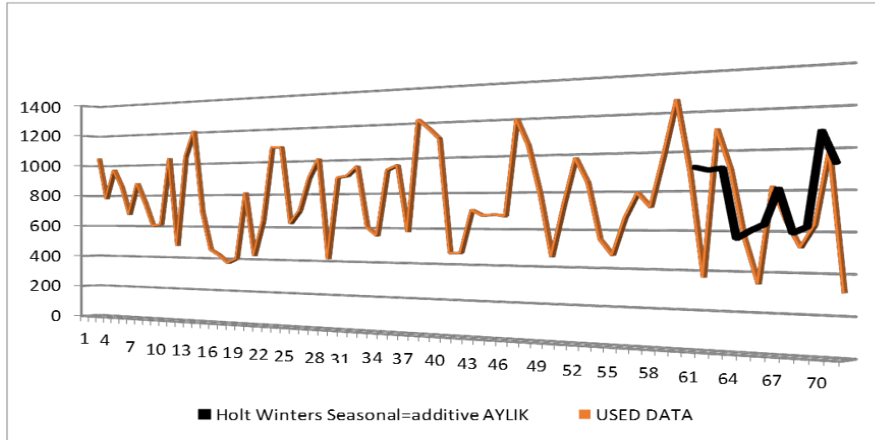
HAFTALIK PLANLAMA SÜRECİ

## Ek 3. R Kodunu Çalıştırmaya Yarayan Kısayol Tuşları



## Ek 4. Tahmin ve Gerçek Veri Değerleri Kullanılarak Yapılmış Olan Bir Testin Görseli





# Depo Yerleşim Planı Tasarımı ve Sipariş Toplama Yolları Optimizasyonu

## Boyner Büyük Mağazacılık A.Ş.

### Proje Ekibi

Ahmet Onur Akgül

Beyza Çelik

Hale Erkan

Ferit Küçükkaya

Cem Selçuk Oyman

Furkan Tapsız

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

S. Sinan Ergül

Boyner Büyük Mağazacılık A.Ş.,

Tedarik Zinciri Çözümleri Müdürü

### Akademik Danışman

Prof. Dr. M. Selim Aktürk

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Projemiz, hızlı büyüme sonucunda Boyner Ekol Sakura Deposu'ndaki dağınık yerleşmeden dolayı ortaya çıkan verimsizliği azaltmayı hedeflemektedir. Bunu yapabilmek için, öncelikle deponun yerleşkesi gözden geçirilip yenilenmiştir. Bu esnada hareketli ürünlerin ön saflarda bulunmalarına ve alt depoların olabildiğince birbirlerini görmelerine dikkat edilmiştir. Uygulanabilir yerleşke tasarımları tanımlandıktan sonra, bu tasarımlarda kullanılacak sipariş toplama ve birleştirme algoritmaları bu tasarımlara entegre edilmiştir. Projenin sonunda, daha bütünleşmiş ve birbirlerini görebilen alt depolardan oluşan bir sistem ve bu sisteme entegre edilmiş, yürüme yollarını ve sipariş toplama sürelerini en aza indirgeyen bir algoritma önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Depo Yerleşke Planı, Sipariş Toplama Algoritmaları, Rotalama, Sipariş Birleştirme, Karesel Atama Problemi.

### 1. Şirket Tanıtımı

Boyner Büyük Mağazacılık A.Ş. 1981 yılında faaliyetlerine başlamış olup, Boyner Holding bünyesinde, Türkiye'nin en büyük

perakende gruplarından biridir. Faaliyetlerine 28 ilde 145 mağaza ile devam eden Boyner, YKM ile birleşmesi ile beraber perakende pazarını büyük oranda elinde tutmaktadır. Boyner müşterilerine geniş bir çeşitlilik sağlayarak, birçok kategoride ürün sunmaktadır. Kadın, erkek, çocuk giyim, ayakkabı, ev eşyaları, kozmetik ve spor gibi farklı kategorileri barındıran Boyner, yüzlerce markası ve ürün seçeneği ile müşterilerine en iyi hizmeti sunmayı amaçlamaktadır.

## **2. Proje Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Bu proje ile Boyner bünyesinde ihtiyaca uygun yeni ya da iyileştirilmiş bir depo planlaması uygulanması beklenmektedir. Boyner yapı itibariyle çok farklı sayıda ve devamlı değişiklik gösteren ürünü bünyesinde barındırmaktadır. Bu da sistem içerisinde zorluklara ve mevcut algoritmaların uygulanmasını daha karmaşık hale getirmektedir. Standart olarak geliştirilmiş yöntemlerin doğrudan uygulanmadığı gözlenmiştir. Ürün sayısının ve çeşitliliğinin dönemsel olarak değişikliklere uygulanabilir bir algoritma bulunmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda deponun bir bütünlük içerisinde olmaması başka önemli bir farklılık oluşturmaktadır. Mevcut çalışmaların belli ve düzenli şekli olan depolar için yürütüldüğü gözlenmiştir. Birbirinden uzak ve dağınık yerleştirilmiş depolar için seçilmiş, uygulaması kolay ve uygulanabilir birleştirilmiş çözüm önerileri getirilmesi amaçlanmaktadır.

### **2.2 Mevcut sistem analizi**

Boyner'in sattığı ürünlerin %70'i depoya uğramadan doğrudan mağazalara giderken, geriye kalan %30'luk kısım depoya getirilir. Boyner, depo olarak Ekol Şirketi'nin Gebze'deki Sakura deposunu kullanmakta olup, depo, aslı Ekol Şirketi'ne ait olan ve barkod okuyucu temelli çalışan, bir depo yönetim sistemi yazılımıyla çalışmaktadır.

Holding bünyesinde sadece Boyner markası olduğu dönemde ihtiyaç duyulan ana depo alanı küçükken, YKM birleşimi ve internet alışveriş sisteminin kurulmasıyla birlikte firma daha büyük bir depo alanına ihtiyaç duymuştur. Şu anki ana depo, Sezon, Sezon Sonu, Anadolu ve İnternet Depoları olmak üzere dört büyük alt depodan oluşmaktadır. Sezon Sonu Deposu haricindeki üç depoda internette veya mağazalarda satılabilecek sezon ürünleri tutulurken, Sezon Sonu Deposunda bir sonraki sene satılabileme ihtimali olan geçmiş sezon ürünleri depolanmaktadır. İstanbul'da yer alan ve en yüksek satış değerlerine sahip 16 mağazanın depoları Sezon Deposundan ayrı bir şekilde Anadolu deposunda yer almaktadır. İnternet deposu ise tamamen internet alışverişi için ayrılmıştır.

Tedarikçiden gelen ürünler put away, cross docking ve flow through olmak üzere üç farklı şekilde alınmaktadır. Put away sisteminde, ürünler doğrudan belirlenmiş olan noktalara yerleştirilmektedir. Cross docking sistemindeyse ürünler herhangi bir

noktaya adreslenmez; sadece gerekli durumlarda operasyon alanında geçici olarak depolanır. Bu iki sistemin bir karışımı olan flow through sisteminde de ürünlerin bir kısmı belirlenmiş noktalara adreslenirken diğer kısmı doğrudan mağazalara gönderilmektedir.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Deponun çalışmaya başladığı zamanla günümüzdeki talep oranları çok farklı olduğu için deponun tasarımı zamanla değişmiştir. Depo işleyişinin kontrolünü daha kolay yapabilmek adına firma depoyu alt depolara bölse de şu an bu alt depo sistemleri talebi karşılamak adına yeterli hızı ve kaynağı sağlayamamaktadır. Bu alt depolar bazı ortak kategorileri ve ürünleri içerse de farklı alanlarda adreslendikleri için ayrı ayrı kontrol ve analiz edilmeleri gerekmektedir. Bu sebeple de sipariş toplama, adresleme ve sipariş birleştirme süreleri artış göstermektedir.

Özellikle her sezonun ilk ve son haftaları büyük bir operasyon alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu operasyon alanı, sezon başlangıçlarında ürünlerin tedarikçiden temin edilmesi, paketlenmesi ve kategorize edilmesi için gerekliyken sezon sonunda ise satılmayan ürünlerin mağazalardan toplanması, kategorilere ayrılması ve gerekiyorsa temizlenip depolanması için kullanılmaktadır.

#### **3.2 Problem tanımı**

Artan talep ve sisteme eklenen yeni alanlardan dolayı mevcut depo tasarımının put away, sipariş toplama ve alt-depolar arası transfer süreçleri için yetersiz ve verimsiz kalması, yeni bir yerleşke tasarımı yapılması gereğini doğurmuştur. Yerleşke tasarımının verimsizliği sonucu sipariş toplama işlemleri de verimsiz bir şekilde yapılmaktadır. Sipariş toplama rotaları uzun ve maliyetli olmaktadır. Sipariş birleştirme işlemlerinin de bir düzene göre yapılmaması, sipariş toplamayı verimsiz hale getirmiştir.

### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Kararlaştırılan iki ana alt paketin, yerleşke tasarımı ve sipariş toplama ve birleştirme, iyileştirilmesi için literatür araştırması yapılmış ve sisteme uygulanması uygun olan yöntemler geliştirilip sisteme uygulanmıştır.

#### **4.1 Yerleşke tasarımı**

Yerleşke tasarımında hedef, farklı stok büyüklüklerine ve depolanma şekillerine (askılı, koli ve palet) sahip kategorileri, depo içerisinde ve çıkışla olan ürün alışverişlerini göz önünde bulundurarak, yürüme mesafesini en aza indirgeyecek şekilde depoya yerleştirmektir. Yerleşke tasarımı yapılırken, depoda hali hazırda bulunan alt depolar sistemi korunacak şekilde ve bu sistemi yok sayıp sadece kategoriler üstünden tasarlanacak şekilde iki farklı yol izlenmiştir. Fakat alt depolar arasındaki kapasite, alan ve stok gibi değer farklarının çok büyük

olmasından dolayı, sistemi mevcut alt depoları bir bütün halinde ele alarak tasarlamak mümkün olmamıştır. Bunun yerine alt depolar ya tamamı ile yok sayılmış, ya da daha küçük ve birbirine yakın değerler bulunduran parçalara bölünmüştür.

Yapılan araştırmalar sonucunda, yerleşke tasarımını oluşturmak için Planet B Yönteminin ve Karesel Atama Problemi modellemesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

#### **4.1.1 Planet B yöntemi**

Planet (Yerleşke Tasarımı Analizi ve Değerlendirme Tekniği) yöntemleri, tasarımda yerleştirilmek istenen bölümler arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurarak yerleşke tasarımı yapan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden biri olan Planet B Yöntemi, bu etkileşimlerin büyüklüklerine göre her iki bölüm arasında bir etkileşim değeri belirleyen ve bu değerler toplamı en büyük olacak şekilde yerleşkeyi tasarlayan sezgisel bir algoritmadır. Etkileşim değerleri belirlendikten sonra yöntem, etkileşim değeri ile uzaklık çarpımlarını en aza indirecek şekilde yerleşimi yapmaktadır [2].

Yöntemi Boyner'e ait depoda uygulamak için, depo 6 alt gruba (Sezon1, Sezon2, Sezon3, Anadolu, Sezon Sonu, İnternet) bölünmüş ve çıkış da yedinci bir alt grup olarak dahil edilmiştir. Bununla birlikte bölümler arasındaki etkileşim değerleri de Boyner'den alınan bölümler arası transfer değerlerine paralel olacak şekilde tanımlanmıştır. Yapılan işlemlerin sonunda üç farklı sıralama ortaya çıkmıştır;

- Çıkış-Sezon1-Sezon2-Anadolu-İnternet-Sezon Sonu-Sezon3
- Çıkış-Sezon1-Anadolu-Sezon2-İnternet-Sezon Sonu-Sezon3
- Çıkış-Sezon1-Sezon Sonu-Anadolu-Sezon2-İnternet-Sezon3

Elde edilen sonuçların bazıları mevcut sistemden daha iyi olmasına rağmen, Planet B Yönteminin sezgisel bir yöntem olması sebebi ile elde edilen sonuçların en iyi sonuç olmadığı bilinmektedir. Bundan dolayı, Planet B Yöntemine ek olarak, en iyi sonuçları verecek bir eniyileme modeli üstüne araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu, mevcut problem tanımına en uygun çözümü sağlayacak eniyileme modelinin Karesel Atama Problemi (KAP) modellemesi olduğu gözlemlenmiş ve bu model üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

#### **4.1.2 Karesel Atama Problemi (KAP)**

Karesel Atama Problemi, 1957'de Koopmans ve Beckmann tarafından tanımlanmıştır. Çözölmek istenilen problem, aralarında alışveriş bulunan  $n$  tesisi,  $m$  farklı lokasyona minimum maliyetle yerleştirmektir, yani bir enazlama problemidir [3]. KAP'ın Boyner üzerindeki sürümünde ise  $n$  tesis mevcut kategoriler,  $m$  farklı lokasyon da depodaki lokasyonlar olarak düşünülebilir. Fakat KAP'ın 20'den fazla değişkenle verimsiz çalışmasından dolayı model yazımı aşamasında, Boyner yönetimiyle anlaşmalı olarak şirketin mevcut

kategori düzeni değiştirilmiştir. Yeni kategoriler Sezon Sonu (Askılı, katlı, GAS), Sezon (Askılı, katlı, GAS) ve İnternet (Askılı, katlı&GAS) olarak belirlenmiştir. Modelde performans ölçütü olarak alt depoların birbirleriyle ve çıkışla olan transferi ile birbirleri arasındaki mesafelerin çarpımlarının toplamı kullanılmıştır. Yani model, depodaki bütün alt depoların birbirleri arasındaki ve girişle aralarındaki transferlerini minimum mesafede gerçekleştirecekleri şekilde kategorileri dağıtmaktadır. Bununla birlikte, KAP'da kapasite kısıtları bulunmamaktadır, yani dağıtılan kategorilerin lokasyonlara sığmaması gibi bir durum KAP'de söz konusu değildir. Bu yüzden de tasarım için kullanılan ve şirkete önerilen algoritma temelini KAP'dan alsa da üzerinde uyarlamalar yapılmıştır.

#### 4.1.3 KAP uyarlaması

KAP'ın kapasite kısıtı taşımamasından ötürü kapasiteleri de hesaba katan bir algoritma yazılmıştır. Algoritma şu şekilde çalışmaktadır;

##### **Notasyonlar**

$S$ : 8 kategorinin 8! diziliminin yer aldığı küme

$S_{ij}$ :  $S$  kümesinin  $i$ . dizilimin  $j$ . elemanı.

$L_k$ : Lokasyon kümesinin  $k$ . elemanı

**Basamak 0:** Hiçbir elemanı yerleşmemiş indeksi en düşük dizilimin ilk elemanı seçilir.

**Basamak 1:**  $S_{ij}$ , içine ürün koyulmamış indeksi en düşük  $L_k$  ile eşleştirilir.

**Basamak 2:**  $L_k$ 'nin kapasitesi ve  $S_{ij}$ 'nin ürün sayısı durumuna göre oluşan iki farklı senaryo;

**Basamak 2.a:** Eğer  $L_k$ 'nin kapasitesi  $S_{ij}$ 'nin ürün sayısından büyükse, eşleştirme biter ve  $L_k$  lokasyonuna başka ürün yerleşmez.

**Basamak 2.b:** Eğer  $S_{ij}$ 'nin ürün sayısı  $L_k$ 'nin kapasitesinden büyükse,  $S_{ij}$ 'nin  $L_k$  kapasitesi kadarı  $L_k$  lokasyonuna yerleştirilir. Artan kısmı için  $k+1$  indeksiyle Basamak 1 den tekrar başlanır.

**Basamak 3:**  $S_{ij}$ 'in bütün ürünleri yerleştirildikten sonra  $S_{i,j+1}$  için Basamak 1'den başlanır.

**Basamak 4:** En düşük  $i$  indeksinin bütün  $j$  elemanları lokasyonlara yerleştirildikten sonra lokasyonlar arası ve çıkışla olan transferler buralar arasındaki mesafeyle çarpılıp toplanır. Bu çarpım toplamı ve bütün kategori lokasyon eşleşmeleri çıktı olarak tutulur.

**Basamak 5:**  $i$  indeksiyle alakalı toplam kaydedildikten sonra  $i+1$  dizilim için Basamak 0'dan başlanır.

**Basamak 6:** Bütün olası  $S_i$  dizilimleri  $L$  lokasyonlarına eşleştikten sonra aralarında en düşük mesafe\*transfer sayılarını veren sonuçlar kaydedilir.

Algoritma öncelikle kısıtsız olarak çözdürülmüştür, yani bir kategorinin herhangi bir lokasyona atanmasına bir kısıt getirilmemiştir,

bu çözüm sayısal olarak minimum toplam transfer\*mesafe değerini sağlasa da deponun işlevselliği göz önünde bulundurulduğunda etkili bulunmamıştır, çünkü herhangi bir kısıt olmadığı için kategoriler dağınık yerleştirilmiştir. Daha sonra Boyner yönetiminden gelen 6 ayrı kısıt için sonuçlar elde edilmiştir. Bu kısıtlar:

- İnternet kategorisinin mevcut yerinde kalması (A)
- Sezon Sonu kategorisinin mevcut yerinde kalması (B)
- Anadolu alt deposunda sadece sezon ürünlerinin olması (C)
- İnternet Kategorisinin mevcut yerinde kalması ve Anadolu alt deposunda sadece sezon ürünlerinin olması ( $D=A+C$ )
- Sezon Sonu kategorisinin mevcut yerinde kalması ve Anadolu alt deposunda sadece sezon ürünlerinin olması ( $E=B+C$ )
- İnternet kategorisinin mevcut yerinde kalması, Sezon Sonu kategorisinin mevcut yerinde kalması ve Anadolu alt deposunda sadece sezon ürünlerinin olması ( $F=A+B+C$ )

Her ne kadar bu kısıtlar en iyi sonuçtan daha kötü sonuçlar elde edilmesine sebep olsa da, hem fiziksel hem de yer değiştirme maliyeti açısından daha uygulanabilir çıktılar verdikleri için şirket için daha karlı sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Bu kısıtların algoritmaya eklenebilmesi adına A, B ve C kısıtları için 3 tane kontrol komutu yazılmış ve bunların aktifliği ikili değişkenlere bağlanmıştır. Böylece hem diğer seçenekler bu ikili değişkenlerin birleşimleriyle elde edilebilmiş hem de algoritma, Boyner yönetiminden gelebilecek yeni kısıtlara esnek bir şekilde güncellenmiştir.

Her kısıt için Boyner'e 5 farklı yerleşke tasarımı gönderilmiştir. Gönderilen sonuçlar arasından son iki kısıt olan E ve F doğrultusunda yapılanlar yönetim tarafından beğenilmiştir ve bu son iki sonuca ek olarak Boyner yönetimi tarafından kısıtlar daha da belirginleştirilmiştir. Son kısıtlar:

- Anadolu Alt deposunda sadece sezon ürünlerinin bulunması ve mutlaka askılı, GAS ve katlı kategorilerinin hepsini barındırması
- CD12 alt deposunda sadece Sezon Sonu kategorisi ürünlerinin bulunması
- YKM alt deposunda mutlaka Sezon Sonu askılı, Boyner alt deposunda mutlaka Sezon kategorisi askılı ürünleri bulunması şeklinde belirlenmiştir.

#### **4.1.3 Yerleşke tasarımı paketinin sonuçları**

Belirtilen son kısıtlar doğrultusunda model yeniden düzenlenmiş ve elde edilen 10,000 farklı yerleşke tasarımının uygulanabilir en iyi 4 tanesi seçilip maliyet analizleri yapılmıştır. Bu 4 tasarımın ve mevcut durumun toplam ürün sayısı ve mesafeler çarpımı değerleri, maliyetleri ve yıllık getirileri aşağıdaki tablodan gözlenebilir.

Not: Baz puan, bütün ürünlerin depodaki en yakın alt depoya sığıdığının kabul edildiği senaryoda deponun sahip olduğu toplam transfer\*mesafe değeridir.

Tasarım	Toplam Transfer*Mesafe (m*adet)	Taban Puan Değeri (m*adet)	Fark (m*adet)
Mevcut	2,294,364,834.00	1,626,749,875.80	667,614,958.20
Alternatif 1	2,249,124,378.70	1,626,749,875.80	622,374,502.90
Alternatif 2	2,257,334,006.76	1,626,749,875.80	630,584,130.96
Alternatif 3	2,259,245,061.84	1,626,749,875.80	632,495,186.04
Alternatif 4	2,262,901,789.19	1,626,749,875.80	636,151,913.39

Tasarım	Mevcut Sisteme Göre Gelişme	Maaliyet (TL)	Doğrudan Gelişme	Yıllık Kazanım (TL)
Alternatif 1	6.78%	134,068	1.97%	162,674
Alternatif 2	5.55%	134,068	1.61%	133,154
Alternatif 3	5.26%	108,568	1.53%	126,282
Alternatif 4	4.71%	87,000	1.37%	113,133

Elde edilen sonuçlar değerlendirilmek üzere Boyner yönetimine gönderilmiş ve 4 numaralı sonucun uygulamaya koyulmasına karar verilmiştir. Deponun genel yerleşim planı Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'te verilmiş olup, mevcut durumun kategori dağılımları Ek 4'te verilmiştir. Önerdiğimiz alternatifler arasından, Boyner tarafından seçilerek uygulamaya koyulmaya karar verilen yerleşke tasarımıdaki kategori dağılımları Ek 5'te gözlemlenebilir. Seçilen yerleşke tasarımı doğrultusunda; mevcut sistem %4.71 gelişmiş bulunurken, mevcut sistemden önerilen sisteme geçmenin maliyeti 87,000TL ve yıllık kazanımı yaklaşık 113,000TL olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2 Sipariş toplama ve birleştirme

Depo yönetiminde, en çok zaman ve emek harcanmasına neden olan operasyon sipariş toplamadır. Tipik bir depoda operasyonel maliyetlerin %55'i sipariş toplamadan kaynaklanmakta ve bu yüzden sipariş toplamının teslimat süresine doğrudan etkisi bulunmaktadır. Sipariş toplamının üç parametresi vardır; bunlar ürün adresleme, yerel arama ve yürüme yollarıdır. Hedef, siparişleri en az zaman ve çabayla toplamak olsa da farklı siparişler için zamanın ve çabanın eniyilemesi zor olabilmektedir [1]. Boyner'in doğal yapısından dolayı, çok sayıda değişik ürün depolanmaktadır. Her sezon ürün çeşitliliği değiştiğinden



dinamik bir sipariş toplama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sipariş toplama sistemi anlık gelişmelere uygulanabilecek esneklikte olmalıdır.

#### **4.2.1 Sipariş toplama rotası bulma**

Boyner'deki mevcut kullanılan depo yönetim sistemi (WMS) Ekol Sakura deposuna aittir. Bu sistem depodaki bütün ürünlerin lokasyon bilgisine sahiptir. Toplanılacak olan ürünlerin listesi sisteme girildikten sonra WMS En Yakın Komşu Algoritmasını (NNA) uygulayarak bu ürünlerin hangi sırayla toplanacağına karar vermektedir. Bu algoritmada ilk toplanılacak ürün toplayıcı tarafından seçildikten sonra, bir sonraki ürünü her seferinde bulunulan ürüne en yakın olacak şekilde seçmektedir. Ancak bu sistem deponun geometrik şeklinin bilgisine sahip olmadığı için kullanıcıya bir sonraki noktaya hangi yolları kullanarak varması gerektiğini söyleyememektedir. Bu da sistemin verimliliğini insan faktörüne bağlı hale getirmektedir [5].

Siparişteki ürünlerin çeşitliliğine bağlı olarak, toplayıcı depoda ürünleri tek tek aramak zorundadır. Bu süreç zamanın büyük bir kısmını tüketmektedir. Bu yüzden, sevkiyat öncesi bütün ürünlerin hazır olması için yürüme mesafesi en aza indirilmelidir. Bunu yapabilmek için, yerleşke tasarımına ve sipariş çeşitlerine uygun bir toplama yolu algoritmasına ihtiyaç vardır. Bu yüzden farklı sezgisel algoritmalar araştırılmış ve S-şekilli (S-shaped/transversal), Geri dönüş U (return), Orta-nokta (mid-point), En büyük aralık (largest-gap) ve Dallama ve Toplama (Branch and Pick) algoritmaları elde edilmiştir [4]. Bu algoritmalar ve şirketin şu an kullanmış olduğu en yakın komşu algoritması “Gezgin Satıcı Problemi (Traveling Salesman Problem)” modeli ile kıyaslanmıştır. Algoritma kıyaslamaları için basit bir depo tasarımı ve içinde rastgele toplama noktaları oluşturulmuştur. Her bir algoritma bu tasarım üzerinde uygulanmış, sonuçları Ek 6’da gösterilmiştir. Kıyaslama Boyner deposu tasarımı üzerinde, depodan alınan verilere de uygulanmıştır ve sonuçlar Ek 7’de gösterilmiştir. Bulunan çözümler arasında en iyisini En Yakın Komşu Algoritması sağlamaktadır ve TSP çözümünden yalnızca 2.3% daha uzun bir rota çıkartmaktadır.

#### **4.2.2 Sipariş birleştirme**

Sipariş başına ortalama yürüme süresini azaltan ve böylece sistem performansını artıran en yaygın ve verimli stratejilerden biri sipariş birleştirmedir. Her bir sipariş birleştirme işleminin sonucunda birden fazla sipariştten oluşan yeni bir grup yaratılır ve bu grupların her biri için ayrı bir toplama yolu oluşturulur. Oluşturulan grupların içerdiği sipariş miktarı toplama aracının kapasitesine kısıtlandırılır. Sipariş birleştirmedeki amaç birbirine yakın mesafede bulunan siparişleri aynı gruplara yerleştirip, sipariş başına düşen ortalama toplama zamanını azaltmaktır; ama bunu yaparken bir gruptaki sipariş sayısının artmasıyla, o tur için toplama zamanı da artmaktadır. Bu sebeple aynı

gruptaki ürünlerin birbirine yakınlığının yanında, tek seferde toplanacak ürün sayısı da depodaki verimliliğin artırılmasında önemli bir kısıttır.

Boyner deposunun farklı çalışma prensiplerini benimsemiş; İnternet, Sezon ve Anadolu gibi alt depolardan oluşması sebebiyle, gelen siparişler ürün sayısı ve çeşitliliği açısından farklılıklar taşımaktadır. İnternet Depo'da sipariş başına ortalama 3 ürün düşerken Anadolu ve Sezon Depoları mağazalardan sipariş aldıkları için bu sayı çok daha yüksektir. Bu sebeple sipariş birleştirme işlemi yapılırken bir diğer kısıt da, her bir siparişteki ürünlerin aynı toplama gruplarında yer alması zorunluluğudur. Bu kısıt ürünler toplandıktan sonraki tekrar siparişlere bölünme ve paketlenme aşamalarının daha hızlı ve verimli olması için önem taşımaktadır.

Sipariş birleştirme için ilk olarak amacı minimum grup sayısını oluşturmak olan Kutulama Problemi (Bin Packing Problem (BPP)) incelenmiştir. BPP kapasite kısıtını sağlarken en az grup sayısını oluşturur ama oluşturulan gruptaki ürünlerin yakınlığı gözetilmediği için toplama rotaları beklenenden uzun olabilir. Bu sebeple, kapasite kısıtının yanında ürünlerin konumları da gruplandırma yapılırken dikkate alınmalıdır. Ayrıca BPP karmaşık bir problem olduğu için çalışma süresi girilen verinin büyüklüğüne bağlı olarak ciddi oranlarda artış göstermektedir. Bunun yanında sipariş birleştirme Boyner tarafından sık sık uygulanması gereken ve hızlı çözüm vermesi gereken bir operasyon olduğu için sezgisel bir algoritmanın kullanılması sistem verimliliği açısından daha uygundur [7].

#### **4.2.2.1 Önerilen gruplama algoritması**

Sipariş birleştirme, Boyner'in mevcut sisteminde kullanılan stratejilerden biridir ancak bu stratejiyi uygulanmak için depoda sistematik bir yöntem kullanılmamaktadır. Mevcut yöntemde siparişler geldikleri sıra ve toplama arabasının kapasitesi de göz önünde bulundurularak gruplandırılmaktadır ancak bu yöntem, gruplarken siparişlerin birbirine uzaklığını dikkate almadığı için rastgele rotalara sebep olmaktadır. Araştırmalar sırasında "Clarke and Wright Gruplama Algoritması" incelenmiş ve Boyner tarafından sağlanan veriler üzerinden denemeler yapılmış ve sistem için uygulanabilir olduğuna karar verilmiştir. Algoritma Boyner deposu için uyarlanırken şu iki varsayım dikkate alınmıştır; ürünler arası toplama yolu, Boyner Depo'sunda kullanılan En Yakın Komşu Algoritması'na göre hesaplanmıştır, ve her sipariş birden fazla üründen oluşabileceği için siparişler için tekli toplama zamanları hesaplanırken de En Yakın Komşu Algoritması kullanılmıştır.

Önerilen algoritma için notasyonlar ve algoritmanın genel formu aşağıda açıklanmıştır.

#### **Girdiler**

*U: toplanacak sipariş listesi*

$N_i$ : sipariş  $i \in U$ 'nin içerdiği eleman sayısı  
 $Cap$ : tek seferde toplanabilen maksimum ürün sayısı  
 $t_i$ : sipariş  $i \in U$ 'nin tek başına toplanma süresi  
 $t_{ij}$ : sipariş  $i \in U$  ve  $j$ 'nin birlikte toplanma süresi  
 $s_{ij}$ : sipariş  $i \in U$  ve  $j \in U$ 'nin birlikte toplanılmasından sağlanan kazanım

### **Çıktılar**

$K$ : oluşturulan grup sayısı

$G_k$ : oluşturulan  $k$  grubu içerisindeki siparişler

**Basamak 1:** Tüm ikili sipariş kombinasyonları için  $s_{ij}$  değerleri hesaplanır ve  $S[ixj]$  kazanım matrisi oluşturulur.  $s_{ij} = t_i + t_j - t_{ij}$

**Basamak 2:**  $S[ixj]$  üzerinde en yüksek pozitif değeri veren ikili seçilir. Aynı kazanımı sağlayan birden çok ikili mevcutsa, aralarından herhangi biri seçilir.

**Basamak 3:** Seçilen ikilinin daha önceden herhangi bir grup ile birleştirilip birleştirilmediği kontrol edilir. Bunun sonucuna göre 3 durum oluşabilir;

**Basamak 3.a:** Siparişlerden her ikisi de daha önce başka gruplara atanmamışsa ve kapasite sınırı aşılmıyorsa yeni bir grup oluşturulur, iki sipariş de bu gruba atanır. Oluşturulan grubun kapasitesi eklenen sipariş büyüklükleri kadar azaltılır. Bu siparişlere ait  $s_{ij}$  değeri 0'a eşitlenir.

**Basamak 3.b:** Siparişlerden yalnızca biri daha önce farklı bir gruba atanmışsa ve bu grubun kalan kapasitesi yeterliyse diğer sipariş de buraya atanır. Grubun kapasitesi eklenen sipariş büyüklüğü kadar azaltılır. Aksi takdirde bu siparişlere ait  $s_{ij}$  değeri 0'a eşitlenir.

**Basamak 3.c:** Siparişlerin her ikisi de başka grup ya da gruplara yerleştirilmişse, bu siparişlere ait  $s_{ij}$  değeri 0'a eşitlenir.

**Basamak 4:**  $S[ixj]$  üzerindeki tüm değerler 0'a eşitlenene kadar algoritma uygulanmaya devam edilir. Eğer  $S[ixj]$  üzerinde pozitif bir değer varsa, Basamak 2'ye geri dönülür.

Depodaki mevcut gruplama sistemi önce gelen siparişlerin araba kapasitesini doldurana kadar gruplanması şeklindedir. Algoritma deponun yerleşkesi üzerinde gerçek verilerle denenmiştir. 9 farklı sipariş için algoritma uygulanmış olup, toplama arabası kapasitesi Boyner'in de onayladığı üzere 500 ürün olarak belirlenmiştir.

Mevcut gruplama yöntemi ile ulaşılan sonuçlar Ek 8'de, önerilen algoritma ile ulaşılan sonuçlar Ek 9'da gösterilmiştir. Mevcut algoritma ile önerilen algoritma sonuçları kıyaslanmıştır.

### **4.2.3 Sipariş toplama ve birleştirme paketinin sonuçları**

Sipariş toplama algoritmaları içerisinde TSP ile bulunan en kısa toplama yolu ile mevcut algoritma NNA arasında %2.3 kadar fark görülmüştür.

Gruplama algoritması ile bulunan toplama rotasının uzunluğu, mevcut gruplama sistemine göre %28 daha kısa hesaplanmıştır.

### **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Yerleşke tasarımında KAP uyarlaması bir algoritma kullanılarak oluşturulan sonuçları yorumlayabilmek için bir temel değeri belirlenmiştir. Bu değer, depodaki bütün ürünlerin en yakın alt depoya sığdığı varsayımıyla, tüm lokasyonlara ait giriş, çıkış ve i transferler toplamının algoritma ile hesaplanmasıyla bulunmuş olup, deponun sahip olacağı toplam transfer\*mesafe değeridir. Bu değer baz alınarak elde edilen sonuçlar mevcut sistemle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre son kısıtlara göre belirlenen yerleşke tasarımlarından Boyner tarafından uygulanması kabul edilen sistemin toplam transfer\*mesafe değeri, mevcut sistemden %4.71 daha iyiyken; algoritmanın elde ettiği en iyi sonuç, mevcut sistemden %6.78 daha iyidir. Maaliyet analiziyle beraber gönderilen tasarımlar arasından dördüncü tasarım Boyner tarafından onaylanmış ve uygulamaya konmaya karar verilmiştir.

Sipariş Toplama Rota Bulma yöntemlerinde TSP model uygulaması her gün çalıştırılması gereken bir model olduğundan mevcut durumdan daha çok zaman gerektirmesi ve Ekol Sakura Depo'nun sistemini değiştirmenin uygulanabilirlik açısından sorun yaratması sebebiyle mevcut uygulamaya devam edilmesine karar verilmiştir.

Sipariş birleştirme uygulamasında ise daha sistemli bir yönteme ihtiyaç olduğu Boyner tarafından da onaylanmıştır. şirketin bilgi işlem biriminin Clarke and Wright Gruplama Algoritması kullanılarak geliştirilen ve önerilen algoritmayı uygulamasını kararlaştırmıştır. Bu uygulama biçimsel olarak işçilerin yapacakları işlemlerde herhangi bir yeniliğe sebep olmayacak, yalnızca sipariş listeleri artık önerilen algoritmayla oluşturacaktır.

## KAYNAKÇA

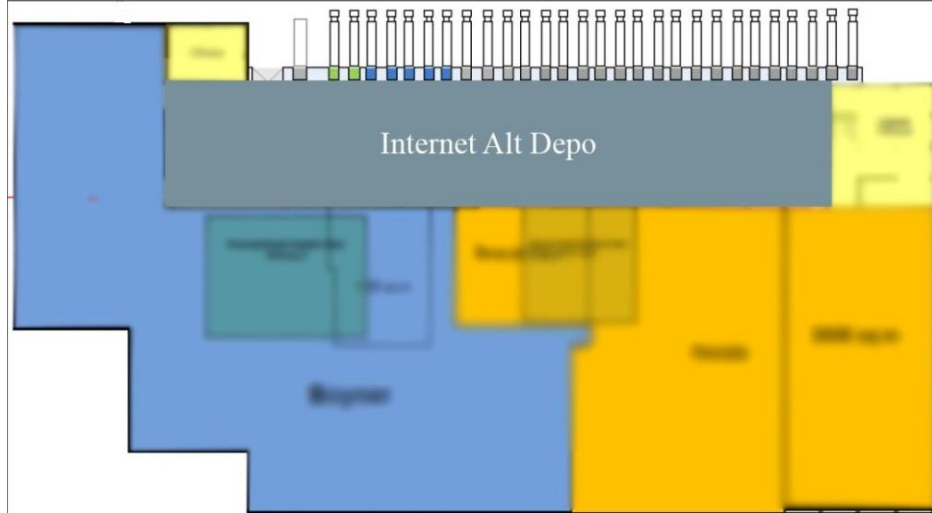
- [1] Bartholdi, John, & Hackman, Steve, *Warehouse & distribution science* (Release 0.96, Aug. 19, 2014. ed.). Atlanta, Ga.: Supply chain and logistics Institute, Georgia Institute of technology.
- [2] Sule, D.R., *Manufacturing Facilities Location, Planning, and Design*, Louisiana Tech University, PWS Publishing Company, Boston, p. 490-493.
- [3] Bukard, Rainer E., et al. *The Quadratic Assignment Problem*, Center for Applied Optimization, Industrial and Systems Engineering Department, University of Florida, Gainesville, FL 32611
- [4] Claudia Chackelsona, Ander Errastia, David Ciprésb and Fernando Lahozb (2013) Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A Design of Experiments approach, International Journal of Production Research
- [5] Chien-Ming Chen, Yeming Gong, René B.M. de Koster, Jo A.E.E. van,(2010) A Flexible Evaluative Framework for Order Picking Systems, PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT
- [6] John J. BARTHOLDI, III Steven T. HACKMAN, (2014), WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE, The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology
- [7] M. de Koster , M. Wolters (1999) Production Research, Efficient orderbatching methods in warehouses

## EKLER

### Ek 1. Ekol Depo Zemin Kat Yerleşke Planı



### Ek 2. Ekol Depo 1. Kat Yerleşke Planı



### Ek 3. Ekol Depo 2. Kat Yerleşke Planı



**Ek 4. Mevcut Durumda Alt Depolardaki Kategori Dağılımı**

Mevcut Durum		
Lokasyon Adı	Kat	Atanmış Olan Kategori
Boyner Alt Depo	Z	Sezon Askılı
	1	Sezon Sonu Katlı
	2	Sezon Sonu Katlı
	3	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
YKM Alt Depo	Z	Sezon Sonu Askılı
	1	Sezon Katlı
	2	Sezon Katlı
	3	Sezon Sonu Katlı
Anadolu Alt Depo	Z	Sezon Askılı
	1	Sezon Katlı
	2	Sezon Katlı
	3	Sezon Katlı
Sezon Sonu Alt Depo	Z	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
	1	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
	2	Sezon Sonu Katlı
	3	Sezon Genç Aktif Spor
İnternet Alt Depo	Tek Katlı	İnternet Askılı-Katlı-Home
İade Alt Depo	Tek Katlı	Sezon Sonu Katlı

**Ek 5. Uygulanacak Sistemde Alt Depolardaki Kategori Dağılımı**

Uygulanacak Olan Sistem		
Lokasyon Adı	Kat	Atanmış Olan Kategori
Boyner Alt Depo	Z	Sezon Askılı
	1	Sezon Katlı
	2	Sezon Katlı
	3	Sezon Katlı
YKM Alt Depo	Z	Sezon Sonu Askılı
	1	Sezon Katlı
	2	Sezon Sonu Katlı
	3	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
Anadolu Alt Depo	Z	Sezon Askılı
	1	Sezon Katlı
	2	Sezon Katlı
	3	Sezon Genç Aktif Spor
Sezon Sonu Alt Depo	Z	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
	1	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
	2	Sezon Sonu Katlı
	3	Sezon Sonu Genç Aktif Spor
Internet Alt Depo	Tek Katlı	Internet Askılı-Katlı-Home
İade Alt Depo	Tek Katlı	Sezon Sonu Katlı

#### Ek 6. Sipariş Toplama Algoritmalarının Örnek Verilerle Sonuçları

Algoritma	Toplama Yolu (birim)
S Yöntemi	172
U Yöntemi	161
Orta Nokta Yöntemi	153
En Büyük Aralık Yöntemi	150
En Yakın Komşu Algoritması (NNA)	129
Gezgin Satıcı Problemi (TSP)	126

#### Ek 7. Sipariş Toplama Algoritmalarının Gerçek Verilerle Sonuçları

Algoritma	Toplama Yolu (m)
S Yöntemi	284
U Yöntemi	372.8
Orta Nokta Yöntemi	309.4
En Büyük Aralık Yöntemi	300.8
En Yakın Komşu Algoritması (NNA)	258.8
Gezgin Satıcı Problemi (TSP)	253.2

#### Ek 8. Mevcut Gruplama Yöntemi Sonucu Gruplamalar ve Veriler

Grup	Siparişler	Kalan Kapasite	Toplam Yol (m)
A	1-2-3-4	80	178.80
B	5-6-7	0	180.30



<b>C</b>	8-9	355	174.40
<b>Toplam Yol (m)</b>			533.50

**Ek 9. Önerilen Yeni Algoritma Sonucu Gruplamalar ve Veriler**

<b>Grup</b>	<b>Siparişler</b>	<b>Kalan Kapasite</b>	<b>Toplam Yol (m)</b>
<b>A</b>	1-9-3-2-8	25	192.80
<b>B</b>	4-5-6	10	177.20
<b>C</b>	7	420	46.40
<b>Toplam Yol (m)</b>			416.40

# **Depo Kullanım Verimliliğinin Artırılması**

## **Doğadan Gıda Ürünleri San. ve Paz. A. Ş.**

### **Proje Ekibi**

Levent Acar  
Ezgi Babaoğlu  
Atacan Baran  
Can Cicioğlu  
İdil Deniz Selçuk  
Tayyibe Tuğçe Yanıkkaya

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

Ercüment Balcı  
Doğadan, Planlama ve Lojistik Müdürü

### **Akademik Danışman**

Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

### **ÖZET**

Doğadan Gıda Ürünleri San. ve Paz. A.Ş'nin Ankara'da bulunan çay üretim fabrikasında kullanılan hammaddelerin depolandığı alanda, stok fazlalığı ve deponun kapasite kısıtları nedeniyle yoğunluk ve erişim problemleri yaşanmaktadır. Çay üretiminin yüksek olduğu dönemlerde depo kapasitesini aşan stok seviyesi, raf aralarının depolama alanı olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Projeye amaçlanan iyileştirme; üretim hattına gönderilecek çay torbalarının ulaşılabilirliğinin sağlanması ve üretimde kullanılan reçete değişiminin en aza indirgenmesidir. Bu amaca ulaşmak için üretim planı ve depoya gelecek çay torbalarının teslimat planı kullanılarak envanter kullanım planını çıkaracak matematiksel modelleme yapılmış, her bir çay torbasının üretime gireceği zaman belirlenmiştir. Çay torbalarının kullanım planına ve deponun şu andaki yerleşim planına göre ulaşılabilir kalması gereken koridorlar saptanıp, yıllık palet yer değişimi planlaması yapılmıştır. Bu sayede şirkete uygulanabilir envanter ve depo yerleştirme planlaması sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Depo Yönetimi, Envanter Planlama, Atama Problemi

### **1. Proje Özeti**

Bu rapor, İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün Lisans Bitirme Projesi

kapsamında gerçekleştirilen Doğadan Gıda Ürünleri San. ve Paz. A. Ş. için Depo Kullanım Verimliliğinin Artırılması Projesi'ni detaylı olarak incelemekte ve firmanın sahip olduğu problemleri ortadan kaldırmaya yönelik çözüm önerileri sunmaktadır.

Firma, depo kapasitesinin yeterli olmaması ve bu nedenle fazla materyalin yarattığı ölü alandan dolayı istenen hammaddelere ulaşamama sıkıntısı yaşamaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla; depoya gelen envanterin üretimde ne zaman kullanılacağını bulmayı amaçlayan model geliştirilmiş ve bu modelle yakın zamanda kullanılacak olan materyallerin ulaşılabilir raflara yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen envanter yönetimi sistemi, firmanın mevcut durumda sahip olduğu envanter bilgisi, üretim planı, üretilecek olan çayların reçete bilgileri ve bir yıllık zaman diliminde fabrikaya yeni gelecek olan envanterin detaylı planındaki rakamlar bütünsel olarak düşünülerek gerçekleştirilmiştir.

Projenin uygulanması durumunda, Doğadan Gıda Ürünleri San. ve Paz. A. Ş.'nin mevcut deposu istenilen yerleşim düzenine sahip olacak, depoya bir yıl içerisinde gelecek çayların hangi raflara yerleştirileceği Rize'den gönderilmeden önce kesinleştirilmiş olacak ve üretimde reçete değişikliği yapılmaksızın son ürün kalitesi istenen seviyede tutulacaktır.

## **2. Şirket Tanıtımı**

Doğadan Gıda Ürünleri San. ve Paz. A.Ş. 1985 yılında Eczacı Nevzat Karpuzcu tarafından kurulmuş ve ilk ürünlerinin "Demle" markası altında eczane kanalında satışına başlamıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde bitki çayı ve siyah çay pazarında önemli oyuncuların biri konumuna gelen firma, 2007 yılında Coca-Cola Company tarafından satın alınmıştır. Akyurt/Ankara'daki üretim tesislerinde siyah çay ve bitki çayı kategorisindeki ürünlerinin üretimini gerçekleştiren Doğadan, soğuk çay, bitki şekeri ve püre gibi ürün gruplarını da bünyesinde barındırmaktadır. (Balcı (2015), Doğadan (2015))

Doğadan ürünlerinin hammaddeleri 5 kıta ve 80 ülkeden temin edilmektedir. Sadece Doğadan kalite standartlarına uygun hammaddeler üretimde kullanılmaktadır. Bitkiler hasat edilerek, özel kurutma, kesim, karışım ve paketleme işlemlerinden geçirilir. Doğadan ürünleri, özel AR-GE çalışmalarıyla yaratılır ve her bitkinin özelliklerine göre en doğru miktarlarda karıştırılan çayların istenilen tat, renk, dem, doyunluluk ve kıvamda olması sağlanır. Böylece özgün ve sadece Doğadan'a ait formüller ile oluşturulmuş çaylar elde edilir. (Doğadan, 2015)

## **3. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **3.1 Proje kapsamı**

Doğadan Akyurt fabrikasında gerçekleştirilen üretim harmanlama ve paketleme olarak iki temel başlık altında toplanabilir.

Hammaddeleri Rize ve yurtdışındaki tedarikçilerden getirilen siyah çay ve bitki çayları, gerekli formüller baz alınarak harmanlama işleminden geçirilir. Farklı kimyasal özelliklere sahip çay yaprakları ve lezzet içerikleri, paketlenme aşamasından önce belirli oranlarda karıştırılır. (Balıcı, 2015)

Proje kapsamında ele alınacak depoda büyük oranda siyah çay üretimi için kullanılan hammaddeler bulunmaktadır. Siyah çay üretim planını baz alarak hazırlanan üretim reçeteleri, son ürünün içerisinde bulunacak ürünlerin tipi ve miktarlarını işaret etmektedir. Reçete doğrultusunda depodan çıkarılıp üretim hattına transfer edilecek çay torbaları, erişilebilir konumda tutulmalı ve forkliftin ulaşabileceği bölgelerde tutulmalıdır. (Balıcı, 2015)

Bu projede, toplam fabrika üretiminin miktar olarak %93'ünü oluşturan 8 siyah çay ürünü esas alınmıştır. (Ek-1) Her bir ürünün yıllık üretim tahminleri, hammadde gelişleri ve güncel stok bilgileri incelenmiş, bu ürünlerin hammaddeleri için en yüksek seviyede erişilebilirlik esas alınmıştır.

### **3.2 Sistem analizi**

Proje kapsamında incelenen siyah çay ürünlerinin üretim süreci ve hammaddelerin nevi, yıl ve sürgün özellikleri depo yerleşimi konusunda büyük önem taşımaktadır. Depoda bulunan her bir çay torbası, belli ayırt edici kimyasal özellikleri içinde barındıran ve “nevi” adı verilen hammadde tiplerine göre ayrıştırılır. Neviler belli oranlarla birleştirilerek çay harmanını oluştururlar. Bununla birlikte bir yılda çayların hasat edildiği üç farklı sürgün dönemi vardır. Nisan-Haziran arası hasat edilen çaylar birinci sürgün, Temmuz-Ağustos arasında hasat edilenler ikinci sürgün, sonrasındakiler de üçüncü sürgün olarak adlandırılır.

Nevi, yıl ve sürgün farklılıkları çayın tadı ve sertliği gibi bazı özellikleri etkileyen faktörleri oluşturur. (Ek-2) Bu nedenle son ürün olan siyah çay harmanları, formülü Doğadan tarafından belirlenmiş yıl ve sürgün ortalamaları tutturularak üretilir. Üretimde hangi çay torbalarının kullanılacağını açıklayan reçete dokümanları, nevi ve sürgün olarak iki ayrı standardı takip etmeyi hedefler. Bu standartlar her bir ürün özelinde önceden belirlenmiş olup, depodan üretim hattına transfer edilecek çay torbalarına bu reçeteler sayesinde karar verilir. Gerekli çay torbaları depo içinde erişilebilir durumdaysa, forkliftler aracılığıyla üretim hattına taşınır.

Üretim süreçleri temel olarak dört ana departman tarafından yönetilir. Satış Departmanı, öngörülen satış tahminleri doğrultusunda her bir ürün için aylık üretim miktarlarını belirler. Bu talepler aylık olarak güncellenerek Planlama ve Lojistik Departmanına iletilir. Bu departman da planlanan üretim miktarlarını karşılamak için gerekli olan hammaddenin satın alınmasını ve Rize'den Akyurt depoya transferini

düzenler. Hammadde alımları ihtiyaca bağlı olarak tüm yıl boyunca devam eder. Satın alınan hammaddeler depoya giriş yaptıklarında boş olan raflara rastgele yerleştirilirler. Boş raf olmaması durumunda raf aralarındaki koridorlar depolama alanı olarak kullanılabilir. Bu koridorlar “ölü alan” olarak adlandırılır ve bu alanlara forklift erişimi olmadığından gerek yerde gerekse raflarda bulunan çay torbaları sistem tarafından bloke edilir. Son olarak Üretim ve Ar-Ge Departmanları ise üretim planını takip ederek günlük üretim reçetelerini hazırlar, üretim hattındaki faaliyetleri sürdürür ve son ürünün kalite standartlarına uygunluğunu kontrol ederler. (Ek-2)

Üretim hattının taleplerine göre depodan üretim bölgesine günde ortalama 60 palet çay torbası transfer edilir. Üretimin yoğun olduğu yaz ve sonbahar aylarında bu sayı daha da artmaktadır. Bu sebeple özellikle üretimin yoğun olduğu aylarda, kullanılacak çay torbalarının gerektiği zaman erişilebilir bölgede olmasının önemi büyüktür; çünkü eğer gerekli çay torbası ölü alanda bulunuyorsa, üretim planında aksamalar meydana gelebilmektedir.

Depo toplam 14.000m<sup>2</sup> açık alana ve 20.050 palet kapasitesine sahiptir (Ek- 3). Raf yerleşimi ve depo iç dizaynı bu projenin kapsamı dışındadır. Mevcut raflar kullanılarak yapılan yeni yerleşim planı projede temel alınmıştır.

#### **4. Problem Tanımı**

##### **4.1 Belirtiler ve şikayetler**

Paletler halinde istiflenen çay torbaları, yedişer katlı raf gözlerine yerleştirilerek depolanmaktadır. Her bir raf gözü, şirketin kullandığı kaynak yönetim sisteminde tanımlıdır ve boşalan raflar saptanıp yeni gelen paletler bu raflara yerleştirilir. Çay hasadının yüksek miktarlarda olduğu yaz ve sonbahar aylarında ise Rize’den alınan çaylar depo kapasitesini aşacak şekilde depoda konumlandırılabilir. Deponun palet kapasitesi aşıldığı durumlarda çay torbaları koridorlara yerleştirilir ve bu durum ölü alanların artmasına sebep olur. (Balcı, 2015)

Deponun yoğun olduğu aylarda stok seviyesi 25.000 palete kadar çıkabilmektedir. Bu durumda 5.000 kadar palet koridor zeminlerinde konumlandığından, birçok koridor ve raf gözü erişilemez duruma gelmektedir. Koridorların ölü duruma geçmesiyle sadece yeni gelen ve koridora konulan çay torbaları değil, aynı zamanda raf gözlerinde bulunan çay torbaları da erişilemez hale gelmektedir. Dolayısıyla rafta olduğu sistemde görülen ve kullanıma açık olması gereken çay torbaları, yoğunluk sebebiyle erişilememekte ve üretime alınamamaktadır. Ar-Ge çalışanları bu sorunu gidermek için başka reçetelerle ilerlemek durumunda kalmaktadır. (Balcı, 2015)

Ölü alanların yarattığı bir başka önemli sıkıntı, koridor arasına konan çay torbaları depo yönetim sistemine tanımlanamadığı ve

bulunduğu bölge adreslenmediği için bu torbaların kayıt altına alınamamasıdır. Bulunduğu konum sisteme kaydedilemeyen bu çay torbalarının daha sonra kullanılması gerektiğinde, yeniden barkod kontrolü yapılıp zaman kaybı yaşanmaktadır.

Bahsedilen tüm bu problemler, planlanan satış miktarlarını aşağı çekmekte ve ilk giren ilk çıkar politikasında aksamalara sebep olmaktadır. Bunların yanısıra, uzun süre ölü alanda kalan çaylar zamanla bozulabilip, atık haline gelmektedir. Tüm bu belirtilerden hareketle, depo kapasitesi ve stok miktarı paralellik göstermediği için tüm üretim sürecini kapsayan büyük çapta sorunlar yaşanmaktadır.

#### **4.2 Problem tanımı**

Şirket ile yapılan toplantılar sonrasında depoda rastgele yerleşim modeli kullanılmasına bağlı olarak hangi torbanın ne zaman kullanılacağına bilinmemesi, koridorlarda yaşanan yoğunluk dolayısıyla üretimde kullanılacak ürünlere ulaşılamaması ve akabinde üretim planında aksaklıklar oluşması projenin problem tanımı olarak belirlenmiştir.

İhtiyaç duyulan materyallere ulaşılamaması iki farklı soruna yol açmaktadır. Bunlardan ilki, ihtiyaç duyulan ölü alandaki bir çay torbasına ulaşabilmek için depo çalışanlarının o torbaya ulaşana kadar ölü alandaki bütün torbaları yerinden oynatması, bundan kaynaklanan zaman ve iş gücü kaybıdır. Şirketten alınan bilgilere göre bir torbaya ulaşmak için harcanan ortalama süre 2 saat olup sene boyunca yaklaşık 2800 kere bu sorunla karşılaşmaktadır. (Balcı, 2015) Doğabilecek ikinci önemli sorun ise reçeteleri oluşturan Ar-Ge departmanının gerekli torbaya ulaşamadığı için gerçekleştirdiği reçete değişikliğidir. Reçetelerin değişmesi üretilecek çayın içeriğinin ve dolayısıyla tadının değişmesi anlamına geldiğinden istenmeyen sıkıntılar doğmasına yol açmaktadır.

#### **4.3 Literatür taraması**

Benzer depo sistemlerini analiz edebilmek için proje kapsamında literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı alokosyan problemleri arasında literatürde en çok geçen Depo Atama Yöntemleri olarak projemizde yararlanabileceğimiz örnekler olarak belirlenmiştir. (Koster (2007) , Mezghani and Frikha (2012))

##### **4.3.1 Depo atama yöntemleri**

**Rastgele Depolama:** Her bir boş alan SKU yerleştirme bakımından eşit olasılıkta önceliğe sahiptir. Gelen ürünler, ilk uygun bulunan alana, ne zaman üretime gönderileceği dikkate alınmaksızın koyulur. (Koster ,2007)

**Adanmış Depolama:** Tüm ürünler depo alanında önceden tanımlanmış bir yere sahiptir. Ürün henüz depoya gelmeden bu ürünün konulacağı yer saptanmıştır. (Koster (2007) ,Tsige (2013), Fumi (2015))

Sınıf Tabanlı Depolama: Bu metot yukarıda bahsedilen iki farklı metodun birleşimidir. Öncelikle ürünler üretim planına göre gruplandırılır. Sonrasında her grup kendi grupları için önceden saptanmış alanda herhangi bir yere konumlandırılır. Sonuç olarak en çok kullanılması beklenen ürünler en yüksek ulaşım seviyesine sahip alanlara yerleştirilmiş olur. (Koster ,2007)

Aile Gruplandırması: Benzer ürünler yakın yerlere yerleştirilir. Bu metot ile pek çok ürün tipi için kullanılan ortak ürünler bir yerde konumlanmış olur. (Koster ,2007)

### 5. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar

Tanımlanmış problem için iki ayrı matematiksel modelleme yapılmıştır. Envanter Planlama Modeli, ilk giren ilk çıkar prensibini uygulamayı amaçlayarak hangi çay torbasının ne zaman kullanılacağını hesaplarken, ikinci model ilk modelin çıktılarını kullanarak ve mevcut depodaki yerleşim planını girdi olarak alarak önümüzdeki sene kullanılmayacak koridorları belirlemektedir. (Tsige, 2013)

#### 5.1 Envanter planlama modeli

##### Kümeler

s: Nevilerin Sürgün Yılı	$s \in \{1,2,3\}$
n: Çayın içeriğini oluşturan nevi	$n \in \{1,2,3,\dots,24\}$
t: Üretim ayı	$t \in \{1,2,3,\dots,9\}$
k: Üretilecek SKU	$k \in \{1,2,3,\dots,8\}$
a: Yeni gelen çayların geliş zamanları	$a \in \{1,2,3,\dots,12\}$

##### Parametreler

$P_{kt}$ = t'inci ayda üretilmesi gereken SKU k miktarı

$S_{sk}$ = SKU k için gerekli s sürgün yüzdesi

$I_{sna}$  = geldiği ay, sürgün ve nevi cinsinden envanter seviyesi

$G_{nk}$  =SKU k için gerekli n nevi yüzdesi

$B_{nk}$ = 1 eğer n nevisi k SKU üretiminde kullanılıyorsa; 0 aksi takdirde

##### Karar Değişkenleri

$X_{sntka}$ = t'inci ayda k SKU'sunun üretiminde kullanılacak a ayında gelen s sürgünü ve n nevisi özelliklerine sahip çay torbası

##### Amaç Fonksiyonu:

$$\text{enb} \sum_{k=1}^8 \sum_{t=1}^9 \sum_{n=1}^{24} \sum_{s=1}^3 \sum_{a=1}^{12} (13 - a) * X_{sntka}$$

##### Kısıtlar:

$$\sum_{a=1}^{12} \sum_{s=1}^3 X_{sntka} = G_{nk} * P_{kt} \quad t \in \{1, \dots, 9\} \& k \in \{1, \dots, 8\} \& n \in \{1, 2, \dots, 24\}$$

$$\sum_{a=1}^{12} \sum_{n=1}^{24} X_{sntka} = S_{sk} * P_{kt} \quad t \in \{1, \dots, 9\} \& k \in \{1, \dots, 8\} \& s \in \{1, 2, 3\}$$

$$X_{sntka} = 0 \text{ for } a - t \geq 3 \& a = \{4, 5, \dots, 12\}$$

$$\sum_{s=1}^3 \sum_{a=1}^{12} \sum_{t=1}^9 X_{sntka} = 0 \text{ for } \forall n, \forall k : B_{nk} = 0$$

İlk modelin girdileri; şirket tarafından gönderilen üretim planı, nevi ve sürgün bazlı reçete oranları, mevcut envanter ve gelecek olan çay torbalarıdır. (Ek-1,2) Kuru çayın raf ömrü 3 sene olduğu için mevcut durumda 2014, 2015 ve gelecek olan 2016 çayları, reçete oranlarına bağlı kalmak şartıyla İlk Gelen İlk Çıkar (FIFO) prensibi ile hangi çay torbasının, hangi SKU için ne zaman kullanılacağını hesaplamaktadır. Parametreler olarak üretim planı, reçetelerdeki nevi oranları, reçetelerdeki sürgün oranları ve mevcut envanter seviyesi kullanılmıştır Bu modelde üç karar değişkeni kullanılmıştır. Ana karar değişkeni olan  $X_{sntka}$ ; nevi, sürgün, geliş yılı, üretim ayı ve üretilecek SKU bazında kilo cinsinden değer vermektedir. Modeldeki denklemler ise şirketin envanter seviyesi, reçete nevi ve sürgün oranları, üretim planı gibi kısıtları sağlayarak İlk Gelen İlk Çıkar (FIFO) prensibine göre planlama sağlar. (Horvat, 2012) Bahsedilen model, çıktı olarak ay bazında kullanılacak her bir çay torbasının nevi, sürgün ve depoya geliş ayı bazında planlamasını yapmaktadır.

## 5.2 Atama modeli

### Kümeler:

s: Nevilerin Sürgün Yılı	$s \in \{1, 2, 3\}$
n: Çayın içeriğini oluşturan nevi	$n \in \{1, 2, 3, \dots, 24\}$
a: Yeni gelen çayların geliş zamanları	$a \in \{1, 2, 3, \dots, 12\}$
r: Koridor numarası	$r \in \{1, 2, 3, \dots, 15\}$

### Parametreler:

$P_{nsar}$  = koridor r'deki n nevisi, s sürgünü ve a ayı özelliğine sahip çay torbası

$A_{nsa}$  = canlı alanda olması gereken s sürgünü ve a ayı özelliğine sahip çay torbası

$B_{nsa}$  = ölü alanda olması gereken s sürgünü ve a ayı özelliğine sahip çay torbası

### Karar değişkenleri:

$X_r = 1$  eğer r koridoru ölü koridor ise; 0 aksi takdirde



$Y_{nsar}$  = nevi, sürgün ve geldiği aylara göre koridor r'deki canlı torba sayısı

$Z_{nsar}$  = nevi, sürgün ve geldiği aylara göre koridor r'deki ölü torba sayısı

$switch1_r$  = ölü koridor r'den canlı koridora geçmesi gereken canlı torba sayısı

$switch2_r$  = canlı koridor r'den ölü koridora geçmesi gereken ölü torba sayısı

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{enk} \quad \sum_{r=1}^{15} switch1_r + switch2_r$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^{15} Y_{nsar} = A_{nsa} \quad n \in \{1,2, \dots, 27\} \& s \in \{1,2,3\} \& a \{1,2, \dots, 12\}$$

$$\sum_{r=1}^{15} Z_{nsar} = B_{nsa} \quad n \in \{1,2, \dots, 27\} \& s \in \{1,2,3\} \& a \{1,2, \dots, 12\}$$

$$Y_{nsar} + Z_{nsar} \leq P_{nsar} \quad n \in \{1,2, \dots, 27\} \& s \in \{1,2,3\} \& a \in \{1,2, \dots, 12\} \& r \in \{1,2, \dots, 15\}$$

$$switch1_r \geq \sum_{n,s,a} Y_{nsar} - M(1 - X_r) \quad r \in \{1,2, \dots, 15\}$$

$$switch2_r \geq \sum_{n,s,a} Z_{nsar} - M * X_r \quad r \in \{1,2, \dots, 15\}$$

Atama modelinin amaç fonksiyonu, depo içerisindeki çay torbalarının yer değiştirmelerini en aza indirmektir. Bu sayede şirketin iş gücü kapasitesini aşmasını önleyip, daha verimli bir depo yönetimi sağlar.

Bu modelde ilk modelin çıktıları ve mevcut depo yerleşim planı girdi olarak kullanılır.(Ek-3) Modelin çıktıları ise ölü alan olarak kullanılması gereken koridorları ve ölü alandan yaşayan alana veya yaşayan alandan ölü alana yapılması gereken olası çay torbası yer değiştirmelerini gösterir. Depoya ilerleyen aylarda gelen çay torbalarının yerleştirilmesi de birinci ve ikinci modelin çıktılarına göre yapılır. İlk model çıktısındaki senelik üretim programında olmayan çay torbaları ikinci modelde verilen ölü alanlara yerleştirilir. Senelik üretim programında olan çaylar ise yaşayan alanlardaki boş raflara yerleştirilir. Bu modelde parametre olarak güncel depo yerleşim planı, ilk model çıktısından tespit edilen mevcut senede kullanılacak ve kullanılmayacak olan çaylar ve koridor kapasitesi kullanılmıştır. Kullanılan değişkenler ise koridorların ölü olup olmadığını ve yapılması gereken torba yer değişikliklerinin sayısını göstermektedir.

## 6. Sonuçlar ve Değerlendirme

Doğadan rnlerinin üretiminde kullanılan ham maddelerin depo içindeki yerleşim planını “İlk Giren İlk çıkar” prensibini göz önüne olarak oluşturmayı amaçlayan projemiz sonucunda şirketin şu anda yaşadığı problemlere zm nerileri sunmaktayız. Hazırlanan retimde kullanılacak ham maddeler planında şirketin bir sene boyunca kullanması gereken torbaları tespit etmekte ve bu torbaların depo içerisinde ulaşılabilir yerlerde olmasını sağlamaktayız. Kullanılmayacak olan hammadde torbalarını belirlediğimiz model çıktılarımız sayesinde, hangi koridorların o sene kullanılması gerekmediğini ve bu sayede sene içerisinde yeni gelecek olan hammadde torbalarına da ekstra depo kapasitesi ayırmaktayız. Bu sayede, sene içerisinde Ar-Ge yetkilileri ve depo çalışanları ulaşmak istedikleri bir torbaya rahatça ulaşabilecekler ve yaşanabilecek zaman kaybının veya reçete değişikliğinden doğacak verimlilik eksikliğinin önüne geçilecektir.

Projemiz için oluşturulan iki ana matematiksel modelimiz ile, oluşturulan plan ve raf ataması sayesinde rastgele yerleştirme yönteminden hammaddelerin kullanılma zamanına dayalı yerleştirme yöntemine geçiş yapılmış ve sene içerisinde toplam l koridor sayısı 6'ya indirilmiştir. (Ek-6) Mevcut sistemde bu işlem tamamen rastgele yapıldığı için, depo kapasitesinin 25000'lere ulaştığı aylarda hemen hemen her koridorun bir bölgesine ulaşmanın mümkün olmadığını söylemek yanlış olmayacaktır. Bunun yanı sıra, sene içerisinde gelecek olan hammadde torbalarının depo içerisinde hangi raflara konulacağının planı hazırlanmış ve oluşabilecek karmaşanın engellenmesi amaçlanmıştır. Yapılan yer değiştirme miktarını en aza indirgemeyi amaçlayan ikinci matematiksel modelimiz sene içerisinde hammadde torbalarına ulaşamamaktan kaynaklanan yer değişikliği miktarını 2200'den 478'e indirmiştir. (Ek-6)

retimi oluşturan hammadde planları, yer değişikliğinin planı, l koridor ataması şirkete sunulmuş olup 2016 yılından itibaren kullanılmaya başlanması planlanmaktadır. Daha sonraki senelerde şirketin aynı modelleri kullanarak plan oluşturmasına olanak sağlamak için matematiksel modeller şirketin şu anda kullanmakta olduğu bilgi işlem altyapısına (HYS) aktarılacak ve sürdürülebilirliği sağlanacaktır.

Bu sayede şirket modellerimizi senelik çalıştırarak, sene başında aylık bazda hangi çay torbasını hangi ürün için kullanacağı bilgisine ulaşacak ve bahsedilen yıl içinde kullılmayacak çay torbalarını l olarak belirlenen koridorlara koyacaktır. Bu sistem, şirketin o yıl içerisinde üretimde kullanacağı çay torbalarına erişebilmesini ve çay torbalarının Rize'den çıktığı anda hangi koridora koyulacağının bilgisini sene başında sağlamaktadır.



## KAYNAKÇA

- R. De Koster, T. Le-Duc and K. Roodbergen, 'Design and control of warehouse order picking: a literature review', *European Journal of Operational Research*, vol. 182, no. 2, pp. 481-501, 2007.
- M. Tsige, 'Improving Order-Picking Efficiency via Storage Assignments Strategies', 2013.
- A. Fumi, L. Scarabotti and M. M. Schiraldi, 'Minimizing Warehouse Space with a Dedicated Storage Policy', *International Journal of Engineering Business Management*, 2015.
- S. Mezghani and A. Frikha, 'A heuristic approach to the warehouse management problem: a real case study', *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol. 13, no. 3, p. 342, 2012.
- E. Balcı, S. Gülbudak, Ş. Elik and E. Taşkın, 'Kick-off Meeting with the Company', *Doğadan Factory*, 2015.
- M. Horvat, 'An Approach to Order Picking Optimization in Warehouses', 2012.
- Dogadan.com.tr, 'Doğadan', 2015. [Online]. Available: <http://www.dogadan.com.tr/>. [Accessed: 14- Nov- 2015].
- [10]A.Horuz and A. Korkmaz, 'Farkli Sürgün Dönemlerinde Hasat Edilen Çayın Verimi, Azot İçeriği Ve Mineral Madde Kompozisyonu', *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü*, 2005

## EKLER

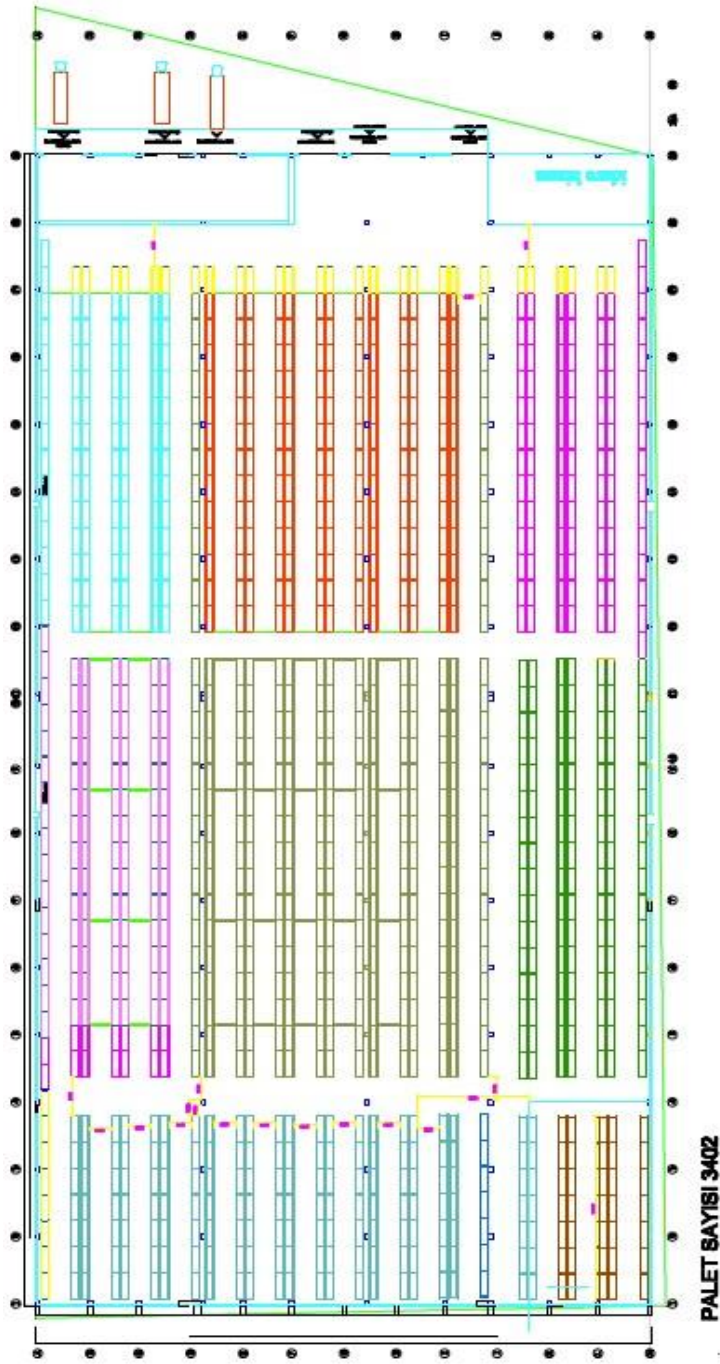
### Ek-1. Yıllık SKU Üretim Miktarlarının Toplam Üretime Oranı

SKUs	SKU Üretim / Toplam Üretim(Yıllık)	Kümülatif %
U17	38%	38%
U05	33%	71%
U24	8%	79%
U16	5%	84%
U03	4%	88%
U04	3%	91%
U21	1%	92%
U15	1%	93%
U02	1%	94%
U25	1%	95%
U20	1%	96%
U22	0%	96%
U23	0%	96%
U10	0%	97%
U14	0%	97%
U07	0%	97%
U26	1%	98%
U13	0%	98%
U06	0%	98%
U01	1%	99%
U18	0%	100%
U19	0%	100%
U11	0%	100%
U08	0%	100%
U09	0%	100%
U12	0%	100%

### Ek-2. En Çok Üretilen 8 SKU için Üretim Reçeteleri ve Nevi Oranları

	SKU					
	U04 - U05	U16 - U17	U03	U15	U21	U24
W21	13,90%	-	-	-	-	9,00%
W08	11,10%	-	-	-	-	5,00%
W05	8,70%	-	-	-	-	7,00%
W06	1,30%	-	-	-	-	0,40%
W14	-	9,40%	-	-	-	-
W09	-	11,00%	-	-	-	7,00%
W12	-	-	15,00%	-	-	-
W20	-	-	21,50%	15,00%	10,00%	-
W07	35,00%	-	-	-	-	19,60%
W18	-	30,10%	-	-	-	15,00%
W19	-	30,00%	-	-	-	15,00%
W03	15,00%	-	-	-	-	15,00%
W04	-	0,10%	-	-	-	-
W02	-	-	3,50%	8,00%	2,00%	-
W11	-	-	11,50%	4,00%	52,90%	-
W16	-	-	-	36,20%	-	-
W25	15,00%	-	-	-	-	7,00%
W26	-	1,20%	-	-	-	-
W24	-	-	3,50%	10,70%	8,00%	-
W28	-	18,20%	-	-	-	-
W10	-	-	30,00%	-	-	-
W15	-	-	15,00%	12,00%	-	-
W13	-	-	-	8,00%	20,00%	-
W17	-	-	-	3,00%	7,00%	-
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

**Ek-3. Depo Yerleşim Planı**

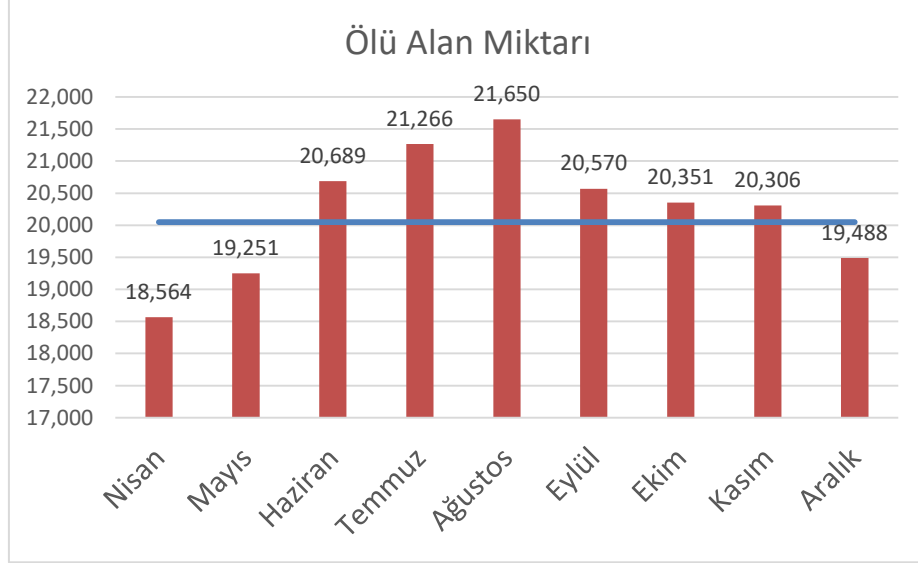


PALET EBATLARI : 800x1200x1600 h

PALET AĞIRLIĞI : 500 KG

TOPLAM PALET ADETI: 8847 PALET+448 PALET+ 9383 ADET+3234+1890+1050 = 15557+4494=20051 ADET

#### Ek-4. Aylık Stok Seviyesi ve Depo Kapasitesi



#### Ek-5. Önerilen Sistem Çıktılarının Mevcut Durumla Karşılaştırması

	Ay	Depoya Gelen Hammadde (kg)	Üretim Miktarı (kg)	Boş Raf Sayısı	Ölü Koridorların Palet Kapasitesi	Gerekli Ölü Koridor Sayısı
2016	Nisan	1.105	1.578	1.061	N/A	0
	Mayıs	1.870	1.323	514	N/A	0
	Haziran	2.364	1.380	-470	400	1
	Temmuz	2.200	1.437	-1.233	400	3
	Ağustos	1.800	1.357	-1.676	400	4
	Eylül	1.152	1.247	-1.581	400	4
	Ekim	1.362	1.127	-1.816	400	5
	Kasım	1.232	1.242	-1.806	400	5
	Aralık	707	1.536	-977	400	2
	TOPLAM	13.792	12.227			

#### Ek-6. Önerilen Sistem Çıktılarının Getirdiği İyileştirme

İkinci Model	Mevcut Durum	Model Çıktısı	İyileştirme
Yer Değişikliği Sayısı	2200	478	79%
Ölü Koridor Sayısı	11	6	45%



# Çoklu Projelerde Kaynak Planlaması

## EnerjiSA

### Proje Ekibi

Mustafa Kağan Öztürk  
Emre Can Kılınç  
Elif Yağmur Yılmaztürk  
Gizem Tutku Altun  
Özge Karaman  
Burcu Özmen

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Mehmet Fırat  
EnerjiSA, Bilgi Sistemleri Direktörü

### Akademik Danışman

Prof. Dr. Oya Ekin Kardeşan  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

EnerjiSA'nın Bilgi Teknolojileri Departmanı'nda, projelerin kaynak ihtiyacını karşılamaya yönelik planlama yapılırken kullanılabilir, en verimli atamayı gerçekleştirebilecek bir sistemin bulunmaması şirkette zaman kaybına ve yapılan projelerin aksamasına neden olmaktadır. Bu projenin amacı EnerjiSA çalışanlarının mevcut projelere en verimli şekilde atamasını sağlamak ve zamanında tamamlanan proje sayısını olabilecek en yüksek seviyeye çıkarmaktır. Optimal kaynak atamasının yapılabilmesi için bir optimizasyon modeli oluşturulmuş ve oluşturulan modelin Bilgi Teknolojileri Departmanı'nda görev alan proje yöneticileri tarafından kullanılabilir hale getirilmesi için bir arayüz tasarlanmıştır. Ayrıca, sezgisel yöntem kullanılarak alternatif bir kaynak atama metodu geliştirilmiş ve karar destek sistemi oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, kaynak ataması, proje planlaması.

## 1. Şirket Tanıtımı

1996 yılında Sabancı Şirketler Grubu'nun elektrik ihtiyacını

karşılama üzere bir otoprodüktör şirketi olarak kurulan Enerjisa, 2013 yılında dünyanın en büyük özel elektrik ve doğal gaz şirketlerinden biri olan E.ON ile %50 ortaklık sağlayarak Türkiye'nin elektrik piyasasının öncülerinden olmuştur. Elektrik üretimi, dağıtım, ticareti ve satışı faaliyetlerinin yanı sıra doğal gaz alanında da hızla gelişen Enerjisa, 14 ilde 9 milyon müşteriye ulaşmakta ve yaklaşık 20 milyon kişiye elektrik dağıtım hizmeti sağlamaktadır. Türkiye'deki elektrik dağıtım sektöründe %20'nin üzerinde market payına sahiptir. Türkiye'deki 22 enerji bölgesi arasından 3 tanesinin enerji ihtiyacı Enerjisa tarafından sağlanmaktadır. Bu bölgeler; Başkent Bölgesi, İstanbul Anadolu Yakası ve Toroslar Bölgesi'dir.

Enerjisa Enerji A.Ş. çatısı altında Enerjisa Enerji Üretim, Enerjisa Elektrik Enerjisi Toptan Satış, Enerjisa Elektrik Perakende Satış, Enerjisa Doğal Gaz Toptan Satış ve Enerjisa Elektrik Dağıtım A.Ş. operasyonel şirketleri bulunmaktadır.

Bu şirketlerin yürüttüğü projelerin kaynak planlaması Enerjisa Enerji A.Ş. bünyesindeki Bilgi Teknolojileri Departmanı tarafından yapılmaktadır. Bilgi Teknolojileri Departmanı her yıl 200'e yakın proje yürütmektedir.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

IT Projeleri Kaynak Planlaması projesi Enerjisa'nın çalışanlarının mevcut projelere en uygun şekilde atanmasına ve kısıtlı zamanda en fazla işin bitirilmesine odaklanmıştır. Ancak oluşturulan model farklı durumlara uyarlanabilir nitelikte olduğundan, projenin Enerjisa'nın diğer departmanlarına ve hatta başka şirketlere de uygulanması mümkündür.

### **2.2 Mevcut sistem analizi**

Bilgi Teknolojileri Departmanı şirketin bilgi yönetiminden ve diğer bölümlerin bilgi teknolojileriyle ilgili ihtiyaçlarını karşılamaktan sorumlu olduğundan birçok projeyi aynı anda yürütmektedir. Aynı anda 200'den fazla projenin yürütüldüğü zamanlar olmaktadır.

Her projenin yetiştirilmesi gereken bir tarih vardır. Proje yöneticileri yürüttükleri projeler için gereken yetkinlikleri ve projeleri zamanında bitirebilmek için gereken çalışan (kaynak) sayısını belirlerler. Şirket yaklaşık 200 kaynağa sahiptir ve bu kaynaklar birden fazla yetkinliğe sahip olabildikleri gibi eş zamanlı olarak da fazla projeye atanabilmektedirler. Şirketin kullandığı kaynaklar iç kaynak, dış kaynak ve havuz kaynak olarak üçe ayrılır. Enerjisa'nın kendi çalışanları iç kaynak olarak adlandırılırken, projelerin planlanması sırasında yeterli kaynak olmadığının fark edilmesi sonucu dönemsel olarak işe alınan çalışanlar dış kaynakları oluştururlar. Havuz kaynak ise bir proje için çalışılan herhangi bir dönemde, yapılması gereken işler yetiştirilemediğinde, kısa süreli olarak işe alınan kaynaklardır. Havuz

kaynaklar şirket için daha maliyetli olduklarından, şirket öncelikli olarak iç kaynakları ve dış kaynakları kullanmakta, daha sonra kaynak ihtiyacının hala giderilemediği durumlarda uygun havuz kaynaklar istihdam etmektedir.

Proje yöneticileri projelerin kaynak ihtiyacını karşılamak üzere ilk ay için haftalık, yılın geri kalanı için ise aylık planlama yaparlar. Bu planlama sürecinde her proje yöneticisi, diğer proje yöneticilerinden bağımsız olarak, yürüttüğü projeler için gerekli olan kaynakları seçer. Projeler için gereken kaynaklar, yetkinlikleriyle ve atanmak istendikleri zamanlarla birlikte SAP üzerinde ortak bir raporun içinde toplanır. Bu rapor üzerinden yapılan bir toplantıyla hangi kaynağın hangi projeye hangi zamanda ve hangi yetkinlikle atandığı belirlenir.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikâyetler**

Her bir projeye, sorumlu olan yöneticinin gereken kaynakları diğer proje yöneticilerinden bağımsız şekilde belirlemesi ve projelerde görev alacak kaynakların proje yöneticilerinin yaptıkları toplantılar sonunda atanması birtakım sorunlara sebep olmaktadır. Yapılan bu toplantılarda ve Excel üzerinden yürütülen kaynak planlamalarında karşılaşılan muhtemel sorunlar şunlardır:

- Farklı projelerden sorumlu proje yöneticileri birbirlerinden bağımsız olarak kaynak taleplerini belirlediklerinden kendi projelerinde çalışmak üzere aynı zaman dilimi için aynı kaynağı talep edebilmektedirler. Kaynak çakışmaları zaman kaybına yol açmaktadır.
- Excel üzerine girilen bilgilerin proje yöneticileri tarafından bireysel olarak güncellenmesi proje yöneticileri arasında karmaşıklığa yol açabilmektedir.
- Kaynak çakışmalarını çözmek ve projeleri yetiştirebilmek için yapılan toplantılar zaman kaybına yol açmaktadır.
- Exceldeki kaynak bilgileri manuel olarak girildiği için yazım hataları ve eksik bilgiler olmaktadır.

#### **3.2 Problem tanımı ve literatür araştırması**

Proje yöneticilerinin istediği kaynakla çalışma arzusu kaynakların verimsiz bir şekilde atanmasına yol açmaktadır. Bu verimsiz atama, projelerin sarkma ihtimalinden dolayı yapılan toplantıların artmasına ve kaynak atamalarında sürekli değişikliğe gidilmesine neden olmaktadır. Kaynak bilgilerinin Excel üzerinde tutulması, yapılan planlamaları karmaşık hale getirmektedir. Şirketteki bu sorunlar etkin ve verimli bir sistemin olmamasından kaynaklanmaktadır. Belirlenen problem tanımı doğrultusunda zaman kaybını önleyecek, planlamadaki karmaşıklığı giderecek, etkin ve verimli bir kaynak ataması sağlayan bir karar destek sisteminin oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu anlamda literatür taraması ile

başlayan proje süreci, optimizasyon modelinin oluşturulması, test edilmesi, kullanıcıya uygun hale getirilmesi ve alternatif bir sezgisel algoritmanın tasarlanması şeklinde devam etmiştir.

Yapılan literatür taramasında, şirketin kaynak optimizasyonu problemini doğrudan çözebilecek bir model veya algoritmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla literatür taramasında saptanan bazı makalelerdeki modellerden yararlanılarak, şirketin ihtiyaçlarına yönelik yeni ve özgün bir model geliştirilmesi planlanmıştır. Şirket personeline sağlanacak zaman tasarrufu, kaynak atamalarının en iyileştirilmiş şekilde yapılması ve kullanılacak yazılımın şu an uygulanan yöntemle göre kullanıcı tarafından anlaşılır olması açısından bu proje şirkete yenilik sağlayacaktır. Proje kapsamında sorunun kesin çözümü için bir model oluşturulmasına karar verilmiştir. Şirketten gelen örnek veriler baz alınarak modelin test edilmesi amaçlanmıştır. Şirketin, optimizasyon modelini yazdığımız yazılım programına sahip olamayabileceği düşünülerek optimizasyon modelinin yanı sıra önerilen sezgisel metodun da oluşturulmasına karar verilmiştir. Literatürdeki modellerde sıklıkla minimize edilmesi amaçlanan maliyet, tarafımızca önerilen modelde şirket danışmanı ile ortak kararımız sonucu göz önünde bulundurulmamıştır. Bu modeli oluştururken Myszkowski vd. (2013) yaptıkları çalışma projemiz için önemli bir referans oluşturmuştur.

Literatür taramasından sonra, modelin tasarlanması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada öncelikle şirket danışmanımız ile birlikte bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlara göre kaynaklar, her işgünü için sadece bir işe atanabilir ve bir işe atanan kaynak bütün işgünü süresince o işte çalışır, kaynakların eş zamanlı olarak aynı proje üzerinde grupça çalışma durumu modellenmemiştir, kaynakların çalışma yeri (İstanbul, Ankara vb.) ile projelerin yürütüldüğü yerler modelin dışında tutulmuştur ve belirli bir işi yapmak için gerekli olan süre her kaynak için eşittir. Projelerin teslim tarihi için ayrı bir kısıtlama kullanmak yerine, projenin her bir periyot için işgücü talebinin karşılanıp karşılanmadığını kontrol etmenin yeterli olacağına karar verilmiştir. Periyot olarak haftanın kullanılması kararlaştırılmıştır.

#### **4. İzlenen Yöntemler ve Uygulamalar**

Çalıştırıldığı zaman aralığı boyunca projelere en uygun kaynak atamasını yapmasını amaçladığımız modelde, girdi olarak şirketin sahip olduğu kaynak, yetkinlik, periyot ve proje bilgileri kullanılmıştır. Bu model yardımıyla proje gereklilikleri bazında tamamlanan işin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan model, doğru çalıştığından emin olunduktan sonra, şirket çalışanlarının kolaylıkla kullanılabilmesi için Excel ile desteklenmiştir. Bunun dışında, şirketin oluşturulan modeli çalıştırılabilmesi için gereken optimizasyon

programını (GAMS) tedarik edememesi olasılığına karşılık bir de sezgisel metot oluşturulmuştur. Belirtilen adımlar aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır:

#### **4.1 Kaynak optimizasyon modeli**

Optimizasyon modelinin amacı, projelerin önceliklerini göz önünde bulundurarak yapılan işleri maksimize eden kaynak atamalarını yapmaktır. Şirketten elde edilen verilerin modelde kullanılabilmesi için; kaynak isimleri, proje kodları ve yetkinlik adları indekslere çevrilmiştir. Bu işlem sırasında Excel'in makro fonksiyonundan yararlanılmıştır. Oluşturulan model hem tamsayı değişkeni hem de ikili değişken içerdiğinden dolayı, GAMS modelleme arayüzü ile karışık tamsayı programlama olarak kodlanmış, ve CPLEX programı yardımıyla çözdürülmüştür. Modelde kullanılan indeksler, parametreler ve karar değişkenleri model ile birlikte Ek 1'de gösterilmektedir.

Modelimizde parametre olarak, her projenin öncelik katsayısı, her kaynağa bir periyotta atanabilecek maksimum işgünü sayısı, kaynakların hangi yetkinliklere sahip olduğu değeri ve projelere her bir periyotta hangi yetkinliklerden kaç işgünü atama yapılması gerektiği değerleri kullanılmıştır.

Karar değişkeni olarak ise, kaynakların her bir periyotta hangi yetkinlikleri ile hangi projelere kaç gün boyunca atandığı, projelerin her bir periyottaki işgücü taleplerinin karşılanıp karşılanmadığı, ve kaynakların hangi projelere atandığı tutulmuştur.

#### **4.2 Modelin test edilmesi**

Kurulan modelin doğru çalışıp çalışmadığını test edebilmek için şirketten veriler alınmış ve model bu veriler kullanılarak çalıştırılmıştır. Şirketten elde edilen verilerde 192 kaynak, 60 proje, 42 yetkinlik ve 52 periyot bulunmaktadır. Model ilk önce 52 periyotluk veriyle denenmiş ancak çok fazla veri olması sebebiyle modelin kesin çözüme makul bir sürede ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple, modelin 12 periyotluk verilerle çalıştırılmasına şirket danışmanı ile beraber karar verilmiştir.

Modelde parametre olarak kullanılan proje öncelik katsayısının alabileceği değer aralığını belirlemek için de model aynı veri seti ve farklı proje öncelik katsayıları ile çalıştırılmıştır. Bu modellerin çıktıları şirket danışmanımız ile yapılan toplantıda değerlendirilmiş, sonuç olarak proje öncelik katsayısının 1 ile 10 arasında tamsayı değerler alması kararlaştırılmıştır. Şirket danışmanı ile yapılan toplantıda modelin çıktıları da genel olarak incelenmiştir. Danışmanımızca modelin çalışma şeklinin şirkete uygun olduğu belirtilmiştir.

#### **4.3 Modelin şirkete uyarlanması**

Oluşturulan optimizasyon modelinin çıktıları kullanıcı

tarafından rahat bir şekilde anlaşılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bunu yaparken Excel programı kullanılmıştır. Elde edilen çıktılar Excel'e aktarıldıktan sonra, modelde projeleri, kaynakları ve yetkinlikleri ifade etmek için kullanılan indeksler proje kodu, kaynak ismi ve yetkinlik adı olarak eski haline getirilmiştir. Bunu yapabilmek için Excel'in Macro fonksiyonundan faydalanılmıştır. Bu aşamalardan sonra şirketin değişen ve artan ihtiyaçları göz önünde bulundurularak veri ekleme, çıkarma veya değiştirme işlemlerinin kolay bir şekilde yapılabilmesi adına bir arayüz tasarlanmıştır ve bunu yaparken tekrar makro fonksiyonundan yararlanılmıştır.

Bunların yanı sıra, modelimizin verimini test etmek için model tarafından atanan toplam iş gününü, bütün projelerin bitmesi için gereken toplam iş günü sayısına böldüğümüzde ve elde ettiğimiz değeri yüzdeye çevirdiğimizde yaklaşık %71.41 oranını elde ettik. Bu oran şirket danışmanı tarafından iyi bir oran olarak değerlendirilmiştir. Fakat şirketin yaptığı kaynak planlaması uygulanabilir olmadığından, bu oran ile karşılaştırması yapılamamıştır.

Çalışmalarımız sırasında şirkette planlama için kullanılan Excel platformundan vazgeçilerek, SAP sistemi üzerinde arayüzler ve raporlamalar geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan model girdilerinin ve çıktılarının Excel platformuna ek olarak yeni sistemle entegrasyonu konusunda çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

#### **4.4 Sezgisel metot**

Sezgisel yaklaşımda amaç, modelleme arayüzüne erişimin olmaması durumunda kullanılabilir, optimal olmasa bile hızlı ve kabul edilebilir çıktı verecek bir algoritma oluşturmaktır. Modelleme arayüzü kullanarak yapılan kaynak optimizasyon modelinden farkı, sezgisel metotta projelere kısmi kaynak ataması yapılabiliyor oluşudur. Diğer bir deyişle, projelere bazı yetkinlikler için bazı periyotlarda taleplerinden daha az işgücü ataması yapılabilmektedir. Sezgisel metot bu yönüyle ötelenmesi söz konusu olabilecek projelerin ve dışarıdan işgücü desteği alınarak yapılacak projelerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Sezgisel metodu oluşturmak için öncelikle literatür taraması yapılmış ve literatürde bulunan yöntemler arasında şirketin probleminin çözülmesine yardımcı olabilecek benzer yöntemler araştırılmıştır. Sonuç olarak, çok boyutlu dizi kullanarak çalışan bir algoritmanın oluşturulmasında karar kılınmıştır. Sezgisel algoritmada, çok boyutlu dizi içinde projelerin yetkinlik ve periyot bazında işgünü ihtiyaçları, bir başka dizi içinde ise kaynakların her bir periyotta çalışabilecekleri işgünü sayıları tutulmuştur.

Döngüler yardımı ile kaynak ataması yapılamamış projelere uygun kaynakların ataması yapılmıştır. Bu metodun çıktısı olarak

hangi kaynağın hangi projede hangi yetkinliği ile kaç gün çalıştığı elde edilmiştir. Ancak, sezgisel metotta model çıktısı olan her bir kaynağın belirli bir yetkinliğiyle ve belirli işgünleri için atandığı projelerin her kaynak için ayrı olarak bastırılması gerekmektedir.

Bu sezgisel metot, 29 proje ve 12 periyotluk daha küçük bir veri setinde test edilmiştir. Sonuçta projeler için uygun yetkinliklere sahip kaynak sayısının sınırlı olması sebebiyle bazı projelere kaynak ataması yapılamadığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan çoklu diziler sonucunda Excel'in çıktısı olarak toplam 30242 satırdan 24241 satırın kaynak ihtiyacı karşılanmıştır.

Kaynak optimizasyon modeli ve sezgisel metodun iş akış diyagramı Ek 2'de gösterilmektedir.

#### **4.5 Karar destek sistemi olarak modelin rolü**

Şirkette şu anda uygulanan kaynak planlaması sisteminde proje yöneticileri aylık olarak planlama yapmakta olup, kendi projelerinde çalışmasını istedikleri kaynakları da kendileri seçmektedir. Dolayısıyla, proje yöneticilerinin planlamaları birleştirildiğinde bazı kaynaklara çalışabileceğinden daha fazla işgünü atanması durumuyla sıkça karşılaşılmaktadır. Önerilen sistemde hangi kaynağın hangi projeye atanacağı kararı proje yöneticileri tarafından değil, kaynak optimizasyon modeli tarafından verilmektedir. Böylece, kaynak optimizasyon modeli bu sorun ile karşılaşılmasını engellemektedir.

Kaynak yetersizliği ya da bazı projelere öncelik verilmesi zorunluluğundan dolayı, projelerin ötelenmesi ya da iptal edilmesi söz konusu olabilmektedir. Bu durumlarla karşılaşıldığında yapılan toplantılarla projelerin geleceğine karar verilmektedir. Kaynak optimizasyon modeli bu kararın verilmesinde de destek olabilir. Model çıktısı projenin ötelenip ötelenmeyeceği, ötelenecekse ne kadar süre için öteleneceği, iptal edilip edilmeyeceği gibi kararların alınmasında etkin olabilir. Ayrıca, model tarafından talebin büyük çoğunluğu karşılandığı halde tamamlanamayan projelere yapılamayan atamalar incelenerek hangi yetkinlikteki kaynak yetersizliğinden dolayı projenin tamamlanamadığı belirlenebilir. Bu durumda model, yeni kaynak alınması ya da projenin havuz ve dış kaynak ile desteklenmesi kararının alınmasında rol oynayabilir.

Model çıktısına ek olarak, model tarafından yapılan atama sonucunda her bir kaynağın kalan boş zamanları da işgünü olarak Excel ortamında makro fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplama, kaynaklardan faydalanma oranlarının kararlaştırılmasında etkili olabilir. Örneğin aynı yetkinliğe sahip iki kaynaktan birine tam kapasite çalışmasını gerektirecek şekilde iş ataması yapılırken diğer kaynağa iş ataması yapılmaması durumunda, tam kapasite ile çalışacak kaynağın iş yükünü diğer kaynak ile paylaşması kararlaştırılabilir. Ek olarak, birden fazla yetkinliğe sahip olan kaynaklara atanan işler de uygun olan diğer

kaynaklara kaydırılarak birden fazla yetkinliğe sahip olan kaynağın diğer yetkinliği ile çalışması sağlanabilir.

Projenin şirkete uygulanabilir olması amacıyla, arayüz yardımıyla kaydedilen girdilerin, makro kodları yardımıyla modelde kullanılabilir hale getirilmesi ve modelin çıktılarının şirket çalışanlarının anlayabileceği şekilde raporlanması amaçlanmaktadır.

## 5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Enerjisa'nın Bilgi Teknolojileri Departmanı'nın yürüttüğü birçok projenin verimli bir şekilde planlanmasını amaçlayan proje çıktıları, problemlere etkin ve pratik çözümler sunmaktadır. Projelerin kaynak ataması, olabilecek en iyi şekilde sağlanmış ve proje yöneticilerinin zaman kaybı en aza indirilmiştir. Oluşturulan sistemle hangi kaynağın hangi proje için kaç gün çalışması gerektiği hesaplanmış olup proje planı yapılırken oluşan karmaşanın önüne geçilmiştir. Ayrıca, yapılan atamalarda maksimum gün sayısına ulaşamayan kaynakların, bir periyotta çalıştıkları gün sayısını o periyottaki maksimum günden çıkarmak üzerine yazılan makro yardımıyla, her kaynağın daha ne kadar çalışabileceği saptanmıştır. Şirket tarafından istenilen bu ölçüt, kaynakların performansını değerlendirmede bir karar destek sistemi sunmaktadır.

Modelin faydalanma oranı olarak belirlenen formül, planlama dönemi boyunca model tarafından projelere atanan toplam adam gün sayısının, yine planlama dönemi boyunca tüm projelerin bitmesi için gereken adam gün sayısına oranı olarak düşünülmüştür. Bu kıstasın sonucu olarak ulaşılan %71.41 oranı, şirket danışmanı tarafından etkili bulunmuştur. Ayrıca, yapılan tüm çalışmalar 24.03.2016 tarihinde Enerjisa yetkilileriyle yapılan toplantıda projenin performans ölçüleri ile birlikte sunulmuş ve çözüm önerilerinin iş verimliliğini arttırdığı kabul edilmiştir.

## KAYNAKÇA

- P. Myszkowski, E. Skowronski and L. Podlowski, "Novel heuristic solutions for Multi-Skill Resource-Constrained Project Scheduling Problem," Proceedings of the 2013 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, pp. 159-166.
- Drexl, Andreas. "Scheduling of Project Networks by Job Assignment." *Management Science*. 37.12 (1991): 1590-1602.
- Sandino, Héctor R., et al. "Project Management and Resource Constrained Scheduling Using An Integer Programming Approach". *IIE Annual Conference Proceedings*. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2002.



## **EKLER**

### **Ek 1. Kaynak Optimizasyon Modeli**

#### **İndeksler:**

K: Kaynak kümesi  
P: Proje kümesi  
I: Yetkinlik kümesi  
T: Periyot kümesi

#### **Parametreler:**

$T_{ki}$ : 1 eğer k kaynağı i yetkinliğine sahipse; 0 aksi halde  
 $B_{ipt}$ : Bir projenin belirli bir periyotta belirli bir yetkinlikle gerektirdiği gün sayısı  
 $A_{kt}$ : Mevcut bir kaynağın bir periyotta çalışabileceği maksimum gün sayısı  
 $C_p$ : p projesinin öncelik katsayısı

#### **Karar Değişkenleri:**

$X_{kipt}$ : k kaynağının, i yetkinliğiyle, p projesinde, t periyodunda çalıştığı gün sayısı

$Z_{pt} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } p \text{ projesinin } t \text{ periyodundaki gereklilikleri karşılanmaktaysa.} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$

$Y_{kp} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } k \text{ kaynağı } p \text{ projesine atanmaktaysa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$

#### **Amaç Fonsiyonu:**

$\max. \sum_p \sum_t Z_{pt} * C_p$

#### **Kısıtlar:**

$$B_{ipt} * Z_{pt} = \sum_k X_{kipt} * T_{ki} \quad i \in I, p \in P, t \in T \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_p X_{kipt} * T_{ki} \leq A_{kt} \quad k \in K, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_i X_{kipt} * T_{ki} \geq Y_{kp} \text{ eğer } \sum_i B_{ipt} > 0 \quad k \in K, p \in P, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_i X_{kipt} * T_{ki} \leq A_{kt} * Y_{kp} \quad k \in K, p \in P, t \in T \quad (4)$$

$$X_{kipt} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad (5)$$

$$Z_{pt} \in \{0, 1\} \quad (6)$$

$$Y_{kp} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

**Amaç Fonksiyonu:**

Amaç fonksiyonunda, öncelik katsayılarına göre işgücü gereklilikleri karşılanan projelerinin sayısını maksimize etmek amaçlanmaktadır.

**Kısıt Denklemleri:**

*Kısıt 1:* Eğer belirli bir periyot için p projesinin işgünü talebi karşılanmış ise, o periyotta belirli yetkinlikler ile p projesine atanan işgünü sayısının, o yetkinlik için talep edilen işgünü sayısına eşit olmasını sağlar.

*Kısıt 2:* Bu kısıt, her bir periyotta kaynaklara sahip oldukları yetkinlikleri ile atanan toplam işgünü sayısının, o kaynağın o periyotta çalışabileceği maksimum işgünü sayısından fazla olmamasını sağlar.

*Kısıt 3:* Bu kısıt, eğer bir kaynak p projesine atanmış ise, projenin işgünü talebi oldukça aynı kaynağın p projesinde çalışmaya devam etmesini sağlar. Bu kısıt sayesinde bir projede mümkün olduğunca aynı kaynaklar kullanılır.

*Kısıt 4:* Bu kısıt, birden çok yetkinliğe sahip olan kaynakların bir periyotta çalışabileceği en fazla projeden daha fazlasına atanmasını kısıtlar.

*Kısıt 5:* Bu kısıt her bir periyotta, her bir proje için her bir kaynağa sahip olduğu yetkinlikleri ile atanan işgünü sayılarının sıfıra eşit ya da sıfırdan büyük olmasını ve tamsayı değerleri almasını sağlar.

*Kısıt 6:*  $Z_{pt}$  karar değişkeninin bir veya sıfır değerlerinden birini almasını sağlar.

*Kısıt 7:*  $Y_{kp}$  karar değişkeninin bir veya sıfır değerlerinden birini almasını sağlar.

## Ek 2. Önerilen Sistem için Akış Şeması



# Kısa Vadeli Yük Tahmin Modeli

## EnerjiSA

### Proje Ekibi

Ayşegül Türk  
Caner Kahraman  
Cansu Korkmaz  
Hande Turan  
Kerem Alanlı  
Özer Kaş

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Kubilay Karakuş  
EnerjiSA, İş Zekası Kıdemli Danışmanı

### Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Projenin amacı meteorolojik faktörlerin tüketim üzerine olan etkilerini açıklayan bir tahminleme sistemi geliştirmektir. Projede S-ARIMA-X modeli kullanılmıştır. ARIMA, tahminleme doğruluğunu artıracak biçimde geliştirilmiştir. X kısmı ise uygulanan korelasyon ve regresyon analizleri sonucunda meteorolojik etmenlerin bir çok değişkenli regresyon modeli olarak sunulmuştur. Meteorolojik faktörlerin etkilerini modele dahil etmek için yapılan analizlerde, sıcaklık ile tüketim ilişkisinin doğrusal olmadığı ve sıcaklık haricindeki diğer meteorolojik etmenlerin de tüketime etkisinin sıcaklıktan bağımsız belirlenemeyeceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kısa dönem yük tahminlemesi, S-ARIMA-X, regresyon, R, VisualBasic

### 1. Şirket Tanıtımı

Enerjisa, 1996 yılında Sabancı şirketlerinin elektrik ihtiyaçlarını karşılamak üzere bir otoprodüktör şirketi olarak kurulmuştur.

Günümüzde, elektrik üretimi, dağıtım, ticareti ve satışından oluşan dört ana iş kolunu yönetmektedir. Türkiye'nin coğrafi ve beşeri özelliklerine göre belirlenmiş 21 elektrik dağıtım şirketinin üçünün sahibi olan Enerjisa, toplam 14 ilde 20 milyon kullanıcıya elektrik dağıtım hizmeti sunmaktadır. (Enerjisa, 2015) Enerjisa'nın sahip olduğu dağıtım şirketlerinin isimleri ve dağıtım bölgeleri şu şekildedir:

- Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş: Ankara, Bartın, Çankırı, Karabük, Kastamonu, Kırıkkale ve Zonguldak
- Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş: Adana, Gaziantep, Hatay, Kilis, Mersin ve Osmaniye
- Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş: İstanbul (Anadolu)

2015 yıl sonu kaynaklarına göre yüzde 52'si yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen yaklaşık 2800 MW kurulu üretim kapasitesi, çevre ile uyumlu santralleri ve müşteri odaklı çalışmaları ile Enerjisa, Türkiye'nin sürekli büyüyen enerji piyasasında lider oyunculardan biri konumundadır. (Enerjisa, 2015)

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Enerjisa, elektrik sektöründe üretim, dağıtım, toptan ticaret ve perakende satış olmak üzere dört ana iş kolunda da çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca, faaliyetlerini yerine getirirken birçok farklı amaçla kısa dönem, orta dönem ve uzun dönem elektrik üretim ve tüketim tahminleri yapmaktadır. Uzun dönem tahminlemeler, ileride şirketin üretim kapasitesine yönelik yapacağı yatırımları belirlemekte ve karar vermekte kullanılırken, kısa dönem tahminlemeler mevcut kapasitenin kullanımı ile üretim planlama ve kaynak yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Projenin kapsamı, şirketin analiz yapmasına ve üretim planlamasına katkıda bulunmak amacıyla kısa dönem elektrik tüketim tahminlerini oluşturan ve gösteren bir sistem geliştirmektir. Bu tahminler, şirket tarafından kamu düzenleme kurumları ile paylaşılacağı için büyük önem taşımaktadır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

Enerjisa'nın sahip olduğu mevcut sistemde enerji tüketiminin tahmin edilmesi için kullanılan veriler oldukça geniş kapsamda ve birbirleriyle bağlantılı bilgilere sahiptir. Böylelikle şirket, gelecek 72 saatlik tüketim tahmini için gerekli verilerden yararlanabilmektedir. Döngüsel anlamda geçmiş verilerden anlamlı derecede farklı davranış gösteren günler için ise, yapılan çalışmaların iyileştirilmesi adına kişisel gözlemler ve ekstra çalışmalar yapılması gerekmektedir. Enerjisa şirketinin sürdürmekte olduğu gizlilik politikası doğrultusunda mevcut sistem, model ve veri etki detayları kesin bir şekilde bilinmemektedir ancak şirket SAS yazılım programından yararlanmaktadır. Tahmin sürecinin her zaman geliştirilmeye açık olan yapısından dolayı gerek görüldüğü takdirde alanında uzman kişiler tarafından, yeniden

tahminlemeler üzerinde çalışmalar ve incelemeler yapılarak tahminleri daha da iyileştirilmektedir. Enerjisa şirketinin sahip olduğu mevcut sistemden elde edilen tahminler güvenilir ve oldukça etkili olsa da, şirketin amacı yaptıkları çalışmalarını daha ileriye taşımak ve sürekli iyileştirmektir.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

Zaman serisi tahminlerinde en büyük etki geçmişte gerçekleşen serinin kendisidir. Ancak kısa vadeli yük tahmin problemi özelinde veriler üzerinde yapılan çalışmalardan sonra anlaşılmıştır ki, hava koşullarının ve özel günlerdeki tüketim davranışının, ortalama tahmin kalitesi üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Bu sebeple, şirketin yaptığı tahminlerin iyileştirilmesi en çok bu alanda yapılabilir ve bu odak alanı gelecek süreçte uzun süreli yarar sağlayabilir. Bu tespiti dayanarak, projenin hava koşulları ve özel günlerin etkisi üzerine yoğunlaşması gerektiğine karar verilmiş ve bu veriler üzerine literatür araştırması ve çalışmalar yapılmıştır. Ancak, hava koşulları ve özel günlerin etkilerinin birbirleriyle bağlantılı ve oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu da planlanan iyileştirme çalışmasını zorlaştırmış ve daha da fazla önemi, çalışmayı gerektirmiştir.

Hava koşulları adı altında sahip olunan veriler sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve çiylenme noktası olarak kısaca özetlenebilir. Bu verilerin aralarındaki bağlantıyı anlamak ve sorun yaratan kısım üzerine odaklanabilmek için çeşitli çalışmalar, yöntemler uygulanmış, çeşitli yazılımlar kullanılarak aralarındaki ilişki saptanmıştır. Bu ilişkiyi daha basit bir şekilde açıklamak ve etkisini daha net, kolay bir şekilde tahmin değerlerine uygulamak amacıyla kullanılan yazılıma ek bir model geliştirilmiştir. Bu şekilde daha iyi tahmin değerleri elde etmek ve farklı seviyelerdeki verilerin etkisini görmek daha kolay bir hal almıştır. Bunun yanı sıra, özel günlerin tüketim şekli, yıl içerisindeki normal günlerin tüketim şeklinden farklı bir yapıya sahiptir ve bu da tahmin değerlerinin hata payını arttırmaktadır. Bu hata payını azaltmak ve tahmin değerlerini iyileştirmek için hem geçmiş özel gün verileri hem de olası etkiler incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen bilgiler, modelde yapılan değişikliklerle ve ekstra özel gün tahmin yöntemleri adı altında çeşitli fikir içerikleriyle projede yer edinmiştir.

## **3. Problem Tanımı**

### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Enerjisa'da mevcut olan sistem, pek çok meteorolojik faktörü ve gün tipi faktörlerini kullanarak tahminler üretmektedir. Şirket, sistemde mevcut olan faktörlerin etkili bir şekilde kullanılarak sistemin daha fazla geliştirilebileceğine inanmaktadır.

Meteorolojik koşulların değişmesinin tüketim talebi üzerinde ciddi farklılıklara sebep olduğu bilinmektedir. Bu sebepten ötürü Enerjisa düzenli olarak gelecek günler için hava tahmini verilerini dış

kaynaklardan alarak elektrik tüketim tahminlerini buna göre güncellemektedir. Ancak, meteorolojik değişkenlerin elektrik tüketimi üzerindeki etkisi oldukça karmaşıktır. Dolayısıyla, bu karmaşık ilişki daima geliştirilmeye ve tahminlerin kalitesini artırmaya açıktır. Enerjisa, bu proje ile bu alanda kendilerine elektrik tüketim tahmini sürecinde bir yenilik katabilecek, meteorolojik faktörler ve özel günler gibi dış faktörlerin elektrik tüketimine yarattığı etkiyi açıklamada yardımcı olabilecek bir sistem geliştirilmesini istemiştir.

Tüketim tahminlerinin hata oranının düşük olması, enerji sektöründe faaliyet gösteren tüm şirketler için kritik bir gerekliliktir. Elektrik, üretildiği anda dağıtımına gönderilmesi gereken, depolanması mümkün olmayan bir üründür. Dolayısıyla, üretim planlama departmanına isabetli tahminler sağlamak, elde olan kaynakların gereğinden fazla kullanılmasını veya üretimin yetersiz kalmasını önlemek açısından oldukça önemlidir. Tüketimin üretimden az olduğu durumda şirket, elindeki fazla elektriği normal şartların altında fiyatlarla diğer oyunculara satmak durumunda kalabilmektedir. Bu durumda, üretimde kullanılan efor ve kaynakların bedeli tam olarak karşılanamayabilmektedir. Tüketimin üretimden fazla olduğu durumda ise şirket, başka bir kaynaktan normal şartların üzerinde bir fiyatla elektrik satın almak durumunda kalabilmektedir. Bunlara ek olarak, bütün elektrik dağıtım şirketleri her gün gelecek 24 saatlik tahminlerini Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM)'ne bildirmekle yükümlüdür. Devlet, bu kurum aracılığıyla gelecek günler için elektrik tüketim beklentilerini takip etmektedir ve şirketler, hata paylarıyla orantılı olarak maliyetlere katlanmaktadır. Dolayısıyla PMUM ile paylaşılan tahmin serisinin doğruluk oranları oldukça önemlidir.

### **3.2 Problem tanımı ile ilgili literatür**

Bu problem, literatürde “kısa dönem elektrik tüketim tahmini” veya İngilizce ismiyle “short term load forecasting” olarak geniş yer tutmaktadır. Dünya genelinde enerji ihtiyacının giderek artmasıyla kısa dönem elektrik tüketim tahminlemesinin önemi artmıştır. Problem tanımımıza göre, tüketimi etkileyen dış faktörlerin önemi ve bu faktörlerin yarattığı etkiye yönelik pek çok araştırma yapılmıştır. Fahad ve Arbab (2014)'ta belirtilen faktörler ve etkileri değerlendirmeye alınmış ve bize sağlanan veri kümesindeki ilişkilerle örtüştüğü gözlenmiştir. Fay ve Ringwood (2010), hava koşulları tahminlerinin hatalı olması durumunda elektrik tüketim tahminlerinin de hata payını artıracağını savunduğu çalışmalarında meteorolojik faktörlerin elektrik tüketim talebi üzerindeki etkilerini göstermiştir. Çalışmada, hava koşulları ve tüketim arasındaki korelasyon matematiksel analiz yöntemleri ile gösterilmiş, böylece çalışma hava koşullarının elektrik tüketimi üzerinde ne tarz etkiler yaratabileceği konusunda fikirlerimizin oluşmasına fayda sağlamış ve ileri aşamada modelin şekillenmesinde

burada belirtilen yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en karmaşık ilişki, tüketim ve sıcaklık arasında görülmüştür. Sıcaklık ve elektrik tüketimi arasındaki bu ilişkiyi açıklamak için Teisberg vd. (2005)'de belirtilen, sıcaklığın doğru tahmin üzerindeki öneminin ve ekonomik değerinin hesaplandığı analizlerden faydalanılmıştır.

Tahmin modeli oluşturma kısmında, pek çok değişik model alternatifine literatürde ulaşmak mümkün olmuştur. Song vd. (2005), tüketim tahmini için yaptıkları benzer ölçekteki çalışmalarında bir bulanık doğrusal programlama modeli kullanarak tatil günlerindeki elektrik tüketimini tahmin etmiş ve %3.57'lik bir hata payına ulaşmıştır. Rothe vd. (2009) benzer kapsamdaki bir çalışmada bir çok değişkenli regresyon modeli oluşturarak meteorolojik faktörleri modelin kapsamına dahil etmiştir. Bu çalışmada belirtilen görüşler, dış faktörlerin tüketim üzerindeki etkisinin açıklandığı X modelinin oluşturulmasında yardımcı olmuştur. Toker ve Korkmaz (2015), çalışmalarında Otoregresif Hareketli Ortalamalar (ARMA) ve ARIMA modellerini kullanarak İstanbul ilinin saatlik elektrik tüketim tahminlemesini gerçekleştirmiş ve 1 hafta içinde %3.5 hata payına ulaşmıştır. Bu çalışmadaki sezonsallık, projemiz kapsamında da önemli bir konudur ve sezonsallığın modelde doğru şekilde yansıtılması konusunda bu çalışmadaki görüşlerden faydalanılmıştır

#### **4. İzlenen Yöntemler ve Uygulamaları**

Şirket, projede model geliştirilmesi amacıyla bir veri kümesi sağlamıştır. Kısa dönem enerji talep tahmini için kullanılan veri kümesi, 2011, 2012, 2013 yıllarının tüm saatlerindeki ve 2014 yılının Mayıs ayının sonuna kadar olan tüm saatlerdeki çeşitli verileri içermektedir. Bu veri kümesinde her saat için gerçek tüketim değerleri belirtilmiştir ve bunların yanı sıra veri kümesi, hava koşulları, okul günleri, tatil günleri, özel günler, bayram zamanları, seçim günleri, mevsim ve gün etkisi ile ilgili bilgileri içermektedir.

Verinin sezonsallığı, dış faktörlerin kolayca eklenebilirliği ve literatür taramasında faydalanılan görüşler ve şirket ile yapılan karşılıklı bilgi alışverişi sonucunda Sezonsal Otoregresif Hareketli Ortalama (S-ARIMA) modelinin geliştirilmesine ve buna ek olarak dış faktörlerin etkisini eklendiği bir X modelinin oluşturulmasına karar verilmiştir.

##### **4.1 S-ARIMA**

S-ARIMA kısmı oluşturulan son modele temel olarak düşünülmüştür. Çünkü S-ARIMA geçmiş günlerdeki tüketim verisini girdi olarak bir sonuç üretir ve dış faktörlerin yansıtıldığı X kısmı bu çıktının sonuçlarının üzerine eklenir.

S-ARIMA modeli R istatistiksel yazılım programında “forecast” paketi kullanılarak oluşturulmuştur ve en doğru modeli elde edebilmek için AIC, AICc ve BIC kriterlerini temel alan auto.arima() komutu



kullanılmıştır. Enerjisa, tahminleme operasyonlarını her gün gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, projede de elektrik tüketim tahminleri bir sonraki 24 saat için yapılmıştır. Buradaki en önemli konu ise ARIMA modelinde kullanılacak verinin doğru olarak seçilmesidir. Doğru bir tahmin yapabilmek için R dilinde kullanılan girdi verisinin uygun olması gerekmektedir. Aksi takdirde, elektrik tüketim şekli doğru şekilde yakalanamamaktadır. Bu nedenle ilk olarak tüketim şekillerindeki farklılıkları görebilmek için veri analizi yapılmıştır ve her günün ayrı ayrı tüketim şekli çıkarılmıştır.

Yapılan bu analizler sonucunda Pazartesi hariç diğer tüm hafta içi günlerinde birbirine çok benzer tüketim miktarları görülürken, Pazartesi günlerinde, özellikle ilk sekiz saatte farklı bir tüketim şekli olduğu saptanmıştır. Hafta sonu günlerinde ise beklenildiği gibi hafta içi günlerinden oldukça farklı bir elektrik tüketimi şekli vardır.

Bir sonraki adım ise bu günleri tahmin ederken hangi günlerin kullanılması gerektiğine karar verilmesidir. Bunun üzerine, Pazartesi dışındaki hafta içi günlerinde bir gün öncesinin mi yoksa bir hafta önceki aynı günün mü daha etkili olduğunu anlamak için AIC analizleri yapılmıştır ve bu günler için bir gün öncesinin daha etkili bir şekilde bugünün tüketimini açıklayabildiği görülmüştür. Pazartesi günü içinse bir gün önceki Pazar ya da bir önceki hafta içi günü Cuma'yı referans almaktansa, bir hafta önceki Pazartesi'nin daha iyi bir tahmin verdiği yine AIC analizleriyle tespit edilmiştir. Aynı şekilde hafta sonu günleri içinde bir hafta öncesindeki haftasonu günlerinin R yazılımında girdi olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre Salı, Çarşamba, Perşembe ve Cuma günleri bir gün öncesi temel olarak ortak tahmin edilirken Pazartesi, Cumartesi ve Pazar günleri bir hafta önceki aynı günü temel alıp tek olarak ayrı tahmin edilmiştir.

Son aşama ise bu günlerin tahminleri yapılırken kaç günlük geçmiş verinin R programında girdi olarak kullanılacağı probleminin çözümüdür. Bunun için öncelikle `auto.arima()` komutunun dört günden az veriyle modelleme yapamadığı saptanmıştır. R programında tahminleme yapabilmek için belli miktarda veri gerekmesine rağmen tahmin edilmesi gereken günden çok daha eski veri kullanıldığında da mevsimselliğin etkisiyle hata payının arttığı görülmüştür. Bunun üzerine 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 günlük veri girdilerinin kullanabileceğine karar verilmiştir ve hangisinin daha az bir hata payı verdiği bu sayılarda geçmiş günler kullanılarak yapılan tahminlerin hata payları karşılaştırılarak bulunmuştur. En düşük hata payı 8 günlük geçmiş veriye dayanarak yapılan tahminlerde elde edilmiştir ve 8 günlük veri sadece 2 hafta öncesinin geçmiş verisini aldığı ve tahminleme yapabilmek için de yeterli olduğu için kabul edilmiştir. Pazartesi, Cumartesi ve Pazar günlerini tahmin edebilmek için de aynı şekilde farklı sayıda gün kullanılarak hata payı hesaplanmıştır ve sadece bir

hafta öncesinin X kısmı için aynı şekilde temel alınmasının çok daha az hata payı verdiği görülmüştür.

#### **4.2 Özel günler**

Projede kullanılan verilerin incelenmesi sonucunda resmi tatiller, dini bayramlar, seçim günleri gibi özel günlerin farklı tüketim kalıplarına sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu farklı tüketim kalıplarının bir sonraki senedeki verilerde kendini tekrar etmesi üzerine modelleme yapılırken geçmiş yılın verileri temel alınmıştır. Yılbaşı, ramazan bayramı ve kurban bayramı özel günler kapsamında modellenip tahmin sonuçlarında iyileştirme sağlanmıştır.

##### **4.2.1 Yılbaşının modellenmesi**

Yılbaşı günlerinin tahmin modeli yapılırken 30 Aralık, 31 Aralık, 1 Ocak ve 2 Ocak günleri değerlendirilmiş ve bu özel günlerin tüketim kalıpları ele alınmıştır. 2011, 2012 ve 2013 yıllarındaki bu özel günlerin tüketim kalıplarının birbirine benzer olduğu saptanmıştır, fakat ilerleyen yıllarda tüketim miktarlarında bir artış gözlenmiştir. Bu artışların hesaplanmasında bir önceki yılın tüketimi ile kıyaslama yapılarak yıllık artış katsayısı hesaplanmıştır. Geçmiş yılın tüketim verisinin üzerine katsayının etkisi eklenmiştir. Bahsedilen model yeni yıl tahminlerini elde etmemizi sağlamaktadır.

##### **4.2.2 Ramazan bayramının modellenmesi**

Ramazan Bayramı günleri ve Arife günü verilerin içinden filtrelenerek ayrılmıştır ve yıllara göre bu günler kıyaslanmıştır. 2011, 2012 ve 2013 yıllarının incelenmesi sonucunda arife günleri ve bayram günlerinin birbirine benzer tüketim kalıplarına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır ve özel günler modellemesi temel alınarak Ramazan Bayramı günleri tahminleri de ayrıca yapılmıştır. Yıllık artış katsayısı hesaplanıp geçmiş yılın Ramazan Bayramı tüketim verileri üzerine uygulanmıştır ve tüketim tahmini yapılmıştır.

##### **4.2.3 Kurban bayramının modellenmesi**

Kurban Bayramı arife günü de dahil edilerek beş gün özel olarak ele alınmıştır ve geçmiş yıllardaki tüketimler birbirleriyle kıyaslanmıştır. İncelemeler sonucunda Kurban Bayramı günlerinin birbirine benzer kalıpta tüketime sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yıllık artış katsayısı kullanılarak geçmiş verilerin üzerinden tahmin yapılmıştır.

#### **4.3 Dış faktörlerin açıklandığı model (X)**

S-ARIMA modeli benzer günlerin aynı saatlerindeki tüketim verileri arasındaki ilişkiyi açıklayabilmesine rağmen meteorolojik etmenlerden kaynaklanan tüketim değişimlerini açıklamada yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden S-ARIMA modeline ek olarak sıcaklık, rüzgar hızı, nemlilik ve çiylenme noktası gibi meteorolojik faktörlerin etkisini açıklayan bir model gerekli görülmüştür. Bu model başlı başına tüketim tahminini veren bir model değil, S-ARIMA modelinin verdiği tahmine,

tahminin doğruluğunu artırmak için S-ARIMA'nın eklenebilirlik özelliği kullanılarak daha sonradan eklenen bir modeldir. Bu modele kısaca literatürde X modeli denilmektedir. Dış faktörlerin etkisi, iki farklı alternatif model oluşturularak açıklanmıştır.

#### **4.3.1 Hava sıcaklığı değişkenleri regresyon modeli**

Dış faktörlerin açıklanacağı bu modelde kullanılacak değişkenler sırasıyla; sıcaklık, nem, rüzgar hızı, basınç, çiylenme noktasıdır. Ancak yapılan analizler çiylenme noktasının sıcaklık ve nemle %100 bağlantılı olduğu, yani çiylenme noktası verisi kullanılmadan da aynı tahminin elde edilebileceğini göstermiştir. Meteorolojik faktörlerin tüketimi nasıl etkilediğini belirlemek için R programından regresyon ve korelasyon çalışmaları yapılmıştır.

Sıcaklık-tüketim grafiği U şeklindedir, yani soğuk havalarda, sıcaklığın azalmasının tüketimi arttırdığı gözlenirken, sıcak havalarda sıcaklığın azalmasının tüketimi azalttığı gözlenmiştir. (Ek 1) Yapılan korelasyon analizleri sonunda tüketim-sıcaklık grafiğinde üç adet kırılma noktası saptanmıştır. Ayrıca rüzgar hızı, basınç ve nemin tüketime sıcaklıktan bağımsız bir etkisinin olmadığı da her bir meteorolojik faktörün tüketim verisi ile olan ikili korelasyon analizi ile gözlemlenmiştir. Bu yüzden hava sıcaklığının derecesine göre, tüketim-sıcaklık grafiğinin soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere 3 bölgeye ayrılmasına ve bu 3 bölge için farklı regresyonlar yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda hava sıcaklığının  $18\text{ C}^0$  den küçük olduğu bölge soğuk bölge, hava sıcaklığının  $18-23\text{ C}^0$  arasında olduğu bölge ılık bölge ve hava sıcaklığının  $23\text{ C}^0$  den büyük olduğu bölge ise sıcak bölge olarak adlandırılmıştır. Her bir bölge için farklı regresyon modelleri oluşturulmuştur. (Ek 1)

#### **4.3.2 Hissedilen hava sıcaklığı regresyon modeli**

Tüketim ve ölçülen sıcaklığın U şeklindeki grafiğindeki dalgalanmalara daha iyi bir açıklama getirmek amacıyla hissedilen sıcaklık olgusu kullanılmıştır. Bu model; tüketimi asıl etkileyen faktörlerin, insanların soğuk hissettiğinde ısınmak, sıcak hissettiğinde serinlemek amacıyla klima, elektrikli soba, vantilatör gibi elektrikli aletleri kullanması ve hissedilen sıcaklığa göre tüketicilerin günlük aktivitelerini değiştirerek elektrik tüketim miktarının değişmesine sebep olması mantığına dayanmaktadır. Hissedilen hava sıcaklığı, Steadman tarafından bulunan formül ile hesaplanmıştır. (1984) Bu formülden bulunan hissedilen hava sıcaklığıyla tüketim arasında en etkili bağlantı kurulması için çeşitli analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda hissedilen sıcaklığın yalnızca sabah 8 ve akşam 10 arasında yani tüketicilerin aktif olduğu saatlerde etkili olduğu tespit edilmiştir. Hissedilen sıcaklık tüketim grafiğindeki U şekli daha önceki modelde olduğu gibi hissedilen sıcaklığı sıcak, ılık ve soğuk olmak üzere 3 bölüme ayırma gereği doğurmuştur, fakat bu sefer kırılma noktalarının

biraz daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Soğuk bölge 14 C<sup>0</sup>'den küçük, ılık bölge 14-21 C<sup>0</sup> arası ve sıcak bölge 21 C<sup>0</sup>'den büyük olacak şekilde belirlenmiştir. Gün içindeki farklı saatlerde farklı tüketim seviyeleri gözlemlendiği için model farklı günlerin aynı saatlerini kıyaslama üzerine kurulmuştur. Geçmiş günün belirli bir saatindeki tüketim ve o saatteki hissedilen sıcaklık ile tahmin edilecek günün aynı saatteki tahmini hissedilen sıcaklığına bakılıp buna göre bir tahmin yapılmaktadır.

R programlama dili kullanılarak yapılan analizde 3. dereceden polinom denklem kullanılması uygun görülmüştür. Bu model ölçülen sıcaklık, rüzgar hızı ve nem değişkenlerini tek bir değişken olarak kullanarak tüketimin bir önceki güne ne kadar artıp azalacağını öngören bir modeldir. Örneğin Salı günü saat 14.00'te hissedilen sıcaklık 5 C<sup>0</sup> iken tüketim miktarı 20.000 birim ise ve Çarşamba günü saat 14.00'te tahmini hissedilen sıcaklık 0 C<sup>0</sup> ise bu model pozitif bir değer (yaklaşık olarak +500 birim) vermektedir. Model hissedilen sıcaklığın değerini ve U şeklindeki grafikteki konumunu göz önünde bulundurmaktadır. Yani hissedilen sıcaklığın 10 C<sup>0</sup>'den 5 C<sup>0</sup>'ye düşmesiyle 0 C<sup>0</sup>'den -5 C<sup>0</sup>'ye düşmesi aynı etkiyi yapmamaktadır

#### **4.4 S-ARIMA ve X etkisinin arayüz ile sonuçlandırılması**

Proje kapsamında kullanıcının tahmin sonuçlarına kolayca ulaşabilmesi ve tahmin için modellerin doğru ve kolay şekilde çalıştırılabilmesi için bir arayüz tasarlanmıştır. (Ek 2) Kullanıcının hızlı ve basit bir şekilde tahmin sonuçlarına ulaşabilmesi adına kendi içerisinde esnekliğe sahip olacak şekilde tasarlanan arayüz kullanılarak geçmiş veriler üzerinde test amaçlı tahminler de yapılabilmektedir. Arayüzün tanımlanan görevleri yapabilmesi için teknik altyapısı VisualBasic (VB) kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarlanan arayüz girdi olarak kullanıcıdan tahmin etmek istediği günü almakta ve arka planda yazılmış olan kod günün özelliğini algılamaktadır. Algılanan günün hangi modelleme kullanılarak tahmin yapılacağına karar veren sistem X etkisinin hesaplanabilmesi için model içinde kullanılacak günün hava şartlarını değerlendirmektedir. Hesaplanmış olduğu X etkisini kullanıcının seçmiş olduğu dosyadaki S-ARIMA sonuçlarıyla birleştirerek tahmin sonuçlarını hazırlamaktadır. Hazırlanan sonuçları kullanıcının istediği dosyaya kaydetmektedir ve açıklayıcı grafikler ile sonuçları kullanıcıya sunmaktadır. Hazırlanmış arayüz yeni modellemelerin eklenip çıkarılmasına uygun hazırlanmıştır ve değişiklikler kolayca yapılabilmektedir.

#### **5. Sonuçlar ve Değerlendirmeler**

Kısa dönem elektrik yükü tahminlemesi projesinde geçmiş tüketim verisinin ve kısa dönem elektrik tüketimini etkileyen meteorolojik faktörlerin kullanılması sonucu "Sezonsal Birleştirilmiş Otoresif Hareketli Ortalama ve Dış Faktörler" (S-ARIMA-X) modelleri oluşturulmuştur. S-ARIMA-X modelinin ilk adımı olan S-

ARIMA aşamasında daha önceki çalışmalarda olmayan sonuçlara varılmıştır. Bunlardan ilki; tahminlemelerde hafta içi olarak kabul edilen pazartesi gününün hafta içi günlerden ayrı olarak değerlendirilmesidir Çünkü Pazartesi gününün tüketim grafiği diğer hafta içi günlerden farklıdır. İkinci bulgu ise Cumartesi, Pazar ve Pazartesi günlerinin tüketimleri üzerine olan mevcut çalışmaların aksine bir gün önceki tüketimin değil bir hafta önceki aynı günün tüketiminin etkili olduğunun bulunmasıdır.

S-ARIMA-X modelinin ikinci aşaması olan X modeli ile projenin asıl amaçlarından olan meteorolojik etmenlerin kısa dönem elektrik tüketimine olan etkisi anlamlı katsayılar ile açıklanmış ve hesaplanmıştır. Oluşturulan S-ARIMA-X modeli, inceleme yılı olan 2013 yılı verisine uygulandığında %2.87'lik ortalama mutlak yüzde hata payı ile tahminleme yapılmıştır.

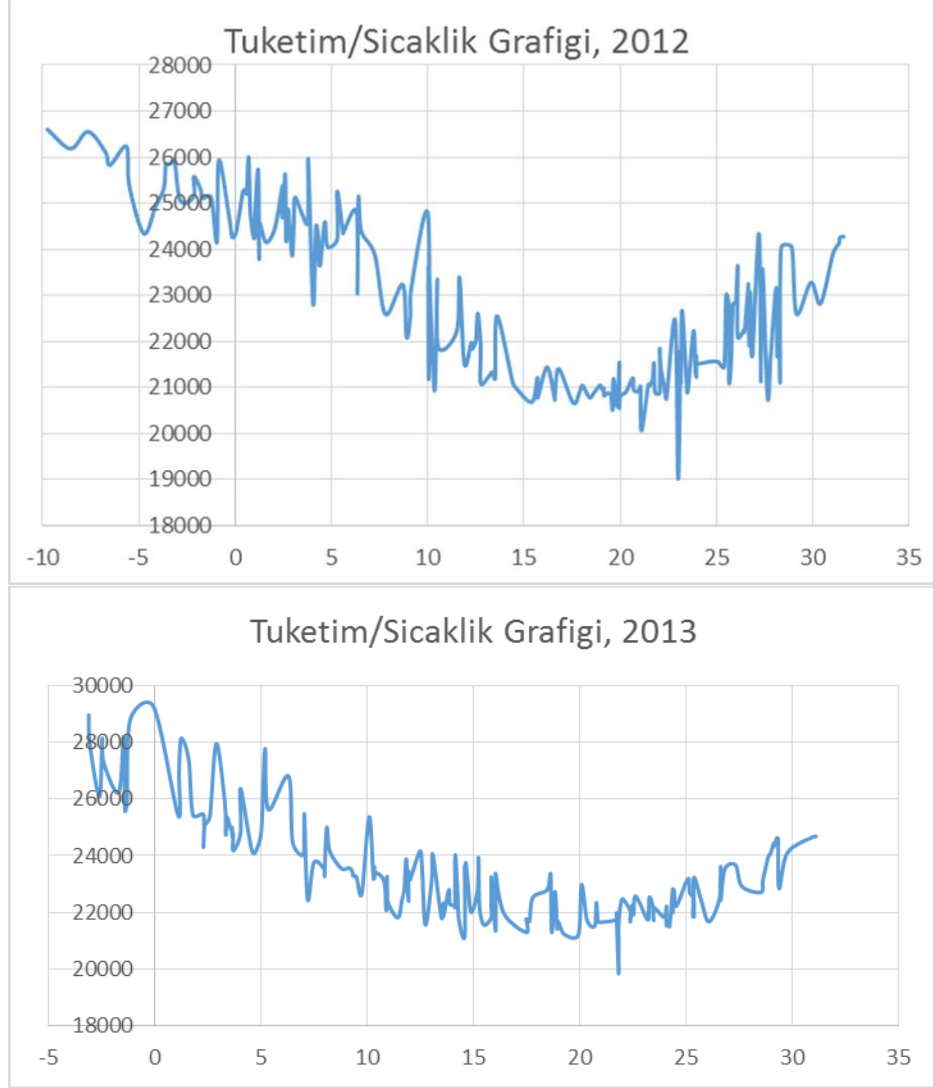
Elde edilen model sonuçları esnek bir arayüz ile Enerjisa'ya sunulmuştur. Enerjisa şirketinin gizlilik politikası gereği, hata oranı şirketin kendi hata oranı ile kıyaslanamasa da modelin tahminleme yüzdesi Enerjisa tarafından başarılı bulunmuştur. Geliştirilen S-ARIMA-X modelleri ve X dış faktörleri ile açıklanan sıcaklık, rüzgar hızı, nemlilik ve çiylenme noktası gibi meteorolojik etmenlerin tüketim üzerine etkisi Enerjisa'nın kısa dönem elektrik yükü tahminlemelerini geliştirme çalışmalarında kullanılmak üzere değerlendirilecektir.

## KAYNAKÇA

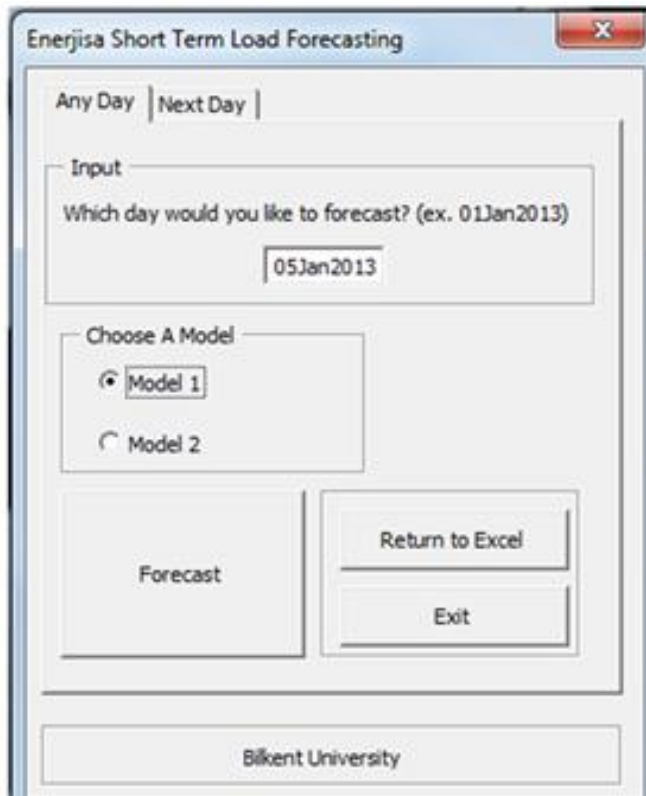
- "Enerjisa". *Enerjisa*. N.p., 2015. Web. 15 Apr. 2016.
- Fahad, Muhammad Usman, and Naeem Arbab. "Factor Affecting Short Term Load Forecasting". *Journal of Clean Energy Technologies* 2.4 (2014): 305-309.
- Fay, Damien, and John V. Ringwood. "On The Influence Of Weather Forecast Errors In Short Term Load Forecasting Models". *IEEE Trans. Power Syst.* 25.3 (2010): 1751-1758.
- Rothe, J. P., A. K. Wadhvani, and S. Wadhvani. "Short Term Load Forecasting Using Multi Parameter Regression". *International Journal of Computer Science and Information Security* 6 (2009): 303-306.
- Song, K.-B. et al. "Short-Term Load Forecasting For The Holidays Using Fuzzy Linear Regression Method". *IEEE Trans. Power Syst.* 20.1 (2005): 96-101.
- Steadman, Robert G. "A Universal Scale Of Apparent Temperature". *J. Climate Appl. Meteor.* 23.12 (1984): 1674-1687.
- Teisberg, Thomas J., Rodney F. Weiher, and Alireza Khotanzad. "The Economic Value Of Temperature Forecasts In Electricity Generation". *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 86.12 (2005): 1765-1771..
- Toker, Ahmet Cihat, and Ozan Korkmaz. *Türkiye Kısa Süreli Elektrik Talebinin Saatlik Olarak Tahmin Edilmesi*. İstanbul: APLUS Enerji, 2015. 1-5.

## EKLER

**Ek 1.** Sırasıyla 2012 ve 2013 yıllarında gözlenen, aynı gün tipi ve aynı saate ait tüketim ve sıcaklık grafikleri



**Ek 2.** Kullanıcının isteğine göre modeli ve tahmin edilecek tarihi seçebileceği arayüz





# Sipariş Toplama Yolları Optimizasyonu

## EKOL Lojistik

### Proje Ekibi

Yiğit Arabacı

Ayşe Aydın

Merve Bolat

Barış Tezcan

Canberk Üçel

İlker Selim Zorluoğlu

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### şirket Danışmanı

Yasemin Erol

Ekol Lojistik, Operasyonel Mükemmeliyet ve Kontrat Lojistiği

### Akademik Danışman

Prof. Dr. Mustafa Çelebi Pınar

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Ekol Lojistik, müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek için hızlı ve dinamik bir ürün toplama sistemine ihtiyaç duymaktadır. Ürün toplama süreci bir depo içerisindeki tüm operasyonlar arasında toplam operasyonel maliyeti belirleyen en önemli etmenlerden birisidir. Projenin amacı ürün toplama sisteminin verimliliğini arttırarak uygulanabilir bir ürün toplama ve rotalama sistemi oluşturmaktadır. Bu amaçla şirketin mevcut depo planı incelenerek gelen siparişler doğrultusunda ürünlerin ne şekilde toplanacağını belirten bir sistem oluşturulmuştur. Aynı zamanda mevcut sistemdeki toplam yürüme mesafesini hesaplayan bir algoritma oluşturularak önerilen yöntemle ne kadar iyileştirme sağlandığı incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ürün toplama, rotalama, alokasyon.

## 1. şirket Tanıtımı

Ekol Lojistik, Türkiye’de 450.000 metrekare kapalı alanı aşan dağıtım merkezleri; Almanya; İtalya, Yunanistan, Fransa, Ukrayna,

Bosna ve Romanya'da bulunan 100.000 metrekairelik tesisleri, 4.000'i aşan araç filosu ve 4.000'i aşkın Türk; 1.200'ü aşkın Avrupalı çalışanıyla Türkiye'nin ve Avrupa'nın öncü bütünleşmiş lojistik hizmet sağlayıcıları arasında yer almaktadır. Ekol Lojistik tedarik zinciri yönetiminde gelişmiş teknolojileri kullanarak müşterilerine çevre dostu filo hizmetleri sunmaktadır.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Yürüme Yolları Mesafesinin İyileştirilmesi projesi, şirketin belirlediği depoda ürün toplama sürecindeki yürüme mesafesini en aza indirmeyi, zaman verimliliğini arttırarak müşteri memnuniyetini ve dolayısıyla karlılığı arttırmayı hedeflemektedir. Bu amaçla şirketin Lavinya deposunun planı temel alınarak bu depodan hizmet verilen müşterilerin siparişleri değerlendirilmiştir. Proje kapsamındaki gözlem ve iyileştirmeler bu depo üzerinden gerçekleştirilmiş olmakla beraber şirketin diğer depoları için de uygulanabilir özelliğindedir.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

Ekol Lojistik otomotiv, hızlı tüketim ürünleri, gıda, ilaç, parakende, tekstil, sanayi, inşaat-dekorasyon ve teknoloji sektörlerini de içine alan çeşitli sektörlerle hizmet vermektedir. Her sektörün kendine özgü lojistik ihtiyaçları olmasına rağmen, lojistik operasyonlarının ana etmenleri her sektör için birbirine benzerdir.

Operasyon çevrimiçi sipariş sistemi ile başlamaktadır. Ürünler depoda teslim alınır ve ilgili noktalara dağıtılır. Dağıtımdan sonra, sıralama ve paketleme işlemleri gerçekleştirilir. Her operasyonda, ürün sayımı yapılır ve bu sayımlar önceki verilerle karşılaştırılır. Ürünler gerekli durumlarda depo içerisinde muhafaza edilir. Muhafaza edilen ürünlerin toplanması sürecinde RF el terminal sistemi, ışık ile toplama sistemi ve ses ile toplama sistemi kullanılır. Bunların dışında tamamen otomatik “Hanging Garment” sistemi işçi kullanımı olmadan ürün toplama işlemi yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tek parça sipariş sistemi kesin ve hızlı ürün dağıtım imkânı sunmaktadır. Kutulama sürecinden sonra, kutulanmış ürünler paketlenerek ayrıştırılır. Ayrıştırılan ürünlerin dağıtım planı nakliye işlemleri, dağıtım stratejileri ve rotalama dikkate alınarak oluşturulur. Proje, deponun ürün toplama problemini hedef almaktadır.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

Sağlayıcılar ve müşterilerden gelen ürünler depo girişinden depoya alınarak kalite ve paketleme hataları kontrol edilir. Kalite kontrolünden sonra ürünler saklama alanlarına yerleştirilmeye hazır hale gelir. Ürünlerin saklama alanlarına yerleştirme süreci çalışanlar tarafından ürün barkotları ile saklama alanı barkotlarının eşleştirilmesi

için kullanılan mobil barkot okuma cihazları ile gerçekleştirilir. Ürünlerin yerleştirileceği saklama alanlarının belirlenmesi kararı çalışanlar tarafından boş alan ve boyut uygunluğuna göre verilir. Ürünler müşterileri talebi gelene kadar saklama alanlarında muhafaza edilir.

Her (yaklaşık) yüzlük ürün grubu bir çalışan tarafından depodan toplanmaktadır. Ürünler çalışanlar tarafından bir büyük araca toplanmakta ve bu araç çalışan tarafından depo bölümleri arasında taşınmaktadır. Katlar iki tarafında saklama alanlarının bulunduğu uzun koridorlar şeklinde düzenlenmiştir. Her çalışan elinde hangi ürünü hangi saklama alanından toplaması gerektiğini gösteren bir mobil aygıt bulundurmaktadır. Ürünün toplanacağı saklama alanına arka planda çalışan bir program karar vermektedir.

Siparişlerin gruplanma süreçleri iki şekilde yapılmaktadır: Çoktan aza metodu bir ürünün daha çok olduğu alanın daha az olduğu alana tercih edilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Azdan çoğa metodu ise bir ürünün daha az olduğu alanın daha çok olduğu alana tercih edilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu iki metot, stok durumunu farklı şekilde etkilediği için dönüşümlü olarak uygulanmaktadır.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Ürün kabul sonrası depo içine yerleştirilen ürünlerin toplanması sırasında kat edilen mesafenin fazla oluşunun sebepleri iki başlık altında incelenmektedir.

- Alokasyon: Aynı ürünün birden fazla konumda bulunması  
Farklı stratejilerin farklı alokasyon kararları getirmesi
- Rotalama: Depo içinde herhangi iki nokta arasındaki mesafenin bilinmemesi  
Depodaki ara koridorun geçişler için kullanılmaması

#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Depo içindeki mesafelerin belirlenememiş olması ve rotalama-alokasyon problemlerinin beraber çözülmemesi, ürün toplama sırasında kat edilen mesafeyi arttırarak işçilerin verimini azaltmaktadır.

Bu mesafenin azaltılamaması ürünleri toplarken zaman kaybına yol açmaktadır. Belirlenen problem tanımı doğrultusunda proje “depo içi mesafe hesaplama” ve “rotalama-alokasyon problemlerinin beraber çözümü” olmak üzere iki ana kola ayrılmıştır. Problem tanımının belirlenmesinden sonra literatür taraması ile başlayan proje süreci, çözüm önerilerinin geliştirilmesi ve uygulamaların başlatılması şeklinde devam etmiştir. Depo içi mesafe hesaplama kolunda elde edilen sonuçlar rotalama ve alokasyon problemlerinin beraber çözümü için önemli bir girdi oluşturduğu için öncelik depo içi mesafelerin hesaplanmasına verilmiştir.

Depo içi mesafe hesaplama kolunda, dörtgen şeklinde ve bir ara geçidi olan koridorların yapısı incelenmiştir. Bu mesafelerin hesaplanması ve bir deponun bir ağ olarak modellenmesi için gereken değişkenlere vurgu yapan Ratliff (1973) önemli bir başlangıç noktası oluşturmuştur. De Koster ve Roodbergen (2006) ise depo içi geçişlerde ara koridor kullanımının sipariş toplamak için kat edilen mesafeyi kısaltacağını göstermiştir.

Bu çalışmalar depo içi mesafe hesaplama kolu için uygun görülmüştür ve ikinci kol olan alokasyon-rotalama problemlerinin beraber çözümü için önemli bir girdi olacaktır.

De Koster (2006) yaptığı çalışmada, bir depoda sipariş toplama süreçleri için uygulanan sezgisel yöntemler ile en iyi çözümün sonuçlarını çözüm süresi, uygulanabilirlik ve problem çıktıları açısından karşılaştırarak daha verimli bir operasyon süreci tasarlanmasını amaçlamıştır. Bu çalışma ile depo, literatürdeki terimlere göre sınıflandırılmış ve arama daraltılmıştır.

İlk koldan girdi olarak gelen ağ tasarımında nokta sayısı çok fazla olacağı için bazı kümelenme stratejileri düşünülmüştür. Bu bağlamda kümelenme ve rotalama problemini beraber inceleyen Kara, Guden ve Koç'un (2005) modelleri incelenmiştir.

Benzer depolar için gerçekleştirilen literatür taramalarında en sık kullanılan yaklaşımların, alokasyon ve rotalama problemlerine ayrı ayrı ve sezgisel olarak yaklaşan yöntemler olduğu görülmüştür. Bunlar alokasyon için azdan çoğa, çoktan aza ve rotalama içinse Gezgün Satıcı Problemi (GSP), "S-Shape" sezgisel yöntemi ve benzerleridir. Ancak projemizde bu iki problem beraber çözülmek istendiği için Daniels, Rummel ve Schantz'ın (1998) matematiksel modelini problem için uyarılmanın uygun olacağı düşünülmüştür.

Chabot vd. (2015) depodaki koridorlar dar olmadığında en iyi olduğu düşünülen modellerin yanılabilirliğini göstermiştir. Bu doğrultuda sistem analiz edilmiş ve depoda bulunan koridorların yeterince dar olduğu tespit edilmiş ve üstte belirtilen modelin sisteme uygunluğu gösterilmiştir.

#### **4. Önerilen Sistem**

Mevcut sistemdeki sıkıntıları giderebilmek ve yürüme yolu ve toplanan ürün sayıları açısından daha iyi sonuçlar elde edebilmek amacıyla yeni bir sistem tasarlanmıştır (Ek 1).

Öncelikle, mevcut sistemdeki sipariş geldikçe sipariş ürünlerinin alınacağı yerleri stoktaki miktarlara göre belirleyen ve daha sonrasında rota kararını veren sistem yerine, sipariş ürünlerinin alınacağı yerlere ve rotaya eşzamanlı olarak karar verecek bir sistem geliştirildi. Buna göre, öncelikle deponun yerleşim ve uzunluk ölçüleri kullanılarak herhangi iki nokta arasında en kısa mesafe hesaplandı (4.2). Ardından, her bir ürün grubu için sipariş ürünlerinin depodaki yer bilgisi ve mesafe

bilgileri kullanılarak ürünlerin toplanacağı yerlerin bilgisi ve izlenmesi gereken rota bilgisi elde edildi.

#### **4.1 Matematiksel model**

Daniels, Rummel, and Schantz (1998)'dan yola çıkarak, yürüme yolunu en aza indiren bir matematiksel model oluşturulmuştur (Ek 2). Bu model, çeşitli tiplerde ürünlerin bir arada bulunduğu depolar için kullanılmaktadır. Toplanacak ürün çeşitleri, her bir çeşit için istenen ürün miktarı ve her birinin bulunduğu farklı yerleri girdi olarak alan model, istenen ürün çeşitlerinin buldukları yerler arasından hangilerinden alınacağına ve izlenecek yola eşzamanlı olarak, yürüme maliyetini enazlayacak şekilde karar vermektedir. Modelin parametreleri ve değişkenleri Ek 2'teki şekilde tanımlanmıştır:

Alt-turları elemek için Miller-Tucker-Zemlin alt-tur eleme kısıtları kullanılmıştır (Ek 2/5). Bu kısıt için  $u_i$  karar değişkeni eklenmiştir. Burada,  $N_{maks}$ ,  $N$  setinin eleman sayısına karşılık gelmektedir.

(Ek 2/0) amaç fonksiyonu farklı karar değişkenleri için toplam yürüme yolunu ifade etmektedir. (Ek 2/1) ve (Ek 2/2) eşitlikleri her farklı yerin ya tur içinde olmasını ( $x_{ii} = 0$ ) veya turun dışında bırakılmasını ( $x_{ii} = 1$ ) gerektirmektedir. Aynı zamanda akışın dengeli olmasını sağlamaktadır. (Ek 2/3) eşitsizlikleri her üründen en az siparişin gerektirdiği kadarını toplatmaktadır. Diğer taraftan (Ek 2/4) eşitsizlikleri istenenden daha fazladan ürün alınmasını ve istenmeyen ürünlerin bulunduğu yerlerin tura eklenmesini engellemektedir. Ürünlerin yerlerinden toplanma maliyetleri ( $d_{ii}$ ) yürüme yolunu enazlama amacıyla sifıra eşitlenmiştir. Ancak bu gereklilik kaldırılırsa (Ek 2/4) eşitsizlikleri gereksiz hale gelecektir, çünkü model fazladan ürün alınan çözümleri kendi kendine eleyecektir (Daniels, Rummel, and Schantz, 1998). Kısacası (Ek 2/3) ve (Ek 2/4) eşitsizlikleri, fazladan ziyaret gerçekleştirmeden her ürün çeşidinden istenen sayıda toplanmasını sağlamaktadır. (Ek 2/6) kısıtları karar değişkenlerinin ikili olmasını sağlamaktadır.

#### **4.2 Modelin sisteme uygulanabilmesi için yapılan iyileştirmeler**

Modelin gerektirdiği verilerin hazırlanması, düzenlenmesi ve farklı durumlarda uygulanabilir hale getirilmesi için bazı iyileştirmeler uygulanmıştır. Bu iyileştirmeler ve açıklamaları şu şekildedir:

##### **4.2.1 Mesafe hesaplamaları**

Modelin en önemli girdilerinden birisi iki nokta arasındaki uzaklık bilgisidir. Buna göre, ara koridorun varlığı da göz önünde bulundurularak, dönüş uzunlukları, koridor ve ara koridor uzunlukları, koridorlardaki ürün toplanacak yer sayısı ve ara koridorun yerleşim bilgileri alınarak, herhangi iki stok yeri arasındaki en kısa mesafe MATLAB programlama dili kullanılarak hesaplanmaktadır. Aynı zamanda bu en kısa mesafenin rotası da kaydedilmektedir. Sonuçta

depodaki tüm farklı yer ikilileri için mesafe bilgilerini içeren bir matris elde edilmektedir. Bu uygulamanın her depo ve ilgili yerleşim düzeni için bir kere yapılması yeterli olmaktadır.

#### **4.2.2 Girdi mesafelerinin elenmesi ve düzenlenmesi**

4.2.1’de hesaplanan uzunlukların sisteme uygulanabilmesi için iki ana sorun olduğunu gözlemlenmiştir. Birincisi, modelin 4.2.1’deki hesaplanan büyüklükte veriyi kullanabilmesi uzun sürmektedir. Müşteri siparişlerine göre kesin olarak ziyaret edilmeyeceği bilinen yerler için fazladan hesaplama yapılmaktadır. İkincisi, model her farklı stok yerinde tek bir ürün çeşidi olacağı varsayımıyla çalışmaktadır ve bu varsayım mevcut sistemi yansıtmamaktadır.

Tasarladığımız girdi hazırlama sistemi 4.2.1’deki uygulamanın sonuçlarını alarak her bir sipariş grubu için yalnızca çözümde kullanılma ihtimali olan yerlerin verilerini hesaplamakta ve gereksiz veri parçalarını elemektedir. Ayrıca aynı yerde bulunan farklı ürün çeşitleri için ayrı veri noktaları açıp bunların mesafe bilgilerini de hesaplamaktadır. Bu girdi hazırlama sisteminden elde edilen sonuç, kullanılan girdilerin gereksiz olanlarını önemli ölçüde eleyerek modelin şirket verileriyle kabul edilebilir zamanda sonuç vermesini sağlamaktadır (Ek 3).

### **5. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Problemi çözmek için geliştirilen modeli şirketin sistemiyle karşılaştırabilmek için mevcut ürün toplama algoritması üzerinde çalışılmıştır. Literatürde “S-Shape” olarak bilinen bu sezgisel ürün toplama algoritması, projenin iki temel hedefinden biri olan mevcut yürüme yolunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Projenin diğer hedefi olan iyileştirilmiş yürüme yolunun hesaplanması için geliştirilen model, ürünlerin toplanacağı yerlerin bilgisini hem rota bilgisiyyle hem de toplam yürüme yolu mesafesiyle birlikte vermektedir.

#### **5.1 Önerilen sistemin doğrulanması**

Önerilen sistemin gerçek verilerle uygulanmasından önce modelin doğrulanması için örnek verilerle uygulamalar yapıldı. Örnek veri kümesi, şirketin gerçek verileri temel alınarak oluşturuldu. Oluşturulan örnek depo sistemindeki uzunluk girdileri mevcut sistemle tutarlı olacak şekilde seçilmiştir. Önerilen sistemin kullandığı model, oluşturulan örnek verilerin girdileri kullanılarak çalıştırıldığında beklenen çıktıları vermiştir. Modelin doğruluğunu test etmek için birden çok örnek veri kümesi ayrı ayrı kullanılmış ve bu denemelerin sonucunda tüm çıktıların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

#### **5.2 Şirket verileriyle önerilen sistemin uygulanması**

Modelin doğrulanması yapıldıktan sonra, şirketin gerçek veri kümesi kullanılarak tüm depolar için model CPLEX üzerinden çalıştırılmıştır. Şirketin sağladığı veri kümesi, müşterilerden gelen gerçek siparişlere dayalı bir grup toplama bilgilerinden oluşmaktadır.

Bu bilgiler dahilinde deponun stok bilgisi, her bir ürünün hangi konumda ve hangi miktarda bulunduğu bilgisi, ürün toplama sürecinde her üründen hangi miktarda alınması gerektiği bilgisi modelimizin girdilerini oluşturmaktadır. Ayrıca deponun planı kullanılarak herhangi iki stok yerinin arasındaki mesafe bilgisi de hesaplanmış ve modelin girdisi olarak kullanılmıştır.

Projenin uygulanacağı Lavinya Deposu dört kattan ve iki adet MZN bölgesinden oluşmaktadır. Dört katın planı birbiriyle aynı olmakla beraber MZN bölgesi ara koridorun bulunduğu konum itibarıyla ana katlardan farklı bir plana sahiptir. Verilen örnek müşteri siparişleri kullanılarak bu altı farklı bölge için modelimiz çeşitli sürelerde çalıştırılmıştır. Ürün toplama süreci, deponun hizmet verdiği sektör nedeniyle, kısa sürede tamamlanması gereken bir işlemdir. Bu nedenle, önerilen sistemin her bir ürün toplama süreci için sağlayacağı çıktıların kısa sürede sonuç vermesi beklenmektedir. Şirketteki danışmanlarla yapılan toplantılar sonucunda, modelin çalışma süresinin yaklaşık beş dakika olmasının süreç için bir gereklilik olduğu sonucuna varılmıştır.

Modelin sonuçlarına göre KAT3 ve MZN1 bölgesi için en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Diğer bölgeler için modelimiz en iyi sonuca beş dakika içinde ulaşamamıştır, ancak model daha uzun süre için çalıştırıldığında beş dakika içinde bulunan sonucunun en iyi sonuca çok yakın olduğu gözlemlenmiştir (Ek 4). Bu doğrultuda, önerilen sistemde modelin çalışma süreleri istenildiği şekilde beş dakikayla sınırlanmış ve bunun çalıştırılan şirket verilerinin tamamında iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir (Ek 5). Farklı bölgelerin çözüm zamanlarındaki değişiklik, bu bölgelerden toplanan ürün sayılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

### **5.3 Mevcut sistemle önerilen sistemin karşılaştırılması**

Gerçek veriler kullanılarak modelin çalıştırılmasının ardından önerilen sistemle mevcut sistemi karşılaştırabilmek için şirketin şu an kullanmakta olduğu algoritmayla yürüme mesafesi altı bölge için hesaplanmıştır. Bu hesaplama için önceden bahsedilen “S-Shape” algoritması kullanılmıştır ve altı bölge için toplam yürüme mesafesi ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre önerilen sistem mevcut sisteme göre daha kısa yürüme mesafesiyle ürün toplama imkanı sağlamaktadır. İyileştirme oranı her bir bölge için farklıdır. KAT1 için bu oran yaklaşık %34 iken MZN2 bölgesi için yaklaşık %70 daha iyi sonuç gözlemlenmiştir. Her bir bölge için önerilen sistemin yürüme mesafesi, mevcut sistemin yürüme mesafesi, modelin problemi çözüm süresi ve gözlemlenen iyileştirme oranları Ek 5’de gösterilmiştir.

## **6. Sonuçlar ve Değerlendirme**

Ekol Lojistik için Yürüme Yolları Optimizasyonu Projesi’nde önerdiğimiz iyileştirmeler şirketin problemlerine etkin ve dinamik

çözümler sunmuştur. Projemizin sunduğu “S-Shape” algoritması ile şirket, mevcut sistemde eksik bulunan alokasyonu belli ürünlerin yürüme rotasının uzunluğunu hesaplayabilmektedir. Bu sayede şirket, birbirinden farklı rotalama çeşitlerinin yürüme uzunluklarını karşılaştırarak şirket içi performans ölçümlerini yapabilir hale gelmiştir. Projemizin diğer çıktısı olan yürüme yolu enazlama algoritması ise, şirkete ürün alokasyonu ve rotalamayı aynı anda yapan bir model sunarak mevcut siparişin en az yürüme mesafesi ile nereden ve hangi rotayla toplanacağını belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Yürüme yolu enazlaması ile şirket verileri yeni algoritmaya uygun olarak yeniden rotalanmış ve bu rotalama sistemi, “S-Shape” algoritması kullanılarak mevcut sistemin yürüme mesafesi ile karşılaştırılmıştır. Şirketin altı farklı bölgesindeki ürün sipariş kümeleri için çalıştırılan algoritma sonucu, toplamda yürüme mesafesinde %47 oranında azalma gözlenmiştir. Yürüme mesafesinin azaltılmasıyla birlikte, günlük ürün toplama hedefi 19000 üründen 25000 ürüne çıkarılmıştır. E-ticaret yapmakta bulunan şirket, yürüme mesafesinin en aza indirilmesi ve sipariş toplama hızının artmasıyla birlikte müşterilerine daha hızlı hizmet verebilir konuma getirilmiştir.

Yürüme mesafesinin azaltılması ile şirketin ürün toplama sisteminin mevcut maliyeti düşürülmüştür. Yürüme mesafesindeki %47’lik iyileştirme, mevcut sisteme, ürün toplama sistemi maliyetinin %23 azalması şeklinde yansımıştır. Bu sayede şirkete, müşterilerine olan hizmetteki hız artışının yanı sıra, finansal olarak da maliyetlerini azaltma olanağı verilmiştir.

Şirkete sunulmuş olan “S Shape” algoritması, yürüme mesafesini hesaplarken kullanıcıdan girdi istemektedir. Bu sayede sistem, şirketin yalnızca Lavinya deposuna için değil, yürüme mesafesini ölçmek istediği tüm depolara uygulanabilir olma özelliğine sahiptir. Sunulan bu çözümlerle şirket, rotası belli olan toplama yolunun yürüme mesafesini ölçme ve en iyi yürüme yolunu bulabilmesiyle birlikte, bu sistemi diğer depolara da uygulayabilmektedir.



## **KAYNAKÇA**

- Chabot T., Coelho L., Renaud J., Cote J., “Mathematical Models, Heuristic and Exact Method for Order Picking in #D-Narrow Aisles”, Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation, 1-23.
- Daniels R.L., Rummel J.L., Schantz R., “A model for warehouse order Picking”, European Journal Operational Research, 105(1998): 1-17.
- De Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K. J. 2006. “Design and control of warehouse order picking: A literature review”, European Journal Operational Research, 182(2):481-501.
- Ekol at a Glance, 2015. “Facts”, accessed at <http://www.ekol.com/en/at-a-glance/facts/employees> as of January 1, 2015.
- Goetschalckx, M., Ratliff H. D., “Order Picking in an Aisle”, IIE Transactions, 20(1):53-62.
- Hall, R. W., “Distance Approximation Routing for Manual Pickers in a Warehouse”, IIE Transactions, 25(4):76-87.
- Kara I., Guden H., Koc N. O. 2007. “New Formulations for the Generalized Traveling Salesman Problem”, American Journal of Applied Sciences, 4 (11): 932-937.
- Ratliff H. D., Rosenthal A. S., “Order Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Travelling Salesman Problem”, Operations Research, Vol. 31, No. 3, 507-522.
- Roodbergen, K.J., De Koster, R., “Routing methods for warehouses with multiple cross aisles”, International Journal of Production Research, 39(9), 1865-1883.
- Roodbergen, K.J., De Koster, R., “Routing order pickers in a warehouse With a middle aisle”, European Journal Operation Research, 133(2001): 32-43

## **EKLER**

### **Ek 1. Önerilen Sistem**



## Ek 2. Matematiksel Model

### Parametreler

$d_{ij}$  :  $i$  ve  $j$  yerleri arasındaki mesafe

$d_{ii} = 0$

$L$  : turdaki yerlerin kümesi (ürün alınacak yerlerin kümesi)

$q_i$  :  $i$  yerinde bulunan ürün miktarı

$I_k$  :  $k$  ürün çeşidinin depodaki toplam miktarı

$P_k$  :  $k$  ürün çeşidini içeren yerler

$$I_k = \sum_{i \in P_k} q_i$$

$r_k$  :  $k$  ürün çeşidinden toplanması istenen miktar

$M$  : toplanacak ürün çeşitleri

$N$  : toplanacak ürün çeşitlerinin bulunduğu farklı yerler

### Karar Değişkenleri

$x_{ij} =$

$\begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ yeri toplama sırasında } j \text{ yerini takip ediyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

Özel durum:

$x_{ii} =$

$\begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ yeri tura dahil değilse (buradan ürün alınmayacaksa)} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

### Matematiksel Model

Enazla  $\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij}$  (0)

Kısıtlar,

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad i \in N \quad (2)$$

$$I_k - \sum_{i \in P_k} q_i x_{ii} \geq r_k \quad k \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i \in P_k \setminus \{j\}} q_i x_{ii} \geq I_k(1 - x_{jj}) - r_k - q_j \quad j \in P_k, \forall k \in N \quad (4)$$

$$u_j \geq u_i + I + N_{maks}(x_{ij} - I) \quad i, j \in N \text{ ve } j \neq 1 \text{ ve } i \neq j \quad (5)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad (6)$$

### Ek 3. Girdi Verisi Hazırlama Örnekleri

- Kullanılmayacağı bilinen veri noktalarının girdiden elenmesi

0	1	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	17	18	18	19	20	21	22
1	0	3	4	5	7	6	7	8	9	11	10	11	12	13	15	14	15	16	17	18	18	19	20	21
4	3	0	1	2	8	7	6	7	8	12	11	10	11	12	16	15	14	15	16	20	19	18	19	20
5	4	1	0	1	9	8	7	8	7	13	12	11	12	11	17	16	15	16	15	21	20	19	20	19
6	5	2	1	0	10	9	8	7	6	14	13	12	11	10	18	17	16	15	14	22	21	20	19	18
6	7	8	9	10	0	1	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	17	16
7	6	7	8	9	1	0	3	4	5	7	6	7	8	9	11	10	11	12	13	15	14	15	16	17
8	7	6	7	8	4	3	0	1	2	8	7	6	7	8	12	11	10	11	12	16	15	14	15	16
9	8	7	8	7	5	4	1	0	1	9	8	7	8	7	13	12	11	12	11	17	16	15	16	15
10	9	8	7	6	6	5	2	1	0	10	9	8	7	6	14	13	12	11	10	18	17	16	15	14
10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	0	1	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14
11	10	11	12	13	7	6	7	8	9	1	0	3	4	5	7	6	7	8	9	11	10	11	12	13
12	11	10	11	12	8	7	6	7	8	4	3	0	1	2	8	7	6	7	8	12	11	10	11	12
13	12	11	12	11	9	8	7	6	7	5	4	1	0	1	9	8	7	8	7	13	12	11	12	11
14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	6	5	2	1	0	10	9	8	7	6	14	13	12	11	10
14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	0	1	4	5	6	6	7	8	9	10
15	14	15	16	17	11	10	11	12	13	7	6	7	8	9	1	0	3	4	5	7	6	7	8	9
16	15	14	15	16	12	11	10	11	12	8	7	6	7	8	4	3	0	1	2	8	7	6	7	8
17	16	15	16	15	13	12	11	12	11	9	8	7	8	7	5	4	1	0	1	9	8	7	8	7
18	17	16	15	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	6	5	2	1	0	10	9	8	7	6	5
18	19	20	21	22	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	0	1	4	5	6
19	18	19	20	21	15	14	15	16	17	11	10	11	12	13	7	6	7	8	9	1	0	3	4	5
20	19	18	19	20	16	15	16	15	16	12	11	10	11	12	8	7	6	7	8	4	3	0	1	2
21	20	19	20	19	17	16	15	16	15	13	12	11	12	11	9	8	7	8	7	5	4	1	0	1
22	21	20	19	18	17	16	15	14	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	6	5	2	1	0	0



0	1	4	6	8	10	11	14	18	20	21
1	0	3	5	7	9	10	13	17	19	20
4	3	0	2	6	8	11	12	16	18	19
6	5	2	0	8	6	13	10	14	20	19
8	7	6	8	0	2	7	8	12	14	15
10	9	8	6	2	0	9	6	10	16	15
11	10	11	13	7	9	0	5	9	11	12
14	13	12	10	8	6	5	0	6	12	11
18	17	16	14	12	10	9	6	0	8	7
20	19	18	20	14	16	11	12	8	0	1
21	20	19	19	15	15	12	11	7	1	0

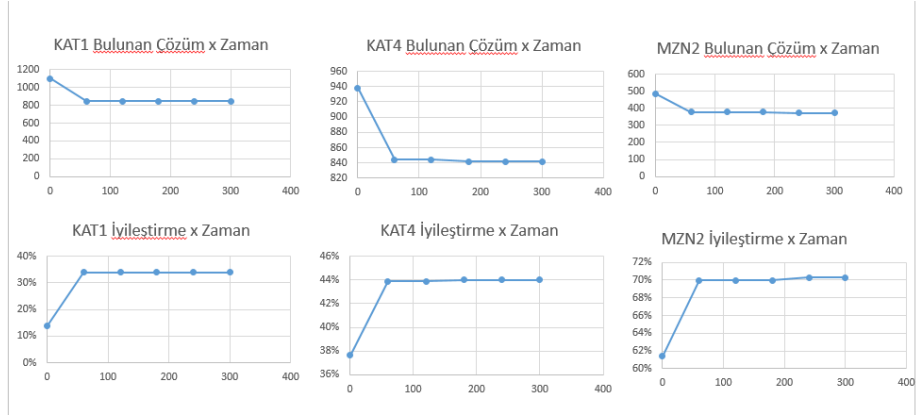
- Aynı stok alanında bulunan farklı ürünler için veri hazırlanması örneği

0	6	8	10
6	0	3	5
8	3	0	3
10	5	3	0



0	6	8	8	10
6	0	3	3	5
8	3	0	0	3
8	3	0	0	3
10	5	3	3	0

### Ek 4. Zaman ve İyileştirme Oranları



### Ek 5. Önerilen Sistem İyileştirme Oranları

	KAT1	KAT2	KAT3*	KAT4	MZN1*	MZN2	Toplam
<b>Önerilen Sistemde Yürüme Mesafesi</b>	848	1188	482	842	866	374	4600
<b>Mevcut Sistemde Yürüme Mesafesi</b>	1282	1972	806	1504	1504	1258	8326
<b>Çözüm Süresi</b>	300	300	4,25	300	43,42	300	
<b>İyileştirme Oranı</b>	34%	40%	40%	44%	42%	70%	45%

# Kanban Besleme Sisteminin İyileştirilmesi

## Erkunt Traktör

### Proje Ekibi

Esra Akın  
Esmâ Alımcı  
Burak Başlık  
Çağla Çalgüner  
Kadir Yağlı  
Ceren Yürür

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Neval Dalarslan  
Erkunt Traktör, Malzeme Planlama Mühendisi  
Korcan Gündüzalp  
Erkunt Traktör, Kurumsal Performans Mühendisi,

### Akademik Danışman

Prof. Dr. Oya Karışan  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Erkunt Traktör’de gözlemlenen problem, üretim alanında verimsiz besleme sisteminden kaynaklanan dengesiz stok miktarıdır. Proje kapsamında odaklanılmış Kanban sistemi, depodan materyallerin toplanması ve üretim hattında dağıtılmasından oluşmaktadır. Homojen bir besleme sistemi elde etmek ve besleme rotasını iyileştirmek için, gezgin satıcı modeli geliştirilmiş. ABC analizi sonucunda Kanban kart miktarları azaltılmış böylece daha sık ve az sayıda materyal beslemek hedeflenmiştir. Hat dengeleme yardımıyla işçilerin boş geçirdikleri saatler azaltılmış ve daha verimli çalışma koşulları oluşturulmuştur. Bütün çözümler uygulandığı zaman, Erkunt Traktör dengeli bir Kanban besleme sistemine ulaşacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kanban sistemi, tam zamanında üretim sistemi, yalın üretim, Gezgın Satıcı modeli (GSP)

### 1.Sistem Tanımı

#### 1.1 Şirket hakkında genel bilgi

Erkunt Sanayi, Mümin Erkunt tarafından 1953 yılında yüzde yüz

yerli sermayeyle kurulmuştur. Mümin Erkunt'un hayali tamamen yerel tasarıma sahip traktörler üretmekti. 2003 yılında Zeynep Erkunt Armağan, Erkunt Sanayi'nin gücüyle Erkunt Traktör'ü kurmuş ve aynı yıl ilk traktörler pazara sunulmuştur. Bugün, Erkunt Traktör 88 farklı traktör modeliyle Türkiye marketindeki 3. en büyük şirket unvanını taşımaktadır. 2007 yılında, ArmaTrac adıyla 33 farklı ülkeye açılarak uluslararası isim kazanmıştır. Kuruluşundan 6 yıl sonra dünya marketindeki 56. şirket olmayı başarmışlardır.

### **1.2 Üretim sistemi**

Fabrikada MTO (siparişe göre üretim) ve MTS (stok için üretim) stratejileri uygulanmaktadır. Günlük üretim hedefi 26 olup üretim adedi günden güne değişiklik göstermektedir. Günlük çalışma süresi net 520 dakikadır. Şirketin amacı üretim sahasına yalın üretim modeli uygulayıp bekleme süresi, fazla envanter, kalitesiz parçalar, gereksiz hareket gibi değeri olmayan iş yüklerinden kurtulmak ve verimliliği artırmaktır.

Fabrika ambar ve üretim alanı olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Ambarda materyaller şekil ve büyüklüklerine göre üç kategoriye ayrılmıştır. Bu materyaller ambardan üretim alanına Kanban, küçük SPS (small part supply) veya büyük SPS yöntemlerinden bir tanesi ile taşınmaktadır. Küçük ve ucuz materyaller Kanban; insan gücü ile taşınabilecek ağırlıkta olup yığın materyallere göre daha maliyetli olanlar küçük SPS; çok ağır ve büyük materyaller ise büyük SPS taşıma sistemine aittir. Kanban sisteminde, Kanban kartlarını üretim alanından toplayıp ambara getiren ve gelen kartlara göre gerekli miktardaki ürünleri hazırlayıp üretime götürülmeye hazır hale getiren olmak üzere iki işçi bulunmaktadır. Bu besleme sistemi iki günlük besleme için çalışmakta ve Kanban numaraları iki günün en fazla talebi göz önünde bulundurulacak şekilde hesaplanmaktadır. Fabrikanın üretim alanında dokuz istasyon bulunmaktadır. Üretim hidrolik, transmisyon ve ön aks istasyonlarında ayrı ayrı başlayıp boya öncesi istasyonundaki montajla devam eder. Boya öncesi istasyonundan sonra süreç yıkama, boyama, kurutma ve boya sonrası şeklinde devam eder. Son süreç ürünlerin kalite kontrol aşamasına gönderilmesidir.

#### **1.2.1 Üretim süreçleri**

Traktörlerin üretimi transmisyon ve hidrolik istasyonlarında başlar. Transmisyon istasyonunda silindir bloklar işlenir ve tekerlekli bir araç ile akış boyunca taşınır. Kanban ve küçük SPS besleme sistemi kullanılır. İlk olarak transmisyon mekanizmasının kalite kontrolü yapılır. Eğer transmisyon hatalı ise bu parça ayrılır ve üretim akışı dışında tamir edilmeye çalışılır. Transmisyon bu departmanda motor ile birleştirilir. Daha sonra hidrolik kaldırıcı silindir bloğa entegre edilir. Transmisyon istasyonunun döngü süresi, Carraro adı verilen hazır transmisyonların kullanılmasıyla beraber 19 dakikadır. Besleme sistemi olarak küçük ve büyük SPS ve Kanban kullanılır.

Boya öncesi istasyona, transmisyona, ön aks ve hidrolik kaldırıcı istasyonlarından yarı hazır ürünler gelir. Ön aks ve silindir blok bu istasyonda 2 adet yağ borusu, emme borusu ve filtre ile montajlanır. Boya öncesi istasyonundan sonra ürün yıkamaya gönderilir. Materyaller boyama istasyonundan sonra kurutulmak üzere fırına ardından da radyatör, benzin tankı lastik gövde, elektrik aksamı frenler ve kabinin de monte edileceği boya sonrası istasyonuna geçilir. Bu istasyondan sonra ürün kalite kontrol alanına gönderilir.

## **2. Sistem Analizi**

### **2.1. Mevcut sistem**

Fabrikadaki mevcut sistem işleyişi şu şekildedir:

- Malzeme taşınma sistemi Kanban, küçük SPS ve büyük SPS olarak üçe ayrılmıştır.
- Küçük ve hafif malzemeler Kanban, orta ağırlıkta (kolisi 15 kilodan fazla ve pahalı) olanlar küçük SPS ve ağır olanlar da büyük SPS taşıma sistemleriyle taşınır.
- Küçük SPS malzemeleri ambardan üretim alanına küçük SPS arabaları ile taşınır.
- Kanban sistemi kartlar aracılığıyla sürdürülür. Üretim alanına getirilmesi gereken malzemenin adı, numarası ve adedi kartlar ile tanımlanmıştır. Kanban malzemeleri taşınması ve hazırlanmasında iki çalışan görevlendirilmiştir.
- Küçük SPS arabasındaki malzemeler bir traktör üretimi boyunca kullanılır, boşalan arabalar sorumlu işçi tarafından yeniden doldurulmak üzere toplanır.

### **2.2 Semptomlar ve şikayetler**

- Takt zamanı 19 dakika olmasına rağmen varyasyonlar ve buna bağlı olarak üretimde gecikmeler gözlemlenmiştir.
- Kanban kart kodlarının tesellümdeki materyallerle uyumsuzluk durumuna ender olarak rastlanılmıştır.
- Tedarikçiden gelen ürünlerin istenilen miktarlarda gönderilmemiş olması söz konusudur. Bu durum Kanban arabasının hazırlanma süresini artırmaktadır.
- Üretimin herhangi bir kısmının durması halinde diğer departmanlar çalışmaya devam etmekte ve WIP (work-in-process) denilen yarı mamüller üretim alanı içerisinde birikmektedir.
- İşçilerin standart bir görevlerinin olmaması ve sorumlu olmadıkları görevlerle uğraştıkları gözlemlenmiştir.
- Kanban kartlarından sorumlu işçinin kendi önceliklerine göre toplama işlemini yapması üretim hattında gecikmelere yol açmaktadır.
- Üretim alanında Kanban kartları kaybolabilmekte ve işçiler kartları kutulara koymayı unutabilmektedir.

### **2.3 Problem tanımı**

Semptomların detaylı incelenmesi, yapılan gözlem ve zaman etütlerinin sonucunda üretim hattına yarı mamül ürünlerin zamanından önce getirildiği ve üretime dahil olana kadar bu ürünlerin üretim alanında beklediği gözlemlenmiştir. Gereğinden fazla yarı mamül stoklanması yalın üretim mantığıyla ters düşmektedir. Üretimde bekleyen ürünlerinde bir maliyeti bulunmaktadır. Ayrıca ürünler ambardan çıktıkları anda stoktan bu ürünler düşülmekte ve kritik seviyeye inen ürünlerin siparişi verilmektedir. Bu durum da maliyeti artırmaktadır. Yalın üretime uygun olmayan ve Erkunt Traktör'e fazla maliyet yükleyen bu sistemin Kanban miktarı, kart sayısı ve standart olmayan iş sürecinden kaynaklandığına karar verilmiştir. Bu durumların düzeltilip sistemin daha verimli hale getirilmesi amaçlanılmıştır.

### **2.4 Verilerin analizi ve yorumlanması**

Depodaki Kanban sistemini daha iyi inceleyebilmek için birçok zaman etüdü yapıldı. İki farklı Kanban arabasından alınan verilerle, boya öncesi ve ön aks istasyonuna giden 36 parçanın verileri toplandı. Bir Kanban arabasının hazırlanması ortalama 46 dakika sürmektedir. Hazırlama işi 4 kategoriye ayrılmıştır: BHK (Bulma-Hazırlama-Kayıt), kartları sıralama, arabayı hazırlama ve değer katmayan işler. Değer katmayan işler, toplam hazırlama süresinin %47'sini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, ilk amacımız bu işleri olabildiğince azaltmak ve işçilere tek tip işler vermektir. Toplam BHK süresi, hazırlama süresinin %34'ünü oluşturmaktadır. Bu %34'ün içerisinde hazırlama süresinin tüm süreç içinde %29'lık bir yer kapladığı gözlemlenmiştir. Çözüm olarak ABC analizi önerildi. ABC analizinin amacı, üretim hattındaki stok sayısını ve Kanban kartlarının hazırlanma süresini azaltmaktır. Bulma süresi de BHK süresinin %16.5'lik kısmını kaplamaktadır. Bu süreyi azaltmak için gezgin satıcı probleminin modelinin yazılmasına karar verildi. Bu model sayesinde işçi, Kanban materyallerinin lokasyonlarını bulurken en kısa rotayı izleyecektir. Son iş ise her kart başına 0.8 dakika süren kayıt sürecidir. Bu analizlerin ardından şirket barkod sistemini kullanmaya başlamıştır.

### **3. Kaynak Araştırması**

Fabrika içerisindeki gözlemlerde, yüksek seviyede mevcut envanter, materyallerin aktarımında gecikme, verimsiz materyal taşımadan kaynaklı zaman kayıpları, küçümsenemeyecek sayıda hatalı ürün bulunması ve işçilerin verimsiz hareket etmesi ilk dikkati çeken unsurlardır. Bu sorunların giderilmesi için çözümler önerilmeden önce kaynak araştırmaları yapılmıştır. Bu amaçla, fabrikada kullanılan Yalın üretim ve Kanban sistemleri hakkında bilgi toplanmıştır. Çözüm olarak ileri sürülen gezgin satıcı problemi (GSP) ve ABC analizi hakkında da kaynak araştırmasına devam edilmiştir.

“Yalın üretim konsepti tek tip iş ve işçi, zaman ve fabrika



kaynaklarından daha iyi biçimde yararlanmayı amaçlar. Yalın üretim önümüzdeki yıllarda hızla büyüyecek ve endüstrinin en bilinen yüzü olacak.” (Cody 2015). Erkunt Traktör’ün temel çözümü olarak düşünülen sistem ise “ihtiyaç duyulduğunda istenilen üründen küçük miktarlarda üretip, kullanılan iş gücü ve kaynakları enazlamaktır.” (Aktürk ve Erhun 2003).

Kanban sistemine ek olarak, depo için homojen bir toplama rotası düşünülmektedir. Şuan depoda bir rota bulunmamaktadır. Depodan Kanban materyallerini toplamak bir sipariş toplama (order-picking) sorusu benzeridir. Rastgele seçilmiş koridorlardan oluşan şekilde sipariş toplama probleminin aslında gezgin satıcı probleminin bir çeşidi olduğu farkedilmektedir (Ratliff ve Rosenthal, 2014).

ABC analizinde materyaller önem sıralarına göre gruplandırılırlar. Bu gruplandırma birçok farklı değişkene göre olabilir örneğin toplam yıllık masraf, toplam yıllık kullanım, toplam elde tutma maliyeti gibi. ABC analizindeki kritik nokta ise bu değişkenin ve ona bağlı kıstasların belirlenmesidir (Dhoka ve Dinesh.,2013).

#### **4. Önerilen sistemler**

##### **4.1 Sistem girdileri ve çıktıları**

###### **4.1.1 ABC analizi**

ABC analiz traktör yapımında kullanılan Kanban parçalarının kullanım oranlarını temel alan bir yöntemdir. Üretimdeki her bir traktörün üretim sıklığı oranları ve bu traktörlerde kullanılan parçaların kullanım sayıları bize malzemelerin kullanım oranlarını vermektedir. Traktör üretim sıklıkları ise geçmiş üretim planının verileri baz alınarak hesaplanmaktadır.

###### **4.1.2 GSP modeli**

Gezgin Satıcı Problemi modelimiz ambarda çalışan işçiler için rota eniyilemesi yapmak için tasarlanmıştır (Ek 4.1, Ek 4.2). Üretim alanından gelen farklı kombinasyonlardaki kanban kartları için farklı toplama rotaları oluşturan dinamik bir modeldir. Bütün kanban materyallerinin bulunduğu konumları kullanmak yerine, belirli bir alan içerisindeki parçaları kapsayacak şekilde 39 adet referans noktasına bölünerek model oluşturulmuştur. Referans noktalarının 39 konuma bölünmesindeki etkenler Kanban malzemelerinin toplam raf sayısı ve bu rafların uzunlukları olmuştur (Ek 5). Ayrıca, konum atamaları yapılırken işçinin tek bir konum üzerinde dururken en fazla hangi rafa kadar uzanabileceğide göz önünde bulundurulmuştur. Bu 39 referans konumun ilki rotanın başlangıç ve bitiş noktası olarak tasarlanmıştır. Ambar çalışanı her toplama işleminde bu noktadan başlayıp parça toplama işleminden sonra bu noktada turunu tamamlayacaktır.

###### **4.1.3 Hat Dengelemesi**

Şu anki durumda üretim alanını beslemek için çalışan 2 işçi bulunmaktadır. Bir tanesi hazırlanmış kanban kutularının üretim alanına

dağıtımından ve boş kutu ve kanban kartlarının toplanmasından, diğeri ise ambarda kanban kutularının hazırlanmasından sorumludur.(Ek.1) Buradaki ana problemimiz üretim alanından gelen kartların ne kadar süre hazırlanmayı beklediğinin tespit edilememesidir. Bu bekleme süresini yok etmek için ilk gelene ilk hizmet esası uygulanmalıdır. Bir diğerk gözlem ise ambardaki işçinin iş yükü üretim alanında dağıtım yapan işçinin iş yükünden çok daha fazladır. Bu durum üretim alanındaki işçinin uzunca bir süre ambar çalışanını beklemesine ve verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Hat dengeleme yöntemine göre bazı iş birimleri ambardaki işçiden alınıp, üretim alanında çalışan işçiye aktarılarak hem bu işçinin verimliliğinin arttırılmasına hem de ambardaki çalışanın iş yükünün hafiflemesine yardımcı olmaktadır.

#### **4.2 Ana bileşenler**

Ambardan üretim alanına parça besleme işi en küçük iş birimlerine ayrılarak analiz edilmiştir. Ardından bu besleme işlemi ambar ve üretim alanı işleri şeklinde gruplandırılmıştır. Ambar işlerinin bileşenleri;

1. Kart Sıralaması
2. Aracın Hazırlanması
3. Parçaların Bulunması
4. Kanban Kutularının Hazırlanması
5. Envanter Kaydı: Parçaların stoktan düşürülmesi için kaydının el ile yapılması

GSP modelin ve barkod sisteminin şu anki sisteme uygulanmasından sonra ambar iş birimleri sürelerinde düşüş gözlenecektir. Bununla beraber takım hazırlama yaklaşımı kullanılması durumunda kanban kutusu hazırlama zamanında düşüş gözlenecektir. Sistemin ana bileşenlerinin değişmesinin ardından yeni sistem bileşenleri aşağıda belirtildiği gibi olacaktır.

1. Kartların barkodlarının okutulması
2. Kanban kutu sayısı bilgisinin okunması
3. Aracın hazırlanması
4. Parçaların bulunması
5. Kanban Kutularının Hazırlanması
6. Envanter Kaydı okutulması

#### **4.3 Geliştirilen Modeller**

##### **4.3.1 GSP modeli**

GSP modeli ambar alanında dinamik rota eniyilemesi yapması için tasarlanmıştır. Kanban parçaların hazırlanması sırasında parçaların bulunması çok fazla zaman kaybı yaratmaktadır. Her araba hazırlanma işleminde farklı kombinasyonlarda kartlar geldiğinden, rota değışkendir ve toplama rotası halihazırda işçi tarafından belirlenmektedir.

GSP modelimizin, parça konumlarına bağı olan referans konum bilgileri, bu konumların uzaklık matrisi ve toplanılması gereken

materyallerin parça konumları olmak üzere 3 farklı girdisi vardır. Referans konumları ambarın tamamına değil sadece kanban materyallerin bulunduğu konumlar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Burada referans konumlar kullanmamızın nedeni, ambar alanında yaklaşık olarak 1300 farklı çeşit ve birbirine yakın konumlarda sayılabilecek parça bulunması olmuştur. Ayrıca, her parçanın konumunu kullanmamız durumunda oluşacak büyük modelin çözülmesi daha fazla zaman alacaktır. Birbirine yakın parçalar aynı referans konumlarına bağlı olduğundan asıl konumları ile referans konumlarını kullanmamız arasında çok büyük bir fark yaratmamaktadır. Referans matrisinin içinde yer alan referans noktasının ilki başlangıç ve bitiş noktası olarak tasarlanmış ve bu noktaya hiçbir parça bağlanmamıştır.

GSP modelin çıktısında kanban kutu sayıları, toplama rotası ve toplanacak parçaların listesi yazmaktadır. (Ek 6). Ambar çalışanı arabasını kolay bir şekilde hazırlayabilecek, rotasını çıktı yardımı ile kolaylıkla bulabilecek ve topladığı parçaların takibini bu çıktı sayesinde yapabilecektir.

#### **4.3.2 ABC modeli**

Kanban kartları üzerinde yazan miktarın fazla olması, üretim alanında gereğinde fazla malzeme birikmesine sebep oluyor. Bu da hem maliyet hem de alan açısından verimsiz sonuçlar doğuruyor. ABC analizi, bu miktarları mümkün olduğunca en aza indirmek için tasarlanmış bir yöntemdir.

Varolan sistemde, firma öncelikle seçtiği Kanban malzemesinin en çok kullanıldığı traktördeki miktarını alıyor. Sonrasında bu miktarı iki günde üretilcek maksimum traktör sayısı (günlük 15) çarpılarak elde ediyor.

Sistemde kayıtlı şuan yaklaşık 1500 kalem 2500 farklı Kanban kartı ve 150 farklı traktör çeşidi var. ABC analizi hesaplamayı yapmadan önce, üretilen traktör modellerini üç farklı kategoriye ayırıyor. Üretim sıklığı yüksekte alçağa olmak üzere %60, %30 ve %10 luk dilimlere bölünüyor. Daha sonra, malzemenin maksimum kullanıldığı miktar artık sadece %60 lık dilimde yer alan kısma bakılarak seçiliyor. Ayrıca, maksimum üretilcek traktör miktarı yerine (15 adet), geçmiş verilerden elde edilen tahmini iki günlük üretim miktarıyla çarpılarak, en son istenilen Kanban malzemesi miktarı bulunuyor.

Kanban malzemesi eğer ilk %60'lık kesim içinde yer almıyorsa, bir sonraki %30'luk kesimdeki maksimum kullanım miktarı göz önünde bulundurularak aynı hesaplama yöntemi izleniyor. Eğer, malzeme ikinci dilimde de yoksa, son olarak %10'luk kısma bakılarak beslenmek istenen miktar yukarıda anlatılan aynı yöntem ile hesaplanıyor.

#### **4.3.3 Hat dengelemesi**

Kartların masada bekleme süresini sıfırlamak, çalışanların verimliliklerini artırmak ve yalın üretim prensiplerine uyabilmek için (her işçiye özgün bir görev atanması kuralı), çalışanlar arasında hat dengelemesine gidilmiştir.

Hat dengelemesi için iki farklı alternatif üzerinsde durulmuştur; 1. hat dengelemesinde, üretim hattı çalışanına kartların dizilmesi ve aracın hazırlanması görevleri atanmıştır, 2. Seçenekte ise, sadece kartların dizilmesi görevi verilmiştir. Ek 1 de görüldüğü üzere, kartların bekleme süreleri hat dengelemesiyle ortadan kalkmıştır.

### **5. Kullanıcı Arayüzleri**

GSP ile firmaya sunulan çözüm önerisinin çalışanlar tarafında rahat ve anlaşılır bir şekilde kullanılabilmesi için, kullanıcı dostu üç farklı ara yüz tasarlanmıştır; Excel dosyasında var olan bir rafa malzeme eklemek veya güncellemek istenmesi durumu için iki adet (Ek 3.1) ve depoda çalışan kişinin GSP modelini çalıştırması için bir adet ara yüz yapılmıştır (Ek 3.2) .

## **6. Genel Değerlendirme Ve Sonuçlar**

### **6.1 GSP analizi**

GSP ile elde edilen sonuçların şirkete ne kadarlık bir değer kattığını hesaplamak için sezgisel bir yaklaşım uygulanmıştır. Şirketin güncel halini değiştirip sistemin çalışmasını canlı olarak gözlemleyemediğimiz için benzer durumlardaki süre etüdü çalışmaları yapıp, mevcut durumla kıyaslanmıştır. GSP ile kartları dizme süresi kart başına 0,2 dakikadan 0 dakikaya indirilmiştir. Kartların dizilimi GSP modeli tarafından yapılmaktadır. Malzemeleri rafta bulma süresi ise de kart başına 0,52 dakikadan 0,3 dakikaya indirilmiştir. Bu hesaplama yapılırken grup üyelerimizden birine sabit konumlar verilip malzeme bulması istenmiş ve ortalama süre 0,3 dakika çıkmıştır. Sonuç olarak, GSP çözümü sisteme uygulandığında %28,8 oranında bir azalma beklenmektedir.

### **6.2 ABC analizi**

ABC analizi yapılırken iki günlük gereken malzeme miktarı, sık üretilen traktör modellerini baz alarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar doğrultusunda beslenen malzemelerin miktarlarının %6 ile %90 arasında azaldığı gözlemlenmiştir. Mevcut besleme miktarları ile önerilen malzeme miktarları karşılaştırıldığında ise %56 oranında bir azalma gözlemlenmiştir.

### **6.3 Hat dengeleme analizi**

Hat dengeleme analizini doğru bir şekilde yapabilmek için öncelikle depodaki işçiye gelen ortalama kart sayısı 80 olarak belirlenmiş ve tüm hesaplamalar 80 kart üzerinden yapılmıştır. Varolan sistemde 80 kart geldiğinde üretim alanında çalışanın ortalama 54.4 dakikada işini tamamlarken depo çalışanın 143,2 dakikada tamamladığı gözlemlenmektedir. Bu da üretim alanında çalışanın

yaklaşık 88 dakika beklemesine denk gelmektedir. Ancak hat dengeleme işlemi uygulandığında üretim alanında çalışan işçinin iş süresi 88.8 dakika depo çalışanıninki ise 109.6 dakika sürmesi beklenmektedir. Depo işçisinin ayrıca bekleme süresinin %75 azalarak 21,6 dakikaya düşmesi öngörülmüştür.. Bu da gün içinde yapılan beslemenin 3-4 iken 4-5 olmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- Akturk, M. S., and Erhun, F. 'An Overview Of Design And Operational Issues Of Kanban Systems'. *International Journal of Production Research* 37.17 (1999): 3859-3881.
- Cox, Cody R. and Jeffrey M. Ulmer. "Lean Manufacturing: An Analysis Of Process Improvement Techniques." *Franklin Business & Law Journal* 2015.2 (2015): 70-77. *Business Source Complete*. Web. 19 Nov. 2015.
- Erhun, F. ,Akturk, M. S. and Turkcan, A. "Interaction Of Design And Operational Parameters In Periodic Review Kanban Systems." *International Journal Of Production Research* 41.14 (2003): 3315-3338. *Engineering Source*. Web. 19 Nov. 2015.
- Kotani, S. "Optimal Method For Changing The Number Of Kanbans In The E-Kanban System And Its Applications." *International Journal Of Production Research* 45.24 (2007): 5789-5809. *Business Source Complete*. Web. 19 Nov. 2015.
- Dhoka, Dinesh. "ABC Classification for Inventory Optimization." *Journal of Business and Management* 15.1 (2013) .
- Ng, Wan Lung. " A Simple Classifier for Multiple Criteria ABC Analysis." *European Journal of Operational Research* 177(2007) 344-353.

## EKLER

**Ek 1.** Zaman etüdü çalışmaları karşılaştırması (koyu çizgiler üretim hattı çalışanını, açık renk çizgiler depo çalışanını göstermektedir.)

Güncel sistem									
Üretim hattına araç transferi	Kartları toplamak (kart başı)	Boş kutuları toplamak (kart başı)	Depoya araç transferi	Kartların beklemesi	Kartların dizilmesi (kart başı)	Araç hazırlanması (kart başı)	Malzemeleri bulmak (kart başı)	Malzemeleri hazırlamak (kart başı)	Barcode okutma (kart başı)
6	0,5	0,03	6	?	0,2	0,22	0,52	0,73	0,12
Hat dengelenmesi 1 yapıldıktan sonra									
6	0,5	0,03	6	0	0,2	0,22	0,52	0,73	0,12
Hat dengelenmesi 2 yapıldıktan sonra									
6	0,5	0,03	6	0	0	0,22	0,52	0,73	0,12

## Ek 2.

- Gelen kart sayısına bağlı değişken sürelerin ortalaması;  
(S): Kart başına sıralama süresi 0.2 dk  
(C): Kart başına araba hazırlama süresi 0.22 dk  
(F): Kart başına bulma süresi 0.52 dk  
(BP): Kart başına kanban kutularını hazırlama süresi 0.7 dk  
(H): Kart başına elle stoktan düşme süresi 0.8dk
- Üretim alanında gelen kart sayısından bağımsız, sabit süreler ise;  
(W): Depodan üretim alanına dolu araba ile yürüme süresi 6 dk  
(R): Üretim alanından depoya boş araba ile dönme süresi 5dk  
(P): Üretim alanındaki kartları toplama süresi  
(D):Malzemelerin kart başına dağıtılma süresi 0.5 dk  
(B) Kart başına barkod okutma süresi 0.12 dk  
(TF) GSP'den sonra kart başına bulma süresi 0.3 dk  
(X):Üretim alanından gelen kanban kart adedi

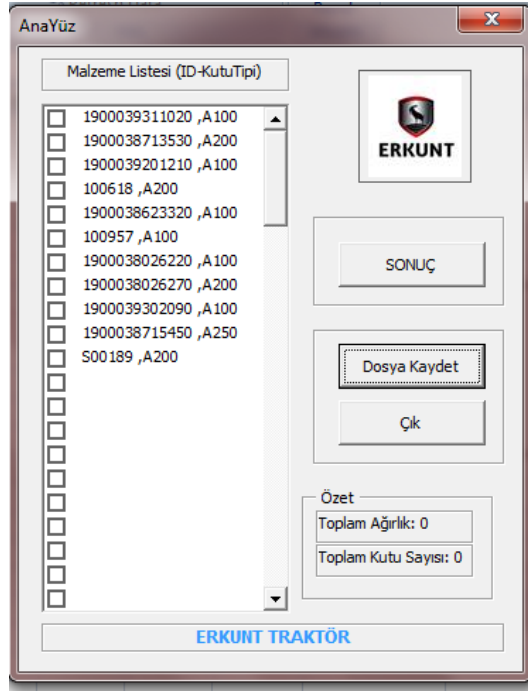
$$\text{Toplam Süre} = [X*(S+F+C+BP+H) + (W+R+P) + D*X] * 1.3$$

- Değer katmayan işler, toplam zamanın 0,3'ünü oluşturduğu için toplam süre formülü 1,3 ile çarpılır.  
Bir günde çalışılan süre=520 dk  
Devir= 520 / Toplam Süre
- Elle stoktan düşme yerine barkod sistemi uygulandığında formülde H yerine B kullanılarak yeni hesaplama yapılır;  
Toplam süre=  $[X*(S+F+C+BP+B) + (W+R+P) + D*X] * 1.3$
- GSP modelinden sonra kartları dizme olmayacağından, kartları dizmek için ayrılan süre sıfırlanmıştır.  
Toplam süre =  $[X*(S+TF+C+BP+B) + (W+R+P) + D*X] * 1.3$

## Ek 3.1



Ek 3.2



Ek 4. 1

**GSP Parametreleri:**

A: Referans konumları kümesi  $A=\{1,\dots,t\}$

L: Gidilmesi gereken konumlar kümesi  $L=\{1,\dots,n\}$

$c(i,j)$ : i ve j referans noktaları arasındaki mesafeler



$l(i)$  : Barkod okutulduktan sonra gidilmesi gereken  $i$  referans noktasının konumu

$N = \{l(i) : i \text{ barkodu okutulmuş bir referans noktası}, \forall i \in A$

**Karar Değişkenleri:**

$x(i, j) : \begin{cases} 1, & \text{çalışan } i \text{ referans noktasından } j \text{ referans noktasına gittiyse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

$u(i)$  : Kullanılan referans noktası  $i$ 'nin rotada hangi sırada olduğunu belirleyen sürekli değişken

**Ek. 4.2**

**Model:**

$$\min \sum_{(i,j) \in N} c(i,j) * x(i,j)$$

$$s. t \sum_{j: j \in N \setminus \{i\}} x(i,j) = 1, \quad \forall i \in N$$

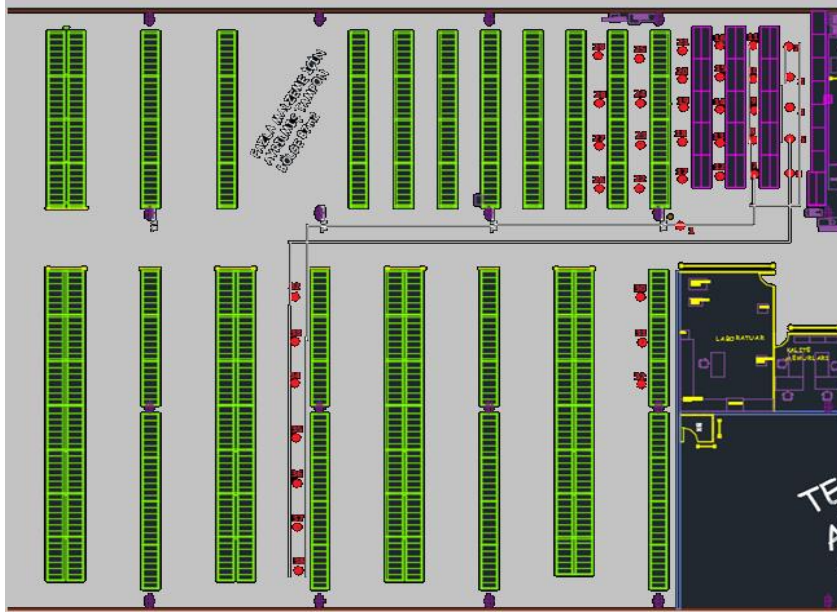
$$\sum_{j: j \in N \setminus \{i\}} x(j,i) = 1, \quad \forall i \in N$$

$$u(j) \geq u(i) + 1 + n * (x(i,j) - 1), \quad \forall (i,j) \in N: j \neq i$$

$$u(i) \geq 0, \quad \forall i \in N$$

$$x(i,j) \in \{0,1\}$$

**Ek 5** Malzeme deposu krokisi (Kırmızı noktalar TSP modeli için atanmış yerleri göstermektedir.)



**Ek 6.**



**Proje Ekibi**  
Beliz Bingöl  
Mehmet Akif Demirel  
Ece Güliz Gülserliler  
Mehmet Can Kandemir  
Nazlı Konukoğlu  
Buket Tuna

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

**Şirket Danışmanı**  
Koray Karaaslan  
Satış Sistemleri ve İş Çözümleri Geliştirme Yöneticisi

**Akademik Danışman**  
Dr. Oğuzhan Vıçıl  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Teşhir malzemelerinin lojistiği sezgisel olarak yapılmaktadır. Bu durum ETİ şirketine fazladan maliyet olarak yansımaktadır. Bu projenin amacı lojistik maliyetini en aza indireyecek bir optimizasyon modeli geliştirmektir. Kullanıcının talep miktarını ve ilgili talep noktasını girerek, optimal rotayı elde etmesini sağlayacak bir arayüz oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Arayüz, Araç Rotalama Problemi, Teşhir Malzemesi, VBA

### 1. Şirket Tanımı

1961'de kurulan ETİ ilk tesisiyle 1962'de Eskişehir'de üretime başladı. ETİ kuruluşunun ardından kısa süre sonra 1967'de Türk mühendislerinin planlarıyla inşa edilen ilk otomatik bisküvi üretim tesisini kurdu. 400.000 metrekaarelik alana sahip 5 unlu ve çikolatalı ürünler üreten fabrikası ve grubun kendi ihtiyaçlarını karşılayan ETİ Makine fabrikası, 130 yurt içi distribütörü, 4.000 civarında çalışanı ile Türkiye'nin en büyük 100 endüstri kuruluşu arasında yer almaktadır.

300'ü aşan ürün çeşidi ve 180 bin üzerinde satış noktasına ulaşan ETİ aynı zamanda 50 den fazla ülkeye de ürünlerini ihraç etmektedir. ETİ ürünleri yedi grupta incelenmektedir:

- Bisküviler ve Gofretler
- Krakerler
- Kızarmış Ekmekler
- Kahvaltılıklar
- Kekler ve Turtalar
- Çikolatalar ve Çikolatalı Ürünler
- Dondurulmuş Ürünler

ETİ pazar payını artırmak için pazarlama ve tanıtım aktivitelerine önem vermektedir ve “Teşhir Malzemeleri” de bu amaçla kullanılmaktadır. Bu ürünler gıda ürünlerinin konulduğu, genellikle kasa yakınlarında bulunan ve müşterilerin dikkatini çekmeyi amaçlayan çeşitli malzemelerdir. Ek 1’de bu ürünlerin örnekleri gösterilmektedir.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Proje kapsamında, iki ayrı lojistik tipi için (tersine ve normal lojistik) Türkiye genelindeki depolara gönderilecek teşhir malzemelerinin gönderim tipi (kamyon, tır ve kargo) ve rotalarına karar verilmesi yer almaktadır. Projenin ana amacı, ülke genelinde teşhir malzemelerinin toplam dağıtım maliyetini enazlamaktır. Toplam dağıtım maliyeti iki ana kalemden oluşmaktadır: depolardaki elleçleme maliyeti ve İkitelli Promosyon Depo’dan konsolide, lojistik ve dağıtıcı depolara nakliye maliyetidir. Bu maliyetlere ek olarak teşhir malzemelerinin konsolide ve lojistik depolardan dağıtıcı depolara gönderim maliyeti de vardır. Fakat bu kısım projenin kapsamı dışındadır. Proje kapsamında maliyet analizi, tersine lojistik çok az maliyetlerle yapıldığından dolayı sadece normal lojistik baz alınarak yapılmıştır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

#### **2.2.1 Depo türleri**

ETİ ürünlerinin depolandığı 3 farklı tipte depo mevcuttur. Bu depolar:

**Konsolide Depolar (KD):** KD’ler, belirtilen bölgedeki dağıtıcılar için ürün tedarik etmekte ve hizmet sağlamaktadır. Bu tip depolar, tüm işletme maliyetleriyle ve depo edilen ürünleriyle birlikte ETİ’ ye aittir. ETİ, Türkiye’nin farklı noktalarında sekiz konsolide depoya sahiptir. Konsolide depolardan İkitelli’de bulunan Promosyon Depo, teşhir malzemelerinin tedarikçilerden toplanıp, Türkiye genelindeki depolara dağıtımının yapıldığı yerdir.

**Lojistik Depolar (LD):** Bu depo tipi, KD’den daha düşük bir kapasiteyle, belirtilen bir bölgedeki dağıtıcılara ürün tedarigi sağlamaktadır. Bu depolarda sadece ETİ ürünleri depolanmaktadır.

Depo işletme maliyetleri dağıtıcılar tarafından karşılanmaktadır. Toplamda 18 lojistik depo bulunmaktadır.

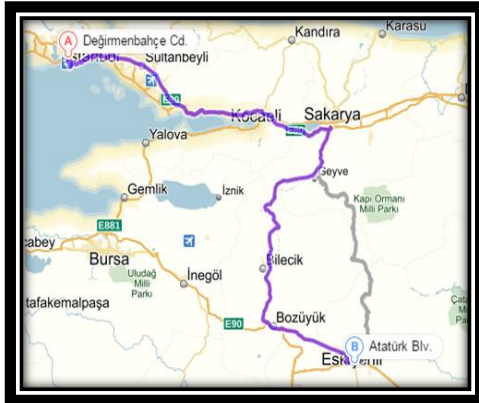
**Dağıtıcı Depoları (DD):** Bu depolar, tüm işletme ve lojistik maliyetleriyle birlikte dağıtıcıya aittir. Herhangi bir KD veya LD'ye bağlı olmaksızın doğrudan Promosyon Depo'dan hizmet almaktadırlar.

### 2.2.2 Teşhir malzemelerine yönelik mevcut lojistik sistemi

Yaklaşık 100 tip teşhir malzemesi bulunmaktadır. Bu teşhir malzemeleri projede sekiz ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Teşhir malzemelerinin yıllık üretimi 700.000-1.000.000 adet arasında değişmektedir. Teşhir malzemelerine yönelik mevcut sistemde sipariş ETİ pazarlama bölümü tarafından verilmektedir. Teşhir malzemeleri, İstanbul yakınındaki yaklaşık 10 tedarikçi tarafından üretilmektedir. Eğer teşhir malzemeleri siparişi acilse, malzemeler doğrudan tedarikçiler tarafından müşterilere gönderilmektedir. Acil değilse, ETİ'ye ait olan, İstanbul-İkitelli'de yer alan Promosyon Depo'da depolanmaktadır.

Daha sonra teşhir malzemeleri Promosyon Depo'dan KD, LD, DD ya da doğrudan müşterilere sevk edilmektedir. Bu lojistik normal lojistik olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanı sıra teşhir malzemelerinin dağıtımını için tersine lojistik kullanılmaktadır. Bu lojistik çeşidinde ise dört farklı hat bulunmaktadır. Bu hatlar Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu hatların farklı başlangıç noktaları vardır ve teşhir malzemeleri o başlangıç noktalarından belirli dağıtıcılara tedarik edilmektedir. Bu lojistik tipinin normal lojistikten farkı, bu hatlarda ETİ'nin ürün getirdiği kamyon ve tırların kullanılmasıdır. Örneğin İkitelli-ELM hattında, ELM'den İkitelli'ye gıda ürünü getiren araçlar, Eskişehir'e boş dönmek yerine yol üzerindeki teslimat noktalarına teşhir malzemesi dağıtmak için kullanılır. Bu nedenle, tersine lojistikte maliyetler oldukça düşüktür.

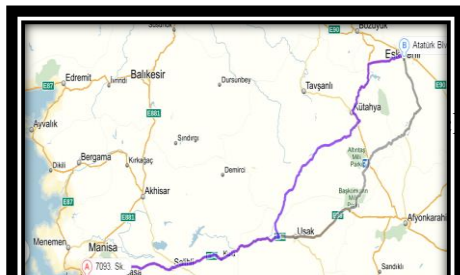
**İkitelli Depo- ELM Hattı**



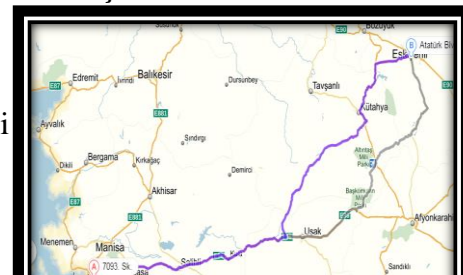
**Bursa- Çanakkale- Gelibolu Hattı**



**İzmir KD- ELM Hattı**



**Uşak-Manisa-İzmir Hattı**



### *Şekil 1: Tersine Lojistik Hatları*

Hali hazırda, iki lojistik tipi içinde malzemelerin distribütörlere ulaşana kadar takip ettiği rotayı optimize eden herhangi bir rotalama programı bulunmamaktadır. Rota, ETİ adına ürünlerin ve teşhir malzemelerinin taşınması konusunda sözleşmeli Lojistik firmaları ile işbirliği halinde ETİ lojistik bölümü tarafından belirlenmektedir. Ortalama olarak, teşhir ürünlerinin Promosyon Depo'dan dağıtımını ayda birkaç kez gerçekleştirilmektedir. Dağıtım maliyetleri, kat edilen mesafe bazında hesaplanmakta ve aracın uğradığı her depo için sabit bir ücret söz konusu olmaktadır.

#### **2.3 Mevcut sistem analizi**

Mevcut süreçte, Promosyon Depo'dan KD, LD ve DD'lere olan rotalar, herhangi bir matematiksel model olmaksızın tecrübeye dayalı manuel olarak kararlaştırılmaktadır. Bu durum şirket için fazladan maliyete ve rotayı belirleyen personel için iş gücü kaybına neden olmaktadır. Ayrıca ETİ'nin mevcut rotalama sisteminin optimale göre performansının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

ETİ'ye yapılan ziyaretler sonucunda problem ile ilgili gözlenen belirtiler ve şikayetler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Sezgisel olarak elde edilen rotanın optimale yakınlığı üzerine çalışılması gerekliliği
- Rotalar belirlenirken matematiksel metodolojinin takip edilmemesi

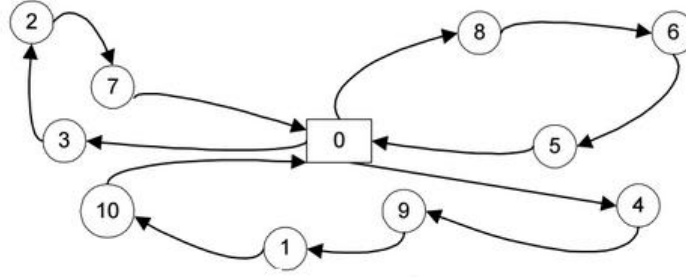
#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

ETİ'nin şu anda teşhir malzemelerinin rotalaması için kullanmış olduğu yöntem tamamen sezgisel metotlardan oluşmaktadır. Promosyon depodan KD ve LD'lere yapılan rotalar manuel olarak sorumlu personel tarafından belirlenmektedir. Şirketin teşhir malzemelerinin lojistiğinde çıkarılan rotalarda, şirket bu rotaların dağıtım maliyetinin optimale ne

kadar yakın olduğunu belirleyememektedir. Bu proje kapsamında, ETİ'nin teşhir malzemeleri dağıtım maliyetini en aza indirecek ve optimal rota planlamasını gerçekleştirecek matematiksel model oluşturulması ve arayüz tasarlanması hedeflenmiştir. Matematiksel model tam sayılı doğrusal programlama olup GAMS/CPLEX'te kodlanmıştır. Kullanıcı dostu arayüzle entegre biçimde çalışmaktadır.

Konuyla ilgili literatürde yapılan araştırma sonucunda Araç Rotalama Problemi (ARP) kullanılması kararlaştırılmıştır. Birçok şey için kullanılabilen ARP, özellikle ulaşım ve dağıtım lojistiklerinde kullanılmaktadır. Bu projede kullanılan yöntem ise ARP'nin başka çeşidi olan Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (KARP) olarak seçilmiştir. KARP'ın bazı özellikleri şöyle sıralanabilir.

- Her ayrı rota depodan başlayıp depoya bitmek zorundadır.
- Her dağıtıcı noktası sadece bir rotada bulunabilir.
- Her rotanın toplam talebi, o rotayı gezen aracın toplam kapasitesini geçmemelidir.
- Toplam maliyet (veya gidilen uzaklık) en aza indirgenir.



Şekil 2: Kapasiteli Araç Rotalama Problemi örnek rotaları

KARP ile ilgili olarak literatürde bulunan Clarke&Wright'ın algoritmalarından (Lysgaard, 1997), KARP için kesin çözüme gitme yollarını ve KARP çeşitlerini anlatan Toth ve Vigo'nun (2000) makalesinden ve ayrıca modelde alt tur elemeyi sağlayan Miller-Tucker-Zemlin metodunu kullanan Bektaş ve Gouveia'nun (2014) yayınladığı makaleden yardım alınarak literatür araştırması tamamlanmıştır.

#### 4. Uygulanan Model ve Arayüz

##### 4.1 Matematiksel modeller

Projede rotalama probleminin çözülmesinde literatürdeki modellerinin projedeki kısıtlar dikkate alınarak genişletilmiş halleri kullanılmaktadır.

##### 4.1.1 Normal lojistik için matematiksel model

Bu modelde, literatürdeki KARP modellerine ETİ tarafından kullanılan gönderim tiplerine karşılık gelen kısıtlar eklenmiştir. Klasik KARP modellerinde aynı kapasiteye sahip tek araç tipi kullanılırken,

kullandığımız bu modelde tırla, kamyonla veya kargoyla gönderim yapma seçenekleri mevcuttur. Ayrıca, şirket tarafından belirtilen araç doluluk kısıtları matematiksel modele entegre edilmiştir. Buna göre, bir aracın rotaya çıkabilmesi için, kullanıcının arayüze gireceği bir doluluk oranını sağlaması gerekmektedir. Buna ek olarak, araçların her depoya (talep noktasına) girdiğinde ödenen, kademeli değişen depo giriş ücretleri de modele eklenmiştir. Modelde, şirket tarafından sağlanan rotalama ve maliyet verilerinden elde edilen, bir kamyon ve tırın kilometre başına ortalama maliyetleri kullanılmaktadır. Bu maliyetler o araç tarafından gidilen mesafeyle çarpılarak amaç fonksiyonuna eklenmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, toplam tır, kamyon ve kargo ücretleri ve depo giriş ücretlerini içeren, tüm rotalamaların maliyetinden oluşmaktadır. Alt turları önlemek için ise Miller Tucker Zemlin (MTZ) kısıtları kullanılmıştır. Modelin tam hali Ek 2’de gösterilmiştir.

#### 4.1.2 Tersine lojistik için matematiksel model

Şirket tarafından sağlanan verilerde, hali hazırda kullanılan dört tersine lojistik hattı için kullanılacak ayrı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model, birkaç ana nokta dışında normal lojistik için kullanılan modelle aynı yapıya sahiptir:

- Başlangıç ve bitiş noktaları aynı olmadığı için bunu belirten bir kısıt eklenmiştir.
- Tersine lojistik, depoya hali hazırda gelen aracın boş dönmemesi için kullanıldığından, depoya o an hangi aracın geldiği bilgisi anlık bir bilgi olacağı için, modelde en az kapasite varsayılarak sadece kamyonla rotalama yapılmıştır.
- Tersine lojistik modelinde kargoyla gönderim seçeneği modelden kaldırılmıştır.
- Tersine lojistik mevcutta boş dönecek olan araçları kullandığı için çok az maliyete sahip olduğundan, bu modelde maliyet yerine sadece mesafeler üzerinden enazlama yapılmıştır.

#### 4.2 Arayüz

Talep girdilerinin rotalama sistemine girilmesi için Excel üzerinden bir arayüz oluşturulmuştur ve bu arayüzde VBA kullanılarak gelen taleplere göre distribütörler sınıflandırılmaktadır. Arayüzün Müşteriler Sayfası Şekil 3’te gösterilmiştir.

ETİ Teşhir Malzemeleri Talep Arayüzü (Müşteriler)										
Müşteri	Teslim Aldığı Üretim Yeri Tanımı	Müşteri Bölge Tanımı	Tepe İkonu	Baza	Poster	Palet Eteği	Stand Tei Sütlük	Kesabonlu Çikolata	Orta Boy Çikolata	3 Katlı Şeffaf Asalak
1000001	Gaziantep Dağıtım Merkezi	Doğu Akdeniz Bölge M	4	5	130	350	0	7	0	20
1000006	Sancaktepe Dağıtım Merkezi	Doğu Marmara Bölge M	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	İzmir Dağıtım Merkezi	Ege Bölge Müdürlüğü	16	20	200	50	205	85	20	140
1000013	Merkezi Mamul Depo	Bahı Akdeniz Bölge M	0	0	0	0	0	0	0	0
1000014	Adana Dağıtım Merkezi	Doğu Akdeniz Bölge M	12	0	0	100	131	60	12	250
1000015	Merkezi Mamul Depo	İç Anadolu Bölge Müd	0	0	0	0	0	0	0	0
1000016	Erzurum Dağıtım Merkezi	Karadeniz Bölge Müdü	0	0	0	25	0	0	0	10
1000017	Antalya Dağıtım Merkezi	Bahı Akdeniz Bölge M	0	0	0	25	41	7	0	20
1000022	Erzurum Dağıtım Merkezi	Karadeniz Bölge Müdü	0	0	0	0	0	0	0	0
1000024	Ankara Dağıtım Merkezi	İç Anadolu Bölge Müd	0	0	0	0	0	0	0	0
1000025	İzmir Dağıtım Merkezi	Ege Bölge Müdürlüğü	0	0	0	425	40	14	0	0



### Şekil 3: Arayüz Müşteriler Sayfası

Bu sayfada, her müşterinin sekiz ürün tipinden gelen talebi ilgili hücreye girilip, Teslim Noktaları Kur butonuna basıldığında yeni bir sayfada teslim yapılacak olan depoların bir listesi oluşur. Daha sonra Talepleri Birleştir butonu kullanılarak KD veya LD'den beslenen veya çatısı altında olan distribütörlerin talepleri ait oldukları KD ve LD'lerde kümülatif olarak toplanır. Bir başka deyişle, talep noktalarından gelen talepler teslimat noktalarında toplanmış olmaktadır. Ayrıca, talep gelmeyen teslim noktaları listeden silinir. Teslim Noktaları sayfası Şekil 4'te görülebilir.

Daha sonraki aşamada, Şekil 4'te görülen distribütörler, Lojistik Tipine Göre Ayır butonu kullanılarak tersine lojistik ve normal lojistik ile beslenmelerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, tersine lojistikle beslenen distribütörler de kendi ait oldukları tersine lojistik hattına göre ayrıştırılmıştır ve tersine lojistik hatları için 4, normal lojistik için 1 sayfa olmak üzere, beş sayfa oluşturulmuştur.

Müşteri	Teslimat Aldığı Üretim Yeri Tanımı	Tepe İkonu	Baza	Poster	Palet Eteği	Stand Tel Sütlük	Kasasönü Çıkolar	Orta Boy Çıkolar	3 Katlı Şerhif Asmalar
2001	İkitelli Dağıtım Merkezi	28	50	424	2900	1283	290	50	320
2003	Ayazağa Dağıtım Merkezi	0	0	0	1150	145	76	0	0
2004	Bursa Dağıtım Merkezi	110	90	908	1900	122	259	59	211
2005	Adana Dağıtım Merkezi	28	10	259	1375	216	130	16	320
2006	Ankara Dağıtım Merkezi	88	60	28	550	912	112	30	335
2008	İzmir Dağıtım Merkezi	40	50	309	1125	303	196	55	210
2009	Antalya Dağıtım Merkezi	20	10	13	225	237	65	10	175
3000	Gaziantep Dağıtım Merkezi	35	25	798	1575	153	65	5	130
3001	Malatya Dağıtım Merkezi	36	40	231	250	174	37	6	120
3002	Batman Dağıtım Merkezi	20	25	79	300	17	15	4	75
3003	Erzurum Dağıtım Merkezi	24	25	132	400	0	40	14	105
3005	Tatvan Dağıtım Merkezi	20	10	18	75	0	16	0	30
3006	Kayseri Dağıtım Merkezi	16	10	150	300	218	25	14	90

Şekil 4: Teslim Noktaları Sayfası

Sistemde sadece teslimat noktaları kaldıktan sonra geriye kullanıcının kamyon ve tır sayılarını girerek modeli çalıştır butonuna basması kalmaktadır. GAMS Çalıştır sayfasında kullanıcı tersine veya normal lojistik için ilgili modeli seçip modeli çözdürebilir. Her modelin çözümünde ilgili teslim noktaları, distribütörler arası oluşturulan uzaklık matrisinden filtrelenerek ilgili teslim noktaları arası uzaklık matrisi kullanılmaktadır. Kamyon ve tır sayıları için iki ayrı seçenek sunulmaktadır: kullanıcının sayıları kendisi girmesi veya değişken olarak sisteme çözdürmesi. GAMS modeli çözdükten sonra model çıktılarını Excel'e bastırmaktadır. Bu çıktılar doğrultusunda optimal rotalar her kamyon ve tır için kullanıcıya sunulmaktadır.

### 5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

ETİ A.Ş. için İstanbul İkitelli Promosyon Depo'dan çıkan teşhir malzemelerinin dağıtım maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan projemiz probleme matematiksel model yardımıyla optimal bir çözüm

yöntemi sunmaktadır. Proje sonuçlarını mevcut sistemle karşılaştırmak için geriye dönük veriler kullanılmıştır. Hali hazırda elle yapılmış olan rotalamalar için projemizde önerdiğimiz arayüz ve matematiksel modeller kullanılsaydı elde edilecek olan sonuçlar incelenmiştir. Bunun için, şirket tarafından sağlanan, teşhir malzemeleri dağıtımının en yoğun olduğu Ağustos-Ekim aylarının talep değerleri ve aynı zaman dilimindeki teşhir malzemeleri rotalama verileri kullanılmıştır. Arayüz kullanımı ayda birkaç kez yapılacağından, önerilen sistemi denemek için de bir ayda üç farklı günde yapılmış olan rotalama verilerinden yola çıkılmıştır. Örnek olarak 1.10.2015, 05.10.2015 ve 06.10.2015 tarihlerinde yapılan gönderimlerin talepleri alınmış ve projemizde önerilen sistemle çözülmüştür. Buna göre bu tarihler için projemizden çıkan maliyet, ETİ'nin belirtilen tarihlerdeki teşhir malzemesi gönderim maliyetinden %16 daha azdır. Yapılan karşılaştırmanın detayları Ek 3'de görülebilir.

Gizlilik sebebiyle, gerçek toplam teşhir malzemeleri dağıtım maliyeti paylaşılammamaktadır. Aşağıdaki tabloda varsayımsal maliyetler üzerinden, projenin yıllık toplam teşhir malzemeleri dağıtım maliyetinde neden olacağı azalma görülebilir:

Varsayımsal yıllık toplam maliyet	Maliyette meydana gelecek azalma
700.000 TL	112.000 TL
1.000.000 TL	160.000 TL
1.300.000 TL	208.000 TL

Bu proje, daha ileri araştırmalar ve geliştirmeler sonucu teşhir malzemeleri dağıtımından gıda ürünleri dağıtımına genellenebilir. Türkiye genelindeki gıda ürünü dağıtım maliyetlerinin şirket cirosuna oranının %8-14 arasında olduğundan yola çıkılarak (Arlod, 2013), bu oranın yaklaşık olarak %10 olduğu varsayılmış ve ETİ'nin 2015'teki yıllık cirosu 2,286,936,729 TL olarak alınmıştır (FortuneTurkey, 2015). Buna göre şirketin toplam lojistik maliyetinin 230,000,000 TL civarında olduğu hesaplanmıştır. Bu maliyetin Promosyon Depo'dan KD, LD ve DD'lere gönderimde oluşan kısmı, muhafazakar bir tahminle toplamın %10'u civarındadır. Buna göre proje kapsamında olan maliyet 23,000,000 TL olarak hesaplanır. Sonuç olarak, bu projenin gıda ürünleri dağıtımında uygulanması halinde yaklaşık 3,680,000 TL'ye kadar iyileştirme yapmak mümkündür.

## KAYNAKÇA

- Bektaş, Tolga, and Luis Gouveia. “*Requiem For The Miller– Tucker– Zemplin Subtour Elimination Constraints*”. *European Journal of Operational Research* 236.3 (2014): 820-832.
- "ETİ GIDA SAN. VE TİC. A.Ş. 2015 Şirket Verileri - Fortune 500 – Fortune Türkiye." *ETİ GIDA SAN. VE TİC. A.Ş. 2015 Şirket Verileri - Fortune 500 - Fortune Türkiye*. Web. 21 Apr. 2016.
- F.B. Pereira, J. Tavares, P. Machado & E. Costa, “*GVR: a new genetic representation for the vehicle routing problem*”. In M. O’Neillet al.(Eds.), *Proceedings of AICS 2002*. Berlin: Springer- Verlag, pp.95–102 (2002).
- Kara, İ., Kara, B. Y., Yetiş, M. K., “*Cumulative Vehicle Routing Problems*”, in *Vehicle Routing Problem*, Edited by, Caric T., and Gold, H., I-Tech Education and Publishing KG, Vienna, Austria, 2008, pp.85-98.
- "Lojistik." *Http://www.arlod.org/*. 2013. Web. 21 Nis. 2016. Lysgaard, J. 1997. “*Clarke& Wright’s Savings Algorithm*”, The Aarhus School of Business.
- Toth, Paolo, and Daniele Vigo. “*An Exact Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Backhauls*”. *Transportation Science* 31.4 (1997): 372-385.

## EKLER

### Ek 1. Teşhir Ürünleri



#### Parametreler

- $N$  = Nokta kümesi (1 İkitelli deposunu ifade eder)
- $L_{ij}$  = Yol uzunluğu(i, j) (km)  $i, j \in \{1,2,3 \dots N\}$
- $C_1$  = Kamyon ile ulaşımın birim maliyeti(km)
- $C_2$  = Tır ile ulaşımın birim maliyeti(km)
- $C_3$  = Kargo ile ulaşımın birim maliyeti (km\*m<sup>3</sup>)
- $M_1$  = Kullanılan toplam kamyon sayısı
- $M_2$  = Kullanılan toplam tır sayısı
- $K$  = Kamyon kümesi,  $k \in \{1,2,3 \dots M_1\}$
- $T$  = Tır kümesi,  $t \in \{1,2,3 \dots M_2\}$
- $A$  = Talep çeşitleri kümesi,  $a \in \{1,2,3 \dots 8\}$
- $D_{ja}$  = j noktasından a çeşidindeki ürün için gelen talep miktarı
- $V_a$  = a çeşidindeki ürünün birim hacmi
- $Q1$  = Kamyon kapasitesi (m<sup>3</sup>)
- $Q2$  = Tır kapasitesi (m<sup>3</sup>)
- $DC_1$  = İlk artış aralığında girilen depo sayısının depo başına maliyeti (0 TL)
- $DC_2$  = İkinci artış aralığında girilen depo sayısının depo başına maliyeti (100 TL)
- $DC_3$  = Üçüncü artış aralığında girilen depo sayısının depo başına maliyeti (125 TL)
- $P1$  = Kullanıcı tarafından girilen, kamyonun doluluk oranı
- $P2$  = Kullanıcı tarafından girilen, tırın doluluk oranı
- $M$  = Büyük M

#### Karar Değişkenleri

- $UK_{ik}$  = k aracının i noktasından çıkarkenki yükü

- $UT_{it} = t$  tırının  $i$  noktasından çıkarkenki yükü
- $XT_{ijt} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } (i,j)\text{ yolu } t \text{ tırı tarafından geçildiyse} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases}$
- $XK_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } (i,j)\text{ yolu } k \text{ kamyonu tarafından geçildiyse} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases}$
- $Y_j = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } j \text{ noktasına kargo ile gönderim yapıldıysa} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases}$
- $BK1_k =$   
İlk artış aralığında,  $k$  kamyonu tarafından ziyaret edilen depo sayısı (Tamsayı karar değişkeni)
- $BK2_k =$   
İkinci artış aralığında,  $k$  kamyonu tarafından ziyaret edilen depo sayısı (Tamsayı karar değişkeni)
- $BK3_k =$   
Üçüncü artış aralığında,  $k$  kamyonu tarafından ziyaret edilen depo sayısı (Tamsayı karar değişkeni)
- $BT1_t =$   
İlk artış aralığında,  $t$  tırı tarafından ziyaret edilen depo sayısı (Tamsayı karar değişkeni)
- $BT2_t =$   
İkinci artış aralığında,  $t$  tırı tarafından ziyaret edilen depo sayısı (Tamsayı karar değişkeni)
- $BT3_t =$   
Üçüncü artış aralığında,  $t$  tırı tarafından ziyaret edilen depo sayısı (Tamsayı karar değişkeni)

#### Matematiksel Model

$$\begin{aligned}
\text{Min} \quad & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N/\{1\}} \sum_{k \in K} XK_{ijk} * L_{ij} * C_1 + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N/\{1\}} \sum_{t \in T} XT_{ijt} * L_{ij} * C_2 \\
& + \sum_{j \in N/\{1\}} \sum_{a \in A} Y_j * C_3 * L_{ij} * D_{ja} * V_a + \sum_{k \in K} BK1_k * DC_1 + BK2_k \\
& * DC_2 + BK3_k * DC_3 + \sum_{t \in T} BT1_t * DC_1 + BT2_t * DC_2 \\
& + BT3_t * DC_3
\end{aligned}$$

$$\sum_{j \in N/\{1\}} \sum_{k \in K} XK_{1jk} = M1$$

$$\sum_{j \in N/\{1\}} \sum_{t \in T} XT_{1jk} = M2$$

$$\sum_{i \in N/\{1\}} \sum_{k \in K} XK_{i1k} = M1$$

$$\sum_{i \in N/\{1\}} \sum_{t \in T} XT_{i1k} = M2$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} XK_{ijk} + XT_{ijt} + Y_j = 1$$

$$j \in N/\{1\}$$

$$\sum_{i \in N} XT_{ijt} - \sum_{j \in N} XT_{jit} = 0$$

$$t \in T, j \neq i$$

$$\sum_{i \in N} XK_{ijk} - \sum_{j \in N} XK_{jik} = 0$$

$$k \in K, j \neq i$$

$$UK_{ik} - UK_{jk} + Q1 * XK_{ijk} \leq Q1 - (\sum_a D_{ja} * V_a) + M * Y_j$$

$$k \in K, i \in N, j \in N/\{1, i\}$$

$$UK_{ik} \leq Q1$$

$$i \in N, k \in K$$

$$UT_{it} - UT_{jt} + Q2 * XT_{ijt} \leq Q2 - (\sum_a D_{ja} * V_a) + M * Y_j$$

$$t \in T, i \in N, j \in N/\{1, i\}$$

$$UT_{it} \leq Q2$$

$$i \in N, t \in T$$

$$BK1_k + BK2_k + BK3_k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N/\{i\}} XK_{ijk} - 1$$

$$k \in K$$

$$BT1_t + BT2_t + BT3_t = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N/\{i\}} XT_{ijk} - 1$$

$$t \in T$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N/\{1, i\}} XK_{ijk} * \sum_a D_{ja} * V_a \geq P1 * Q1$$

$$k \in K$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N/\{1, i\}} XT_{ijt} * \sum_a D_{ja} * V_a \geq P2 * Q2$$

$$t \in T$$

$$BK1_k \leq 2 \quad k \in K$$

$$BT1_t \leq 2 \quad t \in T$$

$$BK2_k \leq 3 \quad k \in K$$

$$BT2_t \leq 3 \quad t \in T$$

$$XK_{ijk} \in \{0,1\} \quad i, j \in N, k \in K$$

$$\begin{aligned}
X_{T_{ij}} &\in \{0,1\} & i,j \in N, k \in K \\
Y_j &\in \{0,1\} & j \in N \\
UK_{ik} &\geq 0 & i \in N, k \in K \\
UT_{it} &\geq 0 & i \in N, t \in T
\end{aligned}$$

### Ek 3. Karşılaştırma

Bu karşılaştırmada, Ağustos-Ekim Ayları talep verisinde 1.10.2015, 05.10.2015 ve 06.10.2015 tarihlerinde yapılan gönderimlerin talepleri alınmış ve projemizde önerilen sistemle çözülmüştür. Bu tarihlerde ETİ tarafından 3 kamyon ve 1 tır kullanılarak, İkitelli Depo'dan çıkıp rota sonunda aynı yere dönen, toplam 10,497 TL maliyetle yapılan rotalamalar şu şekildedir:

Tarih	Araç	Yapılan Rota				Maliyet
01.10.2015	Filo Tır	Samsun	Ordu	Trabzon	Erzurum	4.669 TL
05.10.2015	Filo Kamyon	Antalya	Muğla			2.189 TL
05.10.2015	Filo Kamyon	Manisa	Denizli	Kütahya		3.458 TL
06.10.2015	Filo Kamyon	İnegöl	Eskişehir			121 TL

Buna karşılık, projemizde önerilen sistemle ve matematiksel modellerle CPLEX/GAMS Çözücüsü kullanılarak bahsi geçen taleplerin dağıtımını yapıldığında, toplam 8,751 TL maliyetle çıkan rotalar şu şekildedir:

Araç	Proje Çıktısı Rota		
Tır	Manisa	Muğla	
Kamyon	Samsun	Ordu	
Kamyon	Trabzon	Erzurum	
Kamyon	Eskişehir	Denizli	Antalya

Bu örnek değerlendirmeye göre projemiz 10,497 TL'lik maliyet yerine 8,751 TL'lik bir maliyetle sonuç vermekte ve maliyette %16 azalma sağlamaktadır.

# Sıcak Satış Sistemi Lojistik Optimizasyonu

## ETİ Gıda San. ve Tic. A.Ş.

### Proje Ekibi

Zeynep Yaprak Beşik  
Başak Erman  
Deniz Berfin Karakoç  
Yekta Jehat Mızraklı  
Umut Müdüroğlu  
Egehan Yanık

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Pırıl Cantürk  
Kerem Kendirli  
ETİ Gıda San. ve Tic. A.Ş.  
Satış Sistem ve İş Çözümleri Geliştirme Mühendisi

### Akademik Danışman

Dr. Oğuzhan Vıçıl  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Sıcak satış sistemi ETİ'nin geliştirilmeye açık sistemlerinden biri olarak tanımlanmış ve projenin odağı olarak belirlenmiştir. Sıcak satış sistemi, satış temsilcilerinin her gün belirli bir grup müşteriyi ziyaret ettiği, net talebi ziyaret sırasında aldığı ve teslimatı talep tahminine göre araca yüklenen stoktan karşıladığı sistemdir. Stoklar araca şehir merkezinden uzak ana depoda yüklenmektedir. Projenin amacı sisteminin verimliliğini artırmak ve müşterilerin istenilen sıklıkta ziyaret edilmesini sağlamak şeklinde tanımlanmıştır. Bu doğrultuda her bir satış aracının bir günde gideceği müşteri grupları ve şehre yakın olası ek depo konumları bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Gruplama, depo açma konumu, sıcak satış.

### 1. Şirket Tanıtımı

ETİ üretimine 1962 yılında bizzat Firuz Kanatlı'nın tasarlamış olduğu Eskişehir'de kurulan fabrikada başlamıştır. Her zaman

yeniliklere öncülük eden bir şirket olan ETİ, yıllar boyunca yatırımlarının hızını kesmemiş ve Türk toplumuna daha iyi ürünler sunarak hizmet etmeye devam etmiştir. Şu anda ETİ, kendi sektöründe 50 yıldan fazla deneyim ile en büyük firmalar arasında yer almaktadır. Yıllık 1.8 milyar net geliri ile dünya çapında ihracata önem vermekte ve 7 yerleşkesi, 45 markası ve 302 ürünüyle bunu daha ileriye taşımayı amaçlamaktadır. 7 yerleşkeden 5 tanesinde üretim yapılmakta ve yıllık 200.000 tonluk üretim hacmiyle 3500 kişiye istihdam sağlanmaktadır. Bununla beraber ETİ, ülke çapında yaklaşık 200.000 müşteri ağıyla geniş bir coğrafyaya hizmet etmektedir. ETİ Türkiye'yi 9 bölgeye ayırmıştır. 150 distribütöre ve 2500 araca sahiptir. Tüm bunlara ek olarak, ETİ dünya çapında 37 ülkeye ürünlerini ihraç etmektedir. Günümüzde ETİ, Türkiye'nin en büyük 100 şirketi arasında yer almaktadır ve bu başarısını ARGE gücü ile birlikte yenilikçi bakış açısına borçludur. Küresel marketlerde de rekabet eden ETİ, hepimizin hayatına yüksek kalite ürünleri ve güvenilir markasıyla mutluluk ve keyif katmaktadır.

ETİ'nin 3 fabrikası Bilecik, Eskişehir ve Konya'da yer almaktadır. Bütün bu fabrikalardan çıkan ürünler Eskişehir'deki ETİ Dağıtım Merkezi'ne taşınmakta ve oradan sonra konsolide ve lojistik depolara aktarılmaktadır. Bu depolardan çıkan ürünler distribütörlere ve müşterilere gönderilmektedir. Bu yüzden distribütörler Soğuk Satış Sisteminin, müşteriler ise Sıcak Satış Sisteminin bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu proje ETİ'nin Sıcak Satış Sistemi üzerine yoğunlaşmıştır.

## **2. Proje Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje tanımı**

Sıcak satış sistemi; müşteri talebinin, satış aracında bulunan stoktan sağlandığı, ürün tedarikinin ve ücret kesiminin ise müşteri ziyaretleri sırasında tamamlandığı sistemdir. Araçta bulunan stok miktarı talep tahminleri doğrultusunda belirlenir ve müşterinin talebini karşılamaya yetecek şekilde güvenli stok bulundurulur. Sıcak satış sistemindeki tüm satış araçları belirli bir grup müşteriyi ziyaret etmek üzere görevlendirilir. Bir ayın her günü için satış aracının gün içerisinde ziyaret edeceği müşterileri belirten aylık bir program oluşturulur. Aylık program, müşterilerin bir ay içerisinde ziyaret edilmesi gereken sıklığa göre düzenlenir. Mevcut sistemde müşteriler istenilen sıklıkta ziyaret edilememektedir. Satış aracının belirlenen programa göre ziyaret etmesi beklenen ancak günün sonunda ziyaret edemediği müşteriler kayıp satış olarak değerlendirilir. ETİ için raflardaki ürünün tazeliği ve tüketiciye sunulan ürünün kalitesi çok önemlidir, bu nedenle ETİ müşterileri sık ziyaret etmek istemektedir. Ayrıca, müşteri ziyaretlerinin sık olması talep farklılıklarını da azaltmaktadır. Bu nedenle müşterilerin istenilen sıklıkta ziyaret edilmesi firma değeri açısından önem arz etmektedir.



ETİ'nin sıcak satış sistemindeki ana amacı kayıp satışları engelleyerek müşterileri istenilen sıklıkta ziyaret edebilmektir.

Sıcak satış sistemindeki satış araçları her gün ana depodan yola çıkar ve gün sonunda ana depoya döner. Ana deponun şehrin merkezine uzakta konumlanmış olması satış aracının gün içerisinde kat edeceği mesafenin artmasına sebep olmaktadır. ETİ satış aracının dağıtım süresi ana depo ile dağıtım yapacağı ilk müşteri arasındaki yolda geçen süre ve dağıtım yapacağı grupta yer alan ilk müşteri ile son müşteri arasında geçen süre olarak ikiye ayrılır. Projemizin temel hedefi mevcut düzende ETİ Gıda Sanayi'nin sıcak satış araçlarının yolda geçirdiği sürenin kısaltılmasıyla ürün dağıtım sürecinin iyileştirilmesi ve ziyaretlerin istenilen sıklıkta gerçekleştirilmesi olarak belirlenmiştir. Bu hedefe ulaşmak için projede iki odak belirlenmiştir. Belirli bir gün içerisinde teslimat yapılması planlanan bütün müşteriler içerisinde konumları göz önünde bulundurularak her bir dağıtım aracının ziyaret edeceği müşteri kümesinin belirlenmesi, projenin ilk odağıdır. Bu yaklaşımla ETİ bünyesinde sezgisel olarak belirlenen sıcak satış dağıtım noktalarının gruplamasını matematiksel bir model ve geliştirilen bir algoritma yardımıyla belirlenmiştir. Projenin ikinci odağı ise sıcak satış aracının ana depodan ilk müşteriye ulaşmasına kadar geçen süreyi kısaltmak için müşterilerin konumları göz önünde bulundurularak uygun matematiksel modelleme ile alternatif depo konumlarının belirlenmesidir.

## **2.2 Mevcut sistem analizi**

Proje süresince Ankara'da yer alan müşteriler dikkate alınmış ve problem Ankara verisine göre çözülmüştür. Mevcut sistemde yaklaşık 9 bin müşteri bulunmakla beraber bu müşterilere hizmet veren 129 adet satış aracı vardır. Projenin ana kısıtları ise araç sayısı ve kapasitesi olarak belirlenmiştir.

Proje süresince, matematiksel modeli ve modelin gelişimini kolaylaştırmak için sistemdeki kısıtlar dikkate alınarak bazı varsayımlar yapılmıştır. Sıcak satış sistemindeki ana kısıtlar satış temsilcilerinin günlük çalışma saatleri ve ana depoya olan mesafedir. Satış temsilcisinin günlük çalışma saati 8 saattir ve 08:00 – 17:00 aralığını geçmemelidir. Ayrıca ana deponun uzaklığına bağlı olarak, herhangi bir günde ana depodan çıkan bir satış aracının ilk müşterisine olan uzaklığı katma bir değer sağlamadığı için israf olarak düşünülecektir.

Proje sürecinde bütün satış araçlarının kapasiteleri sabit bir değer olarak belirlenmiştir. Ayrıca her satış aracının hızı rutlarını tamamlama süreleri açısından sabit bir değer olarak kabul edilmiştir. Bu iki varsayıma ek olarak, satış temsilcilerinin müşterilerin raflarını düzenlemesi için gereken zaman da sabit bir değer olarak alınmış ve rut zamanına eklenmiştir.

## **2.3 Literatür çalışması**

Gruplama terimi, benzer ögelerin bir grup içerisinde toplanması sonucu diğer gruplardaki ögelerden ayırmak olarak betimlenebilir. Gruplama ile ilgili genel bir bilgi edinmek amacıyla, ilk olarak araştırmalara konu ile ilgili yayınları bulmakla başlanmıştır. Projenin bakış açısında gruplama terimi, projedeki müşterilerin konumlarına göre satış aracı tarafından kat edilecek mesafenin en küçüklenmesi amacı gütmektedir. Dolayısı ile satılan ürünlerinin bu kapsamdaki maliyeti en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda araştırmalar çeşitli gruplama yayınları üzerine yoğunlaştırılmıştır. Örneğin (Almur ve Kara, 2008) kullanılan araştırmalardandır. Bu araştırmada, kargo işlemleri için bir merkez belirlenmesi ele alınmıştır. Projeye uygunluğu ise, yazıda yer alan gruplama probleminin bir ruttaki en yüksek sayıda müşteriye uğrama amacından gelmektedir. Bulunan bir diğer yayın ise (Jang,2006) dur. Bu çalışmada ise, periyodik olmayan gezici satış temsilcisi problemi ve toplamda kat edilen mesafenin en küçüklenmesi üzerinde durulmuştur.

### **3. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar**

Projenin temel amacı, metropollerdeki müşterilerin istenilen sıklıkta ziyaret edilmesini sağlamaktır. Sıcak satış sisteminde geçen toplam süreyi azaltmak bu amaca ulaşmanın bir yolu olarak belirlenmiştir. Projenin ilk aşamasında bir satış aracının rutta geçirdiği süreyi azaltmak amaçlanmıştır. Bunu sağlamak üzere birbirine en yakın müşterileri gruplayarak rutta geçen süreyi en aza indirmek üzere bir model geliştirilmiştir. Bu gruplama sonrasında her bir grup bir satış aracı tarafından ziyaret edilecektir. Bu noktada müşterileri birbirleri arasındaki mesafeye göre gruplandırarak günlük talebi karşılayabilmek amaçlanmıştır. Projenin ikinci aşamasında ise depo konumu belirlemek üzere bir model geliştirilerek ek depo açmak için en uygun konumlar belirlenmiş ve yolda geçen sürenin kısaltılması hedeflenmiştir. Böylece, projenin ikinci aşamasının amacı, müşterilerle arasındaki mesafe en kısa olan depo konumunu bularak dağıtımda ilk müşteriye kadar geçen süreyi en aza indirmek olarak saptanmıştır.

Projenin sonunda ETİ'ye geliştirilen matematiksel model ile her bir satış aracının belirlenen günde ziyaret etmesi gereken müşteri grubu sunulmuştur. Bu sayede her bir müşterinin istenen aylık frekansta ziyaret edilebilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada, mevcut sistem ile ilgili bilgiler, müşterilerin aylık talep tahminleri, ayın her günü için ayrı ayrı bir gün içerisinde ziyaret edilmesi gereken müşterilerin listesi, aylık istenilen ziyaret sıklıkları ve satış araçlarının kapasiteleri ETİ tarafından sağlanmıştır.

#### **3.1 Günlük gruplama modeli**

Günlük gruplama modelinde gruplar, önceden belirlenmiş geçici merkez noktalarına en az mesafedeki müşterileri belirleyerek oluşturulmuştur. Gruplama yapılırken matematiksel modelin amacı,

belirlenen geçici merkez noktasıyla o gruba dahil edilen her bir müşteri arasındaki mesafeyi en aza indirmektir. Bunun yanı sıra günlük gruplama modeli, sıcak satış sisteminde bir gün içinde kullanılması gereken ve her biri model tarafından belirlenen gruplardan bir tanesine gönderilecek olan satış aracı sayısını da en aza indirmeyi amaçlar. Gruplama sırasında kullanılan geçici merkez noktaları da model tarafından, mevcut müşteri kümesindeki konumlar arasından seçilir. Bir diğer deyişle her bir müşteri potansiyel bir merkez noktasıdır. Gruplar, müşterilerin geçici merkez noktasına olan mesafesine göre genişler ve bu sayede aynı geçici merkez noktasına en az mesafeye sahip olan müşteriler aynı grup içerisinde yer alarak aynı satış aracı tarafından ziyaret edilir. Gruplama tamamlandıktan sonra geçici merkez noktası olan müşteri bu özelliğini yitirecek ve grup içerisinde, ziyaret edilmesi gereken herhangi bir müşteri konumuna gelecektir. Günlük gruplama modeli Ek-1’de sunulmuştur.

Günlük gruplama modelinin optimal sonucu verebilmesi adına veri küçültülme yoluna gidilmiştir. Bu sebeple Ankara ili yedi farklı bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler oluşturulurken semtlerin birbirine olan uzaklığı göz önüne alınmıştır ve birbirine en yakın konumda bulunan semtler tek bir bölgeye dahil edilmiştir. Bölgelerin, içerdikleri semtlerle gösterimi Ek-2’de yer almaktadır. Her bir bölge yaklaşık 300 müşteri içerdiği için kurulan günlük gruplama modeli her bir bölge için ayrı ayrı çalışmakta ve optimal sonuç vermektedir. Minimum satış aracının veri olarak girildiği bu model, toplam müşterileri araç sayısı ile sınırlı sayıda gruplamakta ve her bir araca özel bir müşteri grubunu atamaktadır. Model çıktısının görsel olarak sunulabilmesi için model Çubuk verisi üzerinden ayın ilk günü için çalıştırılmış ve gruplar Ek-2’de sunulmuştur.

ETİ’nin gelecek yeni satış noktaları açarak veri matrisinin boyutunun büyümesi göz önünde bulundurularak ve şirkete sunulan sistemin devamlılığını da sağlamak adına günlük gruplama modeline iki tane alternatif sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan ilki geliştirilen iki parçalı modeldir. Bu metotta yazılan ilk model p-medyan yöntemi ile hangi müşterilerin temsili merkez noktası olacağını satış aracı kısıtına bağlı olarak belirlemektedir. Daha sonra ikinci model ilk modelin çıktılarını veri olarak kullanarak, bütün müşterileri belirlenmiş temsili merkez noktaları etrafında toplam kat edilen mesafeyi minimize edecek şekilde gruplamaktadır.

Geliştirilen ikinci sezgisel yöntem ise geliştirilen en yakın komşu algoritmasıdır. Bu algoritmada ise, ilk satış aracı bir numaralı müşteriden servise başlar ve daha sonra bu müşteriye en yakın mesafedeki bir sonraki müşteriye ikinci olarak uğrar. Bu sistem mevcut araç kapasitesi ve günlük çalışma saati kısıtları aşıldığı noktada, yeni bir satış aracını en son ziyaret edilen müşteriye en yakın bir sonraki

müşteriden yeni bir ruta başlatır. Böylece, aynı satış aracı tarafından ziyaret edilen bütün müşteriler tek bir gruba dahil edilmiş olur. Her iki sezgisel yöntem de, optimal günlük gruplama modeline yakın minimum toplam mesafe sonuçlarını vermektedir ve müşterilerin ait olduğu günlük gruplar da küçük sapmalar haricinde bu üç yöntemde birbirleriyle tutarlıdır. Bu üç yöntemin küçük bir veri kümesi üzerinden uygulamalı karşılaştırması Ek-4’de yer almaktadır.

### **3.2 Depo konumu belirleme modeli**

ETİ’nin müşterilerini istenilen frekanslarda ziyaret edememesinin bir diğer önemli sebebi de ana depo ile ilk müşteri arasında geçen sürenin fazla olmasıdır. Ek depo konumlarının bulunmasındaki amaç en kısa mesafe kat edilerek müşterilerin kapsanması olarak belirlenmiştir. Bu konumları bulmak için depo konumu belirleme modeli geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Ek depo açıldıktan sonra bu depoya yakın müşterilerin talepleri buradan karşılanacak, kalan müşteriler için ana depo kullanılmaya devam edecektir. Matematiksel model Ek-5’de sunulmuştur.

Ek depo konumunun bulunmasında Ankara ili sınırları içerisindeki tüm müşterilerin konumları veri olarak kullanılmıştır. Daha önce değinildiği üzere bu veri yaklaşık 9 bin adet müşteriye içermektedir. Geliştirilen model büyük veri ile çalışmamış olup modelin çalışacağı şekilde veri küçültülmüştür. Veriyi küçültmek için müşteriler birbirlerine en yakın olanlar aynı grupta kalacak şekilde onarlı olarak gruplandırılmış ve her bir grubun merkezinde kalan müşteri seçilmiştir. Her bir grubu merkezindeki müşterinin temsil edeceği şekilde veri güncellenmiş ve küçültülmüştür. Bu sayede model çözülmüş ve en uygun depo konumu saptanmıştır. Deponun Ankara haritasındaki yeri Ek-6’da sunulmuştur.

### **4. Arayüz Tasarımı**

ETİ şirketinin geliştirilen modelleri günlük olarak kullanması amacıyla kullanıcı dostu bir bilgisayar yazılımı tasarlanmıştır. Bilgisayar yazılımı, Visual Basic programlama dili tabanlı olup Microsoft Excel platformunda kodlanmıştır. Programın kullanıcı arayüzü iki farklı kısım içerir. Arayüzün ilk kısmında, çalıştırılacak optimizasyon modelini seçmek için bir bölüm bulunmaktadır. İkinci kısım ise modelin çalışması istenilen bölgenin ve günün kullanıcı tarafından seçilmesine olanak sağlamaktadır. Bölgeye atanan satış aracı sayısı da yine bu kısımdan girilmektedir. Yazılım ilk açıldığı anda optimizasyon programını otomatik olarak bulmakta, bulamadığı durumda kullanıcıya bir uyarı mesajı göndermektedir. Yazılımın kullanılması için gerçekleştirilmesi gereken ilk aşama kullanıcının çalıştırılacak optimizasyon modelini seçmesidir. Sonrasında gidilecek bölge, gün ve araç sayısı bilgilerinin istenilen şekilde girilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin sonrasında kullanıcı, “Veriyi Güncelle”

butonuna basarak istenilen veri dosyasının arka planda oluşturulmasını sağlamış olur ve verinin başarıyla güncellendiğine dair bir mesaj alır. En son olarak “Çalıştır” tuşuna basıldığında optimizasyon modeli çalışmakta ve modelin çıktıları kullanıcıya iletilmektedir. Arayüz görseli Ek-7’de sunulmuştur.

### **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

ETİ Gıdanın ürünlerini tüketicilerine ulaştırma aşamasında önemli yer tutan sıcak satış sistemlerinin iyileştirilmesi üzerinde çalışılan projemizin çıktıları alınmış olup kullanılmaya hazır etkin ve pratik çözümler sunulmuştur. Projenin ilk ayağında teslimat yapılması gereken müşteriler birbirlerine olan yakınlıklarına göre gruplandırılmış ve her bir satış aracının belirli bir günde gitmesi gereken müşteri listesi elde edilmiştir. Mevcut ETİ sıcak satış sisteminde kullanılan 129 araç ile müşterilerin tamamı istenilen sıklıkta ziyaret edilememektedir. Geliştirilen modeller sayesinde istenilen sıklıkta ziyaret edilen bayi sayısı arttırılmıştır. Elde edilen çıktı sayesinde tüm müşterileri belirtilen sıklıkta ziyaret etmek için gerekli olan satış aracı ihtiyacı da belirlenmiştir ve mevcut sistemde ihtiyaç duyulan ekstra satış aracı sayısı %14 azaltılarak daha az satış aracı ile toplam talebin karşılanması hedeflenmiştir. Projenin ikinci ayağında ise ana bayiden müşterilere ulaşma süresini kısaltmak üzere açılacak olası ek depo için en uygun konum belirlenmiştir. Çalıştırılan modelin optimal sonuç vermesi sayesinde, alternatif depo konumlarının karşılaştırılmasına gerek duyulmamıştır. Ancak ETİ tarafından ikinci bir ek depo açılması kararı alırsa, geliştirilen model iki ek depo senaryosu ile çalıştırılarak yine optimal sonucu verecek şekilde tasarlanmıştır. Yine mevcut müşterilerin konumları dikkate alınarak geliştirilen modelin sonucu alınmış ve Ek-6 da açılması olası ek deponun optimal konumu Ankara haritası üzerinde sunulmuştur.

Geliştirilen günlük gruplama modelinin ETİ tarafından pratik ve etkin bir şekilde kullanılması için bir arayüz de geliştirilmiştir. Arayüz sayesinde bir aylık süre boyunca istenilen herhangi bir gün ve bölge seçeneği işaretlenerek kolayca modelin çalıştırması ve çıktının alınması sağlanmıştır. Ayrıca arayüz kullanımı sayesinde mevcut verinin ileride değişmesi durumunda modelin geçerliliğini yitirmesi önlenmiş, açılan her bir yeni satış noktasının sisteme uyarlanması adına veri güncelleme seçeneği sunulmuştur.

Projenin ETİ sıcak satış sisteminde uygulanmaya başlaması ile analitik ve sistematik bir bakış açısı kazandırılmış ve mevcut sistemde oluşan gecikme ve kayıpların önüne geçilmiştir. Geliştirilen sistem, tüm metropollere entegre edilmeye uygun olarak tasarlanmıştır. Bu sayede ülke genelinde, şirketin müşterileri ile olan ilişkilerini güçlendirmesi hedeflenmiştir. Ziyaret sıklığının istenilen seviyeye ulaşması ile genel tüketici memnuniyetinin de iyileştirilmesi amaçlanmıştır.



## **KAYNAKÇA**

- Almur and Kara. 2007. "A hub covering network design problem for cargo applications in Turkey". *Journal of Operational Research Society*. 1349-1359.
- Berbeglia et.al. 2007. "Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey".
- Jang et. Al. 2006. "The Missouri Lottery Optimizes Its Scheduling and Routing to Improve Efficiency and Balance". *Interfaces*. 302-313.
- Kılıcı et. al. 2014. "Locating temporary shelter areas after a large-scale disaster".
- Liu. 2005. "Clustering Techniques for stock location and order picking in a distribution center". *Computers and Operations research*. 990-1002.
- Sheu. 2005. "A novel dynamic resource allocation model for demand-responsive city logistics distribution operations". *Transportation Research Part E*. 445-472.
- Ukovich et.al. 1997. "Dynamic routing and inventory problems: a review". *Transportation Research*. 586-598.

## EKLER

### Ek 1 Günlük gruplama modeli

Kümeler:

M: Müşteri kümesi (başlangıçta tüm müşteriler bir temsili merkez noktasıdır.)

Parametreler:

$o_j$ : Müşterilerin talep tahminleri (tl),  $j \in M$

$q$ : Satış aracı sayısı

$C$ : Satış aracı kapasitesi ( $m^3$ )

$h$ : Bir ürünü rafa yerleştirmek için gereken ortalama süre

$v$ : Satış aracının hızı, tüm araçlar için sabittir

$d_{ij}$ : Müşteri  $i$  ile temsili merkez noktası  $j$  arasındaki mesafe  $j \in M$

$T$ : Mesai saati

$lb$ : Satış aracının tamamlaması gereken minimum ciro (tl)

Karar Değişkenleri:

$X_{ij}$ :  $\begin{cases} 1, \text{ eğer müşteri } i \text{ depo } j \text{ tarafından kapsandıysa} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$

$Y_j$ :  $\begin{cases} 1, \text{ eğer depo } j \text{ açıldıysa} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$

minimize  $\sum_i \sum_j d_{ij} \cdot X_{ij}$

$X_{ij} \leq Y_j \quad i, j \in M$

$X_{ij} \leq 1 \quad i, j \in M$

$$\sum_j Y_j = q$$

$$\sum_i o_i \cdot X_{ij} \leq C \quad j \in M$$

$$\sum_i (d_{ij} \cdot X_{ij} + o_i \cdot h) \leq T \quad j \in M$$

$$\sum_i o_i \cdot X_{ij} \geq lb \quad j \in M$$

$$\sum_i X_{ij} = 1 \quad j \in M$$

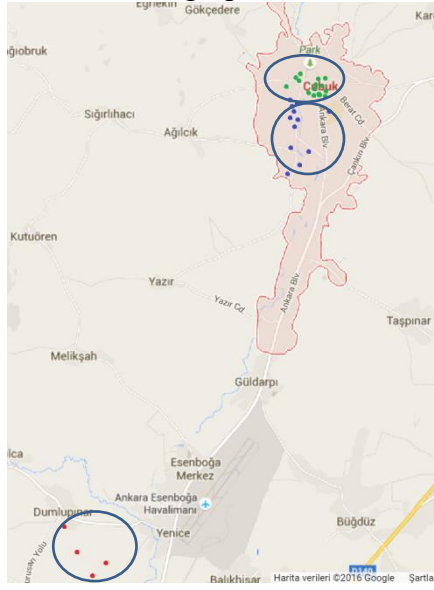
$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\}$$

### Ek 2 Bölgelere göre ayırım



District 1	District 2	District 3	District 4	District 5	District 6	District 7
Çamlıdere (7)	Akyurt (74)	Mamak (1074)	Ayaş (1)	Yenimahalle (1100)	Keçiören (1445)	Çankaya (1488)
Beypazarı (7)	Altındağ (888)	Bala (6)	Etimesgut (576)			
Çubuk (157)	Merkez (456)	Gölbaşı (176)	Sincan (691)			
Kızılcahamam (65)		Evren (1)				
Nallıhan (5)		Elmadag (47)				
Kazan (104)		Polatlı (4)				
		Haymana (1)				

**Ek 3** Günlük gruplama modeli örnek çıktısı



**Ek 4** Günlük gruplama modeli örnek çıktısı

### Günlük Gruplama Modeli

	2	14	27
1		1	
2	1		
3	1		
4	1		
5	1		
6	1		
7	1		
8	1		
9	1		
10	1		
11	1		
12	1		
13			1
14		1	
15		1	
16		1	
17			1
18			1
19			1
20			1
21			1
22			1
23			1
24			1
25			1
26	1		
27			1
28			1
29			1
30			1

### İki Parçalı Model

	2	14	17
1		1	
2	1		
3	1		
4	1		
5	1		
6	1		
7	1		
8	1		
9	1		
10	1		
11	1		
12	1		
13			1
14		1	
15		1	
16		1	
17			1
18			1
19			1
20			1
21			1
22			1
23			1
24			1
25			1
26	1		
27			1
28			1
29			1
30			1

### En Yakın Komşu Modeli

1	2	3
16	10	24
14	9	25
15	6	22
4	13	21
8	30	28
7	29	26
12	23	
3	27	
2	17	
5	19	
11	20	
1	18	

#### Ek 5 Depo açma modeli

Kümeler:

M: Müşteri kümesi (başlangıçta tüm müşteriler depo kümesine dahildir)

Parametreler:

p: Açılacak depo sayısı

$d_{ij}$ : Müşteri i ile olası depo noktası j arasındaki mesafe  $j \in M$

Karar Değişkenleri:

$X_{ij}$ :  $\begin{cases} 1, \text{ eğer müşteri } i \text{ depo } j \text{ tarafından kapsandıysa} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$

$Y_j$ :  $\begin{cases} 1, \text{ eğer depo } j \text{ açıldıysa} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$

$$\min \sum_i \sum_j d_{ij} X_{ij}$$

$$Y_1 = 1$$

$$\sum_j Y_j \leq p$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad i, j \in M$$

$$\sum_j X_{ij} = 1 \quad i \in M$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\}$$

#### Ek 6 Depo açma modeli çıktısı



# Medikal Cihaz Yatırım Stratejilerine Yönelik Etkin Karar Destek Sistemi

## Koru Hastanesi

### Proje Ekibi

Arda Ensari

Öykü Gürbüz

Ece Kılıç

Ceren Turhan

Melih Yücel

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Levent Galip Yeşil

Özel Koru Hastanesi, Eğitim Müdürü

### Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Özel Koru Hastanesi'nin mali tablosunun olumsuz yönde etkilenmemesi için medikal cihazların yatırım stratejilerindeki öngörülerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu projenin amacı, hastanenin medikal cihaz yatırım planları için uygun, yeni, analitik ve etkili bir karar destek sistemi oluşturmak ve buna bağlı olarak medikal cihazların kullanım verimliliğini artırmaktır. Proje süresince, cihaz verimliliği ve cihaz bedeli arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak etkinlik ve verimlilik açısından kritik durumda olan üç ana departman seçilmiştir. Medikal cihazların yatırım stratejilerinin oluşturulmasında, belirli zaman aralıklarında yapılan hasta sayısı tahminlemeleri, zaman etüdü ve çeşitli veri analizleri uygulanarak eniyileme modeli geliştirilmiş ve geliştirilen benzetim modeliyle de yatırım planlarının verimliliği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yatırım Stratejileri, Eniyileme, Standartlaştırma, Analitik Tahminleme, Verimlilik.

## 1. Şirket Tanıtımı

Kurucuları Prof. Dr. Hasan BİRİ ve Prof. Dr. Aydan BİRİ tarafından 2010 yılında Kuru Balgat Hastanesi olarak temelleri atılan "Kuru Sağlık ve Eğitim Kurumları" çatısı altında bugün;

Türkiye'nin en büyük özel hastane komplekslerinden olan ve 2014 yılı Eylül ayından itibaren Çukurambar'da faaliyet gösteren Kuru Ankara Hastanesi,

2012 yılında kurulan Kuru Sincan Hastanesi ve Sincan Görüntüleme Merkezi,

2015-2016 yılında eğitim ve öğretime başlayan ve Balgat'ta faaliyet gösteren Yüksek İhtisas Üniversitesi bulunmaktadır.

Yeni açılan Gelişimsel Pediatri, Kemik İliği Nakli ve Çocuk Yoğun Bakım Üniteleriyle 39 ana branş ve 250 farklı medikal cihazla hizmet veren Kuru Hastanesi, DA VINCI SI HD robotik cerrahi medikal cihazı, VIP hasta servisindeki 3 kral suiti ve 6 suit odasıyla öne çıkmaktadır.

Kuru Ankara Hastanesi ve Kuru Sincan Hastanesi toplamda 301 kişilik yatak kapasitesine, 77 yoğun bakım ünitesine ve 31 yenidoğan yoğun bakım yatağına sahiptir. Kuru Hastaneleri, akademik kökenli hekim kadroları, ileri teknoloji ve konforun bulunduğu tedavi olanakları, hasta memnuniyetinin üst düzeyde olduğu hizmet anlayışını ilke edinmiştir.

Da Vinci robotik Cerrahinin aktif olarak kullanıldığı özellikli merkezlerden olan Kuru Ankara Hastanesi üroloji, kadın doğum, genel cerrahi branşlarında yaptığı robotik cerrahi ameliyatlarında sergilenen başarı ile hasta güvenliği ve konforunu ön planda tutan bakış açısını devam ettirmektedir. Yakın zamanda robotik cerrahi kullanımına geçecek olan göğüs cerrahisi ve kalp damar cerrahisi kapak ameliyatlarında da bu teknolojinin kullanımı planlanmaktadır.

Kuru Ankara Hastanesi, ileri teknolojik altyapı ve insan gücüyle hizmet veren radyasyon onkolojisi, tüp bebek merkezi, kadın doğum ve perinatoloji merkezi, Üroloji-Üroonkoloji merkezi ile sağlık hizmet sunumunda önemli fark yaratacaktır.

Kuru Sağlık Grubu, yabancı hasta grubunun hızlı, güvenilir ve konforlu hizmet almasına yönelik önemli fiziksel düzenlemeler ve insan kaynağıyla planlanmış olup, hastaneler bünyesinde halen 41 farklı ülkeden yabancı hastaya hizmet verilmektedir

Kuru Hastanesi, hasta ve çalışan memnuniyeti odaklı misyonunu yatırım planlarına entegre etmeyi ve verimliliğini artırıcı faaliyetlerde bulunmayı hedeflemiş ve medikal cihazlar için yeni bir yatırım karar destek sistemi oluşturmaya odaklanmıştır. Bu proje; hastanede bulunan mevcut medikal cihazların yanı sıra, hastanede bulunmayan ve yatırım yapılması planlanan yeni cihazları da kapsar.

## ***2.2 Mevcut sistem analizi***

Koru Hastanesi'nde hasta girişi üç farklı şekilde gerçekleşir; acil servis aracılığıyla, hasta kabul aracılığıyla, online randevu sistemleri aracılığıyla. Hasta, belirli bir departmana atandıktan sonra diğer departmanlara da sevk edilebilir ya da çıkış yapabilir.

Hastanedeki medikal cihazlar, verimlilikleri göz önünde bulundurulduğunda üç farklı grupta incelenebilir. Cihazdan alınan hizmet bedellerinin cihaz bedelini karşılayamadığı cihazlar, düşük performans gösteren cihaz grubuna girmektedir. Bu cihaz grubuna Dermokozmoloji Departmanı cihazlarını örnek gösterebiliriz. İkinci grupta bulunan cihazlar, düşük cihaz bedellerine ve yüksek hizmet bedellerine sahip olan cihazlardır. Bu cihazlar yüksek performansa sahip cihaz kategorisinde bulunmaktadır. Radyoloji Departmanında bulunan MR, Ultrason, Tomografi ve Mamografi cihazlarını bu cihaz grubuna örnek gösterebiliriz. Son cihaz grubu yüksek cihaz bedeli ve yüksek hizmet bedeline sahip cihazları içerir. Nükleer Tıp Departmanı cihazlarından PET/CT ve SPECT cihazları, bu cihaz grubuna örnek verilebilir.

Koru Hastanesi'nde mevcut yatırım planlamaları için standart bir karar destek sistemi bulunmamaktadır. Yatırım planları iki şekilde gerçekleşmektedir. İlkinde, hastane yönetimi belirledikleri medikal cihazlar için yatırım teklifinde bulunur. Daha sonra, medikal cihazları kullanacak doktora danışır ve doktorun onay vermesi durumunda, sistem verimliliği analizleri ve uzun vade hesaplamaları bir model kapsamında yapılmadan cihazların yatırımlarına karar verilir. İkinci durumda ise, doktor belirlediği cihazlar için yatırım teklifinde bulunur. Daha sonra yönetim yatırım teklifini değerlendirir ve onaylanması durumunda yine uzun vade hesaplamaları ve sistem verimliliği analizleri bir model kapsamında yapılmadan cihazların yatırımına karar verilir.

### **3. Problem Tanıtımı**

#### **3.1 Belirtiler ve Şikayetler**

Sağlık sektöründeki yatırım bedellerinin diğer sektörlere oranla çok yüksek olması, bu sektörde gerçekleşen kazanç ve zarar miktarlarının da ciddi boyutlarda olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, Koru Hastanesi'nde analitik tahminleme kullanılmadan yapılan ve destek sisteminde standartlaşmayı sağlamak ve hastane yetkililerine kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla bir arayüz geliştirilmiştir.

Tinbergen Enstitüsü tarafından oluşturulan müzakere dökümanında, Carmen Lee (2008) dinamik modellerin anlık yatırım kararlarının neden olduğu kayıp ve kazançları kolayca hesaplayabildiğini ve bu nedenle yatırım planlarında yaygın bir şekilde kullanıldığını vurgulamıştır. Ayrıca, Arkin vd. (2010) yatırım kararlarının uygun zamanlamalarının hesaplanmasında, matematiksel modellerin de kullanıldığını gözlemlemiştir. Bu nedenle, Koru

Hastanesi'nin yatırım stratejileri için karar destek sistemi oluşturmak amacıyla, matematiksel model oluşturulmuştur. Matematiksel model ise iki farklı yöntemle çözülmüştür. Bunlardan biri tam sayılı programlama yöntemi, diğeri ise dinamik programlama yöntemidir.

Damoradan(2015) çeşitli karar modellerinin risk unsurlarını da içermesi gerektiğini vurgulamış ve farklı senaryo analizleriyle birlikte, eniyileşme kararlarının daha doğru bir şekilde verilebileceğini özetlemiştir. Bu nedenle, yatırım kararlarını sağlayan modellerimizde risk unsurları da göz önünde bulundurulmuştur.

Koru Hastanesi'nden alınan veriler, medikal cihazlar özelinde geçmiş kullanım değerlerini göstermektedir. Yatırım karar destek sistemimizin uzun vade hesaplamalarını da içermesi gerektiği için, literatür araştırmasıyla oluşturduğumuz analitik tahminleme yöntemleriyle, medikal cihazların uzun vade kullanım oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, matematiksel ve dinamik modellerimizi beslemektedir. Fakat hastaneden alınan veriler son 26 aylık kullanım oranlarını içermektedir. Geromontvd.(2014)az veriyle gerçekleştirilen tahminleme yöntemlerinin, tahminleme hassasiyet formülleriyle kıyaslanabileceğini ve en az hata payına sahip olan tahminleme modeli ile çalışılabileceğini vurgulamıştır. Bu nedenle, projemizin tahminleme evresinde, ortalama karesel hata, r kare ve ortalama mutlak hata formüllerinden yardım alınarak uygun tahminleme yöntemi uygulanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca, projemizin ana unsurlarından biri olan sistem verimliliğini gözlemlemek ve artırmak için kullanılabilecek modeller üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırmalara bağlı olarak, benzetim modeli, mevcut sistemi incelenmek ve verilen yatırım kararlarının sistemdeki tepkilerini gözlemlemek amacıyla kullanılmıştır.

#### **4. İzlenen Yötemler ve Uygulamaları**

##### **4.1 Önerilen yatırım stratejisinin modellenmesi**

Yapılan çalışmalar sonucunda Özel Koru Hastanesi'nin yatırım kararları için bir model geliştirilmesine karar verilmiştir.

Sistem analizleri sonucunda, yatırım kararlarında stratejik ve analitik bir yol izlenmemesi, Özel Koru Hastanesi'nin karşılaştığı en büyük sorun olarak tespit edilmiştir. Yaşanan sorunu çözmek ve elde edilen sonucun doğruluğunu kontrol edebilmek amacıyla gelecek 10 yılı kapsayan matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model, dinamik programlama ve tam sayılı programlama yöntemleriyle çözülmüştür. İki ayrı yöntemle çalışılmasının sebebi ise geliştirilen yöntemlerin aynı sonucu verdiğini görmek ve bu sayede matematiksel modelin doğruluğunu kanıtlamaktır. Bu çözüm yöntemlerinin temel amacı, projeksiyonu yapılan yıllar için en karlı yatırım kararını almak olarak belirlenmiştir. Oluşturulan dinamik programlama yöntemi, önümüzdeki 120 aylık zaman zarfı içerisinde yeni alınacak ve elden

çıkarılacak cihaz sayılarını, alınacak cihazın ne zaman ve hangi satın alma yöntemi ile alınacağını(SatınAlma, Kiralama, KİT Karşılığı) yatırım için ayrılan bütçeyi de göz önünde bulundurarak tespit etmiştir. Aynı karar değişkenleri ve kısıtlar, tamsayılı programlama yöntemi için de geliştirilmiştir.Tamsayılı programlama yöntemi XPRESS Solver’da, dinamik programlama yöntemi ise MATLAB programlamadilinde oluşturulmuştur.

Hastaneden alınan bilgiler doğrultusunda, ortalama medikal cihaz ömrü 5 yıl olarak kabul edilmiştir. Mevcut sistemde bulunan ve yeni alınacak cihazlar, 5 yıllık ömürlerini doldurulmaları halinde sistemden çıkarılmaktadır. Herhangi bir ayda sistemde bulunan cihaz sayısı, bir önceki ayda sistemde bulunan mevcut cihaz sayısı,bu ay yeni alınan cihaz sayısı ve bu ay sistemden çıkarılan cihaz sayısına bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda, herhangi bir ayda bakılabilecek hasta sayısı (SGK’lı ve özel sigortalı olmak üzere), o ay sistemde bulunan cihaz sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Dinamik programlama ve tam sayılı programlama yöntemlerimizi beslemek amacıyla, seçilen medikal cihazların geçmiş 26 aydaki kullanım verilerine bakılarak tahminleme modelleri geliştirilmiştir. Literatür araştırmalarında, kısıtlı miktarda geçmiş veriye sahip olunan durumlarda, bu verilerden tüm tahminleme modelleri için hata analizleri elde edilmesi ve bunların karşılaştırmasının yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle, seçilen tüm medikal cihazlar için literatürdeki Hareketli Ortalama, Holt Yöntemi, Winters Yöntemi, ARIMA ve Dekompozisyon Yöntemi gibi çeşitli tahminleme yöntemleri kullanılmış ve Ortalama Karesel Hata, R Kare ve Ortalama Mutlak Hata değerleri göz önünde bulundurularak cihaz özelindeki en iyi tahminleme yöntemine ulaşılmıştır. Bu şekilde, farklı medikal cihazlar için en az hata oranını veren tahminleme yöntemiyle, gelecek 120 aylık cihaz kullanım verileri Minitab aracılığıyla elde edilmiştir.

Yapılan tahminlemeler, her iki çözüm yöntemi içinde girdi olarak kullanılmıştır. Her iki yöntemde aynı parametrelerle çalıştırılmış, sonucunda aynı çözümleri vermiş ve bu şekilde matematiksel modelin doğrulanması sağlanmıştır. Daha sonra, güncelleme kolaylığı ve hızlı sonuç verme avantajından dolayı, tamsayılı programlama yöntemi projemizin ana çözüm yöntemi olarak belirlenmiştir.

Sistemin verimliliğini ve yatırım kararlarına karşı verdiği tepkileri gözlemlemek için ARENA aracılığıyla benzetim modeli oluşturulmuştur. Benzetim modelinde hastalar hastaneye acil servis, hasta kabul ve online randevu kanallarından giriş yaptıktan sonra gerekli departmanlara yönlendirilmektedir. Modelde verimliliklere bağlı olarak belirlenen kritik üç departman (Radyoloji, Nükleer Tıp,



Dermokozmetoloji), bu departmanlar arasındaki ilişki ve bu departmanların diğer departmanlarla olan ilişkisi bulunmaktadır.

Matematiksel modelin çıktıları doğrultusunda benzetim modeli, yeni yatırım yapılması planlanan cihazların sistemdeki davranışlarını ve verimliliğini göstermektedir. Matematiksel modelin içermediği tahmini bekleme süreleri, tahmini kullanım oranları vb. gibi bir çok detay benzetim modeli aracılığıyla analiz edilmektedir.

#### **4.2 Önerilen modelin uygulanması**

Geliştirilen yatırım stratejileri ve verimlilik optimizasyonu karar destek sisteminin uygulanabilmesi için geliştirilen matematiksel model, kullanımı ve uygulaması kolay olan Excel ortamına aktarılmıştır. Arayüzün Excel temelli olmasının temel nedeni, her periyottaki nakit akışlarının ayrıntılı bir şekilde gözlemlenebilmesidir. Bu sayede, planlanan herhangi bir yatırım projesinin iç verim oranı da analiz edilebilmektedir.

Matematiksel modelin içermediği, ancak Excel'in kullanıcıya sağladığı bir avantaj da projeden beklenen iç verim oranının bir kısım olarak sisteme girilebilmesi ve yatırımın bu kısım sağlayacak şekilde yapılması yönünde karar verebilmesidir. Ancak, matematiksel model ile çok sayıda cihaz ve her bir cihaz için üç ayrı satın alma yöntemi aynı anda incelenip en iyi karar verilebilirken, Excel ortamına aktarılan modelde bu hesaplamalar yalnızca bir cihaz için uygulanabilir hale gelmiştir. Bu sorunu aşmak adına geliştirilen sezgisel yöntem, 5 farklı medikal cihaz yatırımını bir arada incelenmesine olanak sağlamıştır. Geliştirilen sezgisel yöntem, ana model üzerinde çok büyük değişiklikler yapmamasına rağmen aynı anda incelenebilir cihaz sayısını birden beşe çıkarmaya yardımcı olmuştur. Oluşturduğumuz ana modelde kullanıcının tek seferde her üç satın alma seçeneğinin maliyetlerini girmesi gerekirken, sezgisel yöntemde ise aralarından en düşük maliyetli olan satın alma seçeneğinin bedelini sisteme girmesi modelin çalışması için yeterli hale gelmiştir. Excel ortamına aktarılan model, yapılması planlanan yatırımları 6 aylık dönemlerle incelemektedir.

Öncelikli olarak, Excel Solver ile sonuç alınabilmesi için, kullanıcının analiz etmek istediği cihaz ile ilgili bazı bilgileri sisteme parametre olarak girmesi gerekmektedir. Bu parametreler şunlardır:

- Yatırım yapılması planlanan cihazın satın alma ve aylık kiralama bedeli
- Yatırım yapılması planlanan cihazın birim hasta başına KİT karşılığı maliyeti
- Yatırım yapılması planlanan cihazın aylık çalışma kapasitesi (hasta sayısı bazında)
- Hasta başına operasyon maliyeti
- SGK'lı ve Özel Sigortalı hastadan alınan servis ücreti

- Yatırım yapılması planlanan cihazın aylık bakım maliyeti
- Yatırım yapılması planlanan cihazın 5 yıl sonundaki hurda değeri
- Yıllık faiz oranı
- Yatırım için ayrılan bütçe (en fazla 10 yıllık olmak kaydıyla)

Excel arayüzünün kullanıcı girdileri Ek 1’de görülebilir.

Excel arayüzü kullanıcıya çıktı olarak planlanan yatırım hakkında En İyi Senaryo, En Olası Senaryo ve En Kötü Senaryo olmak üzere üç farklı senaryo hazırlamaktadır. Oluşturulan senaryoların birbirinden farklı olmasının sebebi tahminlenen hasta sayısının içerdiği risktir. Toplam risk, aynı departmanda bulunan cihazların servis verdiği hasta sayıları arasındaki korelasyon ve hasta sayısı tahminleme yönteminden kaynaklanan hataya bağlıdır. Herhangi bir departmanda belirli bir cihazda tedavi gören hasta aynı zamanda bu departmandaki başka bir cihaz için de potansiyel bir hasta durumundadır. Bir örnek ile netleştirmek gerekirse MRI cihazında tedavi gören bir hasta, aynı departmanda bulunan Tomografi cihazı için de potansiyel bir hasta olabilir. Cihaz özelinde muhtemel servis verilmesi beklenen hasta sayısını bulurken kullanılan tahminleme yöntemi, cihazlar arasındaki bu ilişkiyi göz ardı etse de kullanılan korelasyon yöntemi ile bu eksiklik kapatılıyor. Sistemin bu riski içermesi için gereken en büyük koşul ise riskin yalnızca yatırım yapılması kesinleşen cihazların arasında olmasıdır. Bu yüzden korelasyondan kaynaklanan risk de modelimizin karar değişkenlerinden birisidir. Eğer model herhangi bir cihaz için yatırım yapılmasını önermiyorsa, o cihazın sistemde incelenen diğer cihazlar arasındaki korelasyon yok sayılır. Toplam riskin bir başka parçası olan tahminleme yönteminden kaynaklanan hatadır. Üzerinde çalıştığımız veriler sadece 26 ay ile sınırlı olduğu için bu verilerden yararlanarak kesin bir eğilim veya mevsimsellik analizi yapmak mümkün değildir. Bu sebeple birçok tahminleme yöntemi kullanılarak çok az gerçek veriden faydalanarak uzun süreli yeni veriler üretirken karşılaşılan en büyük sıkıntı tahminlemenin kesinliği ile ilgilidir. Tahminleme sırasında kullanılan yöntemden kaynaklanan hatalar da sistem riskinin önemli bir parçasıdır. Sistemin içerdiği toplam risk ya da “hata terimi” hasta sayıları arasındaki korelasyon ve tahminleme hatasının toplamı olarak belirtilmiş olup, arayüzde Ek 2’deki şekliyle yer almaktadır.

Projemizde risk kavramının karşılığı “hata terimi” olarak belirtildiği için, En İyi Senaryo hazırlanırken hata terimi tahminlenen hasta sayısına eklenerek; En Kötü Senaryoda ise tahminlenen hasta sayısından çıkartılarak bahsedilen yatırım analizleri yapılmaktadır. En Olası Senaryo, planlanan yatırımın ortalama beklentisini gösterirken En

Kötü Senaryo ve En İyi Senaryo ise ortalama beklentiden sapmaları göstermektedir.

### **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Analitik bir yatırım planı geliştirmek için Özel Kuru Hastanesi ile birlikte yürüttüğümüz proje kapsamında, etkin ve pratik çözümler sunulmuştur. 3 ana departman bazında gerçekleştirdiğimiz çalışmalar sonucunda, en dikkat çekici sonuç Nükleer Tıp departmanında gözlemlenmiştir. Modelimizi hastane tarafından sağlanan girdiler ile çalıştırdığımızda, diğer 2 ana departmanda mevcut sistemi korumak amacıyla 5 yıllık teknolojik ömürleri tamamlanan cihazlar yerine yeni cihaz alımı önerilmiştir. Fakat, Nükleer Tıp departmanında sağlanan girdiler ile bu departmanın zarar ettiği ve Ek 3'te görüldüğü gibi, yeni cihaz alımının önerilmediği gözlemlenmiştir. 14.03.2016 tarihinde Özel Kuru Hastanesi yetkilileri ile gerçekleştirilen toplantıda bu sonuç belirtilmiş ve kendileri tarafından da onaylanmıştır. Ek 4'te belirtilen en iyi senaryo, en olası senaryo ve en kötü senaryo değerlerinin pozitif çıkmasının sebebi ise sistemde bu cihazların hali hazırda bulunmasıdır.

Projemizin hastaneye sağlayacağı en büyük avantaj, yatırım planlarının analitik bir modele dayanması ve bu sayede yatırım yapılması planlanan bir cihazın yatırım yapılmadan önce 10 yıllık planlaması göz önünde bulundurularak makul bir yatırım olup olmadığının anlaşılmasıdır. Sağlık sektöründeki yatırım maliyetlerinin diğer birçok sektöre kıyasla yüksek olması, projemizin hastane açısından önemini ortaya koymaktadır.

### **KAYNAKÇA**

- Arkin, Vadim, and Alexander Slastnikov. "A Mathematical Model of Investment Incentives." Springer Proceedings in Mathematics & Statistics Prokhorov and Contemporary Probability Theory (2012): 29-41.
- Biri, Hasan. "About Us." Web. 14 Nov. 2015. <<http://en.koruhastanesi.com/Kurumsal1>>.
- Damodaran, Aswath. "Country Risk." Investment Risk Management(2015): 155-78. Web. Chapter 6: Probabilistic Approaches: Scenario Analysis, Decision Trees, And Simulations
- Geromont, H. F., and D. S. Butterworth. "Generic Management Procedures for Data-poor Fisheries: Forecasting with Few Data." ICES Journal of Marine Science 72.1 (2014): 251-61.
- Mulvey, John M. "Introduction to Financial Optimization: Mathematical Programming Special Issue." Mathematical Programming Math. Program. 89.2 (2000): 205-16. John M. Mulvey. 21 Dec. 2015.

- Ozcan, Yasar A. "Forecasting." Quantative Methods in Health Care Management. 1st ed. Jossey-Bass, 2005. 11-30. Print.
- Yeşil, Levent Galip. Korum Hastanesi, Eğitim Müdürü. Mart 2016. "Healthcare Simulation Software", Rockwell Simulation, Web. 14Nov.2015.<<https://www.arenasimulation.com/industry-solutions/healthcare-simulation-software>>

## EKLER

### Ek 1.Excel arayüzünün kullanıcı girdileri ekran görüntüsü

	Toplam Cihaz Bedeli	Nakit Satın Alma	Kiralama(Aylık)	KİT Karşılığı	Ödeme Miktarı(Her 6 Ay)	Kapasite(6 aylık)	Birim Hasta Başına Operasyon Maliyeti	Özel Sigortalı Hasta Ücreti	SGK'lı Hasta Ücreti	Bakım Maliyeti(6 Aylık)	Elden Çıkarma Bedeli	Yatırım için Kullanılabilir Bütçe	Faiz Oranı(6 Aylık)
CİHAZ 1	1.000.000,00 TL	1.000.000,00 TL			- TL	1920	100,00 TL	250,00 TL	230,00 TL	35.000,00 TL	500.000,00 TL	1.000.000,00 TL	0,05
CİHAZ 2	263.000,00 TL	263.000,00 TL				1280	80,00 TL	120,00 TL	100,00 TL	12.500,00 TL	100.000,00 TL		
CİHAZ 3													
CİHAZ 4													
CİHAZ 5													

PERİYOT	CİHAZ 1				
	SGK	OZEL	GÖZLENEN HASTA SAYISI	ÖNGÖRÜMLENEN HASTA SAYISI	HATA
0	80	35	40	37	0,075
1	80	35	36	36	0
2	80	35	33	39	-0,181818182
3	80	35	103	87	0,155339806
4	80	35			0
5	80	35			0
6	80	35			0
7	80	35			0
8	80	35			0
9	80	35			0
10	80	35			0
11	80	35			0
12	80	35			0
13	80	35			0
14	80	35			0
15	80	35			0
16	80	35			0
17	80	35			0
18	80	35			0
19	80	35			0
STANDART SAPMA					0

SGK/Ozel Sigortalı Hasta Oranı					
CİHAZ 1	CİHAZ 2	CİHAZ 3	CİHAZ 4	CİHAZ 5	
0,70	0,69	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0
0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0

CİHAZ 2				
SGK	OZEL	GÖZLENEN HASTA SAYISI	ÖNGÖRÜMLENEN HASTA SAYISI	HATA
27	12	9	11	-0,222222222
131	57	8	22	-1,75
46	20	11	8	0,272727273
203	87	86	74	0,139534884
63	27			0
273	117			0
81	35			0
345	148			0
99	43			0
416	178			0
117	51			0
486	208			0
133	57			0
558	239			0
153	66			0
628	269			0
171	73			0
700	300			0
187	81			0
770	330			0
				1

BAKILAN HASTA SAYISI					
CİHAZ 1	CİHAZ 2	CİHAZ 3	CİHAZ 4	CİHAZ 5	
115	39	0	0	0	0
115	188	0	0	0	0
115	66	0	0	0	0
115	290	0	0	0	0
115	90	0	0	0	0
115	390	0	0	0	0
115	116	0	0	0	0
115	493	0	0	0	0
115	142	0	0	0	0
115	594	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Ek2. Excel arayüzünün risk matrisi görüntüsü

PERİYOT	TOPLAM ÖNGÖRÜLENEN HASTA SAYISI				
0	115	39	0	0	0
1	115	188	0	0	0
2	115	66	0	0	0
3	115	290	0	0	0
4	115	90	0	0	0
5	115	390	0	0	0
6	115	116	0	0	0
7	115	493	0	0	0
8	115	142	0	0	0
9	115	594	0	0	0
10	115	168	0	0	0
11	115	694	0	0	0
12	115	190	0	0	0
13	115	797	0	0	0
14	115	219	0	0	0
15	115	897	0	0	0
16	115	244	0	0	0
17	115	1000	0	0	0
18	115	268	0	0	0
19	115	1100	0	0	0

HASTA SAYISINDA MUHTEMEL SAPMALAR					
PERİYOT	CİHAZ 1	CİHAZ 2	CİHAZ 3	CİHAZ 4	CİHAZ 5
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0

STANDART SAPMALAR				
CİHAZ 1	CİHAZ 2	CİHAZ 3	CİHAZ 4	CİHAZ 5
0,00	332,62	0,00	0,00	0,00

KORELASYON MATRİSİ					
	CİHAZ 1	CİHAZ 2	CİHAZ 3	CİHAZ 4	CİHAZ 5
CİHAZ 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CİHAZ 2	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
CİHAZ 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CİHAZ 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CİHAZ 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ORTAK DEĞİŞİKLİK MATRİSİ					
	CİHAZ 1	CİHAZ 2	CİHAZ 3	CİHAZ 4	CİHAZ 5
CİHAZ 1	0	0	0	0	0
CİHAZ 2	0	333	0	0	0
CİHAZ 3	0	0	0	0	0
CİHAZ 4	0	0	0	0	0
CİHAZ 5	0	0	0	0	0

RİSK BAĞINTI MATRİSİ														
PERİYOT	CİHAZ 1-1	CİHAZ 1-2	CİHAZ 1-3	CİHAZ 1-4	CİHAZ 1-5	CİHAZ 2-2	CİHAZ 2-3	CİHAZ 2-4	CİHAZ 2-5	CİHAZ 3-3	CİHAZ 3-4	CİHAZ 3-5	CİHAZ 4-4	CİHAZ 4-5
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



# Alternatif Parakende Fiyatlandırma Optimizasyonu

## IBM USA Data Commerce

### Proje Ekibi

Öykü Aygün

Ali Bakan

Tolga Dizdärer

Murat Genç

Alp Süngü

Eylül Ege Tayşı

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Dr. Emrah Zarifoğlu

IBM USA DATA Commerce, Veri Bilimi Yöneticisi

### Akademik Danışman

Doç. Dr. Alper Şen

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

IBM Omni Channel Merchandising Solutions firmasının kullanmakta olduğu fiyatlandırma optimizasyon modeli, uzun işlem süresi ve beraberinde gerektirdiği danışmanlık hizmeti nedeniyle küçük ölçekli firmalarda zaman ve iş verimliliğinin önüne geçmektedir. Bu projenin amacı, alternatif bir perakende fiyatlandırma optimizasyon modeli yaratarak bu şirketlerin zaman problemini ve danışmanlık ihtiyacını ortadan kaldırmaktır. Bu hedef doğrultusunda ürünleri detaylı analizlerle gruplayan bir Ürün Gruplandırma Modeli ve bu modelin çıktıları kullanılarak Ürün Talep Tahmin Modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, şirketlerin uygun fiyatlandırma stratejisini bulmalarına olanak sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Fiyatlandırma, Ürün Gruplandırma, Talep Tahmini

### 1. Şirket Tanıtımı

1911 yılında New York'ta kurulan IBM, bugün kurumsal müşterilerine sunduğu yazılım ve donanım çözümleriyle dünyanın lider



bilişim teknolojileri şirketlerindedir. Finans, pazarlama ve insan kaynakları gibi pek çok farklı iş kolu altında sunulan geniş ürün yelpazesi içinde IBM Omnichannel Merchandising ürünleri fiyatlandırma, promosyon, indirim kararları için geliştirilen, perakende sektörüne yönelik yazılım çözümleridir. Fiyatlandırma optimizasyonu bu ürün gamındaki en büyük pazar payına sahip üründür. Optimizasyon biliminin ileri düzey analitikle buluştuğu bu çözümler sayesinde, bugün çok sayıda perakendeci, kendilerini en istenen ve en karlı sonuçlara götürecek ürün, fiyat, promosyon ve indirim kararlarını alabilmektedir.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Alternatif perakende fiyat optimizasyonu projesinde, girdileri anında işleyip fiyatlandırma kararlarını çok daha büyük bir hız ve doğrulukla alabilen, özellikle küçük ölçekli müşterilerin gereksinim duyduğu danışmanlık hizmetini ortadan kaldırmayı hedefleyen kullanıcı uyumlu bir fiyatlandırma optimizasyon modeli oluşturulmasına odaklanılmıştır.

IBM, müşterilerini küçük, orta ve büyük müşteriler olarak üç grupta incelemektedir. Geliştirilecek olan model küçük kategorisine giren şirketleri hedefleyeceğinden, denklem ve değişkenler o şirketlerin uygulamalarına uyum sağlayabilecek şekilde güncellenip değiştirilebilir ve gerekli durumlarda günlük değişimlere göre yeni kısıtlamalar getirilebilir olmalıdır. Modelde, şirket fiyat optimizasyonunda ele alınacak ana etkenleri belirledikten sonra sonuçları inceleme fırsatı bulup gerekli stratejiyi uygulayabilecektir. Burada müşteriye sağlanan kolaylık, modelin uygulanma kolaylığıdır. Normalde büyük ve orta kategorisindeki şirketlerin karmaşık programlar için almaya ihtiyaç duyduğu danışmanlık, küçük müşteriler için bir zorunluluk olmayacaktır. Bu durum hem IBM, hem de müşteri için operasyon yönünde bir kolaylık sağlayacaktır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

IBM'de kullanılan mevcut sistem çok büyük miktarlardaki tüketici verilerini analiz ederek tüketici talebinin matematiksel bir modelini oluşturmaya çalışmaktadır. Böylece tüketicilerin tepkileri olası farklı koşullar altında açıkça öngörülebilmekte ve en uygun fiyat stratejileri uygulanabilmektedir. IBM Omnichannel Merchandising fiyatlandırma çözümleri piyasadaki ürünlerin fiyat esnekliklerinin göz önünde bulundurulduğu bir optimizasyon modelidir.

Mevcut sistemde kullanılan optimizasyon modeli çok değişkenli bir model olup mevsimsellik, ürünlerin birbirlerinin satışını etkilemeleri, tüketici eğilimleri ve promosyonlar gibi fiyata etki edebilecek bütün faktörleri göz önünde bulundurmaktadır. Model her ürün için optimum fiyatı bulduğu gibi ürünlerin birbirleriyle ilişkilerinin fiyata olan etkisini de tahmin etmeye çalışmaktadır. Daha doğru ve tutarlı sonuçlar almak

adına, veriler belli zaman aralıklarında güncellenerek modelin yeniden düzenlenmesi sağlanmaktadır.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

IBM'in şu anda kullanmakta olduğu fiyatlandırma optimizasyon modeli, çok uzun bir çalışma süresi sonrasında sonuç verebilmektedir. Bu durumun en önemli sebebi, müşteri ayırt etmeksizin kullanılan talep grubu belirleme ve fiyat değişimlerinin etkilerini gözetleyen fazla sayıda denklem kullanılmasıdır. Günümüzün dinamik tüketim ihtiyaçlarına cevap verebilmek için şirketlerin fiyatlandırma politikaları sürekli bir gelişim halinde olmalıdır. O halde, küçük çaplı müşteriler için basitleştirilmiş bir model yaratılarak, zaman konusundaki sorunun çözülmesi ve bu sayede daha sık güncellenip test edilebilecek bir model yaratılması IBM için büyük önem taşımaktadır.

## **3. Problem Tanımı**

### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

IBM'in şu anda kullanmakta olduğu fiyatlandırma optimizasyon modeli uzun sonuç verme süreci, zaman verimliliği açısından şikayetler doğurmaktadır. Bu durumla beraber, daha kısa vadede sonuç alınıp plan yapılması gereken durumlarda, küçük çaplı müşteriler sorun yaşamaktadır.

Proje hedefindeki şirketler, uygulamalarına uyum sağlayabilecek şekilde güncellenip değiştirilebilecek ve gerekli durumlarda günlük değişimlere göre yeni kısıtlamalar getirilebilecek olan bir model beklemektedir. Mevcut sistemin getirdiği bir gereklilik olan danışmanlık hizmeti, hem müşteri memnuniyeti açısından hem de IBM'in iş verimliliği açısından ilgili sorunları beraberinde getirmektedir.

### **3.2 Problem tanımı**

Kullanılmakta olan fiyatlandırma sistemi, küçük ölçekli müşterilerin ihtiyaçlarını zamansal ve işlevsel olarak karşılayamamaktadır. Bu durumlarda, belirtilen kitledeki müşterilerce kullanılabilen, hızlı, ve kullanıcı dostu bir fiyatlandırma uygulaması geliştirilmesi gerekmektedir.

## **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar**

Mevcut durum ve problem analizi yapıldıktan sonra, çözüme yönelik iki modelin oluşturulmasına karar verilmiştir. Öncelikle fiyatı etkileyen unsurlar araştırılmış, şirketten alınan veri işlenmiştir. Bu unsurlar ışığında bir ürün gruplandırma modeli, ve bu modelin çıktıları üzerinde işlem gören talep tahmini modeli yaratılmıştır.

Kurulan sistem şu şekilde işlemektedir: Ürün bilgileri ve geçmiş dönemlerdeki talep verileri "Ürün Gruplandırması" modelinin girdilerini oluşturmaktadır. İlk model, bu girdileri kullanarak "Ürün Talep Tahmini" modelinde kullanılacak ürün gruplarını çıktı olarak vermektedir. Aynı zamanda bu modelde, hazırda bulunan ürün gruplandırma modeline benzerlik de ölçülmektedir. Ürün Grupları da

Talep Tahmin modeline eklenerek gelecekteki taleplerin gözlenebildiği bir çıktı elde edilmektedir (Ek 1).

#### **4.1 Ürün gruplandırması**

Kurulan ilk model ürün gruplandırmasından sorumludur. Bu modeldeki amaç talepleri birbirine etki eden ürünleri bulmak ve bu ürünleri kendi içerisinde gruplandırmaktır. Bu işlemi gerçekleştirmek üzere öncelikle sezgisel bir analiz yapılmakta, ardından bu çıktıların diğer girdilerle birlikte matematiksel bir modele sokulması sağlanmaktadır. Matematiksel modelin sonucu olarak da ürün grupları belirlenmektedir. Modele ait iş akış şeması Ek 2'dedir.

İşlemleri gerçekleştirmek üzere iki tip veri kullanılmaktadır. Bunlar ürün bilgisi ve talep bilgisidir. Ürün bilgisinde ürün numarası, hacim, ürün açıklaması ve marka bulunmakta, talep bilgisinde ürün numarası, tarih, talep ve fiyat yer almaktadır. Gruplandırma ürün gruplarına ait olduğu kabul ettiğimiz dört farklı ayırt edici özellik üzerinden yapılmaktadır. Bu özellikler şu şekildedir:

- Bir ürün grubundan mevsimsel talep dalgalanmaları elimine edildikten sonra her grup için toplam talep birbirini takip eden haftalar içerisinde çok fazla yükselip alçalmamalıdır. Bunun sebebi ürünlerin birbirine etkisinden dolayı bir ürünün talep değişiminin diğer ürünler tarafından dengelenecek olmasıdır. Mevsimselliği elimine etmek için "Classical Decomposition" yöntemi kullanılmıştır.
- Aynı ürün grubunda yer alan ürünler arasından çok büyük birim fiyat farkı olmamalıdır. Bunun sebebi bu büyük farka sahip ürünlerin aynı işlevde olmaması ve bu yüzden birbirine etkisinin sınırlı kalmasıdır. Tüm veri için bu şekilde olan ürün ikilileri sezgisel yaklaşımda belirlenip F isimli bir kümeye yerleştirilmiştir.
- Aynı ürün açıklamalarına sahip ürünler benzer işlevlere sahip oldukları için aynı ürün grubunda yer almalıdır. Bu ürün ikilileri de sezgisel yaklaşımla bulunup G isimli bir kümeye yerleştirilmiştir.
- Aynı mağazada satılmayan iki ürün aynı müşteri kitlesi üzerinde etki yaratmadığı için farklı ürün gruplarında yer almalıdır.

##### **4.1.1 Varsayımlar**

Modelin oluşumunda ve işleminde kullanılan varsayımlar şunlardır:

- Modelin işleyeceği verilerdeki ürünler içerisinde en az iki adet ürün grubu bulunmalıdır.
- Mevsimselliğin yıllık düzeyde etki ettiği varsayılmıştır.
- Verilen ürünler arasında tek ürün tipi olduğu varsayılmıştır.
- Ürünler arası birebir karşılaştırmalarda ağırlık birim olarak kullanılmıştır.
- Deneme amacıyla gerçekleştirilen modelde sistem toplam altı adet ürün grubu oluşturmaya zorlanmıştır. Bunun amacı çıkacak sonuçlar ile eldeki verileri doğrudan kıyaslayabilmektir.

#### 4.1.2 Ürün gruplandırması modeli

Bu fikirlerden yola çıkarak bir ürün gruplandırma modeli oluşturulmuştur. Model şu şekildedir:

##### Veriler

T: Talep verisindeki toplam hafta sayısı,  $T \in \{1..75\}$

I: Ürün kümesi,  $I \in \{1..341\}$

J: Ürün grubu kümesi,  $J \in \{1..6\}$

mevD<sub>it</sub>: i ürününün t haftasında mevsimsellik elimine edildikten sonra kalan talebi

F: Farklı ürün grubuna ait olan ürün ikililerinin bulunduğu küme

G: Aynı ürün grubuna ait olan ürün ikililerinin bulunduğu küme

##### Değişkenler

y<sub>ij</sub>: i ürünün j ürün grubuna atanmasını kontrol eden değişken,

$y_{ij} \in \{0,1\}$

D<sub>jt</sub>: j ürün grubunun t haftasındaki toplam talebi

a: Her bir ürün grubu içerisinde iki hafta arasında gerçekleşen en büyük talep değeri değişimi

z<sub>j</sub>: j ürün grubunun oluşumunu kontrol eden değişken,  $z_j \in \{0,1\}$

##### Model

Enküçükle a

- 1)  $\sum_j y_{ij} = 1 \quad i \in I$
- 2)  $\sum_i \text{mevD}_{it} y_{ij} = D_{jt} \quad j \in J, t \in T$
- 3)  $a \geq D_{jt} - D_{j,t-1} \quad j \in J, t \in T \setminus \{1\}$
- 4)  $a \geq D_{j,t-1} - D_{jt} \quad j \in J, t \in T \setminus \{1\}$
- 5)  $\sum_i y_{ij} \leq Mz_j \quad j \in J$
- 6)  $\sum_i y_{ij} \geq z_j \quad j \in J$
- 7)  $z_j \leq z_{j-1} \quad j \in J \setminus \{1\}$
- 8)  $y_{mj} + y_{nj} \leq 1 \quad j \in J, (m,n) \in F$
- 9)  $y_{mj} = y_{nj} \quad j \in J, (m,n) \in G$
- 10)  $D_{jt}, a \geq 0 \quad j \in J, t \in T$
- 11)  $y_{ij}, z_j \in \{0, 1\} \quad i \in I, j \in J$

1. kısıt ürünlerin tek bir ürün grubuna ait olmasını sağlamaktadır.

2. kısıt tüm ürün grupları için her haftaya ait toplam talebi bulmaktadır.

3 ve 4. kısıtlar her ürün grubu içerisinde iki hafta arasında gerçekleşen en büyük talep değeri değişimini bulmaktadır.

5 ve 6. kısıtlar oluşturulan ürün gruplarını bulmaktadır

7. kısıt ürün gruplarını sayısal sıraya dizmektedir

8. kısıt sezgisel algoritma ile bulunan F kümesindeki ürünleri farklı ürün gruplarına yerleştirmektedir.

9. kısıt sezgisel algoritma ile bulunan G kümesindeki ürünleri aynı ürün grubuna yerleştirmektedir.

#### 4.1.3 Ürün gruplandırma modeli sonuçları

Model altı ürün grubu ve hedef fonksiyon olarak 225 değerini vermektedir. Böylelikle ürün gruplarının taleplerinin haftalık

değişimleri 225'ten küçük olacak şekilde atandığı bulunmuştur. Ürün grubu oluşturulmadığı takdirde bu değer 1347 olmaktadır.

Enküçükleme aşamasından sonra oluşturulan modelin verdiği sonuçların analizine dönülmüştür. Yaratılan yeni bir sezgisel yaklaşım aracılığıyla modelin sonucunda oluşturulan ürün gruplarıyla ürünlerin gerçekte ait olduğu gruplar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda 341 üründen 163'ünün doğru grupta yer aldığı görülmüştür. Buna göre modelin %47.80'in üzerinde bir işlevselliğe sahip olduğuna varılmıştır. Bununla beraber modelin başındaki sezgisel algoritmalar sayesinde gruplandırma modeli nihai karar sistemi haline gelmiştir. Bu da modelin, uygulanacak şirketlerin uzmanlığından da yararlanarak daha yüksek işlevselliklerde de çalışabilmesine olanak sağlamıştır.

#### **4.2 Ürün Talep Tahmini**

Projenin ikinci aşaması olan regresyon analizi ve modellemesi bölümünde, oluşturulan talep grupları ve hesaplanan pazar payları baz alınarak dört farklı regresyon modeli denenmiştir. Her bir modelin performansları karşılaştırılarak verilere en uygun modelin bulunması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda mağaza etkisi gözardı edilerek sadece mağaza 10'un verileri kullanılmıştır. 10. mağazanın pilot olarak seçilme nedeni en fazla veriye ve en geniş ürün çeşidine sahip olmasıdır. Ürün Talep Tahmini modellemesine başlamadan önce firma verileri üzerinde analizler yapılmış, doğru sonuçlara erişmek için bir takım varsayımlar yapılmıştır.

##### **4.2.1 Varsayımlar**

Öncelikli olarak her bir ürünün haftalık satış miktarının önceki ve sonraki haftalardan bağımsız olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım haftalık satış miktarı ve fiyatlarının her bir ürün için bağımlı değişken olarak alınabilmesine olanak sağlamıştır. İkinci olarak hiçbir üründe stok sıkıntısına bağlı olarak talep kaybının yaşanmadığı, bu nedenle ürünlerin satış miktarlarının talebi doğrudan yansıttığı varsayılmıştır. Son olarak ürün tanıtım kampanyalarının müşterinin alım alışkanlıkları üzerindeki etkisi yok sayılmıştır. Ürün talep tahmin modellemesi ve sonuç analizleri bu varsayımlar doğrultusunda yapılmıştır.

##### **4.2.2 Ürün talep tahmin modeli**

Regresyon modelinde tahmin değişkenleri olarak belirlenen değişkenler aşağıdaki gibidir:

- Ürün Fiyatı: Belirlenen haftada ürünün 10. marketteki birim satış fiyatı
- Ürün Grubu: Ürün Gruplandırma Modelinin çıktısı, o ürünün hangi gruba dahil olduğunu gösteren katsayı
- Ay: Ürünün yılın hangi ayında satıldığı
- Pazar Payı: Ürünün, o haftaki toplam gelirinin, ürün grubunun toplam gelirindeki payı

- CanniEff: Ürünün, ardışık haftalarda başka ürünlerin satışından etkilenip etkilenmediğini gösteren değişken

Pazar Payı ve CanniEff değişkenleri, şirket tarafından verilen veriler kullanılarak tanımlanan ve model performansını artırmak için sonradan eklenen değişkenlerdir.

Yukarıda belirtilen değişkenler kullanılarak, bağımlı değişken olan ürün talepleri tahmin edilmiştir. Model performansları değerlendirilen regresyon modelleri: Lineer-Log, Log-Lineer, Log-Log ve Multinom Lojistik Regresyon'dur. Lineer-Log Regresyon modeli, denenen modeller arasında en iyi model uyumunu vermiştir. Ürün birim fiyatlarına logaritmik dönüşüm uygulanmış ve lineer regresyona dahil edilmiştir.

```
Call:
lm(formula = units ~ lnprice + Month + demandgroup + marketshare +
    CanniEff, data = traingroup)
```

Şekil.1. R programlama dilinde yazılan Lineer-Log Regresyon modeli denklemi

Lineer-Log Modeli çıktı değerleri olarak artık standart hata değeri 16.8, R-kare değeri ise 0.4409 olarak bulunmuştur.

Bir başka model olarak Multinom Lojistik Regresyon modeli denenmiştir. Bu modeli uygulayabilmek için öncelikle talep değerlerine logaritmik dönüşüm uygulanmış ve talep altı kategoriye ayrılmıştır. Cat.Units adı verilen bu değişken, regresyon modeliyle tahminlemeye dahil edilmiştir. Sırasıyla, sadece ürün fiyatına, sadece pazar payına ve hem ürün fiyatı hem pazar payına uygulanan logaritmik dönüşümlerle hangi modelin daha iyi performans gösterdiği kontrol edilmiştir.

```
Call:
multinom(formula = cat.units ~ lnprice + demandgroup + marketshare +
    CanniEff, data = traingroup)

Residual Deviance: 23743.37
AIC: 23833.37
```

```
Call:
multinom(formula = cat.units ~ price + demandgroup + lnmarketshare +
    CanniEff, data = traingroup)

Residual Deviance: 21188.26
AIC: 21278.26
```

```
Call:
multinom(formula = cat.units ~ lnprice + demandgroup + lnmarketshare +
    CanniEff, data = traingroup)

Residual Deviance: 18767.41
AIC: 18857.41
```

Şekil.2. Multinom Lojistik Regresyon Modeli performans karşılaştırması.

En iyi performans gösteren model son denenen model olup, Artık Sapma değeri 18767.41 ve AIC değeri 18857.41 olarak bulunmuştur.

Lineer-Log ve Multinom Lojistik Regresyon Modelleri farklı ürün gruplarındaki ürünler için aynı fiyat değişkeni katsayısına sahip olduğundan her ürün grubu için farklı Çoklu Lineer Model oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu sayede aynı ürün grubunda yer alan ürünlerden birinin talebi, o gruptaki her bir ürünün fiyatından direkt olarak etkilenmesi amaçlanmıştır.

Firma kataloğundaki 341 adet ürün için Lineer Model oluşturmak için 341 farklı Excel sayfası oluşturulması gerekmektedir. Mevcut şirket verisinden farklı modellere uygun bölümleri seçen bir algoritma geliştirilerek bu probleme çözüm sağlanmıştır.

```
textlist=""
for (cc in 2:highlength){
  textlist = paste(textlist, colnames(train.data1)[cc], sep="+")
}
textlist = paste("lm(train.data1[,i+highlength] ~ ", textlist, sep=" ")
textlist = paste(textlist, "train.data1", sep=" ")
print(textlist)

x <- vector(mode="list", length=lowlength)
for (i in 1:lowlength){
  x[[i]] = eval(parse(text=textlist))
}
print(x)
```

Şekil. 3. Excel Gruplandırma Algoritması.

Regresyon Modellemesi yapılarak her bir ürün için bağımsız değişkenlerin ürün grubundaki ürünlerin fiyatları, bağımsız değişkenin ise ürün talebi olduğu doğrusal denklemler oluşturulmuştur. Bu denklem aşağıdaki şekilde genelleştirilebilir:

$M$  = Ürün Grubundaki Ürün Sayısı

$price_n$  = Ürün Grubundaki Ürünün Fiyatı

$\beta_i$  = Fiyat değişkeni  $i$  katsayısı,  $i \in \{1..M\}$

$\beta_0$  = Doğrusal talep denkleminin  $y$  eksenini kesen noktası

Talep  $\sim \beta_0 + \sum_{n=1}^M (\beta_n * price_n)$

Her bir ürün için oluşturulan doğrusal denklemler ürünün ait olduğu ürün grubu matrisinde saklanmıştır. Firma kataloğunda altı ürün grubuna dağılan 341 adet ürün olduğu gözönüne alındığında toplamda 341 farklı doğrusal modeli saklayan altı farklı ürün grubu vektörü olduğu söylenebilmektedir. Birinci ürün grubundan ürün 28 için matris girdileri Ek 4'te yer almaktadır.

Matrise ek olarak her ürünün doğrusal denklemi için  $R^2$  (uyum iyiliği endeksi) değerleri hesaplanmıştır. Uyum iyiliği endeksi 0 ile 1 arasında değerler alabilmekte, 1 değeri en yüksek dereceli uyumu

belirtmektedir. Model sonuçlarına göre tüm ürünler için 0.001 ile 0.98 arasında uyum iyiliği endeksleri elde edilmiştir. Bu değerler modelin belirli ürünlerin talebini gerçeğe yakın olarak tahmin edebilmekte, bazı ürünler içinse gerçekten uzak tahminler yapmakta olduğunu göstermektedir.

Tahmin değerleri ve gerçek değerler arasındaki hata miktarını ölçmek için firma verisi “deneme” ve “uygulama” verileri olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. 75 haftalık ürün verisi için 54 haftalık kısım uygulama, kalan 21 haftalık kısım ise deneme verisine verilmiştir. Her bir ürün grubundaki ürünler için gerçek talep değeri ve talep tahmini değeri arasındaki farklar bulunmuş; bu farklar her bir ürün grubu için toplanıp analiz edilmiştir.

Her bir ürün grubu için ayrı olan regresyon modelinin ürün talep tahmini, 21 haftalık uygulama verisi üzerinden test edilmiştir. Her bir ürün grubu için ortalama karesel hata verileri aşağıdaki gibidir;

Ürün Grubu	Ortalama Karesel Hata
1	262
2	6399
3	294
4	48
5	52
6	27

Veriler incelendiğinde, regresyon modeli tahmin değerlerinin ürün grupları 1,3,4,5 ve 6 için hassas çalıştığı, ürün grubu 2 için ise hata payının diğer gruplara göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun temel sebebi, ürün grubu 2'nin 100'ün üzerinde farklı ürün çeşidinden oluşmasıdır. Regresyon formülünde her bir ürünün talep tahmini aynı gruptaki diğer ürünlerinin fiyatlarına bağlı bir fonksiyon olduğundan fazla ürün çeşidine sahip gruba incelerken 54 haftalık deneme verisi yüksek hassasiyete sahip bir model çıkarmak için yetersiz kalmıştır.

##### **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Talep tahmini için IBM'in uyguladığı uzun işletim süreli algoritmaları, aynı zamanda yüksek maliyetli ve uzun süreli danışmanlık servisi gerektiren ürün gruplandırması aşamalarını, daha az maliyetli ve hızlı bir şekilde çalıştıran matematiksel bir model geliştirilmiştir. Büyük firmalar için tasarlanmış aylar süren matematiksel analiz ve danışmanlık hizmeti gerektiren yüksek maliyetli servis yerine, orta-küçük çaplı firmalar için hiçbir ekstra hizmet almadan sadece arayüzü edinip şirket verilerini girerek, kısa süre içerisinde sonuç alınabilecek kullanıcı dostu bir sistem geliştirilmiştir. Böylece IBM, servis verebileceği müşteri profiline büyük çaplı, bu hizmeti maddi ve zamansal olarak karşılayabilecek firmaların yanı sıra



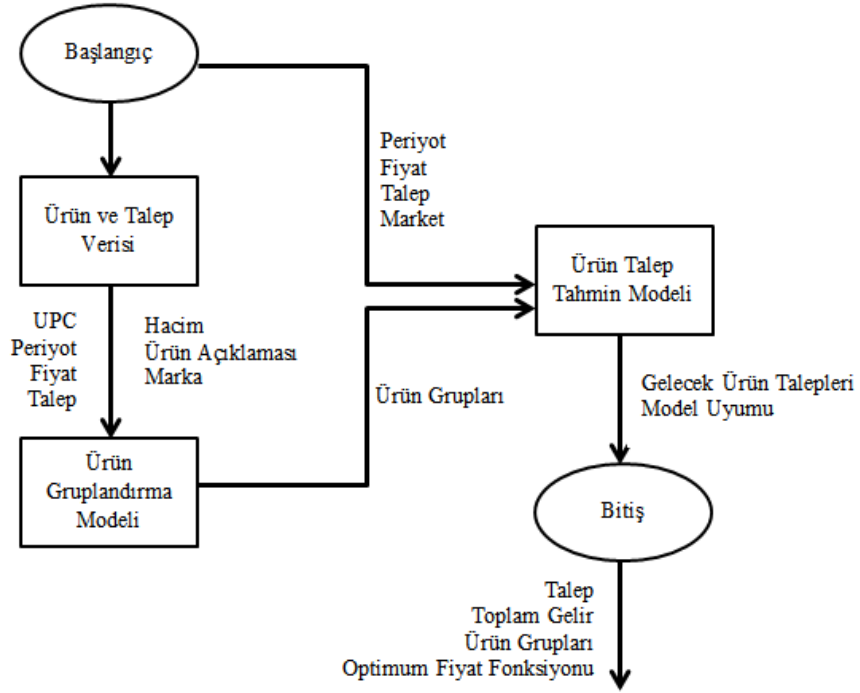
daha az hassasiyete sahip ama daha ucuz ve hızlı sonuç veren, matematiksel modeller ve algoritmalar ile destekli bir arayüz ile orta ve küçük çaptaki firmaları da katma imkanına ulaşabilecektir.

## **KAYNAKÇA**

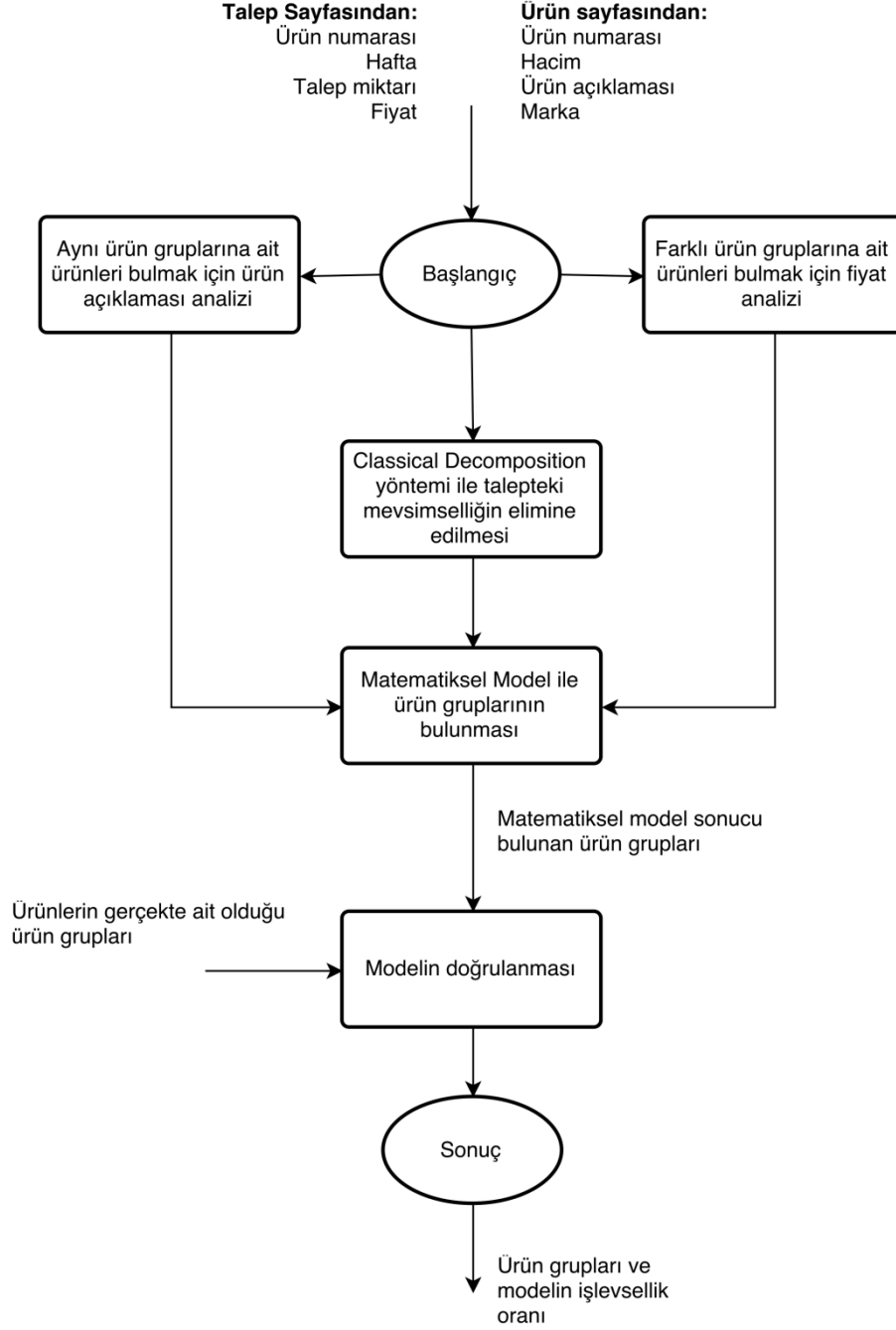
- "Elimination of Trend and Seasonality." TREND AND SEASONAL COMPONENTS (n.d.): 27-30. School of Mathematical Sciences. Queen Mary University of London. Web. <[http://www.maths.qmul.ac.uk/~bb/TS\\_Chapter2\\_2.pdf](http://www.maths.qmul.ac.uk/~bb/TS_Chapter2_2.pdf)>.
- Neal, Micheal, Krishna Venkatraman, Suzanne Valentine, Phil Delurgio, and Hau Lee. Price Optimization System. Demandtec, Inc. (San Carlos, CA, US), assignee. Patent 7523047. 21 Apr. 2009. Print.
- Birge, John, John Drogosz, and Izak Duenyas. "Setting Single-Period Optimal Capacity Levels and Prices for Substitutable Products." The International Journal of Flexible Manufacturing Systems 10 (1998): 407-430.
- Soon, Wanmei. "A Review of Multi-product Pricing Models." Applied Mathematics and Computation 217.21 (2011): 8149-165.
- Talluri, Kalyan T., and Garrett Van Ryzin. The Theory and Practice of Revenue Management. Boston, MA: Kluwer Academic, 2004. Print.
- Ferreira, Kris Johnson, Bin Hong Alex Lee, and David Simchi-Levi. "Analytics for an Online Retailer: Demand Forecasting and Price Optimization." Manufacturing & Service Operations Management M&SOM (2015): 73-85.
- Franke, Richard. "Scattered Data Interpolation: Tests of Some Method". Mathematics of Computation 38.157 (1982): 181–200.

## EKLER

### Ek 1. Sistemin Genel Akış Şeması



## EK 2. Ürün Gruplandırması Modeline ait İş Akış Şeması



## EK 3. Ürün Talep Tahmini Modeli'nde Ürün Satışı Olmayan Haftalar için Uygulanan Ürün Fiyatı İnterpolasyonu



# Servis Gelirlerinin İyileştirilmesine Yönelik Yeni Satış Noktalarının Belirlenmesi

## MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş.

### Proje Ekibi

Kübra Çalık

Umut Gölbaşı

Utku Karaca

Özge Öztürk

Taha Furkan Şekerci

Nurdan Tatar

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Özen Ergezer,

MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş., Yedek Parça Departmanı

Okan Pınar

Servis Ağı ve İş Geliştirme Departmanı

MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş., Satış Sonrası Hizmetler

### Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Özlem Çavuş İyigün

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş.'ye bağlı servislerde son yıllarda çeşitli sebeplerle servis noktalarına giren araç sayısında önemli bir düşüş gözlemlenmekte ve buna bağlı olarak servis gelirleri düşmektedir. Bu çalışmada araç giriş sayısını etkileyen etkenler belirlenerek bu etkenlere bağlı olarak araç giriş sayısını tahmin eden bir regresyon modeli kurulmuştur. Ayrıca, servis kapasitelerini ve servis-şehir arası mesafeyi göz önünde bulunduran matematiksel modeller kurularak Türkiye'de bölgeler oluşturulmuştur. Sektörün pazar payı ve MAN araçlarının pazar payları bu bölgelere göre incelenip maliyet analizleri de göz önünde bulundurularak servisleri besleyecek yeni satış noktası önerilmiştir. Böylece servis gelirlerinin artırılması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Satış sonrası hizmetler, Regresyon analizi, Kümeleme, Tesis konumlama, Öngörüleme

### 1.Şirket Tanıtımı

1758 yılında demir-çelik fabrikası olarak Almanya’da kurulan MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş., ilk otobüsünü 1915 yılında üreterek otomotiv sektörüne adım attı. 1966 yılında otobüs üretimi Türkiye’ye taşındı ve Ankara’daki fabrika Almanya dışında üretim yapan ilk üretim merkezi unvanını kazandı. 2014 yılında Neoplan marka otobüslerinin üretiminin de Ankara’ya taşınması ile fabrika, firmanın en büyük otobüs üretim merkezi haline geldi. Bunun yanı sıra firma Türkiye’de kamyon üretimi yapmasa da, ithal edilen kamyonların da satışını gerçekleştirmektedir. MAN şu anda otobüs ve kamyon pazarının yaklaşık 11% oranındaki kısmını elinde bulundurmaktadır. 1800 çalışanı, yıllık yaklaşık 2000 araçlık üretim kapasitesi ve yaklaşık 450 milyon Euro cirosu ile MAN, Türkiye sanayisine ve ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Ankara’da bulunan MAN bünyesinde; üretimi yürüten MAN Türkiye A.Ş, satış ve satış sonrası hizmetlerle ilgilenen MAN Kamyon ve Otobüs Ticaret A.Ş. ve satışı gerçekleştirilen araçların finansmanını yapan MAN Finansal Hizmetler A.Ş. olarak 3 farklı şirket bulunmaktadır. Bu projede, MAN Kamyon ve Otobüs Ticaret A.Ş.’nin faaliyetleri ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmüştür.

## **2.Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Servis Gelirlerini Artırmak Amacıyla Yeni Satış Noktası Önerisi projesi servislere gelen araç giriş sayısında azalmaya sebep olan etkenleri ve etki oranlarını belirlemeye, bu etkenlere bağlı olarak araç giriş sayısı tahmin aracı oluşturmaya ve araç giriş sayısını artırmak için yeni servis noktası önerisinde bulunmaya odaklanmıştır.

Şirket Türkiye genelinde birçok farklı şehirde otobüs ve kamyon satış noktaları ve servis noktaları ile hizmet vermektedir. Servis gelirlerini arttırmak amacıyla yeni servis noktası önerisinde bulunabilmek için proje kapsamında; servis kapasiteleri, şehirlere kayıtlı araç sayıları ve şehirlerin mevcut servis noktalarına uzaklıklarına bağlı olarak 81 ili bölgelere ayırmaya da odaklanılmıştır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

MAN Otobüs ve Kamyon Ticaret A.Ş. satış ve satış sonrası işlemlerini Satış ve Satış Sonrası Hizmetleri Departmanı aracılığıyla yürütmektedir. Şirketin mevcut sisteminde satış hizmetlerini Türkiye genelinde 9 satış noktası aracılığıyla sağlarken satış sonrası hizmetlerini 27 ilde bulunan 31 farklı servis noktası ile sağlamaktadır. Satış noktalarından 3 tanesi şirketin kendi satış noktası iken diğerleri yapılan sözleşmeler sonucu iş ortaklığı ile kurulmuş satış noktalarıdır.

Servis noktaları; satış noktası bünyesindeki servisler, özel müşteriler için çalışma alanına kurulan servisler ve bakım, onarım servisleri olarak 3 tipte tanımlanmaktadır. Mevcut sistemde her satış noktasında bir de servis noktası bulunmaktadır. Talebin yoğun olduğu iller olan Ankara’da 3, İstanbul’da ve İzmir’de 2; diğer 24 ilde ise 1’er

servis noktası bulunmaktadır. İnşaat şirketleri, büyükşehir belediyeleri gibi uzun süreli özel müşteriler için kurulan özel servisler de bulunmaktadır.

Servis noktalarında, satışı gerçekleştirilmiş olan otobüs ve kamyonların bakım onarım ve geliştirme işlemlerinin yan sıra yedek parçaların dışarıya satışını da gerçekleştirerek gelir elde edilmektedir. Bu işlemler garanti kapsamı dâhilinde olan ve garanti kapsamında olmayan olarak iki şekilde hesaplanmaktadır. Garanti kapsamı satışın gerçekleşme tarihinden itibaren aracın tamamı için 1 yıl ve yürüyen aksamı için ek olarak 1 yıl daha olarak belirlenmiştir. Bunun yanında, servislerde takılan her yedek parçanın da 1 yıl garantisi bulunmaktadır. Müşteriler isterlerse garanti kapsamını belirli bir ücret karşılığında uzatabilmektedirler. Servislerde yapılan işlemler mekanik işlemler, modifikasyonlar, bakım ve araç gövdesiyle ilgili işlemler olarak 4 ana başlıkta ayrılır. Bu işlemlerin ücretleri hesaplanırken iş gücünün yanı sıra takılan parçaların orijinal veya yan sanayi parçaları olması önemli rol oynamaktadır.

Şirket, 31 farklı serviste yapılan bütün işlemlere kolayca ulaşabilmek için MAN Mantras adlı veri tabanını geliştirmiştir. Bu veri tabanı sistemi sayesinde bütün servis noktalarında yapılan işlemler tek bir veri havuzunda toplanabilmektedir. Mantras sistemi sayesinde araçların trafiğe çıkış tarihi, kayıtlı oldukları şehir, servise geldiği bayi, garanti kapsamındaki parçaları, servise geliş nedeni, araca yapılan işlemler ve aracın tüm bilgilerine ulaşılabilen özgün bir bilgi olan şasi numarası gibi pek çok veriye ulaşılabilir.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

Son yıllarda çeşitli sebeplerle servis noktalarına giren araç sayısında önemli bir düşüş gözlemlenmekte ve buna bağlı olarak servis gelirleri düşmektedir. Bu durum servislerin ekonomik anlamda karlılığını sürdürememesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda şirket gelir düşüşü yaşayan servislerin bulunduğu şehirlerden çekilmemek için bu servislere fazladan destekte bulunmak zorunda kalmaktadır. Ayrıca bu servislere orijinal parça satışının MAN Kamyon ve Otobüs Ticaret A.Ş tarafından sağlanması ve bunların satışından şirketin de gelir etmesi sebebiyle araç girişindeki düşüş şirket geliri için de düşüşe yol açmaktadır.

Şirketin bu konudan sorumlu olan Satış ve Satış Sonrası Hizmetler Departmanı'nda servislere gelen araç sayısındaki düşüşe sebep olan etkenleri ve bu etkenlerin etki oranını tahmin eden ve buna bağlı olarak gelecek dönemler için araç giriş sayısı tahmini yapan herhangi bir sistem kullanılmadığı belirlenmiştir. Bu sebeple, şirket gelecek stratejilerini belirlerken tam anlamıyla verimli davranmamaktadır. Ayrıca şirketin hangi servisin hangi illere yetebildiğini belirleme konusunda kullandıkları bir şema veya harita

olmadığı belirlenmiştir. Bunun da servis ve satış noktaları ile ilgili kararlar alınırken belirli analizlerin yapılamamasına neden olacağı öngörülmüştür.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikâyetler**

- Servise giren araç sayısında ve doğrudan servis gelirlerinde düşüş
- Servise giren araç sayısındaki düşüğe neden olan etkenlerin ve etkilerinin belirlenememesi ve bunun sonucunda stratejik planlamada yapılan eksiklikler
- Servislere girecek araç sayısını öngörebilmek için kullanılacak bir talep tahmin aracının yokluğu
- Hangi servisin hangi illere yetebildiğini belirleme konusunda kullandıkları bir şema veya harita olmaması ve bu nedenle yeni satış noktasının nereye açılacağına belirlenememesi

#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Sistemdeki ana sorun, servislere gelen araç sayısını etkileyen etkenlerin belirlenememesi ve bu yüzden geleceğe yönelik araç giriş sayısı tahmini yapılamamasıdır. Araç giriş sayısını etkileyen etkenlerin belirlenmesi için yapılan literatür araştırmasında Velickovic (2015)'in doğrusal ilişileşim (korelasyon) analizinden faydalanılmıştır. Bu analiz sayesinde düşüş ve etken arasında doğrusal bir ilişileşim olup olmadığı saptanabilmiştir ancak düşüşü doğrusal olarak etkilemeyen etkenler için başka veri çözümlemesi yolları araştırılmış ve Jang ve Anderson-Cook (2014)'un "Havai Fişek Çizimi" yönteminden yararlanılmıştır. Bu çözümlemelerden yola çıkarak Li ve Sarkar'ın (2014) da çalışmalarında gözlemlediği gibi regresyon modelini veri çözümlemelerinde kullanmanın yanı sıra çıkarımlar yapmak için de kullanmanın projemiz için uygun olacağı öngörülmüştür.

Projemizin ikinci adımı olan servislerin yetebildiği şehirleri belirleyememe sorunu için illeri kümeleme aşamasında ise Drezner ve Hamacher (2002)'in "Tesis Konumlama" kitabındaki tesis konumlama ve atama sorunu için uygulamalar ve teoriler incelenmiştir. Ancak bizim problemimizde tesisler yani servisler sabit kalmakta ve onların şehirlere atanması gerekmektedir. Bu nedenle sorunumuz için oluşturacağımız matematiksel model literatürde özel olarak tanımlanmış değildir. Bölgeleme modelinde oluşturulan matematiksel model için hem tesis konumlama hem de atama problemlerinin temel alınması uygun görülmüştür.

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Bu proje, talep öngörüleme aracı oluşturma, bölgelere ayırma ve yeni satış noktası belirleme adı altında üç ana kola ayrılarak yürütülmüştür. Bölgelere ayırma aşamasının sonucunda, yeni bir satış noktası açmak için en verimli olan bölge belirlenmiştir.



#### **4.1 Regresyon ile araç girişi sayısı tahmini**

Projenin bu aşamasında, servislere gelen araç sayısı ile araç giriş sayısını etkileyen etkenler arasındaki ilişkiyi kuran bir regresyon modeli geliştirilmiştir. Bu modeli kurmak için öncelikle şirketten alınan veriler incelenerek regresyon modelinin değişkenleri belirlenmiştir. Regresyon modelini kurmak için MS Excel araçları ve R programı kullanılmıştır.

##### **4.1.1 Değişkenlerin belirlenmesi**

Bu değişkenlerin belirlenmesi şirketin önerileri, TÜİK verileri ve danışman önerileri ışığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan korelasyon incelemeleri sonucunda, aşağıdaki değişkenlerin modelde kullanılmasına karar verilmiştir.

- EURO/TRY kuru
- Şehirlere kayıtlı araç parkı sayısı
- Yaş gruplarına göre trafikte olan araç sayıları (0-2 yaş, 2-5 yaş, 5+ yaş)
- İnşaat güven endeksi
- Karayoluyla yapılan ihracat miktarı
- Bir sonraki seçime olan ay uzaklığı

##### **4.1.2 Regresyon modelinin oluşturulması**

MAN yetkili servislerini kullanan başlıca araç tipleri otobüs ve kamyonlardır. Bu sebeple, yukarıda belirtilen değişkenler kullanılarak iki farklı regresyon modeli oluşturulmuştur. EURO/TRY kuru, şehirlere kayıtlı araç parkı sayısı, yaş gruplarına göre trafikte olan araç sayıları (0-2 yaş, 2-5 yaş, 5+ yaş) ve bir sonraki seçime olan ay uzaklığı iki model için de ortak değişkenlerdir. Ayrıca, kamyonların yürüttüğü faaliyetlerle ilintili olarak inşaat güven endeksi ve karayoluyla yapılan ihracat miktarı değişkenleri de kamyon tipi araç giriş sayısını tahmin etmek için kurulan regresyon modeline dâhil edilmiştir. Yapılan araştırma ve geliştirmeler sonucunda, doğrusal regresyon modellerinin yeterince iyi olmadığına karar verilmiştir. Bu nedenle, daha sonraki aşamalarda doğrusal olmayan regresyon modelleri kurularak, değişkenler arasındaki ilgileşimler de bu modellere dâhil edilmiştir.

#### **4.2 Bölgeleme**

MAN satış sonrası hizmetleri 27 ilde 30 farklı servis noktası ile sağlanmaktadır. Servise gelen araç bilgileri incelendiğinde, her servisin birçok şehre kayıtlı araca hizmet verdiği görülmüştür. Servis noktalarının genellikle hizmet verdiği şehirlerin tespit edilmesi ve bölgelerin oluşturulması amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir. Kurulan matematiksel model ile ilgili detaylı bilgi “*Servislerin Kümelenmesi*” alt başlığı altında yer almaktadır. Elde edilen servis bölgelerinin hangi satış noktasından beslendiğini anlamak amacıyla ikinci bir matematiksel model oluşturulmuştur. İkinci matematiksel modelin nasıl kurulduğuna dair ayrıntılı bilgiler “*Satış Noktalarının Kümelenmesi*” alt başlığı altında yer almaktadır.

Geliştirilen bu iki model sonucunda amaç, araç parkının en fazla, maliyetin en az olduğu noktada satış noktası önermektir.

#### **4.2.1 Servislerin kümelenmesi**

Servis noktası bulunmayan şehirlerin, hangi mevcut servis noktasına bağlı olduğunu görmek amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde, oluşturulan her bölgede bir servis noktasının bulunması zorunludur. Eğer bir şehirde servis noktası var ise model o şehri otomatik olarak o şehirde bulunan servise atamaktadır. Bir şehir ancak bir servis noktasına bağlı olabilir. Her bir servis noktasının günlük kapasitesi ve bu servis noktasına bağlı olan şehirlerin araç parkları (toplam araç sayısı) ve araçların servise giriş sıklığı göz önünde bulundurulmuştur. Model, kapasiteye uygun bir şekilde servislere şehir ataması yaparken aynı zamanda atanan şehirlerle servis noktaları arasındaki en fazla mesafeyi enazlamayı amaçlar. Model sonucunda 81 il, 30 bölgeye düşürülmüştür.

#### **4.2.2 Satış noktalarının kümelenmesi**

Servis noktalarının kümelenmesi sonucu, ilk matematiksel modelin sonucunda 30 bölge elde edilmiştir. Şu an MAN 9 satış noktası ile hizmet vermektedir, bu sayının zaman içinde 13'e yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda olası satış noktalarını belirlemek amacıyla yeni bir matematiksel model kurulmuştur. Bu modelde, amaç satış noktasına bağlı olan bölgedeki araç parkını ençoklamak, bunu yaparken satış noktası açma maliyetini ve satış noktası ile şehirlerarasındaki mesafeyi enazlamaktır. Oluşturulan 30 bölge, bu doğrultuda 13 bölgeye düşürülmüştür. Her bölgede birden fazla servis noktası bulunabilir ancak sadece bir satış noktası bulunmaktadır.

#### **4.2.3. Yeni satış noktası seçimi**

Yapılan bölgeleme sonucunda ortaya çıkan 13 bölge içerisinde satış noktası olmayan 5 bölge daha ayrıntılı bir analiz yapılmak üzere seçilmiştir. Adana, Samsun, Afyon, Kayseri ve Elazığ bölgeleri yeni satış noktası için aday olarak belirlenmiştir. Son 5 yılda yıllık kaydı yapılan yeni araç sayıları ve buna bağlı olarak pazar payları TÜİK'ten alınan veriler ışığında çıkarılmıştır. Buna göre yıllık kaydı yapılan yeni araç sayıları (MAN / Toplam) aşağıdaki tablodaki gibidir;

	2011	2012	2013	2014	2015
Adana	289 / 1026 (%28)	226 / 1115 (%20)	123 / 865 (%14)	84 / 612 (%13)	68 / 1063 (%6)

Afyon	315 / 1999 (%15)	160 / 1990 (%8)	82 / 1445 (%5)	107 / 910 (%11)	110 / 1012 (%11)
Kayseri	114 / 363 (%31)	49 / 288 (%17)	29 / 253 (%11)	32 / 203 (%15)	52 / 275 (%18)
Elazığ	72 / 261 (%27)	53 / 219 (%24)	30 / 153 (%19)	26 / 136 (%19)	60 / 165 (%36)
Samsun	84 / 372 (%22)	55 / 409 (%13)	33 / 365 (%9)	66 / 263 (%25)	27 / 277 (%9)

Tablo1 : Yıllık kaydı yapılan yeni araç sayıları. (MAN/Toplam, TUİK )

Yukarıdaki tabloya ve şirketin hedeflediği %9'luk pazar payına bakılarak aday bölge sayısı ikiye indirilmiştir: Adana ve Samsun. Adana ve Samsun illeri için geçmiş verilere bakılarak öngörüleme yapılmıştır. Öngörüleme sonucunda Adana bölgesi için satış noktası açılmaması durumunda 2016 ve 2017 yıllarında pazar payı %4 ve 2018 yılı için %3 olarak tahmin edilmiştir. Satış noktası açılırsa da şirketin hedefi olan %9'luk pazar payına ulaşılacağı ve Adana marketinin her yıl %8 oranı ile büyüyeceği varsayılmıştır. Bunun sonucunda, Adana'da satış noktası açılması, maliyeti de dâhil olarak şirkete ekstra olarak 16.568.751 Avro ciro sağlayacağı öngörülmüştür. Aynı çalışma Samsun bölgesi için yapıldığında ise, satış noktası açılırsa market payının %10 seviyelerinden %15 seviyelerine çıkacağı ve Samsun marketinin de %8 oranında büyüyeceği tahmin edildi. Bu varsayımlar sonucu Samsun ilinde yeni satış noktası şirkete ekstra olarak 2.928.118 Avro ciro katkısı sağlayacağı öngörülmüştür. Ciro hesaplamaları için bir araç fiyatı ortalama 75.000 Avro olarak alınmıştır.

Bu sonuçlar doğrultusunda, şirkete Adana bölgesinde yeni bir satış noktası açması tavsiye edilmiştir.

##### **5. Genel Değerlendirme ve Sonuç**

Proje sürecinde iki farklı ana yöntem oluşturularak mevcut problemlerin çözülmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemlerin ilkinde, servislere gelen araç sayısını etkileyen etkenleri bulmak ve gelecek dönemler için araç giriş sayısı tahmini yapabilmek için regresyon modeli oluşturulmuştur. Diğer yöntemde ise, servislere gelen araç giriş sayısını artırmak adına açılacak yeni satış noktasının konumunun belirlenmesi için matematiksel modeller tasarlanmıştır.

Oluşturulan regresyon modeli sayesinde, servislere giriş yapan kamyon ve otobüs sayısını etkileyen etkenler ayrı ayrı belirlenmiş olup, ayrıca bu etkenlerin araç giriş sayısına yüzdelik olarak etkisi de elde edilmiştir. Daha sonra, şirketin isteği doğrultusunda gelecek yıllar için

araç giriş sayısı tahmini yapabilmek için oluşturulacak olan tahmin aracı grafiksel kullanıcı arabirimi kullanılarak tasarlanmıştır. Oluşturulan bu tahmin aracı sayesinde, otobüs ve kamyonlar için oluşturulan ayrı regresyon modellerinde bulunan etkenler kullanıcı tarafından girilerek, gelecek dönemlerde servislere girecek araç giriş sayısı tahmini yapılabilmektedir. Bununla birlikte, tahmin aracının tabanında çalışan regresyon modelinin dinamik olması da şirketin herhangi bir düzenlemeye ihtiyaç duymadan tahmin aracını uzun süreli kullanmasına olanak sağlayacaktır. Yani, kullanıcı yeni verileri ekledikçe, regresyon modeli tekrardan kurularak modelin güncel kalması sağlanacaktır.

Oluşturulan matematiksel modeller sayesinde, başlangıçta 81 ili mevcut 30 servise en uygun şekilde dağıtarak 30 servis bölgesi oluşturulmuş, daha sonra 30 servis bölgesini maksimum verimle besleyebilecek satış noktası sayısı 13 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, mevcut bulunan 9 satış noktasına ek olarak 4 yeni satış noktasının konumları Adana, Elazığ, Kayseri ve Samsun olarak elde edilmiştir. Daha sonra gelecek 3 yıl için yapılan karşılaştırmalı gelir ve maliyet analizleri sayesinde en çok kazancı sağlayacak konumun Adana olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Proje sonucunda oluşturulan modeller ve tahmin aracı şirket tarafından kabul edilmiştir. Bununla birlikte, matematiksel modellerin sonucunda çıkan konumlara açılacak satış noktası sayesinde şirketin pazar payının artacağı ve bu sayede servislere giren araç sayısındaki artıştan dolayı servis gelirlerinin artacağı öngörülmektedir. Ayrıca, tasarlanan tahmin aracının şirketin gelecek stratejilerini belirleme noktasında önemli katkısı olacağı düşünülmektedir. Ancak, modeller şirket tarafından henüz uygulanmadığından herhangi bir sonuç elde edilmemiştir.

## KAYNAKÇA

- Drezner, Z., Hamacher, H. 2002. "Facilitylocation". Springer, Berlin.
- Velickovic, V. M. 2015. "What every one should know about statistical correlation: a common analytical error hinders biomedical research and misleads the public" *AmericanScientist*, 103(1), 26–29.
- Li, X.-B., S, Sumit. 2014. "Digression and value concatenation to enable privacy-preserving regression" *MIS Quarterly*, 38(3), 679–698.
- Jang, D.-H., Anderson-Cook, C. M. 2014. "Fireworkplot as a graphicaexploratory data analysis tool for evaluating the impact of outliers in data exploration and regression" *Quality and Reliability Engineering International*, 30(8), 1409–1425.



# Ara Dağıtım Depoları İçin Yer Seçimi ve Mevcut Depoların Yer Analizi

## MUDO Satış Mağazaları A.Ş.

### Proje Ekibi

Ahmet Eren Burunca  
Ece Hatipoğlu  
Elif Deniz Tiryaki  
Fatma Melike Kopan  
Gökçe Kömeç

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Can Özcan

MUDO Satış Mağazaları A.Ş., Lojistik Planlama Uzmanı  
İbrahim Yücer  
MUDO Satış Mağazaları A.Ş., Depo Müdürü

### Akademik Danışman

Kemal Göler

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

### ÖZET

Mudo Satış Mağazaları A.Ş.'nin müşteriye ürün teslim sürecinde ortaya çıkan uzun teslim süreleri ve yüksek maliyetlerin en aza indirgenmesi açısından ara dağıtım depolarının yerlerinin analizine ve yeni depoların konumlandırılmasına ihtiyaç olduğu gözlenmiştir. Bu projenin amacı, mevcut depoların yerlerinin incelenmesi ve eğer gerekli ise yeni depoların konumlandırılması. Ara dağıtım, depolarının açma, kapatma, işletme maliyetlerini ve şehirler arası kilometre başına düşen maliyeti göz önünde bulundurarak, maliyeti en aza indirgeyen bir model oluşturulmuştur. Model Excel OpenSolver kullanılarak çözülmüş ve Visual Basic for Applications (VBA) ile bir arayüz hazırlanmıştır. Mudo Satış Mağazaları A.Ş.'nin kolaylıkla ara dağıtım depolarının açma, kapatma ve işletme maliyetlerini gerektiğinde güncelleyerek uygun ara depo konumlarına karar vermesini sağlayan bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ara dağıtım deposu, lojistik süreçler, teslim süresi, karar destek sistemi

### 1.Şirket Tanıtımı

Mudo Satış Mağazaları A.Ş. 1964 yılından beri hazır giyim ve dekorasyon perakendeciliğinde lider konumda hizmet vermektedir.

Mudo Satış Mağazaları A.Ş., Mudo Concept ve Mudo Hazır Giyim olmak üzere iki ayrı ana dalda hizmet vermektedir. Genel hatlarıyla Hazır giyim, Mudo Collection, FTS 64 ve Mudo Aksesuar kategorilerinden oluşmaktadır. Mudo Concept ise mobilya, aydınlatma, dekorasyon, mutfak ve banyo gereçleri satışı üzerine çalışmaktadır. Bu proje, Mudo Concept'in dağıtım ağında kullandığı ara depolarının konumlandırılması ile ilgilidir. Mudo Concept, müşterilerini 3800'den fazla ürün çeşidiyle buluşturmakta ve Türkiye'de birçok şehirde hizmet vermektedir.

## **2.Mevcut Sistem Analizi ve Proje Kapsamı**

### **2.1 Mevcut sistem analizi**

Mudo Concept yaklaşık olarak ürünlerinin yüzde 90'ını yurt dışından ithal etmektedir, geri kalan yüzde 10'luk kısmı ise Türkiye'deki tedarikçilerden sağlamaktadır. İthal edilen ürünler, gümrük işlemleri tamamlandığında Tuzla Concept deposuna gönderilmektedir. Satılan ürünler, Tuzla Concept deposundan müşteri sevkiyat birimine (MSB) gönderilmektedir. MSB'de iki aşamalı olarak yapılan kalite kontrolünden geçen ürünler, ürün takibini kolaylaştırmak amacıyla etiketlenmektedir. Etiketin türüne göre ürünler, doğrudan müşteriye ya da ilgili Mudo Concept Mağazalarına gönderilmektedir.

Bu projede ele alınan rota, iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm ürünlerin ana depodan ara dağıtım depolarına, ikinci bölüm ise ürünlerin ara dağıtım depolarından müşteriye taşınmasını ele almaktadır. Ara dağıtım depolarına ulaşan ürünlerin, Tuzla Concept deposundaki kadar kapsamlı olmasa da kalite kontrolü yapılmaktadır. Bu süreç hasarlı ürünlerin müşteriye teslim ihtimalini en aza indirdiği için, hem müşteri memnuniyetini, hem de ürün kalitesini arttırmaktadır. Hasarlı ürünlerin müşteriye teslim edilmemesi, iade durumdan kaynaklanacak olan ulaşım maliyetini düşürmektedir. Ara depolarda ürünlerin teslim için birikmesi ve yakın mesafedeki müşterilere teslim edilecek ürünlerin toplu olarak taşınması ulaşım maliyetini azaltan bir diğer uygulamadır. Mudo Concept'in Bodrum, Ankara, Mersin, İzmir ve Antalya'da yer alan beş ara dağıtım deposu bulunmaktadır. Ana depodan ara dağıtım depolarına teslimat kamyonlar tarafından, ara dağıtım depolarından müşteri noktalarına ise kamyonetler vasıtasıyla yapılmaktadır.

### **2.2 Proje kapsamı**

Bu proje, yeni ara dağıtım depoları için yer seçimini ve mevcut depoların yerlerinin analizini kapsamaktadır. Mudo Concept'in, mevcut depoların yerlerinden kaynaklanan uzun teslimat süresi ve yüksek nakliye maliyeti olmak üzere iki ana problemi bulunmaktadır. Yüksek nakliye maliyeti, araçların ara depo ve ana depo arasında fazla yol kat etmesinden dolayı meydana çıkmaktadır. Araçların fazla yol kat etmesi de ulaşım süresinin artmasına yol açmaktadır. Bir diğer deyişle, yüksek

nakliye maliyeti ve uzun teslimat süresi arasında pozitif korelasyon bulunmaktadır. Ara depo yerlerinin en iyi şekilde seçilmesi, hem yüksek maliyet problemini çözecek hem de uzun teslimat sürelerini kısaltacaktır.

Bu projenin amacı, ara depoların açma, kapatma, işletme maliyetlerini ve ana depo ile ara depo arası nakliye maliyetini en aza indirmektir. Mevcut kısıtlar ise kamyonların taşıma kapasitesi, ana depodan ara depoya ve ara depodan müşterilere taşınacak olan ürün miktarının eşit olması ve müşteri talep miktarının sağlanmasıdır. Varsayımlar ise ara dağıtım depolarının kapasite kısıntısının olmaması, kamyonların ortalama hızlarının 90km/saat ve kamyonetlerin ortalama hızlarının 70km/saat olması, kamyonların sefer başı 9 sipariş ve kamyonetlerin 5 sipariş taşınması, kamyonların kilometre başına düşen nakliye maliyetinin 0.085tl olması ve kamyonetlerin kilometre başına düşen nakliye maliyetinin 0.0261tl olmasıdır.

### **3. Sunulan Çözüm Önerileri**

#### **3.1 Modelin geliştirilmesi**

Modeli oluşturmaya başlamadan önce, farklı bakış açıları kazanılması ve modelin oluşturulmasına yardımcı olması için benzer konular araştırıldı. İlk olarak, iki aşamalı dağıtım-lokasyon problemleri incelenerek ara depoların fonksiyonu öğrenildi. (Hindi & Basta, 1994) Daha sonra, ara depo dağıtım sistemleri için geliştirilen model incelendi. (Geoffrion & Graves, 1974) İncelenen modellerde benzer noktaların yanı sıra pek çok farklılık olduğu görüldü. Örneğin, bu projede ara depoların sınırsız kapasiteye sahip oldukları varsayıldı. Fakat Geoffrion ve Graves Modeli'nin kapasite sınırı bulunmaktadır. Sonrasında yer seçimi-ortalama modeli hakkında bilgi edinmek ve klasik yer seçimi modeli ile arasındaki fark gözlemlenmiştir. (Min, H., Jayaraman, V., & Srivastava, R., 1997) Sonrasında, kapsama ölçütünün çalışma prensibini anlamak için üzerinde çalışıldı. Türkiye sınırları içerisinde bulunan en uzak iki nokta arasındaki ulaşım süresi en fazla bir gün olduğu için kapsama ölçütünün modele eklenmemesi kararlaştırıldı. (Tan, Pınar., & Kara, Bahar, 2005). Ayrıca, dağıtım probleminin mantığını anlamak için incelenen modeller sonucunda bazı kısıtlar ve terimler göz ardı edilerek, modelin iskeleti oluşturulmuştur. (Şen, A., Beyler, D., & Jain, S., 2006) Son adım olarak, Mudo'nun gereksinimleri, problem tanımı, ders notları, analiz edilen makaleler doğrultusunda model oluşturuldu.

#### **3.2 Analiz, veri toplama ve yorumlama**

Modelde kullanılacak olan verilerin bir kısmı Mudo Concept tarafından sağlandı. Şirketin sağladığı, geçtiğimiz yılın şehirlere göre sipariş sayıları ve hem kamyon hem de kamyonetlerin taşıyabileceği ortalama sipariş miktarlarının yanında, model için gerekli diğer veriler grubumuz tarafından hesaplandı. Nakliye maliyetlerini hesaplamak için



yakıt fiyatı, kamyon ve kamyonetlerin kilometre başına tükettikleri yakıt miktarları, araç kiralama maliyetleri, kurye maaş maliyetleri ve her bir araç için gerekli kurye sayısı olarak belirlenen 6 farklı değişken hesaba katıldı.

Tablo 1 ve tablo 2 kullanılan sayısal değerler ve yapılan hesaplamalar hakkında bilgi içermektedir.

	Güncel yakıt fiyatı	Km başına yakıt tüketimi	Araçtaki kurye sayısı	1 kurye için aylık maaş	Araç için 1 günlük kira maliyeti	Günlük ortalama çalışma saati	Aracın ortalama hızı	1 ay için iş günü sayısı
<b>Kamyon</b>	3.46 t/lt	0.261 lt/km	2	2450 tı	3125 tı	5 saat	90 km/sa	30 gün
<b>Kamyonet</b>	3.46 t/lt	0.085 lt/km	2	2450 tı	2800 tı	5 saat	70 km/sa	30 gün

Tablo 1 : Hesaplamalar için kullanılan sayısal veriler

Hâlihazırda açık olan ara depolardan 3 tanesinin giderleri şirket tarafından sağlandı. Geriye kalan 78 şehirde mevcut olan ya da kurulması muhtemel ara depolar için bu 3 mevcut maliyetin ortalamaları alınarak modelde girdi olarak kullanıldı. İşletme maliyetlerini hesaplamak için internetten erişilen emlak ve kira değerleri puanlaması göz önünde bulunduruldu.

Modelde kullanılacak girdileri tamamladıktan sonra tüm girdiler Xpress'te kullanılmak üzere uygun formata dönüştürüldü. Excel dosyaları içerisinde bulunan sipariş miktarları, şehirlerin birbirine olan mesafeleri ve maliyet verileri basit veri dosyalarına dönüştürülerek Xpress'in bu verileri direkt olarak çekmesi sağlandı.

	1 ayda kat edilen ortalama mesafe	Aylık kiralama ve kurye maaş maliyeti	Kilometre başına aylık kiralama ve kurye maaş maliyeti	Kilometre başına yakıt maliyeti	Kilometre başına nakliye maliyeti
<b>Kamyon</b>	90*50*3 0=13500 km	3125+2*24 50=8025tı	8025/13500= 0.5944 tı/km	3.46*0.26=0.89 96tı/km	0.5944+0. 8996= 1.4940 tı/km
<b>Kamyonet</b>	70*5*30 = 10500 km	2800+ 2*2450= 7700tı	7700/10500= 0.7333 tı/km	3.46*0.085=0.2 941 tı/km	0.7333+0. 2941= 1.0274 tı/km

Tablo 2: Km başına nakliye maliyeti hesaplaması

#### 4. Problemin Matematiksel Metot ve Çözümü

#### 4.1 Matematiksel Model

“i” müşteri yerleşkelerini simgeler.

“k” olası ara depo yerleşkelerini simgeler.

$I=1,2,3,\dots,81$

Müşteri ve olası ara depo yerleşkelerinin 81 ilden herhangi birinde olabileceği varsayılmıştır.

Modelin Parametreleri:

$D_i$  : i noktasındaki talep miktarı;

$p_k$  : MSB ve k noktasındaki ara depo arasındaki mesafe;

$l_{ki}$  : i noktasındaki müşteri ve k noktasındaki ara depo arasındaki mesafe;

$f_k$  : k noktasındaki ara deponun işletme maliyeti;

$n_k$  : k noktasında ara depo açma maliyeti;

$w_k$  : k noktasındaki ara depoyu kapatma maliyeti;

$c_1$  : Kamyonların km başına düşen sabit taşıma maliyeti;

$c_2$  : Kamyonetlerin km başına düşen sabit taşıma maliyeti;

$Q_1$ : Kamyon kapasitesi;

$Q_2$ : Kamyonet kapasitesi;

M: Çok büyük bir sayı;

$$z_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ noktasında ara depo varsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Modelin Karar Değişkenleri:

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ noktasındaki ara depo kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$t_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ noktasına ara depo açılacaksa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$u_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ noktasındaki ara depo kapatılacaksa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$r_k$  : MSB'den k noktasındaki ara depoya iletilen ürün miktarı;

$m_{ki}$  : k noktasındaki ara depodan i noktasındaki müşteriye iletilen ürün miktarı;

Matematiksel model:

Min

$$\sum_k \frac{r_k * c_1 * p_k}{Q_1} + \sum_k \sum_i \frac{m_{ki} * c_2 * l_{ki}}{Q_2} + \sum_k f_k * y_k + \sum_k n_k * t_k + \sum_k w_k * u_k \quad (1)$$

s.t.

$$\sum m_{ki} = D_i \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_i m_{ki} = r_k \quad k \in I \quad (3)$$

$$m_{ki} \leq M * y_k \quad k, i \in I \quad (4)$$

$$t_k \geq (y_k - z_k) \quad k \in I \quad (5)$$

$$u_k \geq (z_k - y_k) \quad k \in I \quad (6)$$

$$y_k, t_k, u_k \in \{0, 1\} \quad (7)$$

$$r_k, m_{ki} \geq 0 \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu (1), MSB ve ara depo, ara depo ve müşteri noktaları arasındaki nakliye maliyetini, depo açma ve işletme maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Kısıt (2), ara depolardan müşteri noktalarına gönderilen ürün miktarının talep miktarına eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (3), MSB'den ara depolara gönderilen ürün miktarının ara depolardan müşteri noktalarına gönderilen ürün miktarına eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (4), ancak kullanılacak olan ara depolardan ürün gönderilmesini ve ara depoların sınırsız kapasiteye sahip olmasını sağlamaktadır. Kısıt (5) ve (6), ara depoların kullanımı, açılması ve kapanması arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. Kısıt (7) ve (8), karar değişkenlerinin tanım kümesini belirler.

Modelin çözümünde, modern mühendislik aracı olarak Xpress yazılımı kullanılmıştır. İlgili kodlar Ek1 de bulunabilir.

#### 4.2 Modelin çözümlenmesi

Mersin, Bodrum ve Antalya'da bulunan ara depolar yüksek işletme maliyetleri nedeniyle kapatıldı. Modelin sonuçları, 1. de bulunabilir.

Output/Input	
Clear	
depots opened =0	t (50 )=0
total used depots =3	t (51 )=0
total closed depots =3	t (52 )=0
Total Cost: 2.3315e+006	t (53 )=0
t (1 )=0	t (54 )=0
t (2 )=0	t (55 )=0
	t (56 )=0
	t (57 )=0
	t (58 )=0
	t (59 )=0
	t (60 )=0
	t (61 )=0
	t (62 )=0
	t (63 )=0

Şekil 1: Modelin Sonuçları

Model, düşürülen teslimat süresi aracılığı ile müşteri memnuniyetini artırırken, iyileştirilen depo yer seçimi ile nakliye maliyetlerini düşürmüştür. Ek olarak şirkete, yeni ara depo açma, ara depo kapatma ve ara depoların yerleri konusunda, gelecekte de kullanabilecekleri bir karar destek sistemi sağlamıştır.

#### 4.3. Modelin uygulanması

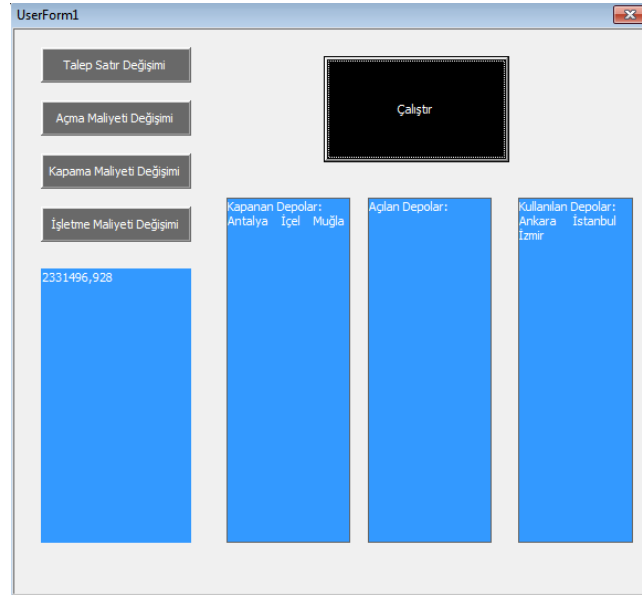
Xpress ile modelin çözülmesi ve doğrulanmasından sonra, Xpress'in lisanslı bir program olduğu göz önünde bulundurularak

şirkete fazladan bir maliyet yaratmamak için modelin şirket tarafından ücretsiz kullanılabilmesi alternatif bir program olan Excel Opensolver’da çözülmesine karar verildi. Modelin Opensolver’a uyarlanması yapıldıktan sonra sonuçlar kontrol edildi. Excel Opensolver için yazılan model ve sonuçları Ek 2 ve Ek 3 bölümünde görülebilir.

#### 4.4. Modelde VBA eklenmesi

Excel Opensolver kullanımı, şirket için mali açıdan yarar sağlamanın yanında kullanım kolaylığı olarak da şirket için daha uygun bulundu. Şirketin ellerindeki veriler değiştiğinde, bu yeni verileri kullanarak güncel sonuçlar alınabilmesi ve modelin kullanım devamlılığını sağlamak için VBA (Visual Basic for Applications) üzerinden bir arayüz oluşturuldu. VBA’da oluşturulan arayüzle, şirkete hem kullanım kolaylığı hem de zaman kazandırmak amaçlandı.

Kullanıcı, Excel açıldığında karşısına çıkan arayüz menüsünden, açma, kapama veya işletme maliyetlerini veya talep verilerini güncelleyebilir ve modelin OpenSolver’da güncel verilerle çalışmasını sağlayabilir. “Çalıştır” tuşuna basıldığında model çalışır ve VBA şekil 2’de görüldüğü üzere, açılan, kapanan ve kullanılan depoları ve modelin amaçladığı gibi en düşük olası maliyet değerini gösterir.



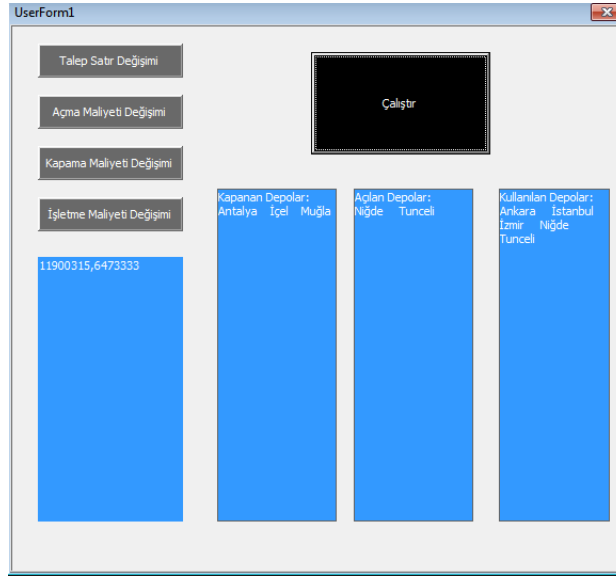
Şekil 2: VBA Kullanıcı Arayüzü

#### 4.4.1. VBA doğrulaması

VBA arayüz formunun doğruluğunu test etmek için, daha önce Xpress modelinin doğruluğunu test etmek için yapılan değişiklikler VBA modelinde de yapıldı ve aynı sonuçlar elde edildi. Örneğin, Niğde ve Tunceli talep girdileri artırıldığında şekil 3’te görüldüğü gibi model tarafından her iki şehre de depo açıldı.

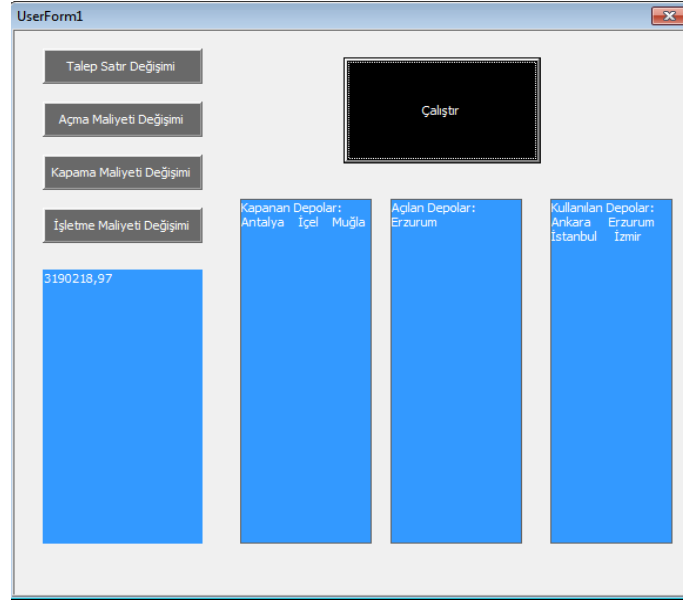
Ek olarak, Kars'ın ve Ağrı'nın talep girdileri yükseltildiğinde, model tarafından şekil 4'de görüldüğü şekilde verisi beş olmasına bakmaksızın, iki şehrin ortasında konumlanmış olan Erzurum'a depo açıldı. Sonuç olarak, VBA'den ve modelden örtüşen sonuçlar alındı ve doğru çalıştığı görülmüş oldu.

Proje kapsamında Mudo Satış Mağazaları A.Ş.'nin kolaylıkla ara dağıtım depolarının açma, kapatma ve işletme maliyetlerini gerektiğinde güncelleyerek uygun ara depo konumlarına karar vermesini sağlayan bir karar destek sistemi oluşturulmuştur



Şekil 3: VBA Kullanıcı Arayüzü

Geçmiş veriler kullanılarak model çalıştırıldığında İstanbul, Ankara ve İzmir ara depolarının kullanıldığı, İçel, Muğla ve Antalya ara depolarının kapatıldığı durumda en az maliyet elde edilmektedir.



Şekil 4: VBA Kullanıcı Arayüzü

## KAYNAKÇA

- Geoffrion, A., & Graves, G. (1974). Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition. *Management Science*, 20(5), 822-844.
- Hindi, K. S., & Basta, T.. (1994). Computationally Efficient Solution of a Multiproduct, Two-Stage Distribution-Location Problem. *The Journal of the Operational Research Society*, 45(11), 1316–1323. <http://doi.org/10.2307/2583859>
- Kuehn, Alfred A., and Michael J. Hamburger. *A Heuristic Program For Locating Warehouses*. 1st ed. Pittsburgh, Pennsylvania: N.p., 1963. Web. 13 Mar. 2016
- Şen, A., Beyer, D., & Jain, S. (2006). *Hewlett Packard's Personal Systems Group Shapes its Distribution Strategy with OR* (1st ed.).
- Tan, P., & Kara, B. (2005). *A Hub Covering Model for Cargo Delivery Systems* (1st ed.). Wiley InterScience. <http://bkara.bilkent.edu.tr/Tan&Kara.pdf>
- Tr.globalpetrolprices.com,. (2015). *Dünyada dizel fiyatları, 21-Aralık-2015 | GlobalPetrolPrices.com*. 24 December 2015, from [http://tr.globalpetrolprices.com/diesel\\_prices/](http://tr.globalpetrolprices.com/diesel_prices/)
- www.yeniakit.com.tr,. (2015). *İllerin konut metrekare fiyatları*. 24 December 2015, from <http://www.yeniakit.com.tr/haber/illerin-konut-metrekare-fiyatlari-81270.html>

- Wu, Tai-Hsi, Chinyao Low, and Jiunn-Wei Bai. *Heuristic Solutions To Multi-Depot Location-Routing Problems*. 2nd ed. Changhua, Taiwan: N.p., 1999. Print.
- 2014 *Fuel Consumption Guide*. (2015) (1st ed.). [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oe/pdf/transportation/tools/fuelratings/FCG2014WCAG\\_e.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oe/pdf/transportation/tools/fuelratings/FCG2014WCAG_e.pdf)

## EKLER

### Ek 1. Xpress Kodu

#### Ek 1.1

```
model DepotLocating
uses "mumxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver

declarations

!PARAMETERS
i=1..81 ! i denotes the set of customer locations
k=1..81 ! k denotes the set of potential intermediate depots
Items = 1..81

!-----

Q1 = 9 !Order capacity of a truck
Q2 = 5 !Order capacity of a van

c1=1.5 !Fixed cost of transportation per km travelled by a truck
c2=0.89 !Fixed cost of transportation per km travelled by a van
M=1000000 !a very big number to eliminate the capacity constraint

!-----

D: array(i) of integer !Yearly demand
p: array(k) of integer !Distance between MSB and intermediate depot in location k
l: array(k,i) of integer !Distance between location of customer i and intermediate depot in location k
f: array (k) of real !Fixed cost to operate an intermediate depot in location k
n: array (k) of real !Cost of opening an intermediate depot in location k
w: array (k) of real !Cost of closing an intermediate depot in location k

z:array(i) of integer !Parameter for existent depots

!DECISION VARIABLES
y: array (k) of mpvar !Binary decision variable for using the intermediate depots
t: array (k) of mpvar !Binary decision variable for opening the intermediate depots
u: array(k) of mpvar !Binary decision variable for closing the intermediate depots
a: array(k) of mpvar !Amount of order shipped from MSB to intermediate depot in location k
b: array(k,i) of mpvar !Amount of order shipped from intermediate depot to customer

Distance: array (Items, Items) of real
SB1:array (Items) of real
Demand :array (Items) of real

end-declarations
```

#### Ek 1.2 Xpress Kodunun Devamı



```

end-declarations

initializations from "Distance.dat"
Distance
end-initializations

initializations from "Demand.dat"
Demand
end-initializations

initializations from "z.dat"
z
end-initializations

initializations from "w.dat"
w
end-initializations

initializations from "n.dat"
n
end-initializations

initializations from "f.dat"
f
end-initializations

forall (kk in k) y(kk) is_binary
forall (kk in k) t(kk) is_binary
forall (kk in k) u(kk) is_binary

forall(ii in i) sum(kk in k) b(kk,ii)=Demand(ii)
forall(kk in k) sum(ii in i) b(kk,ii)=a(kk)
forall (kk in k, ii in i) b(kk,ii)<= M*y(kk)
forall (kk in k) t(kk) >= y(kk)-z(kk)
forall (kk in k) u(kk) >= z(kk)-y(kk)
forall (kk in k) a(kk) >=0
forall (kk in k, ii in i) b(kk,ii) >=0

obj:= (sum(kk in k) a(kk)*c1*Distance(34,kk)/Q1)+(sum(kk in k,ii in i) b(kk,ii)*c2*Distance(kk,ii)/Q2)+
(sum(kk in k) n(kk)*t(kk))+sum(kk in k) w(kk)*u(kk)+ (sum(kk in k) f(kk)*y(kk))
minimize(obj)

writeln("depots opened =" + getsol(sum(kk in k) t(kk)))
writeln("total used depots =" + getsol(sum(kk in k) y(kk)))
writeln("total closed depots =" + getsol(sum(kk in k) u(kk)))

writeln("Total Cost: " , getobjval)
forall (kk in k) writeln("t(" + kk + " )=" + getsol(t(kk)))
forall (kk in k) writeln("y(" + kk + " )=" + getsol(y(kk)))
forall (kk in k) writeln("u(" + kk + " )=" + getsol(u(kk)))
forall (kk in k) writeln("D(" + kk + " )=" + getsol(Demand(kk)))

writeln("End of the model")

```

## Ek 2. Excel OpenSolver Kodu

Objective Cell: \$A\$98  maximise  minimise  target value: 0

Variable Cells: \$C\$101:\$CE\$181;\$CJ\$101:\$CJ\$181;\$C\$183:\$CE\$183;\$C\$184:\$CE\$184;\$C\$185:\$CE\$185

Constraints:

<Add new constraint>  
 \$C\$98:\$CE\$98 = \$C\$95:\$CE\$95  
 \$C\$101:\$C\$181 = \$CJ\$101:\$CJ\$181  
 \$C\$183:\$CE\$183 bin  
 \$C\$184:\$CE\$184 bin  
 \$C\$185:\$CE\$185 bin  
 \$CJ\$101:\$CJ\$181 >= 0  
 \$C\$101:\$CE\$181 >= 0  
 \$C\$184:\$CE\$184 >= \$C\$186:\$CE\$186  
 \$C\$185:\$CE\$185 >= \$C\$187:\$CE\$187  
 \$C\$101:\$CE\$181 <= \$C\$190:\$CE\$270

=

### Ek 3. Excel OpenSolver Sonuçları

RESULTS	
Total Number of Used Depots:	3
Total Number of Closed Depots:	3
Total Number of Opened Depots:	0
Total Cost:	2331496,928

# Nitelik Bazlı Talep Tahminleme

## MUDO Satış Mağazaları A.Ş.

### Proje Ekibi

Taha Berk Abacı  
Buket Cilalı  
Tuğba Çelikpençe  
Derya Gözen  
Aslıhan Özdemir  
Uras Aydın Pelin

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Muhlis Yücebıyık  
MUDO Satış Mağazaları A.Ş., Kıdemli Kategori & Satış Uzmanı

### Akademik Danışman

Dr. Kemal Göler  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Nitelik Bazlı Talep Tahmin projesinin öncelikli amacı, talep tahminini nitelikler üzerinden yaparak ürünler arası benzerliklerin satış miktarına etkisini de hesaba katan bir talep tahmin modeli oluşturmaktır. Proje kapsamında, ürünleri ortak niteliklerine göre gruplayıp sonrasında talep tahmini yaparak niteliklerin etkisini talep tahminine yansıtan, nitelik bazlı talep tahmini yapan, iki çözüm uygulanmıştır: Kümeleme Yöntemi ile Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları Tekniği. Oluşturulan sistemin sonucu olarak ürün nitelikleri arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin talebe etkisi görülmüş, ürünler için niteliklerine dayalı talep tahminleri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nitelik bazlı talep tahmini, kümeleme, sınıflandırma ve regresyon ağaçları tekniği

### 1. Şirket Tanıtımı

Perakende sektörünün öncü firmalarından olan Mudo 1964 yılında İstanbul'da kurulmuştur. Mudo, kurulduğu günden itibaren

dünya üzerindeki tasarım eğilimlerini takip etmiş ve her geçen gün ürün çeşitliliğini arttırmıştır. Mudo tarafından "Ev ve yaşam için her şey" ilkesinin edinilmesi ile 1993 yılında Mudo Concept markası doğmuştur. Mudo Concept müşterilerine iç ve dış mekân mobilyadan, aydınlatmaya, banyo, mutfak ürünlerinden, dekoratif aksesuarlara, kişisel aksesuarlara ve ev tekstili ürünlerine kadar uzanan 38.000'in üzerinde yerli ve ithal ürün çeşidiyle hizmet vermektedir. 2015 yılı itibariyle Mudo Concept ürünleri 26 ilde Mudo Satış Mağazaları A.Ş bünyesindeki 100'den fazla mağazada satışa sunulmaktadır.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Nitelik Bazlı Talep Tahmin projesi, ürün siparişleri verilirken sipariş miktarlarını belirlemek için kullanılan talep tahminlerinin ürün niteliklerine göre yapılmasıyla şirketin ürün çeşitliliğine dayalı yapısına daha uygun bir talep tahmin sisteminin oluşturulmasına ve böylece sipariş verme sürecinin iyileştirilmesine yöneliktir.

Nitelik Bazlı Talep Tahmin projesi, Mudo şirketinin Mudo Concept markasını hedef almaktadır. Proje kapsamındaki çalışmalar Sehpa ürün grubu üzerinde yapılırsa da farklı ürün gruplarına da uygulanabilecek esnek bir sistem oluşturularak, uzun vadede kapsamı genişletilerek bütün Mudo Concept ürünlerine uygulanacak bir sistem oluşturmak amaçlanmıştır.

Bu projenin temel hedefi, proje sahibi Mudo Concept için nitelik bazlı talep tahmin sistemi geliştirmektir. Proje başarılı olduğu takdirde, önerilen sistem, ürünlerin niteliksel anlamda benzerliğini sınıflandırarak ve gelecek dönemlerde ne kadar talep göreceklarini niteliklerine göre tahmin ederek kategori ve satış uzmanlarının sipariş miktarını belirlemelerinde karar destek mekanizması görevi görecektir.

Proje ile sağlanacak talep tahmin modeli, ürün çeşitliliğinin olumsuz etkisini devre dışı bırakacağından, uygulandığı takdirde, perakendecilik sektöründeki diğer kuruluşlar için de faydalı olacaktır. Bu sistem, hedef alınan perakende sektörü dışında giyim, otomotiv, hızlı tüketim ürünleri gibi sektörlerde de kullanılabilir.

Proje fikrinin, Mudo Concept'in mevcut sistemindeki sezgisel yöntemle, programlamaya dayalı yeni bir yaklaşım getirmesi planlanmaktadır. Proje fikri ulusal ve uluslararası düzeyde düşünüldüğünde ise proje fikrinin, literatürdeki nitelik bazlı talep tahmini konusundaki eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacağı görülmektedir.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı ve analizi**

Mudo Concept iç ve dış mekân mobilya, aydınlatma, banyo ve mutfak ürünleri, dekoratif ve kişisel aksesuarlar, ev tekstili olmak üzere birçok ürün grubunda 38.000'in üzerinde yerli ve ithal ürün çeşidi satmaktadır. Mudo Concept ürünlerinin %95'i yurtdışından ithal

edilmektedir. Bu ürünlerin öncül zamanlarının uzunluğu, yüksek seviyedeki ürün çeşitliliği ve dolayısıyla yönetilmesi gereken ürün hacminin genişliği göz önüne alındığında en uygun seviyede sipariş vermenin öneminin arttığı görülmektedir.

Mudo Concept'in mevcut sipariş sisteminde, sipariş miktarları kategori ve satış uzmanları tarafından geçmiş gözlem ve deneyimlere dayanılarak verilmektedir. Gelecek dönemler için talepler öngörülürken; geçmiş satış hacimleri, stokta kalan ürünler ve mağaza-ürün bilgileri manuel olarak işleme alınmaktadır.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikâyetler**

Projeye başlanılmasında etkili olan temel şikâyet, ürünlerin beklenenden farklı miktarda talep görmesi sebebiyle satışlardan elde edilen toplam karın azalmasıdır. Bu durumun altında yatan sebep ise Mudo Concept'te ortak özellik gösteren ve birbirlerinin satış miktarlarını etkileyen ürünlerin bulunmasıdır.

#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

MUDO Concept'in mevcut sistemindeki temel problemin, ürünler arası benzerliklerin satış miktarlarına etkisinin gözlenememesi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, aşağıdaki sorunlara yol açabilmektedir:

- Benzer ürünlerin birbirlerinin satışını olumsuz yönde etkileyecek şekilde sipariş edilmesine
- Düşük fiyatlı benzer ürünün yüksek fiyatlı ürüne nazaran daha fazla satılmasına
- Müşteri tarafından gelen taleplerin, tahmin edilenden farklı çıkmasına
- Ürünlerin nitelikleri arasında istatistiksel bir analiz yapılamadığı için hangi niteliğin ürün satışını ne kadar etkilediği üzerine bilgi elde edilemesine

Belirlenen problem tanımı çerçevesinde, proje, ürünlerin niteliklerine göre kümelenmesi ve buna bağlı olarak gelecek dönemlerdeki satış hacimlerinin tahmin edilmesi olarak iki ana kola ayrılmıştır ve sunulan çözüm önerileri de bu ana kollara göre şekillendirilmiştir.

Problemin ilk aşamasında, ürünlerin niteliklerine göre kümelenmesi kolunda, ilk olarak, Zhao ve Karypis'in (2002), hiyerarşik kümeleme algoritmaları görüşü incelenmiştir. Bu algoritmaya göre ürünlerin nitelikleri baz alınarak, ürünler kümelenip hiyerarşik bir ürün ağacı ortaya çıkarılmaktadır. Bu kümeleme sürecinin ardından, problemin ikinci kolu için, her küme için aylık talep tahminlerinin hesaplanması için tahminleme algoritmaları üzerine literatür araştırmaları yapılmıştır. Chatfield'in (1978), Holt Winters tahminleme algoritması üzerine görüşleri benimsenmiştir. Mevsimsellik eğilimi ve

trend değerlerinin algoritmada bu tip problem için nasıl kullanılacağı hakkında bilgi edinilmiştir. Bu iki ana kol için yapılan literatür araştırmasının ardından, ürünleri niteliklerine göre kümeleyip, aynı anda talep tahminlerinin yapılabildiği algoritma olan Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları Tekniği incelenmiştir (Speybroeck, 2012).

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Proje fikri nitelik bazlı talep tahminlemesine dayalı olduğundan, çözüm kurgulanırken niteliklerin etkisini yansıtacak bir talep tahmin modeli oluşturmak hedeflendi. Ürünleri ortak niteliklerine göre gruplayıp, aynı gruptaki benzer nitelikleri içeren ürünler için talep tahmini yaparak hedefe ulaşmanın yolları arandı.

Proje fikrinin hayata geçirilmesi için kurgulanan ilk çözüm olan kümeleme metodunda, ürünler ortak niteliklerine göre kümelendikten sonra her küme için ay bazında talep tahmini yapıldı. Çözümün girdileri, ara sonuçları ve çıktıları Microsoft Excel dosyası olarak alındı, düzenlendi ve hazırlandı. Kümeleme ve talep tahmin işlemleri ise RStudio arayüzü aracılığıyla R programlama dili kullanılarak yapıldı. Kümeleme işlemi için metin benzerlik algoritmalarından, bir metni başka bir metne dönüştürmek için gereken tek karakterlik değişimlerin en küçük sayısını hesaplayan Levenshtein Mesafe Algoritması kullanılarak ürünlerin nitelik kodları arasındaki uzaklıklar hesaplandı. Talep tahmini için ise öncelikle Zaman Serileri Yöntemi Holt-Winters Öngörü Yöntemleri kullanıldı. Sonra, Ortalama Mutlak Yüzde Hata Yöntemi ile hesaplanan hata oranlarını en aza indirmek için Model Ortalaması Metoduna başvuruldu. Eğilim ile mevsimselliği hesaba katan Zaman Serileri Yöntemi ve en düşük ortalama mutlak yüzde hata oranına sahip olan Holt-Winters Yöntemi ortalamaya dâhil edilirken ortak hatayı en aza indirgeyecek ağırlıklar Microsoft Excel eklenti programı olan Çözücü Eklentisi kullanılarak hesaplandı. Model Ortalaması Metodu kullanılarak 2015 ve 2016 yılları için aylık talep tahmini yapıldı. 2015 yılı ilk iki çeyreği için elde edilen tahminler model kurulurken kullanılmamış olan yeni, gerçek satış verileriyle karşılaştırılarak her bir küme için ortalama mutlak yüzde hata oranı hesaplandı.

Proje fikrinin hayata geçirilmesi için kurgulanan ikinci çözüm olan Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları Tekniği (SRAT) ile ürünler aynı anda hem sınıflandırıldı hem de talep tahminleri yapıldı. Karar ağaçları, hem nitelik hem de yıllık satış verilerini içeren Microsoft Excel dosyası girdi olarak alınıp RStudio arayüzü aracılığıyla R programlama dili kullanılarak oluşturuldu. Nitelikler bağımsız değişkenler, talep tahmininde kullanılması istenen yılın satış verileri ise sınıf değişkeni olarak tanımlandı. Ağaçlar oluşturulurken, bütün bağımsız değişkenler arasından sadece sınıf değişkeni üzerinde etkisi önemli olan bağımsız değişkenler SRAT tarafından belirlenip dikkate

alındı. Sınıflandırmaların doğruluk oranı, satış kategorilerine yerleşmesi tahmin edilen ürünlerin sayıları ve gerçekten o satış kategorilerinde olan ürünlerin sayıları karşılaştırılarak hesaplandı.

#### **4.1 Kümeleme yöntemi**

İlk olarak, ürünleri önce niteliklerine göre gruplayan daha sonra ise her bir grup için geçmiş toplam satış verilerini kullanarak talep tahmini yapan iki aşamalı bir metod olan kümeleme çözümü uygulandı. Süreçte kullanılan bütün veriler Microsoft Excel dosyası olarak alındı, Microsoft Excel üzerinden düzenlendi ve süreç sonunda sonuçlar yine Microsoft Excel dosyası olarak hazırlandı. Ham veriler nitelik verileri ve satış verileri olarak ikiye ayrılıp düzenlendi.

Nitelik verileri kullanılarak, ürünler arasındaki benzerlik seviyelerini bulmak için her bir niteliğe ait alt nitelikler de düşünülerek alfa-sayısal kodlar atandı. Ürün kodları ve kodlanmış nitelikler RStudio arayüzü aracılığıyla R programlama dili kullanılarak modele dâhil edildi. Levenshtein Mesafe Algoritması kullanılarak ürünlerin nitelik kodları arasındaki uzaklıklar hesaplandı. Ürünlerin nitelik kodları arasındaki uzaklıkların ürünler arasındaki benzerliği ters orantılı olarak yansıtaacağı varsayıldı ve bu uzaklıklar kullanılarak ürünlerin hiyerarşik kümelemesi yapıldı. Hiyerarşik kümeleme sonucu oluşturulan dendogram belli bir seviyeden kesildiğinde aynı ana dalda kalan ürünler tespit edilerek kümeler oluşturuldu.

Ürün kümeleri Microsoft Excel aracılığıyla satış verileriyle birleştirildi. Kümelerde bulunan ürünlerin satış miktarları toplanıp talep tahmini yapmak için hazırlandı. RStudio arayüzü aracılığıyla R programlama dili kullanılarak aşağıda belirtilen yöntemler ile her küme için aylık talep tahminleri yapıldı:

- Zaman Serileri Yöntemi
- Holt-Winters Üstel Düzeltme Yöntemi
- Trend Eklenmiş Holt-Winters Üstel Düzeltme Yöntemi
- Parametrelerin program tarafından seçildiği Holt-Winters Mevsimlik ve Trendli Öngörü Yöntemi

Her bir yöntemin hata oranı model tarafından öngörülen değerler ve model kurulurken kullanılan geçmiş satış verileri karşılaştırılarak Ortalama Mutlak Yüzde Hata Yöntemi ile hesaplandı. Holt-Winters Yöntemi parametreleri program tarafından belirlendiğinde ortalama mutlak yüzde hata oranının en düşük seviyede olduğu gözlemlendi. Doğru yöntemi seçmek için Ortalama Mutlak Yüzde Hata Yönteminin tek başına yeterli olmayacağına karar verildi. En düşük ortalama mutlak yüzde hata oranına sahip olan yöntemi kullanmak yerine, talep tahminlerindeki hatayı en aza indirmek amacıyla iki modelin en uygun ağırlıklarla ortalamasının alınacağı Model Ortalaması Metoduna başvuruldu. Model Ortalaması Metodunda kullanılmak üzere eğilim ile mevsimselliği hesaba katan Zaman Serileri Yöntemi ve en düşük

ortalama mutlak yüzde hata oranına sahip olan Holt-Winters Yöntemi seçildi. İki yöntemin ortak hatayı en aza indirgeyecek şekilde hangi ağırlıklarla ortalamaya dâhil edileceğini belirlemek için Microsoft Excel eklenti programı olan Çözücü Eklentisi kullanıldı.

Model Ortalaması Metodu kullanılarak 2015 ve 2016 yılları için aylık talep tahmini yapıldı. 2015 yılı ilk iki çeyreği için elde edilen tahminler model kurulurken kullanılmamış olan yeni, gerçek satış verileriyle karşılaştırılarak her bir küme için ortalama mutlak yüzde hata oranı hesaplandı. Kümelerin hata oranlarının geniş bir aralıkta değiştiği gözlemlendi. Bunun üzerine, düşük hata oranına ve yüksek hata oranına sahip kümeler incelendiğinde, hata oranları yaklaşık olan kümelerin benzer ortak özelliklere sahip olduğu görüldü. Ürün miktarı ve satış oranlarının yüksek olduğu kümelerde %20 civarında düşük hata oranları görülürken, hata oranlarının yüksek olduğu kümelerin ürün sayısının çok az olduğu ve satışları seyrek olan ürünlerden oluştuğu tespit edildi.

Ürünler kümelendirken satış verilerinin etkisi dâhil edilmediği halde ürün miktarı ve satış yoğunluğu açısından benzer özellik gösteren ürünlerin aynı kümede toplanmış olması kümeleme işleminin başarılı olduğunu gösterdi. Ürün sayısının çok az olduğu ve satışları seyrek olan ürünlerden oluşan kümelerde hata oranının yüksek olması, kurgulanan çözümün, nadiren satılan ürünler için yapılan talep tahminlerinden ziyade daha sık satılan ürünler için yapılan talep tahminlerinde kullanılmasının daha uygun olacağını gösterdi.

#### ***4.2 Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları Tekniği (SRAT)***

Kümeleme çözümü, kümeleme işlemi sırasında eski satış verilerinin etkisini dikkate almıyordu. Ayrıca, kümeleme çözümünün gerekliliklerinden olan ürün niteliklerine benzerlikleri yansıtacak şekilde kod atanması işlemi, çözümün kümeleme ve talep tahmini işlemlerini iki ayrı aşamada yapmasına neden oluyordu. Ek olarak, çözüm sırasında Microsoft Excel ve RStudio arasında gelgitlerin yaşanması, çözümün uygulanması sırasında problemlere sebep olma ve uygulama süresini uzatma riski yaratıyordu. Olası riskler, satış verilerinin gruplamaya etkisini göz önünde bulunduran, kümeleme ve talep tahmini işlemlerini tek aşamada birleştiren, daha az basamaktan oluşan, alternatif, ikinci bir çözümün gerekliliğini doğurdu. Bahsedilen problemleri çözebilecek model ve teknikler üzerine yapılan araştırmalar sonucunda, Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları Tekniği (SRAT) ile etkili bir şekilde eş zamanlı gruplama ve talep tahmini yapılabileceği görüldü.

SRAT, kullanıcıya çıktılar ve belirleyici etkenler arasındaki doğrusal olmayabilen veya yüksek seviye etkileşimlere sahip olan ilişkileri ortaya çıkaran ve analiz eden analitik bir araç sağlar (Speybroeck (2012)). SRAT, sınıflandırma ağaçları ile kategorik çıktılar



elde etmek için ve regresyon ağaçları ile devamlı çıktılar elde etmek için kullanılabilir (Speybroeck (2012)). Sınıflandırma ağaçları kullanıldığında, kategorik çıktılar, her sınıf için ürünün içine düştüğü kategoriye belirlemekte kullanılabilecek olasılıklarla birlikte oluşturulur. Benzer şekilde, regresyon ağaçları her ürün için öngörülen sayısal çıktılar yanı sıra her sınıf için bir güven aralığı sunar. Bu nedenle, SRAT kullanılarak, proje fikri için sunulacak çözümün öngördüğü değerde meydana gelebilecek olası sapmaların da göz önünde bulundurulacağı ve hata riskinin azaltılacağı düşünüldü.

SRAT, RStudio arayüzü aracılığıyla R programlama dili kullanılarak uygulandı. SRAT “Kahve Sehpaları Verisi” üzerinde uygulanırken ürün nitelikleri (Boyut, Şekil, Ekstra Donanımlar, Materyal 1, Materyal 2, Materyal 3, Stil) bağımsız değişkenler olarak atandı. Model çıktısının satış tahminleri olması istendiğinden, tahminde kullanılmak istenen yılın satış verileri ise sınıf değişkeni olarak tanımlandı.

Sınıflandırma ağaçlarını oluşturmak için geçmiş satış verileri kategorik veri haline dönüştürüldü. Aralıkların sınırları belirlenirken, MATLAB yazılımı üzerinden çizdirilen histogram grafiği ve minimum sipariş miktarına dikkat edildi. Bu sayede, satış verisindeki uçdeğerlerin ve yüksek varyasyonun olumsuz etkilerinin önüne geçecek aralıklar oluşturuldu. Karar ağacı oluşturulurken ağaçta sınıf değişkeni olarak tanımlanmış satış verilerinin %80’i çalışma verisi, %20’si ise geçerleme verisi olacak şekilde rastlantısal olarak ikiye ayrıldı. Çalışma verisi kullanılarak karar ağacı çizdirildi ve geçerleme verisi kullanılarak olasılıklar hesaplandı. Daha fazla uç düğüm elde etmek ve ağacın derinliğini arttırmak için kısıtlar gevşetilerek alternatif ağaçlar incelendi. Sadece tahminin yapılmasında kullanılacak olan yılın satış verileri sınıf değişkeni olarak tanımlandığından, geçmiş diğer yılların verilerinin de sürece dâhil edilmesi için geçmiş yılların satış verilerinin her biri ayrı bir nitelik olarak ele alınıp, bağımsız değişken olarak tanımlandı. Oluşan alternatif ağaçlar incelendiğinde geçmiş satış verilerinin etkisinin diğer niteliklerin etkisinin önüne geçtiği ve ağacın ağırlıklı olarak satış verileri dikkate alınarak oluşturulduğu görüldü.

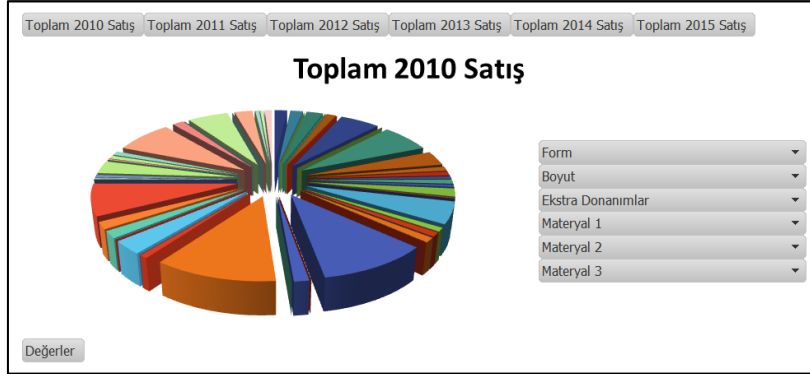
Satış kategorilerine yerleşmesi tahmin edilen ürünlerin sayıları ve gerçekten o satış kategorilerinde olan ürünlerin sayıları karşılaştırılarak hem çalışma hem de geçerleme verisi için yanlış sınıflama hata oranları hesaplandı.

Regresyon ağaçları da yukarıda bahsedildiği şekilde ancak satış verilerini kategorik değil devamlı değişken olarak oluşturuldu.

Sınıflandırma ve regresyon ağaçları karşılaştırıldığında regresyon ağaçlarının çıktısının bir kategori değil, sayı olmasına bağlı olarak regresyon ağaçlarının daha kullanılabilir tahminler sağladığına karar verildi.

## 5. Örnek Çıktılar

Kullanıcının, ürün niteliklerinin geçmiş satış verileri üzerindeki dağılımını kolayca keşfedebilmesi için etkileşimli grafikler oluşturuldu. Grafikler Microsoft Excel'in PowerPivot eklentisi kullanılarak oluşturuldu. Kullanıcının, istediği yıl için, açılır menüden istediği nitelikleri seçip farklı kombinasyonların dağılımını inceleyebileceği pasta grafiği Şekil 1'de görülebilir.



Şekil 1. Nitelik Kombinasyonlarının Satış Verileri Üzerinde Dağılımı

Elde edilen bulguların daha kolay incelenebilmesi ve tek bir arayüz üzerinden kontrol edilebilmesi için R ile elde edilen model çıktıları, kullanımın daha kolay olacağı Excel dosyası formatında düzenlenmiştir.

Kullanıcının, sınıflandırma ağacının sonuçlarını inceleyebilmesi için tablolar oluşturuldu. Örneğin, belirli bir ürün için öngörülen satış aralıkları ve gerçekleşme olasılıkları Tablo 1'de görülebilir (örnek tabloda ilk 10 ürün gösterilmektedir).

Ürünlerin Belirli Satış Aralıklarına Yerleştirilme Olasılıkları										
Ürün Kodu	[0, 10)	[10, 20)	[20, 30)	[30, 40)	[40, 50)	[50, 60)	[60, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 1000)
1136491	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1152546	0,730	0,206	0,000	0,032	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000
1109018	0,667	0,067	0,200	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1152542	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1135815	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1135816	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1152179	0,730	0,206	0,000	0,032	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000
1109059	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1080455	0,975	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1135888	0,975	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablo 1. Sınıflandırma Ağacı Sonuç Tablosu

Kullanıcının, regresyon ağacının sonuçlarını inceleyebilmesi için tablolar oluşturuldu. Örneğin, bir ürün için öngörülen satış miktarı Tablo 2'de görülebilir (örnek tabloda ilk 10 ürün gösterilmektedir).

Ürün Kodu	Yıllık Satış Tahmini
1147893	1,347
1158002	8,120
1152521	1,347
1152283	1,347
1134831	1,347
1022691	36,500
1098383	8,120
1021703	8,120
1135885	1,347
1148664	1,347

Tablo 2. Regresyon Ağacı Sonuç Tablosu

## 6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Proje süresince; genelde daha geniş bir ürün grubuna uygulanabilirlik göz önünde bulundurulmuş ama özelde MUDO Concept'in Sehpa grubu için nitelik bazlı talep tahmini yapmak amaçlanmıştır. Proje, amaca uygun ve pratik çıktılar sunmaktadır. Bu proje sayesinde; hangi niteliğin, satışı ne kadar etkilediği, niteliklerin arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin satışa etkileri gibi analizler elde edilebilmektedir. Bunların dışında, MUDO Concept'te çalışan kategori ve satış uzmanları, ithal edilecek ürünlerin sipariş miktarlarını, matematiksel modellerin sonucunda elde edilen çıktılara göre belirleyeceklerdir. Bu yaklaşımla birlikte ileride doğabilecek stok fazlalığına ya da azlığına dayalı problemlerin önüne geçilmiş olunacaktır.

Hazırlanan model doğrultusunda Sehpa ürün grubuna uygulanabilen bu sistem, diğer gruplar için örnek teşkil edecek ve aynı nitelikler üzerinden, aynı sistem, diğer gruplar için de uygulanabilecektir. Böylece, MUDO Concept, sadece sehpa grubunda değil, tüm ürün gruplarının talep tahminlemesinde ve sipariş karar mekanizmasında daha sistematik bir yaklaşıma sahip olacaktır.

Oluşturulan sistem, her geçen gün ürün çeşitliliğini genişletmeyi önemli bir hedef olarak belirlemiş bir şirket olan MUDO Concept'e daha nesnel bir bakış açısı kazandıracaktır. Sağlanan bu katkı ile MUDO Concept, ürünlerin siparişinden satışına kadar olan süreci daha verimli bir şekilde yönetebilecektir.

## KAYNAKÇA

- Chatfield, C.. "The Holt-winters Forecasting Procedure". *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 27.3 (1978): 264–279. Speybroeck, Niko. "Classification and

regression trees." *International Journal of Public Health* 57.1 (2012): 243-246.

Zhao, Ying, and George Karypis. "Evaluation of Hierarchical Clustering Algorithms for Document Datasets." Proceedings of the Eleventh International Conference on Information and Knowledge Management(2002): 515-24. ACM.

# Ana Üretim Çizelgesi Optimizasyonu

## Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş

### Proje Ekibi

Duran Özdoğan  
Emre Tığ  
Mehmet Selman Kemaneci  
Mehmet Mert Dervişoğulları  
Zekiye Maraşlı

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Onur Akturan  
Ortadoğu Rulman San. ve Tic. A.Ş., Stok Planlama Şefi

### Akademik Danışman

Doç. Dr. Osman Oğuz  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

### ÖZET

Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş için hazırlanan ana üretim çizelgesi optimizasyonu projesinin amacı, Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş'nin ana üretim çizelgelemesi için bir karar destek sistemi sunmaktır. Yapılan araştırmalarda şirketin tahminleme mekanizmasında sorunlar yaşandığı görülmüş, bu sebep ile ana üretim çizelgesi optimizasyonu projesine tahminleme modeli de eklenmiştir. Projede kullanılan yöntemler tahminleme modeli için Doğrusal Ayrıştırma ve Basit Üstel Düzeltme, ana üretim çizelgesi için ise Üretim Çizelgeleme modelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Üretim Çizelgesi, Çizelgeleme, Tahminleme, Optimizasyon

#### 1. Şirket Tanıtımı

Ortadoğu Rulman Sanayi (ORS) Türkiye'de ve küresel pazarda en büyük rulman üreticilerinden birisidir. Otomobil ya da beyaz eşya

makineleri gibi birçok farklı sektörün ana tedarikçisidir. Şirket 1982 yılında kurulmuş ve 1986 senesinde seri üretime başlamıştır. ORS Polatlı'daki 100.000 metrekarelik üretim merkezinde halihazırda yılda 60 milyon rulman üretme kapasitesine sahipken, yeni yaptığı yatırımlarla birlikte bu kapasiteyi 80 milyona çıkarmayı hedeflemektedir. Bu alanda stok için üretim felsefesini kullanan şirket, büyük miktarda envanter depolamaktadır. Yalın üretim, hızlı kalıp değişimi ve 5S kuralları Polatlı fabrikasında uygulanmaktadır.

Şirket 478 farklı rulman tipi üretmektedir. Rulman dışında ayrıca küçük miktarda disk üretimi de gerçekleştirilmektedir. Önemli ürünler aşağıda listelenmiştir;

- Tek Sıralı, Sabit Bilyalı Rulmanlar
- Oynak Bilyalı Rulmanlar
- Tek Sıralı, Açısız Temaslı Bilyalı Rulmanlar
- Silindirik Makaralı Rulmanlar
- Konik Makaralı Rulmanlar

## **2. Problem Tanımı**

### **2.1 Mevcut sistem analizi**

ORS üç farklı müşteri tipine sahiptir. Bu müşteriler, büyük ölçekli müşteriler, ihracat ve yerel pazar müşterileri olarak üçe ayrılır. Büyük ölçekli müşteriler yüksek profilli ve sürekli müşteriler olup, bu müşterilerin siparişleri iptal edilemez ve ertelenemez. Ancak yerel pazar müşterilerinin siparişleri sürekli olmadığı ve küçük miktarlarda olduğu için bu siparişler ertelenebilmekte ya da iptal edilebilmektedir.

Şirket mevcut sistemde işlerini üç aşamada yürütmektedir. İlk olarak aylık talep değerlerini belirlemek için tahminlemeye ihtiyaç duymaktadırlar. İkinci olarak tahminleme sonuçlarını kullanmakta ve bunu üretim bölümüne çizelgelenmiş olarak göndermektedirler. Gönderilen üretim çizelgesi anlık talep değişikliklerini ya da gelecekteki belirsizlikleri içermemektedir. Son olarak gelen anlık değişikliklere göre çizelge yenilenmekte ve son halini almaktadır.

Bunlara ek olarak ORS daha kesin sonuçlar almak için sene içerisinde iki ayrı tahminleme eksenini kullanmaktadır. İlk altı ay için bir ve sene sonunda bir olmak üzere tahminlemeleri yapılmaktadır.

### **2.2 Belirtiler ve şikayetler**

ORS Ana Üretim Çizelgesi sisteminde birçok sorunla karşılaşmaktadır. Bu sorunlar aşağıda başlıklar altında sıralanmıştır:

- *Aşırı Üretim:* ORS tahminleme sistemini büyük hata aralıklarıyla yürütmektedir. Şirket talep sırasında olası ürün eksikliğini engellemek için stok için üretim politikasını sürdürmektedir. Ancak bu durum yüksek miktarda envanter tutulmasına ve dolayısıyla fazladan maliyete yol açmaktadır.

- *Talep Belirsizliği:* ORS pazar taleplerinde çok büyük dalgalanmalar ile karşılaşmaktadır. Bu sebep ile ani talep değişiklikleri üretim planına dahil edilememektedir.
- *Zaman:* Zaman kısıtlamaları ORS için en büyük problemlerden birisidir. Stok planlama şefi Onur Akturan ve ekibi üretim çizelgesi hazırlamak için ortalama iki hafta harcamaktadır. Bu süre zarfında pazarda oluşan ani talep dengesizlikleri üretim planına dahil edilememektedir.
- *İletişim:* Şirkette yapılan görüşmeler sonucunda pazarlama-satış departmanı ve üretim departmanı arasında yaşanan iletişim eksikliğinin zaman zaman yanlış ve fazla ürün üretimine sebep olduğu gözlemlenmektedir.

### **2.3 Proje kapsamı**

Proje, tahminleme ve optimizasyon olmak üzere iki ana başlıktan oluşmaktadır. Oluşturulacak optimizasyon modelinin hata payı az olan bir tahminleme modeliyle desteklenmesinin üretimi daha iyi sonuçlara taşıyacağı düşünülmüştür. ORS, proje ile birlikte ani talep değişikliklerine kısa sürede cevap verebilecektir, insan gücüne duyulan ihtiyacın azaldığı ve hata payının düşürüldüğü bir ana üretim çizelgesi hedeflenmektedir.

## **3. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

### **3.1 Tahminleme modeli**

Tahminleme modeli yaklaşımları geçmiş yıllarından alınan aylık veri setlerini değerlendirerek örnekler çıkarabilmek ve gelecek aylar için tahminlerde bulunabilmek amacıyla ORS'nin üretim kararlarını öngörmektedir. ORS tüm ürün tiplerinin toplandığı bir kümelenmiş model yerine özel olarak ürün tiplerine dayalı bir tahminlemenin gerekliliğinin farkındadır. Bu nedenle temel tahminleme modeli oluşturulmuştur. Kullanılan tahminleme yöntemi temel üstsel yumuşatmaya dayalı toplamsal ayrıştırma metodudur. Bu yöntemde, ORS tarafından temin edilen 2012, 2013 ve 2014 yılına ait satış verileri kullanılmıştır. 2012 ve 2013 yılına ait veriler temel üstsel yumuşatmaya dayalı toplamsal ayrıştırma metodunun uygulanması için girdi olarak kullanılmıştır. 2014 yılına ait satış verileri ise tahminleme metodunun hata paylarının hesaplanması için kontrol verileri olarak kullanılmıştır. Teorik hata payları olan ortalama hata (OH), karesi alınmış hata değerlerinin kareköksel toplamı (KAHDKT), ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY), kesin ölçekli hata (KÖH) ve hata öz ilintisi (HÖİ) tahminleme modelinin güvenilirliğini ölçme maksadıyla hesaplanmıştır. İdeal durumda OMHY yüzdesi değerlendirmelerde yüzde ona eşit ya da daha az çıkması gerekmektedir. Şayet denenen bütün modellerde hata payı yüzde ondan daha büyük çıkarsa, uzmanların nicel analizlere ek, nitel analizler yaparak verileri tekrar değerlendirmesi gerekir. Bundan

sonra ise en iyi model minimum hata payını veren olarak belirlenecektir.

### **3.2 Önerilen tahminleme modelleri**

R programlama dili daha çok istatistikçilerin ve araştırmacıların kullandığı açık kaynaklı ve ücretsiz bir programlama dilidir. R yazılımı tekrar programlamayı kolay kılan paketlere bağlı bir yazılımdır. Bu nedenle R ORS'nin satış verilerinin tahminleme modellerini kurmak için kullanılacaktır. ORS'nin her ürünü, versiyonları bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bir önceki başlık içerisinde bahsedilen hata payları yeterince düşük olmadığı takdirde, tahminleme yöntemi verilen ORS ürün tipinin iki ve üç aylık toplamı şeklinde ayrı ayrı tekrar denenecektir ve ortaya çıkan hata payları bir aylık hata payları ile kıyaslanarak, en düşük hata payı sonucunu ortaya çıkaran model, MPS girdisi olarak kullanılacaktır.

#### **3.2.1 Temel üstsel yumuşatmaya dayalı toplumsal ayrışım metodu**

İlk olarak ayrılmış zaman serilerini inceleyebilmek için toplayıcı zaman serilerinin ayrışımı görsel inceleme amacıyla grafiklenmiştir. Görsel incelemenin sonucu olarak, verilen zaman serilerinde bu verilerin ayrışım yapmaya uygun olduğu anlamına gelen hata bileşeni, trend ve mevsimsel bileşenler bulunmuştur. Bu nedenle zaman serileri mevsimsel, trend ve hata bileşenleri olan ilgili bileşenlere doğrusal denklem bileşenleri olarak ayrılmıştır. Toplayıcı ayrışım için olan doğrusal denklem aşağıdaki gibidir.

$$Y_t = S_t + T_t + E_t$$

Y<sub>t</sub> : Asıl zaman serileri

S<sub>t</sub> : Mevsimsel bileşen

T<sub>t</sub> : Trend bileşeni

E<sub>t</sub> : Hata bileşeni

S<sub>t</sub> = T<sub>t</sub> + E<sub>t</sub> olduğu yerde mevsimsel bileşenin ayarlı bir bileşen olduğu kabul edilmiştir. Bu yüzden bileşenlersiz ayrışım serileri durağan hale geldiğinden ARIMA(0,1,1) olan temel üstsel yumuşatma gibi; mevsimsel olmayan ve sabiti bulunmayan ARIMA modelleri daha ileriki aşamalarda mevsimsel bileşenler eklenerek kullanılabilir.

$$Y_t - S_t = T_t + E_t$$

Daha sonraki hesaplarda S<sub>t</sub> (T<sub>t</sub> + E<sub>t</sub>)'e eklenecektir.

İkinci olarak ise Temel Üstsel Yumuşatma metodunun gelecek satış bigilerini tahminlemek için uygun olacağı düşünülmüştür. Bunun nedeni, temel üstsel yumuşatma metodu son gözlemlerin ortalamasına göre lokal ortalamayı doğru olarak ön görmeyi hedefleyen tahminlemeler yapan durağan zaman serileri metodlarından biridir (Vieira vd (2003)). Temel üstsel yumuşatma metodu sabiti bulunmayan ARIMA(0,1,1) modelidir. Tahmin edilen MA(1) aşağıdaki (1-α) değerine karşılık gelen katsayıdır.

$$S_0 = x_0$$



$S_t = \alpha x_t + (1-\alpha)S_{t-1}$  ,  $t > 0$   
 $0 < \alpha < 1$  olduğu yerdeki yumuşatma faktörü

R yazılım dilinin avantajı olarak yumuşatma faktörünün değeri belirlenmiş değildir, ses() fonksiyonu  $\alpha$  değerininin otomatik olarak optimum değerini hesaplamaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi ayrılmış veri mevsimsel olmayan ARIMA modellerinde kullanmak için uygundur. Bu yüzden, teorik olarak temel üstsel yumuşatma metodu kabul edilebilir bir yöntemdir. Temel üstsel yumuşatma metodu 2012 ve 2013 ayları verilen ORS satış verilerine uygulanacaktır. Yöntem uygulanırken, her bir ORS ürünü versiyonları ayrı ayrı olarak değerlendirilecektir. Bundan sonra, mevsimsel bileşenler son tahminleme değerlerini bulmak için temel üstsel yumuşatma metodu sonuçlarına eklenecektir. Böylece 2014 tahminleri elde edilecek ve hata payları 2014 verileri kullanılarak kontrol edilecek ve hata payları hesaplanacaktır. Tahminleme sonuçları (OH), (KAHDKT), (OMHY), (KÖH) (HÖİ) olan hata paylarını bulmak için hesaplanacaktır. Şayet, her bir ürün versiyonu için hesaplanan hata payları tatmin edici bulunmazsa, ORS 2012-2013 satış verileri iki aylık ve üç aylık toplanarak aynı tahminleme modeli baştan yapılacak ve hata payları hesaplanarak, 1 aylık verilerin hata payları ile karşılaştırılacaktır. Sonuç olarak en düşük nicel hata payına sahip model sonuçları, optimizasyon modeli için kullanılmak üzere kaydedilecektir.

### **3.3 Sonuç**

Kullanılan modeller verilerde düzenliliği olmayan, yüksek standart sapma değerlerine sahip ORS satış verileri için ayrıştırma yapma ve yumuşatma özellikleri itibariyle en uygun yöntem olarak görülmüştür ve çıkan hata değerleri diğer denenmiş modellerle karşılaştırılınca haklılık payı artmıştır. Bilimsel bir yaklaşımla mevsimsel, trend ve hata oranları dikkate alınmış basit aritmetik işlemlere dayalı klasik tahminlerden uzaklaşmıştır. Kullanılan yöntemin adımları Ek.1’de görselleştirilmiştir.

### **3.4 Ana üretim çizelgesi optimizasyonu**

Projenin temelini ana üretim çizelgesi optimizasyonu oluşturuyor. ORS bünyesinde halihazırda 483 ürün tipi ve buna bağlı olarak 9000 üzeri ürün versiyonu bulunmaktadır. Projede hedeflenen, bütün ürün versiyonlarının 12 aylık üretim miktarlarının optimum bir şekilde çizelgeye dökülmesidir. Bu çizelgenin oluşturulması için en doğru yolun bir matematiksel model oluşturmak olduğuna karar verilmiştir. Bu modelde hedeflenen, aylık bazda yetişmeyen sipariş sayılarını en aza indirmektir. Oluşturulan model aylık sipariş miktarları ve elde bulunan stok miktarları değerlendirilerek, her bir ürün versiyonu için, aylık üretim miktarları ve buna bağlı olarak siparişi karşılanamayan ürün sayıları hesaplanmaktadır. Fazla üretimi engellemek için bir kapasite kısıtlaması kullanılmaktadır. Bu kısıt zaman bazında

olup, ürünlerin bağlı oldukları montaj tezgahlarının aylık kapasitelerine ve her ürünün üretim süresine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

### **3.5 Modelin doğrulanması ve test süreci**

Modelin test aşamasında Xpress yazılımı kullanılmış, montaj tezgahları ve ürün tipleri baz alınarak bir çok test uygulanmıştır. Modelin istenilen şekilde çalışması sağlandıktan sonra farklı envanter politikaları denenmiştir. Denenen envanter politikaları aşağıda görülmektedir:

- Serbest envanter politikası
- Sonraki 3 ayın talep tahminini karşılayacak envanter tutma politikası (ORS'nin kullanmakta olduğu politika)
- Bir sonraki ayın sipariş miktarı kadar envanter tutma politikası
- Bir sonraki 15 günlük envanter tutma politikası
- Yıl sonu envanterinin bir sonraki yılın ilk ayını karşılayacak şekilde envanter tutulması

ORS'nin kullanmaya çalıştığı mevcut envanter politikası olan iki aylık envanter taşıma politikası çözümlenmesi imkansız olarak sonuç vermiştir. Yukarıda belirtilen diğer bütün envanter modelleriyle sonuç bulunmuştur. En uygun sonucu serbest envanter politikası vermiştir fakat iş dünyasındaki tahmin edilemez değişikliklerin ve anlık siparişlerin zarar verici etkilerini azaltmak adına bu politika önerilmemiştir. Önerilen politika, ikinci en iyi sonucu, en az yetişmeyen sipariş sayısı, veren bir sonraki 15 günü karşılayacak envanter tutma politikasıdır. Bir sonraki 15 günlük envanter tutma politikası, önceden planlanmamış siparişlere tepki süresi sunmakla birlikte halihazırda varolan sistemi de geliştirmiştir.

### **3.6 Ana üretim çizelgesi modeli'nin şirkete teslimi**

Modelin çözümü için bir çok yazılım üzerinde karar verme süreci yaşanmıştır. Test aşamasında da kullanılan Xpress yazılımı, gerek şirketin yazılım ücretini çok bulması, gerekse yazılımın diline hakim olan eleman bulundurmadıkları için model üzerinde gerektiğinde değişiklik yapamayacak olmaları sebebiyle, şirket tarafından uygun bulunmamıştır. Bunun üzerine Excel bazlı bir yazılım üzerinde yoğunlaşmıştır. Excel üzerinde belirlenen Excel Solver, Open Solver ve Solver Studio eklentileri teker teker incelenmiştir. Excel Solver'ın, parametre ve değişken sınırlamaları yüzünden modeli çalıştıramayacağına karar verilmiştir. Open Solver üzerinde model oluşturulmuş ancak, 150,000 üzeri değişken olduğu için, modelin çözülme süresi 8 saati bulmuştur. Solver Studio ise hem sınırlamaları olmaması hem de Open Solver'a göre çok daha hızlı olmasına rağmen, yazılım dilinin Python bazlı olması dolayısıyla şirket tarafından pek kullanışlı bulunmamıştır. Bu karar verme sürecinin sonucunda, Excel

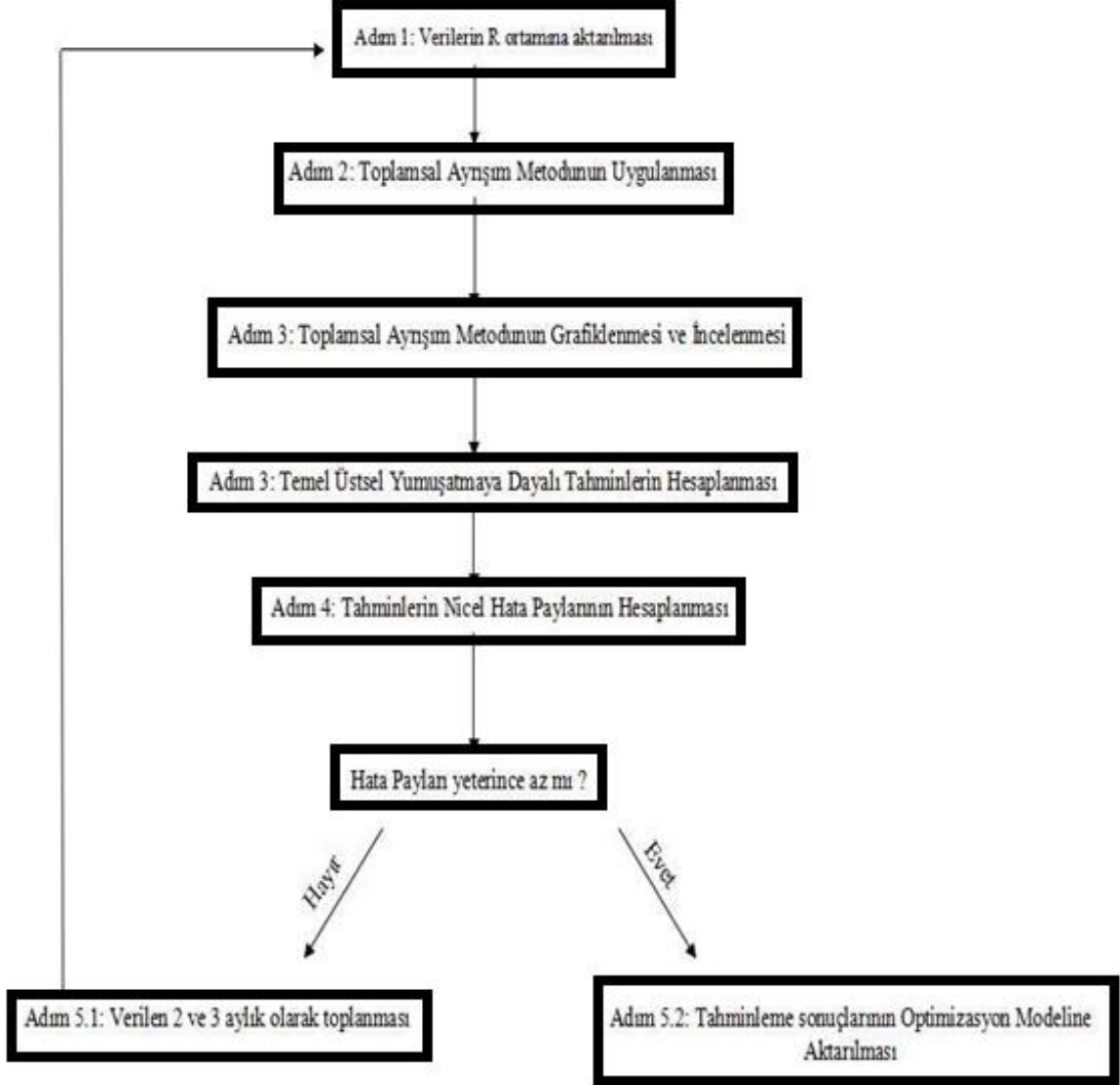
üzerinde ücretsiz olan Open Solver eklentisi kurularak model oluşturulmuş ve şirkete teslim hazır hale gelmiştir. Microsoft Excel ile kurulan bu model ile birlikte, şirketin yaklaşık 1 ay harcadığı ana üretim çizelgesi hesaplamaları 1 güne indirilmiştir.

## **KAYNAKÇA**

- Vieira, G. E., Favaretto, F., and Ribas, P. C. (2003). Comparing genetic algorithms and simulated annealing in master production scheduling problems. Proceeding of 17th International Conference on Production Research. Blacksburg, Virginia, USA.
- Sajjaa, Radhika, and Srinivasa Rao. "A New Multi-Objective Optimization of Master Production Scheduling Problems Using Differential Evolution." *International Journal of Applied Science and Engineering* (2014).
- Wang, Baoxi, Zailin Guan, and Saif Ullah. "Simultaneous Order Scheduling and Mixed-model Sequencing in Assemble-to-order Production Environment: A Multi-objective Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm." *Journal of Intelligent Manufacturing* • November 2014 (2014).
- "Introduction to ARIMA: Nonseasonal Models." *ARIMA Models for Time Series Forecasting*. Duke University. Web. 10 March. 2016.
- Supriyanto, Ilham, and Bernd Noche. "Fuzzy Multi-Objective Linear Programming and Simulation Approach to the Development of Valid and Realistic Master Production Schedule." *Logistics Journal Proceedings Lj Proc* (2011).

## EKLER

### Ek 1. Tahminleme Metodu Akış Şeması



## Kapasite Planlama Optimizasyonu

# Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş

## Proje Ekibi

Altuğ Yasin İpek  
Anıl Karakaş  
Azmi Kaşıkara  
Doğuş Baydar  
Gizem Demircan  
Nusret Can Sayımlar

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

## Şirket Danışmanı

Aycan Koloğlu  
Ortadoğu Rulman San. ve Tic. A.Ş., Üretim Planlama Şefi

## Akademik Danışman

Doç. Dr. Osman Oğuz  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

ORS kapasite planlamada sistemin sürdürülebilirliği ve uygunluğu gibi bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Bunun sonucunda kapasite planlamayı manuel olarak gerçekleştirmektedir. Kapasite planlamaya ait bir sistem olmaması, kaynakların verimsiz kullanılması ve kazançta düşüş gibi sonuçlara yol açmaktadır. Projenin amacı yeni, geliştirilebilir, sürdürülebilir ve sistematik bir planlama gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda, çözüm olarak kapasite planlama modeli önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kapasite Planlama, Optimizyon

### 1. Şirket Tanımı

Ortadoğu Rulman Sanayi (ORS) Türkiye’de ve küresel pazarda en büyük rulman üreticilerinden birisidir. Otomobil ya da beyaz eşya makineleri gibi birçok farklı sektörün ana tedarikçisidir. Şirket 1982 yılında kuruldu ve 1986 senesinde seri üretime başladı. ORS

Polatlı'daki 100.000 m<sup>2</sup>'lik merkezinde halihazırda yılda 60 milyon rulman üretme kapasitesine sahipken yeni yaptığı yatırımlarla birlikte bu kapasiteyi 80 milyona çıkarmayı hedeflemektedir. Bu alanda stok için üretim felsefesini kullanan şirket, büyük miktarda envanter depolamaktadır. Yalın üretim, hızlı kalıp değişimi ve 5S kuralları Polatlı fabrikasında uygulanmaktadır. Şirket 478 farklı rulman tipi üretmektedir. Rulman dışında ayrıca küçük miktarda disk üretimi de gerçekleştirilmektedir. Önemli ürünler aşağıda listelenmiştir;

- Tek Sıralı, Sabit Bilyalı Rulmanlar
- Oynak Bilyalı Rulmanlar
- Tek Sıralı, Açısal Temaslı Bilyalı Rulmanlar
- Silindirik Makaralı Rulmanlar
- Konik Makaralı Rulmanlar

## **2. Sistem Analizi**

### **2.1 Problem tanımı**

ORS'nin halkalı ürünler de dâhil edildiğinde günlük yaklaşık 20000 adet ürün üretmektedir. Günlük üretim planları ana üretim programı (AÜP) kullanılarak hazırlanmaktadır. Üretimde kullanılacak malzeme ihtiyacı da malzeme ihtiyaç planlama sistemi (MRP) kullanılarak envanter ihtiyaçları ve ürün reçetelerine göre belirlenmektedir. ORS bu işlemleri genellikle Microsoft Excel üzerinden yürütmektedir. Bu program üzerinde öncelikle geçmişteki satışlar, üretim ve ihtiyaçlar incelenir, sonrasında ise bu bilgiler ışığında tahminler yapılır. Bu süreç yaklaşık iki ila dört hafta arasında tamamlanır. Bu sürecin sonunda bir üretim planı hazırlanır. Ana üretim planı tamamlandığında bu plan uygulanmak üzere kapasite planlama departmanına gönderilir. Bu süreçte kesin ve tam bir plan hazırlamak üretim için oldukça önemlidir.

Bahsedilen süreçte veriler el ile sisteme girilir ve aynı zamanda sistem üzerinden makine-ürün düzenlemesi de yapılır. Bu süreç toplamda iki haftalık bir süreci ve iki kişilik bir iş gücünü kapsar. Bu yüzden bu sürecin ziyadesiyle uzun olduğu söylenebilir.

Şirket için en büyük problemlerden biri üretim kapasitesinin ve üretim planlamasının verimli bir şekilde yapılamamasıdır. Bunun sonucu olarak öngörülen üretim miktarı ile gerçekleşen miktar arasında büyük farklar oluşmaktadır. Aynı zamanda planlamanın manuel olarak yapılması ve bir sistematığe dayanmıyor olması, farklı kişilerin hazırladığı kapasite planlamalarında farklılıklara sebep olmaktadır.

Bunlara ek olarak, kapasite planlaması anlık gerçekleşen değişikliklere yanıt verememektedir. Ayrıca ORS'de planlar sezgisel olarak hazırlanmaktadır ve bu durum makine kullanımının yeterince verimli olmamasına neden olmaktadır.

### **2.1. Projenin amaç ve kapsamı**

#### **2.1.1 Projenin amaçları**

Sistemin ilk hedefi üretim miktarının AÜP ile denetiminin sağlanması ve üretim hedeflerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesidir.

İkinci olarak anlık değişikliklere yanıt verebilecek bir kapasite planlama sistemi geliştirmesi hedeflenmektedir ve bu plana göre uygulanabilir sonuçların bulunması amaçlanmaktadır.

### **2.1.2 Projenin kapsamı**

Şirketten alınan bilgiler ışığında bazı varsayımlar yapılmıştır:

- İlk olarak, hammaddenin stoklarda yeterli miktarda bulunduğu varsayılmaktadır. Bu sayede ilk süreçlerde bekleme süresi olmayacaktır.
- Yine bununla ilişkili olarak süreçler arasındaki zaman kaybı ihmal edilmiştir ve süreçlerin toplamı harcanan zamanı verecektir.
- Şirkette üç vardiya olduğu varsayılmaktadır.
- Şirkette her ay kapasite planlama yapılacaktır. Eğer bir ayda yeterli üretim sağlanamamışsa diğer aylarda bu eksik üretimin tamamlanması amaçlanacaktır. Bu yüzden yeni sistem aylık değerlendirmeler üzerinden işlem görecektir.
- Ayrıcalıklı ürünler üretim planlaması sırasında öncelikli olacaktır. Sistemimiz bu ürünlerin üretilmesine öncelik verecek ve bu ürünler tamamlandıktan sonra standart ürünlerin işleme girmesi başlayacaktır.
- Makinelerin pratik kapasitelerinin bilindiği varsayılmaktadır.

## **3. Önerilen Sistem**

### **3.1 Üretim planlamada kullanılan metodlar**

#### **3.1.1 Elle planlama**

Elle Planlama ile kastedilen sezgisel yaklaşımlar ile Üretim Planlama ve Kapasite Planlaması'nın yapılması işidir. Bu yöntemde, planlayıcı sezgisel yaklaşımlar ile makine-ürün eşleşmesi ve sıralamasını yapmakta ve genellikle geciken ürünleri ilk sıraya yerleştirmektedir. Buradaki sıralama stratejiye bağlı olarak değişebilmektedir.

Özellikle çok fazla makine ve ürün çeşidinin bulunduğu işletmelerde bu tarz planlama etkin olmamaktadır. Bir sistem üzerinden takibin zor yapılması nedeniyle planlanan bitiş tarihinde bitirilmesi gereken ürünler bitirilememektedir.

#### **3.1.2 Excel dokümanları kullanarak planlama**

Bir çok planlama ekibi, üretim planlaması için hala MS Excel kullanmaktadır. Bu basit ve manuel yöntem küçük düzeyde üretim sergileyen sistemler için yeterli olsa da çok ve değişken işleri planlama da yetersiz kalır. Bir çok yazılım şirketi MS Excel konseptini geliştiren elektronik versiyonlar sunmaya başlamıştır. Bunlar Excel dokümanlarıdır. Excel dokümanları birçok sebeple iş planlamada tercih edilmektedir. Planlama için gerekli bilgiler rahatlıkla Excel dokümanlarına eklenebilir, düzenlenebilir. VBA programlaması Excel'deki bilgiler için kullanılabilir ve Excel dokümanlarını kullanmak daha



kolay bir yöntemdir.

Excel dokümanları küçük ve basit işler için uygun olsa da, karmaşık işlerin planlanmasında bazı sıkıntıları da vardır. Excel dokümanları kişisel haftalık takvimler ve bu takvimlerin kaynaklar için yarattıkları beklentileri ölçmekte, işlerin önem sıralamasının değişimlerinde, işlerin birden fazla kaynak gerektirdiği durumlarda yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda güçlü ve kullanıma uygun grafikler de ve kullanıcı hatalarını önlemekte yetersiz kalırlar.

### **3.2 Sistemin Girdi ve Çıktıları**

Sistem analizi yapıldıktan sonra, en uygun makine-ürün eşleşmesi, yani rotalamanın, ideal bir biçimde yapılamadığı ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden teorik kapasite ile pratik kapasite arasındaki farkın minimuma indirilmesi gerekir.

Önerilen sistem, çözüm için probleme iki farklı şekilde yaklaşmaktadır. Matematiksel model ve ERP sezgiseli bu konudaki çözüm yaklaşımlarımız olacaktır. Ürün ağacı, makine kapasiteleri, makine verimleri, çalışma saatleri, üretim süreleri, iş planları, ana üretim çizelgesi, lot boyutları ve envanter durumu bilgileri sisteme girdi olarak kullanılacaktır.

#### **3.2.1 Ana Üretim Çizelgesi**

Ana üretim çizelgesi her ürün için brüt gereksinimleri içerir. Modelimiz üretimin en az ana üretim çizelgesindeki kadar gerçekleşmesini öngörmektedir. Ana üretim çizelgesi şirketin envanter durumuna göre düzenlenir.

#### **3.2.2 Ürün Ağacı**

Projemiz en uygun makine-ürün eşleşmesini hedeflemesine rağmen, son ürünler ham maddeler ve diğer makinelerde işlem gören bitmemiş ürünlerden oluşmaktadır. Sonuç olarak, bitmemiş ürünler ve ham maddeler makine kapasitelerini etkilemektedir.

#### **3.2.3 Ürünün üretim süresi**

Bir ürünün üretim süresi makine-ürün eşleşmesine göre değişiklik gösterebilir.

#### **3.2.4 Çalışma Süreleri**

Çalışma süreleri de makine kapasitesini etkileyen bir başka faktördür. Bir ay veya yıl içindeki çalışma süresi kapasite hesabı üzerinde etkiye sahiptir.

Sistemin ana çıktısı son ürünlerdir. Önerilen Kapasite Planlama sistemi matematiksel bir modele dayanmaktadır. Bu model herhangi bir eniyileme yazılımı ile kullanılabilir.(Ek 2,Ek 3)

#### **3.2.5 Çözüm Sonrası Oluşturulan Senaryolar**

Matematiksel Model Sonrası 3 adet durumun söz konusu olabileceği görülmüştür. Bu durumlara istinaden aşağıdaki aksiyonların alınması önerilmektedir.

Tablo 1 : Çözüm Sonrası Senaryolar

Senaryo Numarası	Senaryo	Aksiyon
1	Uygulanabilir ve En Uygun Çözüm	Karar değişkenlerinde verilen üretim miktarları belirtilen zaman aralığında belirtilen makinelerde tamamlanmalıdır. Bunun dışında herhangi bir aksiyon alınmasına ihtiyaç yoktur.
2	Olursuz Çözüm	Amaç Fonksiyonu içerisinde her bir ürüne kar değeri tanımlanarak üretilen ürünlerden edilen toplam kar ençoklamaya çalışılabilir. Bu aksiyon kapsamında talep değerleri ile ilgili kısıt kaldırılmalıdır. Böylece model maliyete göre önceliklendirilen ürünleri kapasite kullanımında önceliklendirecektir.
2	Olursuz Çözüm	Kapasite artırımı yapılarak çözümüm olurlu bir çözüm olması sağlanabilecektir.
3	Problem Büyüklüğü	Problemin çözücü için büyük olması durumunda CPLEX, GAMS gibi uygulamaların alınması kararı verilebilir.

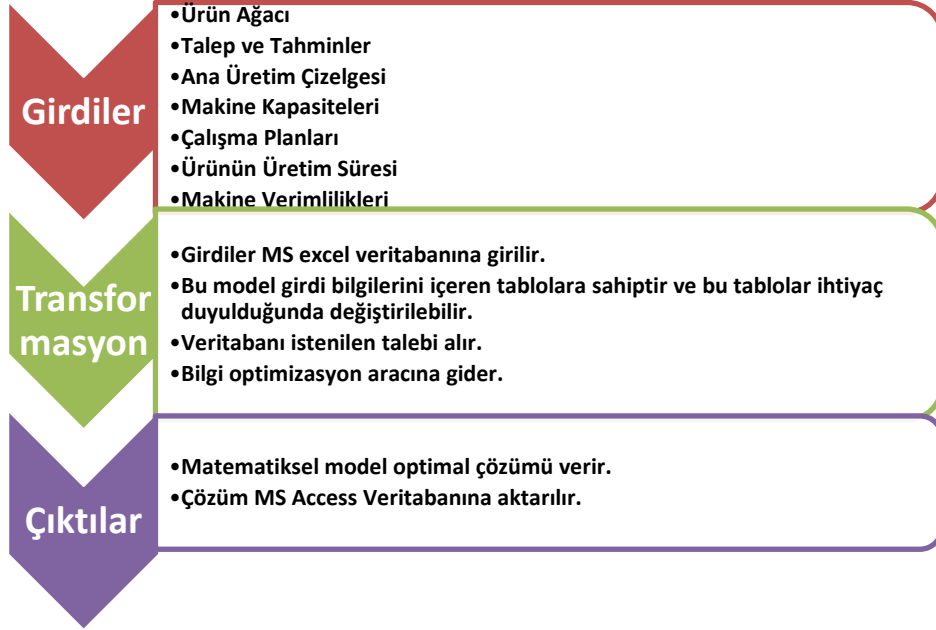
## KAYNAKÇA

- Jacobs F.,Berry W.,Whybark D. ,Vollmann T. 2011. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management.
- Bertsimas, D. and Tsitsiklis, J. N., "Introduction to Linear Optimization", Athena Scientific, 1997.
- Birge, J. R., "Option Methods for Incorporating Risk into Linear Capacity Planning Methods," Manufacturing and Service Options Management, Vol. 2, 2000, pp. 19-31.
- Ahmed, S. and Garcia, R., "Dynamic Capacity Acquisition and Assignment under Uncertainty," Annuals of Operations Research, Vol. 124, No.1-4, 2003, pp. 267-383.
- Deng, S., and Yano C.A., 2006. Joing production and pricing decisions with setup costs and capacity constraints. Management Science 52(5), 741-756.
- Koloğlu, Aycan. Interview, ORS Capacity Planning Team

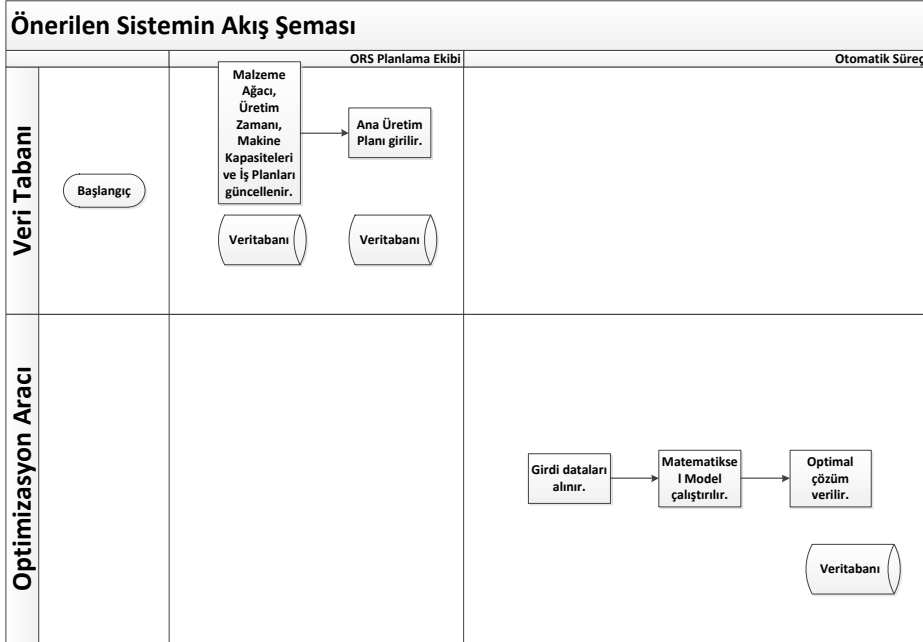


## EKLER

### Ek 1: Sistemin Girdi ve Çıktıları



### Ek 2: Önerilen Sistemin Akış Şeması



## Mamak Depo PO1 Entegrasyonu ile Verimliliğin Artırılması

# PepsiCo Türkiye

## Proje Ekibi

Çağl Demirdeş  
Selin Özbek  
Irmak Şener  
Banu Ulusoy  
Eylül Yıldırım  
Burcu Zengin

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

## Şirket Danışmanı

Merve Arslan

PepsiCo Türkiye, Müşteri Hizmetleri ve Lojistik Geliştirme Danışmanı

## Akademik Danışman

Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

215 ülkede yiyecek ve içecek sektöründe market lideri olan PepsiCo, Mayıs 2015'te PO1 kavramını lojistik sektörüne kazandırmıştır. "Bir olmanın gücü" anlamına gelen bu kavramla, bu zamana kadar depolarda ayrı süreçler halinde yürütölen yiyecek ve içecek operasyonlarının birlikte yürütölməsi amaçlanmıştır. Ankara Mamak deposunda, PO1 sistemi entegrasyonu tam olarak gerçekleşmediğinden bu projede, mevcut sistemin analizi ve yeni sistem tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Projenin amacı, PO1 verimliliğini arttırarak daha yüksek servis seviyelerine ve geliştirilmiş depo yönetim sistemine ulaşmaktır. Matematiksel modellemeler ve sezgisel yaklaşımlar kullanılarak depo yerleşirme ve toplama operasyonlarının zaman açısından etkin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Alternatif senaryoların karşılaştırılması benzetim modelleriyle test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Depo yönetim sistemi, İkinci dereceden atama problemi, 2-Opt Yerel İyileştirme Sezgiseli, Benzetim modeli.

## **1. Şirket Tanıtımı**

Pepsi İçecek ve FritoLay yiyecek şirketlerinin birleşmesiyle ortaya çıkan PepsiCo Türkiye'nin, Türkiye'ye özel ve küresel olmak üzere 22 marka ürünü vardır. Çorlu, Adana ve İzmir olmak üzere 3 içecek fabrikası; Kocaeli ve Mersin olmak üzere ise 2 yiyecek fabrikası bulunan PepsiCo Türkiye'nin 18 tane de deposu vardır. Bu depolardan ikisi Ankara'da Mamak ve Şaşmaz'dadır. Mayıs 2015'te PO1 sistemi öne sürülmeden önce Mamak deposu, yiyecek deposu olarak; Şaşmaz ise içecek deposu olarak kullanılmakta iken, şimdi bu depolar her iki ürün tipi için de faaliyet göstermektedir.

Ankara Mamak deposunun, büyük zincir marketlerinden oluşan Organize Kanal müşterileri (OT) ve yerel market ve bakkallardan oluşan Geleneksel Kanal müşterileri (TT) olmak üzere hizmet verdiği iki tip perakende müşterisi bulunmaktadır. Depolar bazındaki sevkiyat işlemleri, toplama işlemleri ve satılan ürün tipleri; OT ve TT arasında değişiklik göstermektedir.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Proje, şirket isteği üzerine Ankara Mamak deposunda; yalnızca OT müşterilerinin süreçlerine yöneliktir. Depodaki mevcut uygulamaların değerlendirilmesiyle bu uygulamaların verimliliklerini arttırmak ve depo işlemlerini PO1 mantığı çerçevesinde geliştirmek proje kapsamında amaçlanmıştır.

Yiyecek ve içecek olmak üzere iki farklı ürün grubunun da birlikte yürütmesini amaçlayan PO1 politikası Mamak deposunda uygulanmaya başlanmış olmasına rağmen, depo işleyiş süreçlerinde bir entegrasyon sağlanamamıştır. İki ürün grubu aynı çatı altında bulunsada, farklı personeller tarafından farklı süreçlere girmekte; depo içinde farklı bölmelerde yer almaktadır. Proje, varolan sistemi süreç ve yerleşim bakımından test ederek, tam PO1 entegrasyonu için olası fırsatları şirket bünyesine kazandırmayı amaçlamaktadır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

Ankara Mamak deposunda en alt raflar toplama gözleri; diğer raflar ise stoklama gözleri olarak kullanılmaktadır. Raflar başlangıçta, hafif olan yiyecek ürünleri için tasarlandığından, içecek ürünleri stok gözlerinde üçüncü kata kadar konulabilmektedir. Deponun kapasitesinin üçte birini içecekler, geri kalanını da yiyecekler oluşturmaktadır. İlk 5 sıradaki toplama gözlerinde içecekler; diğerlerinde ise yiyecekler bulunmaktadır. Depo, günde 3 vardiya olmak üzere haftanın 6 günü faaliyet göstermektedir. Her vardiyada forklift, transpalet operatörleri ve ofis personelleri günlük elleçleme, yerleştirme ve toplama operasyonlarında görev almaktadır. Depodaki süreçler içecek ürünlerinin süreçleri ve yiyecek ürünlerinin süreçleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Deponun yerleşim planı Ek 1'de görülebilmektedir.

### **2.2.1 İçecek rnlerinin süreçleri**

Depoya fabrikalardan kamyonlar içinde hazır olarak getirilen içecek paletleri, forkliftlerle kamyonlardan alınarak transpaletler yardımıyla depo içine götürülmek üzere kamyonların yanında istiflenmektedir. Dışarıdan alınarak transpaletler tarafından koridorlara istiflenen içecek paletleri depo içinde raflara kaldırılmak üzere bekletilmektedir. Forklift operatörleri, en yakındaki paletleri boş olan herhangi bir stok gözüne yerleştirdikten sonra el terminalleriyle rafın barkodunu okutarak ürünün sisteme girişini Depo Yönetim Sistemi (Warehouse Management System) olan WMS programını kullanarak yapmaktadırlar. WMS sistemiyle stok gözlerindeki ürün miktarları takip edilip, toplama gözlerindeki miktar belli bir seviye altına dştgnde forklift operatörleri tarafından stok gözlerinden toplama gözlerine tazeleme işleminin yapılması sağlanmaktadır.

Ofis personeli, bir sonraki günün sipariş listelerini şirkette kullanılan bir rotalama programı aracılığıyla, sipariş noktasına sevkiyat yapacak kamyonların kapasitelerine ve kullanacakları rotaya göre oluşturmaktadır. Programının oluşturduğu rotayı ofis personeli, günlük yol trafik durumu, sevkiyat süreleri ve müşteri anlaşmalarını da göz önünde bulundurarak kendi bilgi ve tecrübelerine göre değiştirebilmektedir. Rota ve kamyon eşleşmelerine göre oluşturulup WMS sistemine yüklenen bu listelerden, transpalet operatörleri el terminalleri sayesinde haberdar olmaktadır. Sipariş edilen ürünlerin toplanması sürecinde paletlerin hazırlanması her müşteriye özel olarak değil, alınan toplam siparişe göre yapılmaktadır. Yani bir palette birçok müşteriye ait sipariş bulunmaktadır. Hazırlanan paletler, son kontrolden sonra sevkiyat kamyonlarına yüklenmektedir. Her müşteriye kendi sipariş ettiği miktarda ürünün ellelenerek teslimi ise müşteriye sevkiyat sırasında gerçekleşmektedir.

### **2.2.2 Yiyecek rnlerinin süreçleri**

Fabrikalardan kamyonlarla geri dönüşümlü karton kutular içinde getirilen yiyecek ürünleri deponun arka tarafındaki rampadan kabul edilmektedir. Mal kabul işleminde 3 operatör görev almaktadır. Biri, kamyon içindeki karton kutuları rampadaki paletlere yerleştirirken, bir diğeri transpaletle paletleri alıp rampanın ucuna, forklift operatörünün erişebileceği bir yere yerleştirmektedir. Sonra forklift operatörü, rampadaki paletleri içeri taşıyarak koridorlara istiflemektedir. İçecek rnlerinde olduğu gibi, koridorlarda bir süre bekletilen ürünler sırasıyla boş görülen stok gözlerine forklift operatörleri tarafından rastgele yerleştirilmektedir. Yiyecek raflarında yer kalmamışsa, ürünler boş olan içecek raflarının 4. katına yerleştirilebilmektedir. Yerleşim yapıldıktan sonra rafların barkodları el terminalleriyle okutularak rnler WMS'e kaydedilmektedir. WMS, içeceklerde olduğu gibi toplama gözlerinin tazelenmesinde önemli rol oynayarak toplama

gözlerindeki miktar belirli oranda düştüğünde operatörlere el terminalleriyle tazeleme işlemi emri vermektedir.

Yiyeceklerin toplanma operasyonlarında el terminalleri kullanılmamaktadır. Bunun yerine, müşterilere sevkiyat işlemi için çıkartılan rotalar kullanılan rotalama programı ile belirlendikten sonra listeler basılı olarak operatörler tarafından alınarak ürünler paletlere toplanmaktadır. Tamamlanan paletler, Yiyecek Bekleme Alanı'nda sabaha kadar sevkiyat yapacak personelin kontrolü için bekletilmektedir. Ürünler kontrolden sonra kamyonlara paletsiz olarak, teker teker yüklenmektedir.

Geri dönen ürünler de depodaki önemli süreçlerden birini oluşturmaktadır. Bozuk ve sağlam iade olarak bu ürünler ikiye ayrılmaktadır. Sağlam iadeler, perakende müşterilere fazla miktarda gönderilen ürünlerdir ve depoya geri getirildikten sonra aynı gün içinde tekrar sisteme stok olarak kaydedilmektedir. Bozuk iadeler ise hasar gören veya son tüketim tarihi yaklaşan ürünler olarak tanımlanmaktadır. Bu ürünler, depoya getirilip sonra imha edilmek için fabrikaya geri gönderilmek üzere toplanmaktadır.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

Projenin başlangıç aşamasında depo süreçleri sırasında birçok gözlem yapılmıştır. Süreç akışları çıkarılmış, iş etütleri yapılarak her bir sürecin tahminî ortalama süresi hesaplanmıştır. Fakat PO1 sistemi depoya Mayıs 2015'te takdim edilmiş olduğundan, proje süresince tam bir yıllık veriye ulaşmak mümkün olmamıştır.

Yapılan gözlemlere ve şirket kayıtlarına bakılarak, deponun ortalama trafiği tahminî olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda sıradan bir günde, içecekler için yüksek sezon olarak tanımlanan yaz döneminde ortalama 2 kamyon; düşük sezon olan kış döneminde ise 1 kamyon içecek depoya giriş yapmaktadır. Yiyecekler için zirve dönemler olarak tanımlanan ay sonunlarındaki sıradan bir günde, ortalama 6 kamyon; ay başlarındaki sıradan bir günde ise 3 kamyon yiyecek ürünü depoya giriş yapmaktadır. Hem yiyecek hem içecek ürünleri içeren PO1 sevkiyat kamyonlarının sıradan bir günde depodan çıkışları ise ortalama 9 kamyon olmak üzere sezona göre 5 ilâ 12 arasında değişiklik göstermektedir. Günlük akış ve dinamiklere bakıldığında, depodaki süreçlerin 24 saat bazına göre çok daha az zaman alması süreçlerdeki verimsizliği öne çıkarmaktadır.

Depodaki ürünlerin, özellikle de içecekler için güçlü mevsimsellik etkisi taşıdığı öğrenilmiştir. PO1 politikası öncesinde içeceklerin tüm Ankara müşterilerine yalnızca Şaşmaz deposundan gönderilmekte olduğu da dikkate alınarak, bütün bu etmenler göz önünde bulundurulacak olunursa, tam anlamıyla doğru bir tahminleme yapılmasının mümkün olamayacağı anlaşılmıştır. Bu bağlamda verilerin dengeli olması adına, proje süresince sadece Ağustos - Kasım ayları



arası veriler kullanılmıştır. Haziran ve Aralık verileri ise gerektiğinde testlerin doğrulanması için kullanılmıştır.

Bütün farklı markalar, farklı ürünler ve bunların sezon içi/sezon dışı farklı boyutları düşünüldüğünde, Ağustos 2015'ten Kasım 2015'e listelenen 103 farklı içecek ürünü bulunmaktadır. Aynı şekilde farklı markalar, ürünler ve sezon içi/sezon dışı farklı boyutları düşünüldüğünde aynı tarihler arası listelenen 105 farklı yiyecek ürünü bulunmaktadır. Bu sayılar TT müşterilerine yönelik ürünleri içermemektedir.

Ürünler, depoda toplama ve stoklama gözlerinde bulunmaktadır. İçecekler için 103 tane toplama gözü, yiyecekler içinse 120 tane toplama gözü bulunmaktadır. Görüldüğü üzere, toplama gözü sayıları ve stok birimlerine (SKU) eşit değildir. Geçici bir ürün bulunduğu ek paletlerin olma durumu dikkate alınmamıştır. Yiyecekler için, SKU sayısı göz sayısından çok daha düşüktür. Bunun nedeni ise bu ürünlerin talebi daha yüksek olduğundan, birden fazla toplama gözünde bulundurulmalarıdır.

### **3. Problem Tanımı**

Ankara Mamak deposu, her ne kadar PO1 deposuna dönüşme sürecinde olup yiyecek ve içecekler aynı çatı altında konumlandırılmış olsa da, henüz tam ve etkili bir süreç entegrasyonuna ulaşılamamıştır. Bu durum, verimlilik sorunlarına neden olmaktadır. Depo, PO1 deposu olarak faaliyet gösteriyor olsa da yiyecek ve içeceklerin toplama ve stoklama süreçleri hâlâ ayrı olarak işletilmektedir. Tam PO1 entegrasyonu olmaksızın, ayrı süreçlerin yürütülmesi, deponun verimli seviyelere ulaşmasına engel olmakta, süreçlerdeki potansiyel gelişim fırsatlarının farkedilmemesine neden olmaktadır.

#### **3.1 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Toplama süreçleri, depo yönetim sistemlerinde yıllık masrafın yaklaşık %55'ini oluşturduğundan (Tompkins ve ark.,1996) iyileştirilmeleri ve geliştirilmeleri büyük ölçüde önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra toplama operasyonlarının büyük bir zamanı depo içi gezinmelerden kaynaklanmaktadır (Bartholdi,2014). Bu yüzden, toplama operasyonlarında farklı birçok senaryonun test edilmesinin faydalı olacağı kanısına varılmıştır. Literatürde toplama işlemleri için Geri Dönme Stratejisi, S- şekli Stratejisi ve En Geniş Boşluk Stratejisi gibi pek çok rotalama yöntemi tanımlanmıştır (Wascher,2004). Bir başka önemli süreç ise teslim alınan paletlerin yerleştirilmesi sürecidir. Bir palet için yer aranması sürecinin, bir deponun masraflarının yaklaşık %15'ini oluşturduğu öğrenilmiştir (Bartholdi,2014).

SKU sayısı çok olan depolar için literatürde öne sürülmüş bir önemli yöntem ise "SKU yoğunluğu ve toplama yoğunluğu"dur. Bir siparişin toplama yoğunluğu, toplayıcı operatör tarafından katedilen birim yol başına toplanan farklı SKU'ların sayısıdır. Yani yüksek

toplama yoğunluğu ile bir operatör, toplama başına az yol kat edecektir. Toplama yoğunluğu, ürünlerin talebine ve verilen siparişe büyük ölçüde bağımlı olduğundan, öncesinde buna yönelik bir aksiyon mümkün değildir. Fakat yüksek SKU yoğunluğu ile birim yol başına düşen SKU sayısı artacağından, daha yüksek bir toplama yoğunluğuna ulaşılabilir (Bartholdi,2014). Bu tanım, daha çok rağbette olan SKU'ların paletlerde karışık olarak depoya teslim alınması fikrini ortaya koymuştur.

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Projede çeşitli modeller kurulmuştur. Bu modeller başlıca matematiksel modeller, sezgisel modeller ve benzetim modelleri olarak özetlenebilmektedir. Bir sonraki bölümde daha detaylıca bahsedilecek olan matematiksel modellerin kodlanması küçük bir ürün grubu için Xpress ile yapılmış ve test edilmiştir. Daha sonra CPLEX ile çalıştırılan bu modeller küçük sistemin sonuçları ARENA aracılığıyla benzetim modelinde test edilmiştir. Tüm ürünlerin modele aktarılıp çözülmesi NP-zor problem olduğundan ve bu programların şirket tarafından kullanılması mümkün olmadığından, toplama ve yerleştirme gözleri yerleşimi için sezgisel modeller geliştirilmiştir. Bu sezgisel modeller EXCEL VBA aracılığıyla kodlanıp çalıştırılmıştır ve tarafımızca oluşturulan ILLIC adı verilen arayüz ile şirket kullanımına uygun hale getirilmiştir. Modellerin benzetim araçlarıyla testi süresince olası alternatif senaryoların denenmesi ve süreçlerin buna uygun biçimde yönlendirilmesi amaçlanmıştır.

##### **4.1 Matematiksel modeller**

İlk olarak depo düzeninin mevcut durumunu eniyilemek için İkinci Dereceden Atama Problemi (İDAP) matematiksel modeli ile depoda toplamda kat edilen yolu enazlayacak; toplama gözleri ürün yerleşimi modeli kurulmuştur. Yiyecek ve içecek ürünlerinin toplama işlemleri mevcut durumda ayrı sürdürüldüğünden, bu işlemler için ayrı 2 model geliştirilmiştir.

Modellerin kurulumu için bazı parametreler tanımlanmıştır. İki ürünün (i ve k) birlikte talep edilerek aynı sevkiyat kamyonuna girme oranını simgeleyen parametre  $w_{ik}$  olarak adlandırılmıştır. Örneğin, her iki ürün için MATLAB yardımıyla 4 aylık ürün talep verisinden yararlanılarak hesaplanan  $w_{ik}$  değerinin belirli iki ürün için yüksek olması, bu iki ürünün birlikte sık oranda müşteriye sevk edilmesi anlamına gelmektedir. Modeller için tanımlanan ve MATLAB aracılığıyla kodlanıp hesaplanan bir başka parametre ise  $d_{jl}$  şeklinde adlandırılan; j ve l ürün gözleri arasındaki uzaklık parametresidir. Bunlardan ayrı olarak, içecekler birbirleri üzerine yerleştirilirken ağırlık kısıtları var olduğundan, ağırlık parametresi olarak adlandırılan  $a_{ik}$  değerleri; her ikili içecek ürünü için tanımlanmıştır. Bu değerler, toplama işlemleri sırasında i ürününün palete konulduktan sonra üzerine

k ürününün konulup konulamayacağı kısıtını oluşturan 0 ve 1 sayıları ile sağlanmıştır.

Oluşturulan değişken ve parametrelerin yanı sıra, modellerin kurulumu sırasında bazı veriler girdi olarak alınmış ve bazı varsayımlar ele alınmıştır. Bu bağlamda her işlem sürecinin ortalama süresi, vardiya süreleriyle personellerin çalışma programları, forklift ve transpalet gibi araçların depo içi hızları, palet kapasiteleri, toplama ve stok gözleri sayısı, her ürünün fabrikadan geliş sıklığı dikkate alınmıştır. Ayrıca, transpaletlerin noktasal olup sabit hızla ilerledikleri, yiyecekler için ele alınan alanların OT yiyecek koridorları ve yiyecek bekleme alanlarından; içecek için ele alınan alanlarınsa içecek koridorları ve iki çıkış kapısı arasındaki orta noktalardan oluştuğu varsayılmıştır. Modellerde bu başlangıç ve bitiş noktası alanları yapay değişken olarak  $X_{00kl}$  ve  $X_{ij00}$  şeklinde tanımlanmıştır.

#### 4.1.1 Toplama gözü yerleştirme matematiksel modelleri

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda içecek ürünleri için oluşturulmuş İDAP matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

M: {1, ürün gözleri}

N: {1, ürünler}

Parametreler:

$d_{jl}$  = j ve l gözleri arasındaki uzaklık

$w_{ik}$  = i ve k ürünlerinin birlikte toplanma katsayısı

Değişkenler:

$X_{ijkl}$  = içinde i ürünü olan j'inci gözden; içinde k ürünü olan l'inci göze gitme

$u_{ij}$  = i ürününü j gözüne yerleştirme

$y_j$  = j hücrelerinin yerleştirme turundaki sırası

$$\text{enazla } \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l d_{jl} * w_{ik} * (X_{ijkl}) \quad (1)$$

Kısıtlar altında,

$$\sum_{j \in M} u_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} u_{ij} = 1, \quad \forall j \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in M} X_{ijkl} = u_{kl} \quad \forall k \in N, l \in M, \quad i \neq k, \quad j \neq l \quad (4)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{l \in M} X_{ijkl} = u_{ij} \quad \forall j \in M, i \in N, \quad i \neq k, \quad j \neq l \quad (5)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{l \in M} X_{00kl} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in M} X_{ij00} = 1 \quad (7)$$

$$y_l \geq y_j + 1 - n * (1 - X_{ijkl}) \quad \forall i,k \in N, \quad j,l \in M, \quad k,l \neq 1 \quad (8)$$

$$X_{ijkl} \leq a_{ik} \quad \forall i,k \in N, \quad \forall j,l \in M, \quad i \neq k \quad (9)$$

$$X_{ijkl} \in \{0,1\}, \quad u_{ik} \in \{0,1\}, \quad y_j \geq 0, \quad \forall j,l \in M, \quad \forall i,k \in N \quad (10)$$

Yiyecek ürünleri, içecek ürünleri gibi ağırlık kısıtlarını içermediğinden, yiyecek ürünleri için toplama gözü modelleri 10 numaralı kısıt olmaksızın benzer şekilde kurulmuştur.

Karma matematiksel modeli, literatürdeki karışık palet kavramı düşünülerek, yiyecek ve içeceklerin ardışık toplama gözlerine yerleştirilip karma bir palette toplanabilme varsayımıyla kurulmuştur. Dolayısıyla, yiyecek ve içeceklerin ağırlık kısıtları olmadığından,  $a_{ik}$  değerleri 1 olarak tanımlanmıştır. Bu yöntemin hayata geçirilmesi durumunda, her iki ürün tipini de aynı anda taşıyacak paletlerin çift bıçaklı forkliftler ile taşınabilmesi öngörülmektedir.

#### **4.1.2 Stoklama gözü yerleştirme matematiksel modelleri**

Toplama gözleri, stok gözlerinin dinamik olmalarının aksine sabit ve statik formdaki gözlerdir. Dolayısıyla iki farklı ürün gözü için farklı modeller geliştirilmiştir. Ayrıca, toplama gözlerinin yerleştirilmesi, stok gözleri modeline girdi olarak verilmiştir. Yiyecek ve içecekler için toplama işlemleri ayrı yürütüldüğünden bunlara ayrı modeller geliştirilmiştir; fakat stok gözleri işlemleri ürün tiplerindeki fark gözetilmeksizin yapıldığından, bu gözler için aynı matematiksel model kullanılmaktadır. Stok gözü yerleştirme modeli için, toplama gözleri için yapılan varsayımlara ek olarak, yiyeceklerin depoya rampadan giriş yapması ve stoktaki paletlerin ömürlerinin son kullanma tarihlerine kadar olması kabul edilmiştir. Oluşturulan model Ek 2'de görülebilmektedir.

#### **4.2 Sezgisel modeller**

CPLEX ve XPRESS programları işletme tarafından kullanılmamaktadır. Ayrıca, yerleştirme problemlerinin NP-zor olması ve dolayısıyla yüksek sayıda ürünler için kesin çözümlerin makul sürede elde edilmesinin mümkün olmaması nedeniyle, sezgisel modeller geliştirilmiştir. Bu modeller EXCEL VBA ile kodlanmış ve çalıştırılmıştır. Modellerin başlangıç dizilimi için Gezgin Satıcı Problemi yaklaşımı kullanılmış, stok ve toplama gözlerine yerleştirilen ürünlerin operasyon sırasında kat edilen yolu enazlaması temel alınmıştır. Fakat Gezgin Satıcı Problemi başlangıç noktasına geri dönen halkasal bir algoritma olduğundan (Johnson, McGeoch), elde edilen bu halkayı bir noktada kırarak, depo koridorlarında S-şeklinde ilerleyen doğrusal bir dizilim elde etmek gerekmiştir. Bu noktada, bu kırılma noktasının manuel olarak seçilmesi, matematiksel modelin eniyi değerinden %57 sapmaya neden olmaktadır. Bu başlangıç dizilimini geliştiren sezgisel olarak ise literatürdeki 2-opt sezgisel yaklaşımı kullanılmıştır (Nilsson, Linköping). Enazlanmak istenen amaç fonksiyonu, her tekrarlama daha da azaltılarak sonuçlandırılmıştır.

Sezgisel modeller, Tablo I’de görülebileceği gibi 10’luk ürün grubu için, matematiksel modellerin eniyi değerlerinden %5’in altında sapma göstermektedir.

Tablo I: 10’luk Ürün Grubu için Model Çıktıları Karşılaştırması

	Matematiksel Model	Sezgisel Model	Modeller arası sapma
Yiyecek	8.727,72	8.947,45	%2,52
İçecek	22.011,17	22.129,58	%0,54
Karma	12.746,09	12.821,13	%0,59

Bu sezgisel model aracı, EXCEL VBA’de kullanıcı arayüzü eklenerek ofis personeli kullanımına uygun olarak yapılandırılmıştır. ILLIC adı verilen bu arayüzün ekran görüntüsünün bir örneği Ek 3’te görülmektedir.

#### 4.3 Benzetim modelleri

Benzetim modelleri, sistemin mevcut durumunu modellemek ve uzun vadede uygulanabilecek olası senaryo ve uygulamaları denemek için ARENA programında kurulmuştur. Geliştirilen matematiksel ve sezgisel modellerin eniyilenen yerleştirme sonuçları ve beraberinde getirdikleri farklı senaryolar denenerek, mevcut uygulamanın aksine sipariş bazlı sevkiyat yapılıp yapılmamasının etkisi konusunda sonuca ulaşmak amaçlanmıştır. Denenen senaryolar aşağıdaki amaçlar doğrultusundadır.

- Mevcut sistemi çalıştırıp, matematiksel ve sezgisel modellerin, ayrıca karışık yerleştirme modellerinin sonuçlarıyla karşılaştırarak karma depo planı sistemi senaryosunun bu şekilde test edilmesi ve bu senaryonun ortaya koyabileceği durum ve maliyetlerin hesaplanması
- Farklı şekillerdeki toplama rotalamalarının test edilmesi
- AS/RS gibi otomasyonlu bir sistem getirerek raf kapasitelerinin artırılması durumunun test edilmesi. Kabul edilen paletlerin raflara yerleştirilmesi esnasında forklift ihtiyacını yok edecek bu senaryonun ortaya koyabileceği durum ve maliyetlerinin hesaplanması

#### 5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

PepsiCo depo verimliliğini arttırmayı amaçlayan projenin çıktıları probleme etkin çözümler sunmaktadır. ILLIC programı ile şirkete dinamik bir depo yerleşim modeli hazırlanmıştır. Depo elemanları yeni ürün piyasaya çıktığında veya eski ürünlerin birlikte gitme oranlarında değişiklik olduğunda bu programı çalıştırarak toplama gözleri için yeni yerleşim modeline erişebileceklerdir. Program aynı zamanda stoklama gözleri için de yerleşim modeli sağlayacaktır.

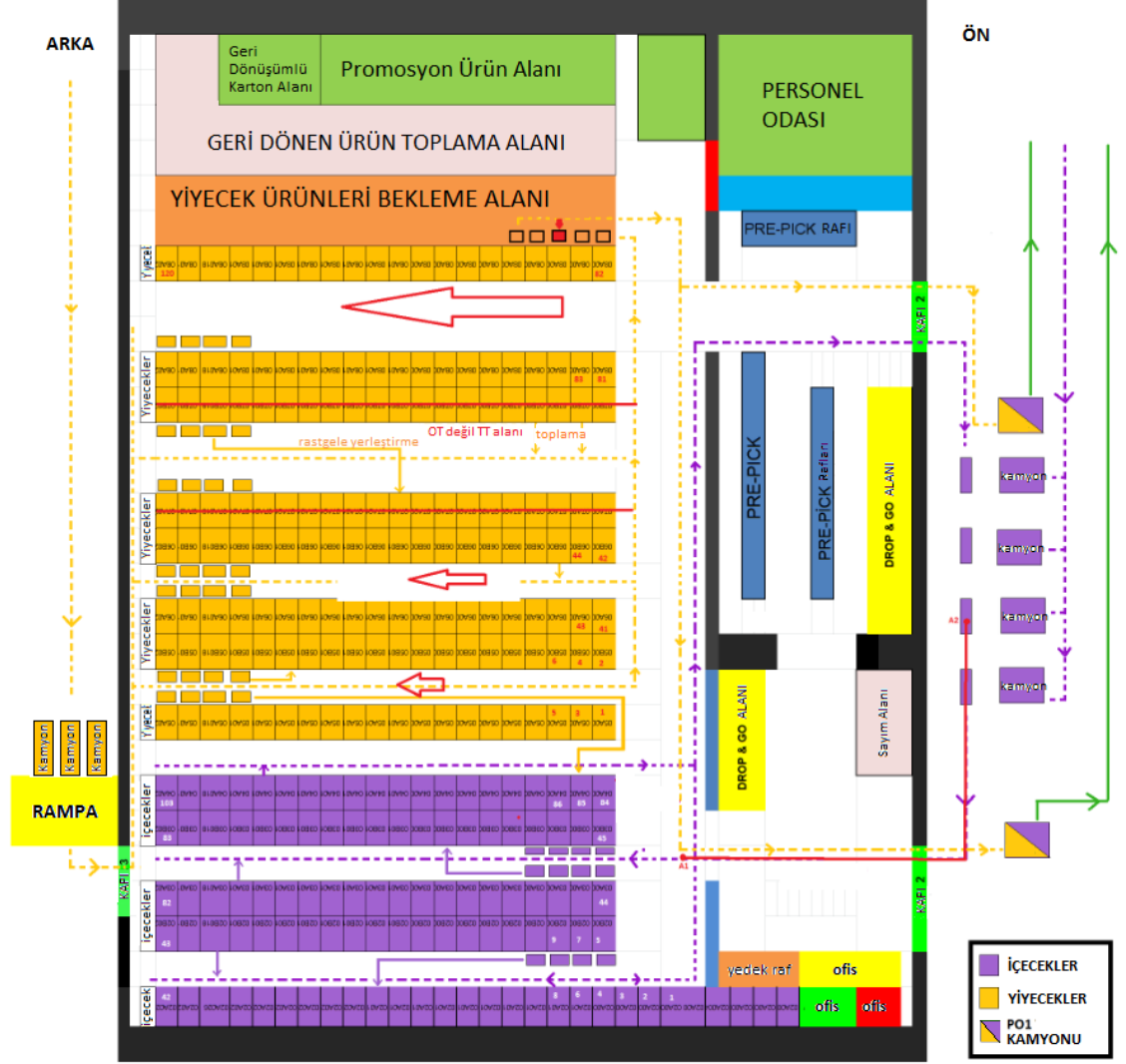
Depo elemanlarının programı verimli şekilde kullanmaları için kullanım kılavuzu temin edilecektir. Ek 4 ve 5'te matematiksel ve sezgisel yerleşim modellerinin çıktıları küçük ürün grubu için mevcuttur. Yerleşim modellerinin çıktıları ARENA programında test edilecek ve kapasite analizi yapılacaktır. Son olarak da maliyet analizi yapılacak ve çıktılar şirkete teslim edilecektir.

## KAYNAKÇA

- Tompkins ve ark., Facilities Planning, Wiley, 1996
- F. Dallari, G. Marchet, and M. Melacini, \Design of order picking system,"The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 42, pp. 1{12, 2009.
- G. Wascher, \Order picking: a survey of planning problems and methods,"in Supply Chain Management and Reverse Logistics. Berlin: Springer, 2004, pp. 324 { 370.
- S. Martello, G. Laporte, M. Minoux, C. Riberio, "Surveys in Combinational Optimization", North Holland Mathematics Studies, Elsevier, Holland, pp.61-80, 1991.
- Bartholdi, J., & Hackman, S. "In Warehouse & Distribution Science (Georgia Institute of Technology ed.)The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering.". Atlanta, USA, 2014.
- E. Aghezzaf, "Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands", Journal of the Operational Research Society, 56, 453-462, 2005.
- H.D. Ratliff, A.S. Rosenthal, "Order Picking in a Rectangular Warehouse: a solvable case of travelling salesman problem" Operations Research, pp. 507-521, 1983.
- Nilsson, C., "Heuristics for the Traveling Salesman Problem", Linköping University, Available: <https://web.tuke.sk/feit-butka/hop/htsp.pdf>
- Johnson, D., McGeoch, L. "The Traveling Salesman Problem: A Case Study in Local Optimization", Local Search in Combinatorial Optimization.

## EKLER

### Ek 1. Ankara Mamak Deposu Yerleşim Planı



### Ek 2. Stoklama Gözü Yerleşirme Matematiksel Modeli



T: {ürün gözleri}

P: {ürünler}

Parametreler:

$d_{jn}$  = j ve n gözleri arasındaki uzaklık

$X_{ij}$  = Toplama modeline göre i ürününün j gözüne yerleşimi

$b_m$  = m ürününün stoktaki toplam palet sayısı

Değişkenler:

$Z_{mni}$  = içinde m ürünü olan n'inci stok gözünden; içinde i ürünü olan j'inci toplama gözüne gitme

$Y_{mn}$  = i ürününü j gözüne yerleştirme

$$\text{enazla } \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n (d_{jn} * Z_{mni} * X_{ij} + d_{0n} * Y_{mn}) \quad (1)$$

kısıtlar altında,

$$\sum_{m \in P} Y_{mn} = 1, \quad \forall n \in T \quad (2)$$

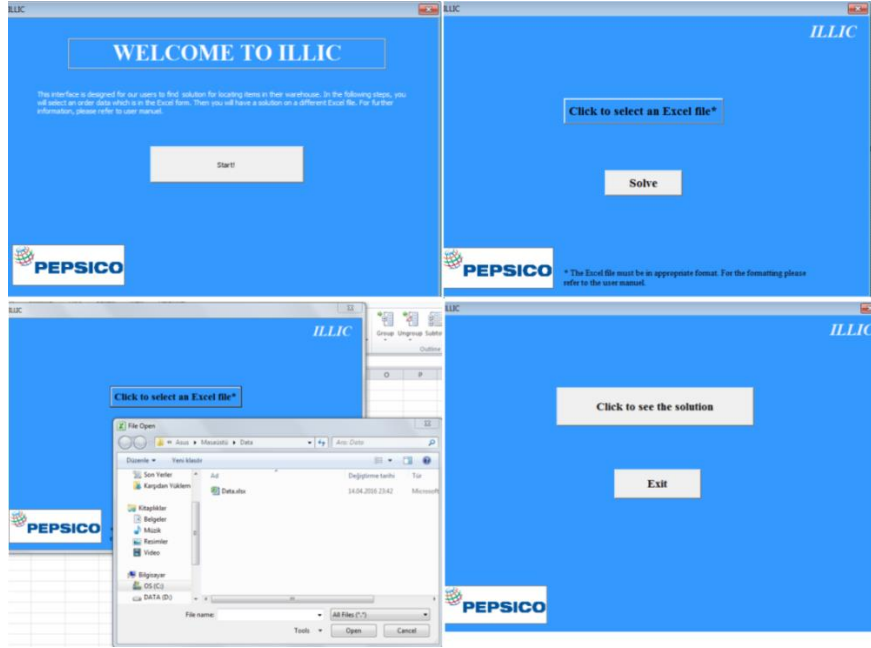
$$\sum_{n \in T} Y_{mn} = b_m, \quad \forall m \in P \quad (3)$$

$$\sum_{m \in P} \sum_{n \in T} Z_{mni} = X_{ij}, \quad \forall i \in P, \quad j \in T, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in P} \sum_{j \in T} Z_{mni} = X_{mn}, \quad \forall m \in P, \quad n \in T, \quad (5)$$

$$Y_{mni} \in \{0,1\}, \quad Y_{mn} \in \{0,1\} \quad (6)$$

### Ek 3. Sezgisel Modelin Arayüz Ekran Görüntüsü



#### Ek 4. Matematiksel Model Çıktıları

İÇEÇEK					Sonuç:
PET PC KOLA 2.5L 6X	PET YDG PR TKL 1.5L 12X YENİ	PET 7UP GAZOZ 1L 12X	CAN TRPCN SEFT 330ML 24X BURSA YENİHARMAN	CAN LIP LIM 330ML 4X6 MP	22129,6
←←←←←					
PET LIP LIM 2L 6X ASEPTİK	PET FRK GAZOZ 1.5L 12X	CAN LIP CİL&KAV 500ML 12X	CAN PC KOLA 330ML 24X	CAN LIP SEFT 250ML 2X12 MP	
YİYECEK					Sonuç:
RUFFLES ORIGINAL SADE 164G 12X	DORITOS TACO BAHARATLI 146G 20X	LAYS KLASİK 121G 20X	LAYS DOMATES & KURUTULMUS YESİLLİKLER 105G	LAYS BAHARATLI 109G 20X	8947,45
←←←←←					
LAYS FIRINDAN YOGURT & MEVSİM	CEREZZA POPCORN SADE 74G 12X	RUFFLES MIX SOGAN HALKASI & PATATES 107G 20X	DORITOS NACHO PEYNİR 134G 20X	RUFFLES KETÇAP 109G 20X	
KARMA YERLEŞİM					Sonuç:
DORITOS TACO BAHARATLI 146G 20X	PET 7UP GAZOZ 1L 12X	CEREZZA POPCORN SADE 74G 12X	RUFFLES KETÇAP 109G 20X	RUFFLES MIX SOGAN HALKASI & PATATES 107G 20X	12746,09
CAN TRPCN SEFT 330ML 24X BURSA YENİHARMAN	LAYS KLASİK 121G 20X	PET YDG PR TKL 1.5L 12X YENİ	PET PC KOLA 2.5L 6X	LAYS FIRINDAN YOGURT & MEVSİM YESİLLİKLERİ 134G	
CAN LIP CİL&KAV 500ML 12X	LAYS BAHARATLI 109G 20X	CAN PC KOLA 330ML 24X	PET LIP LIM 2L 6X ASEPTİK	CAN LIP LIM 330ML 4X6 MP	
CAN LIP SEFT 250ML 2X12 MP	PET FRK GAZOZ 1.5L 12X	LAYS DOMATES & KURUTULMUS	RUFFLES ORIGINAL SADE 164G 12X	DORITOS NACHO PEYNİR 134G 20X	

#### Ek 5. Sezgisel Model Çıktıları

İÇECEK					Sonuç:
CAN LIP SEFT 250ML 2X12 MP	CAN TRPCN SEFT 330ML 24X BURSA YENIHARMAN	PET PC KOLA 2.5L 6X	PET FRK GAZOZ 1.5L 12X	CAN LIP CIL&KAV 500ML 12X	22011
←	←	←	←	←	
CAN PC KOLA 330ML 24X	PET LIP LIM 2L 6X ASEPTİK	PET YDG PR TKL 1.5L 12X YENI	PET 7UP GAZOZ 1L 12X	CAN LIP LIM 330ML 4X6 MP	
YİYECEK					Sonuç:
DORITOS NACHO PEYNİR 134G 20X	RUFFLES MIX SOGAN HALKASI & PATATES 107G 20X	CEREZZA POPCORN SADE 74G 12X	RUFFLES KETCAP 109G 20X	LAYS KLASİK 121G 20X	7725.34
←	←	←	←	←	
LAYS FIRINDAN YOGURT & MEVSİM YESİLLİKLERİ 154G	RUFFLES ORIGINAL SADE 164G 12X	LAYS BAHARATLI 109G 20X	LAYS DOMATES & KURUTULMUS YESİLLİKLER 105G	DORITOS TACO BAHARATLI 146G 20X	
KARMA YERLEŞİM					Sonuç:
DORITOS TACO BAHARATLI 146G 20X	PET 7UP GAZOZ 1L 12X	CEREZZA POPCORN SADE 74G 12X	RUFFLES KETCAP 109G 20X	RUFFLES MIX SOGAN HALKASI & PATATES 107G 20X	12746.09
CAN TRPCN SEFT 330ML 24X BURSA YENIHARMAN	LAYS KLASİK 121G 20X	PET YDG PR TKL 1.5L 12X YENI	PET PC KOLA 2.5L 6X	LAYS FIRINDAN YOGURT & MEVSİM YESİLLİKLERİ 154G	
CAN LIP CIL&KAV 500ML 12X	LAYS BAHARATLI 109G 20X	CAN PC KOLA 330ML 24X	PET LIP LIM 2L 6X ASEPTİK	CAN LIP LIM 330ML 4X6 MP	
CAN LIP SEFT 250ML 2X12 MP	PET FRK GAZOZ 1.5L 12X	LAYS DOMATES & KURUTULMUS YESİLLİKLER 105G	RUFFLES ORIGINAL SADE 164G 12X	DORITOS NACHO PEYNİR 134G 20X	

# İç Lojistik İş Yükü Dengelemesi ve İş Ataması

## Roketsan A.Ş.

### Proje Ekibi

İlkyaz Altuğ

İtr Ergin

Can Güner

Merve Şahin

Ezgi Ulu

Ayşe Begüm Yüzbaşı

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### Şirket Danışmanı

Hasan Yavuz

Roketsan A.Ş., Planlama Mühendisi

Emre Eryiğit

Roketsan A.Ş., Planlama Mühendisi

### Akademik Danışman

Prof. Dr. Nesim K. Erkip

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Roketsan A.Ş.'de depolarda çalışan ve gelen malzeme taleplerini karşılamada görevli Malzeme Yönetim Birimi (MYB) sorumluları arasında eşit iş yükü dağılımı sağlanamamaktadır. Mevcut sistemde, taleplerin gereksinim tarihinden sonra teslim edildiği de saptanmıştır. İş yükü dengesizliği ve taleplerin gecikmesini en aza indirmek için geliştirilecek modelde kullanılmak üzere zaman etüdü, veri analizi ve sahada gözlem gibi uygulamalar yapılmıştır. Mevcut durumdaki proje bazlı atama sistemi için Proje Atama Modeli ve atanan işlerin sıralanması için Sıralama Modeli kullanılmıştır. Alternatif olarak projelerin atanması yerine taleplerin bir havuzdan atandığı bir Sezgisel Model oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** İş Yükü Dengeleme, Malzeme Yönetimi, Gecikmeyi En Aza İndirme, Havuz Sistemi, İş Sıralama, Proje Atama

### 1. Şirket Tanıtımı

Roketsan A.Ş. savunma sektöründe öncü şirketlerdendir. Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı'nın bir kuruluşu olan Roketsan,

roket ve füze tasarımı, geliştirilmesi ve üretimi konularında lider bir konuma sahiptir.

Şirketin ürün yelpazesinde kara sistemleri, hava savunma sistemleri, deniz sistemleri, hassas güdümlü füzeler ve balistik koruma sistemleri bulunmaktadır. Üretim fabrikaları Ankara'da Elmadağ ilçesi ve Lalahan semtlerinde bulunmaktadır. Elmadağ ve Lalahan yerleşkelerinde bulunan depolar, üretilen veya dışarıdan alınan malzemeleri depolama amaçlı kullanılmaktadır.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

İç Lojistik Süreç Tasarımı Projesi iki tane amaca odaklanmıştır:

- Depo ve atölyeler arasında talep edilen malzemelerin transferi sırasında olabilecek gecikmeleri azaltmak
- MYB sorumluları arasında iş yükünü dengelemek

Proje kapsamındaki gözlem ve iyileştirmeler temel olarak İç Lojistik Departmanı'nı kapsamakla beraber malzeme taleplerini karşılarken MYB sorumlularına eşit şekilde iş yükü paylaşımı yapmayı ve talep önceliklerini belirleyen bir sistem oluşturmayı esas almaktadır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı ve analizi**

Roketsan, proje bazlı çalışan bir şirkettir ve iki tip projeleri vardır. Bunlardan biri; tasarımı onaylanmış ve kalite süreçlerini başarıyla tamamlamış olan seri üretim projeleri; diğeri ise, tasarım aşamasında olan tasarım geliştirme projeleridir. Tasarım projeleri yaklaşık olarak üç-dört yılda tamamlanmaktadır.

Fabrikada ağır raf, blok istif, kimyasal, otomatik depolama ve çekme sistemi olmak üzere dört çeşit depo bulunmaktadır. Bu depolarda üretimde kullanılacak olan malzemeler depolanmaktadır ve bu malzemelerden sorumlu olarak çalışan Elmadağ'da 11, Lalahan'da ise 4 sorumlu bulunmaktadır.

Roketsan büyümekte olan bir şirket, bu nedenle ilerde daha çok proje alacağı öngörülmektedir. Yeni projeler aldıkça, mevcut durumda aksamalar gözlenmesi beklenmektedir.

- Araştırma ve Geliştirme Departmanı'nın çalışmaları sonunda roket ve füzelerin malzemelerinin ürün ağaçları değişmektedir. Bu değişimler de mamul ve yarı mamullerin ürün çizelgelerini ve malzeme stok bulundurma birimlerini değiştirmektedir.
- Dış tedarikçilerden tedarik edilen malzemelerde problemler ve gecikmeler yaşanmaktadır.
- Bu değişimler ve aksamalar, MYB sorumlularının ve forklift operatörlerinin fazladan mesaiye kalmasına ve dengesiz iş yükü dağılımlarına yol açmaktadır.

Roketsan Şirketi'nde tasarım projeleri ve seri üretim projeleri eş zamanlı olarak üretildiği için MYB sorumlularına her an farklı taleplerin gelmesi mümkündür. Şirkette yapılan gözlemler sonucunda,

talep edilen bazı malzemeler çok kısa bir zaman içinde istendiği için zamanında yerine teslim edilemediği gözlenmiştir. Buna rağmen Roketsan'ın gelen talepleri önceliklerine göre sıralayacak etkili bir sistemi bulunmamaktadır. Bu durum, talep edilen proje malzemelerinin teslim edilmesinde gecikmelere yol açmaktadır.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Depolarda, atölyelerden gelen taleplerin karşılanması sürecinde iş yükü her MYB sorumlusuna eşit şekilde dağılmamaktadır. Ayrıca mevcut durumda talep önceliğini belirleyen bir sistem olmaması, hangi talebin önce karşılanması gerektiğine karar verememe sorunun doğurmaktadır. Bu da taleplerin transferinde gecikmelere yol açmaktadır

Depolardaki çalışanlar farklı günlerde gözlemlenmiş ve şikayetlerin tespiti fiziksel olarak da yapılmıştır.

#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Projenin ilk aşamasında amaç her bir projenin MYB sorumlularına adil ve eşit bir şekilde dağıtılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak temel atama modelleri hakkında araştırma yapılmıştır. Bunun yanında iş yükü dengelemesi yapan makaleler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu iki sistemi birleştirerek Roketsan Şirketi için istediğimiz amaca ulaşılması hedeflenmiştir.

Liang vd. (2009) yaptıkları çalışmada, bizim problemimize çok benzer bir sorunu araştırmaktadırlar. Bir oyuncak firması, projeleri mühendisler atamada sorun yaşamaktadır ve her hafta iş yükü farklı olan farklı projelerle ilgilendikleri için iş yükünü dengelemekte sorunlar yaşamaktadırlar. Makalede, K tane proje ve I tane mühendis tanımlamaktadırlar ve bunları T zaman dilimi için yapmaktadırlar. U değişkenini, bir mühendisin toplam alabileceği en fazla iş yük miktarı olarak ve L değişkenini de toplam en az iş yük miktarı olarak belirlemektedirler. Modelde, U ve L değişkenleri arasındaki farkı en aza indirmeye çalışmaktadırlar ve bu sayede her bir mühendise birbirlerine yakın miktarda iş yükü paylaştırmaya çalışmaktadırlar.

Başka bir makalede, Ouazene vd. (2014) yaptıkları çalışmada paralel makineler arasındaki iş yükü dengelemesini tartışmaktadırlar. Projemizde MYB sorumlularını eşit nitelikte olarak düşündüğümüz için paralel makineler ile bağdaştırarak bu makalenin de bize yardımcı olabileceğini düşünmekteyiz. Bu modelde ise, karışık tamsayı programlamasını kullanarak en fazla iş yükünü en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Makinelerin sabit işlem süresine sahip olduğu ve bir makinenin aynı anda sadece bir iş yaptığı düşünülmektedir.

Yukarıda bahsedilen iki makale de Roketsan'daki proje atama ve iş yükü dengeleme problemine nasıl bir yaklaşım izlememiz gerektiğini

anlatmaktadır. Optimizasyon modeli, bize her iki yerleşke için ve her MYB sorumlusu için dengeli bir iş yükü yapmamızı sağlayacaktır.

Projenin ikinci kısmında, gelen talepleri önem ve önceliklerine göre sıralayacak sistematik bir sıralama modeli oluşturmaya çalışılmaktadır. Bu sayede belirsiz olan talep sıralaması sorununu çözmeyi hedeflemekteyiz. Panneerselvan(2006)'nin yaptığı çalışmada sıralama yaparken bulunabilecek en iyi çözümünün teslim tarihlerine bakılarak yapılan sıralama olduğu belirtilmektedir.

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Bu projede, depo çalışanları arasındaki iş yükünü dengeleyen ve talep önceliğini belirleyen uygun bir sistem tasarlanması amaçlanmaktadır. Projedeki çözüm stratejisi, Roketsan'ın büyüyen yapısına ve artan taleplerine cevap verecek nitelikte ve mevcut durumla uyumlu olarak çalışacak bir şekilde tasarlanmasıdır.

##### **4.1 İş yükü dengeleme ve atama modeli**

Atama Modelinde, girdi olarak MYB sorumluları, proje sayısı, her bir projenin aylık işlem süresi, projelerin önemleri, ortalama önem ve ortalama işlem süresi belirlenmiştir. Çıktı olarak ise, her iki yerleşke için de gerekli olan MYB sorumluları sayısı ve MYB sorumlularına atanan projeler belirlenmiştir.

Atama Modeli, MYB sorumlularına her birinin iş yükünü ve aylık çalışma saatini dengeleyecek şekilde projeleri atamayı amaçlamaktadır. Amaç fonksiyonu bir MYB sorumlusunun aylık çalışma saati ile ortalama çalışma zamanının arasındaki toplam farkı en aza indirgeyecek şekilde tanımlanmıştır. Modelimiz Ek.1'de sunulmuştur.

##### **Kümeler:**

**A:** Malzeme Yönetim Birimi Sorumlularının kümesi  $A=\{1..n\}$

**B:** Projelerin kümesi  $B=\{1..m\}$

##### **Parametreler:**

**$b_{jE}$ :** Elmadağ yerleşkesinde j projesi için harcanması gereken aylık zaman

**$b_{jL}$ :** Lalahan yerleşkesinde j projesi için harcanması gereken aylık zaman

**$a_j$ :** j projesinin ağırlığı

**$N_E$ :** Elmadağ'da'ki MYB sayısı

**$N_L$ :** Lalahanda'ki MYB sayısı

**$M$ :** Proje sayısı + 1

**$\bar{T}$ :** MYB'lerin aylık ortalama çalışma saati

**$\bar{I}$ :** Projelerin ortalama önemi

$$\bar{I} = \frac{\sum_j a_j}{N_E + N_L}$$

##### **Değişkenler:**

$$\begin{aligned}
\mathbf{X}_{ij} &= \begin{cases} 1 & \text{Elmadağ'daki MYB } i, \text{ proje } j' \text{ye atanırsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \\
\mathbf{Y}_{ij} &= \begin{cases} 1 & \text{Lalahan'daki MYB } i, \text{ proje } j' \text{ye atanırsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \\
\mathbf{E}_i &= \begin{cases} 1 & \text{MYB } i, \text{Elmadağ yerleşkesinde çalışıyorsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \\
\mathbf{L}_i &= \begin{cases} 1 & \text{MYB } i, \text{Lalahan yerleşkesinde çalışıyorsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}
\end{aligned}$$

$\mathbf{T}_{i1}$  : Elmadağ'daki MYB'lerin çalışma saati ve ortalama çalışma saati arasındaki pozitif fark

$\mathbf{T}_{i2}$  : Elmadağ'daki MYB'lerin çalışma saati ve ortalama çalışma saati arasındaki negatif fark

$\mathbf{T}_{i3}$  : Lalahan'daki MYB'lerin çalışma saati ve ortalama çalışma saati arasındaki pozitif fark

$\mathbf{T}_{i4}$  : Lalahan'daki MYB'lerin çalışma saati ve ortalama çalışma saati arasındaki negatif fark

$\mathbf{E}_{Ei1}$  : Elmadağ'daki MYB'lerin önem ve ortalama önem arasındaki pozitif fark

$\mathbf{E}_{Ei2}$  : Elmadağ'daki MYB'lerin önem ve ortalama önem arasındaki negatif fark

$\mathbf{E}_{Li1}$  : Lalahan'daki MYB'lerin önem ve ortalama önem arasındaki pozitif fark

$\mathbf{E}_{Li2}$  : Lalahan'daki MYB'lerin önem ve ortalama önem arasındaki negatif fark

Modelin amacı MYB'lerin aylık çalışma saati ve ortalama çalışma saati arasındaki farkın toplamını enazlamaktır. Kısıtları ise şu şekildedir:

- Her proje Elmadağ ve Lalahan tesislerindeki bir ve yalnızca bir MYB sorumlusuna atanacaktır.
- Çalışanların bir ayda 20 iş günü, günde 8 saat çalıştığı varsayılmaktadır. 0,8 sayısı ise şirket tarafından belirlenmiş olan yorulma katsayısıdır.
- Elmadağ veya Lalahan'da çalışmayan MYB sorumluları için  $X_{ij}$  ya da  $Y_{ij}$  değerleri sıfır olmalıdır.
- Bir MYB sorumlusunun Elmadağ ve Lalahan yerleşkelerinin yalnızca birine atanabilir.
- Projelere verilecek olan öncelik değerleri adil bir şekilde dağıtılmalıdır. Ortalama iş yükü değeri ve proje değerlerinin toplamı arasındaki fark epsilon değerleri arasındaki farktan büyük olmamalıdır.

#### 4.2 Sıralama modeli

Sıralama Modelinde girdi olarak gelen talebin gereksinim tarihi, talebin depo tipine göre regresyon analizi ile hesaplanacak olan işlem



süresi, projelerin önemleri ve MYB sorumluları istenecektir. Çıktı olarak ise taleplerin sıralaması ve bu sıralamaya göre teslim edilen bütün taleplerin bitirme süresi hesaplanacaktır. (Ek 2)

Sıralama Modelinin, Atama Modeli sonucunda MYB sorumlularına atanan projeleri, gecikmeyi en aza indirgeyecek şekilde sıralaması amaçlanmaktadır.

**Kümeler:**

Talep Dizisi = {1..n}

Talebin Sıra Dizisi = {1...m}

**Parametreler:**

$D_i$  = i talebinin gereksinim tarihi

$P_i$  = i talebinin işlem süresi

$w_i$  = i talebinin bulunduğu projenin ağırlığı

**Değişkenler:**

$X_{it} = \begin{cases} 1 & i \text{ talebi } t \text{ sırasında olursa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$

$C_i$  = i talebinin bitme süresi

$T_{i1}$  = i talebinin bitme süresi ile gereksinim tarihi arasındaki pozitif fark

$T_{i2}$  = i talebinin bitme süresi ile gereksinim tarihi arasındaki negatif fark

Modelin amacı toplam gecikmeyi en aza indirmektir. Doğrusallığı sağlayabilmek için amaç fonksiyonunda  $T_{i1}$  ve  $T_{i2}$  değerleri kullanılmaktadır. Bu modelin kısıtları ise şunlardır:

- Atanan proje sıralarının toplamı, talebin işlem süresinden büyük olamaz.
- Her işin sıralanması gerekir.
- Her projenin talebi sadece bir sıraya atanabilir.
- Bir talebin tamamlanma süresi, o talebin bulunduğu kümülatif sıradan büyük olmalıdır.
- Bir iş bitmeden diğerine başlanamaz.

İş yükü dengeleme ve Atama Modeli yılın başında bir kere çalıştırılacaktır. Sonrasında ise Sıralama Modeli günlük olarak her MYB için çalıştırılacaktır. Sıralama modelimiz Ek.2’de sunulmuştur.

**4.3 Sezgisel model**

Alternatif bir çözüm olarak, şirkete havuz sistemi önerisinde bulunulmuştur. Havuz sistemi algoritması gelen malzeme taleplerini MYB sorumlularına atayacak şekilde oluşturulmuştur (Ek 4). Öncelikle girdi olarak projelerin gereksinim tarihleri, önemleri, malzeme taleplerinin işlem süreleri ve o gün işe gelen MYB sorumluları sayısı sistemden çekilecektir. Bu algoritma çıktı olarak, taleplerin yapılması gereken sırayı ve bu işi hangi MYB sorumlusunun ne kadar sürede tamamlayacağını vermektedir. Algoritma şu şekilde çalışmaktadır:

1. Gelen taleplerin gereksinim tarihleri kontrol edilir ve talepler en erken gereksinim tarihinden en geç olanına doğru sıralanır.

2. O gün kaç tane MYB sorumlusunun işe geldiği kontrol edilir.

3. Şirketten alınacak olan ve 0-1 aralığında olan, atanan taleplere ait projelerin önemleri kontrol edilir.

4. En sonunda oluşabilecek olan gecikmenin kabul edilebilir olup olmadığına karar vermek için bir alt sınır hesaplanır. Bu alt sınır için önce o anda havuzda bulunan bütün taleplerin toplam bitirme süresi hesaplanır. Bulunan toplam zaman, o gün işe gelen MYB sorumlusu sayısına bölünür. Bütün bu talepler, bütün MYB sorumlularının toplam kapasitesi kadar kapasitesi olduğu varsayılan “Süper MYB sorumlusu” adında bir kişiye atanır. Bu durumda toplam gecikme hesaplanır ve bu çıkan sonuç gecikme için olabilecek bir alt sınırı oluşturur.

5. Atama aşamasına gelindiğinde ise iki tane olasılık bulunmaktadır. Eğer MYB sorumluları sayısı havuzda bulunan talep sayısından fazlaysa, önem ve gereksinim tarihlerine göre sıralandığı şekilde talep sayısı kadar MYB sorumlusuna atanır. Diğer yandan, eğer talep sayısı MYB sorumlusu sayısından fazlaysa, her bir MYB sorumlusuna birer iş atanır. Daha sonra iş yükleri güncellenir ve güncellenen iş yükleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Öte yandan havuzda kalan işlerin işlem süreleri küçükten büyüğe doğru sıralanır. Daha sonra birer birer atama gerçekleştirilir. Bu işlem havuzda hiç iş kalmayana kadar devam etmektedir. Bu algoritmanın 4 saatte bir olarak günde iki kere çalıştırılması hedeflenmektedir. Eğer gün içinde bir talep gelirse ilk 4 saatlik dilim için atanan taleplerin işlem sürelerine bakılır ve bunlar yeni taleplerle birlikte 4 saati aşmıyorsa gelen talepler bu 4 saatlik dilime alınır. Eğer aşmıyorsa, bir sonraki 4 saatlik dilime eklenir.

6. Atama tamamlandıktan sonra, toplam gecikme hesaplanmaktadır ve bu sayı önceden bulduğumuz alt sınır ile kontrol edilmektedir. Eğer bu gecikme, alt sınırdan az veya alt sınıra eşitse yapılan atama kabul edilecektir. Fakat gecikme, alt sınırdan fazlaysa daha uygun bir çözüm bulabilmek için Açgözlü Algoritması uygulanacaktır. Açgözlü Algoritmaya göre, ilgili mühendis atanmış olan işler arasında ard arda değişiklik yaparak daha iyi bir sonuç elde etmeye çalışacaktır.

## **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Talep karşılama sırasında toplam gecikmenin azaltılmasını amaçlayan ve her bir MYB sorumlusuna dengeli ve eşit şekilde iş yükü dağılımı yapılmasını sağlayacak olan proje çıktılarımız, şirkette karşılaşılan ve karşılanması muhtemel olan sorunlara etkin çözümler sunmaktadır. Atama ve Sıralama modelleri ile birlikte MYB sorumlularının aynı ölçüde iş yüküne sahip olmaları sağlanmış ve şirketin şu anki durumu göz önünde bulundurulduğunda matematiksel bir zemin hazırlayarak sistematığe oturtulmuştur. Sezgisel Model ve Atama+Sıralama modelleri; gerçekte olan verilerle karşılaştırılmıştır.

İki çözüm önerisini birbirleriyle ve şimdiki durumla karşılaştırılması için 15 günlük veri incelendi. Karşılaştırma için performans ölçütü

öncelikle 15 günlük toplam gecikmedeki iyileştirme olarak belirlenerek modeller iki yerleşke için ayrı ayrı çalıştırıldı. Bu durumda 3 durum için saat bazında toplam gecikmeler şöyledir:

<b>Toplam Gecikme Saatine Göre Sonuçlar (saat)</b>			
	<b>Mevcut Sistem</b>	<b>Havuz Sistemi Modeli</b>	<b>Atama ve Sıralama Modeli</b>
<b>ELMADAĞ</b>	365.70	27.83	32.00
<b>LALAHAN</b>	188.10	41.50	56.18

Yapılan iyileştirmenin yanında birtakım varsayımların bu farkın büyük çıkmasına sebep olabileceğini düşündük. Bu varsayımları şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) MYB sorumlularının karşıladıkları talebi sistemden hemen kapattıklarını varsayıyoruz; fakat bu varsayım gerçek hayatı birebir yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir. Dolayısıyla pratikte gecikme olmamasına rağmen şirket sisteminde var gibi gözükebilmektedir.
- 2) İlgili malzemelerin her zaman rafta hazır olduğu varsayıldı. Fakat dış yüklenici kaynaklı sorunlar nedeniyle malzeme mevcut olmayabilir veya raflar yerine kabul bölümünde olabilir. Bu da gecikmeye neden olabilmektedir.
- 3) İşlem süreleri hesaplanırken zaman etüdü verileri göz önüne alınmıştır. Bu veriler her durumu açıklayamayabilir.

Bu nedenlerle daha iyi bir sonuca ulaşmak için ikinci bir performans ölçütü olarak gecikme olan iş sayısını belirledik. Bu ölçüte göre iki yerleşke için sonuçlar şu şekilde:

<b>Toplam Gecikme Sayısına Göre Sonuçlar (adet)</b>					
	<b>Mevcut Sistem</b>	<b>Havuz Sistemi Modeli</b>	<b>İyileştirme Yüzdesi</b>	<b>Atama ve Sıralama Modeli</b>	<b>İyileştirme Yüzdesi</b>
<b>ELMADAĞ</b>	111	20	81.98%	24	78.37%
<b>LALAHAN</b>	60	25	58.33%	31	48.33%

Bu performans ölçütüne göre havuz sistemi Elmadağ için %81.98 oranında, Lalahan için ise %58.33 oranında iyileştirme sağlarken; Atama ve Sıralama modelleri Elmadağ için %78.37, Lalahan için %48.33 iyileştirme elde etmektedir. Sonuç olarak her iki performans ölçütüne göre de incelenen 15 gün için havuz sisteminin en iyi çözüm olduğu görülmüştür ancak incelenen bu süre daha sonra uzatılarak sonuç doğrulanabilir.

Bir diğer performans ölçütümüz olan iş yükü dengesizliği için de Atama ve Sıralama modellerimiz 8 MYB ve 0,9 yorgunluk katsayısı ve



## **KAYNAKÇA**

- Liang, Z., Guo, S., Li, Y., Lim, A. 2009. “Balancing Workload in Project Assignment”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 91-100
- Ouazene, Y., Yalaoui, F., Chehade, H., Yalaoui, A. 2014. “Analysis of Different Criteria for Workload Balancing on Identical Parallel Machines”, International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 1822-1829
- Panneerselvam, R. 2006. “Simple Heuristic to Minimize Total Tardiness in a Single Machine Scheduling Problem”, Int J Adv Manuf Technol, 722–726

## EKLER

### Ek 1. İş Yüğü Dengeleme ve Atama Modeli

$$\min \sum_i (T_{i1} + T_{i2}) + \sum_i (T_{i3} + T_{i4}) + 10^{-8} \times \left( \sum_i (\epsilon_{Ei1} + \epsilon_{Ei2}) + \sum_i (\epsilon_{Li1} + \epsilon_{Li2}) \right)$$

#### Kısıtlamalar:

1.  $\sum_i X_{ij} = 1 \quad \forall j \in B$
2.  $\sum_i Y_{ij} = 1 \quad \forall j \in B$
3.  $\sum_j X_{ij} \times b_{jE} \leq 20 \times 8 \times 0.8 \times 60 \quad \forall i \in A$
4.  $\sum_j Y_{ij} \times b_{jL} \leq 20 \times 8 \times 0.8 \times 60 \quad \forall i \in A$
5.  $\sum_j X_{ij} \leq M * E_i \quad \forall i \in A$
6.  $\sum_j Y_{ij} \leq M * L_i \quad \forall i \in A$
7.  $L_i + E_i \leq 1 \quad \forall i \in A$
8.  $\sum_j a_j \times X_{ij} - \bar{I} \leq \epsilon_{Ei1} - \epsilon_{Ei2} \quad \forall i \in A$
9.  $\sum_j a_j \times Y_{ij} - \bar{I} \leq \epsilon_{Li1} - \epsilon_{Li2} \quad \forall i \in A$
10.  $\sum_j X_{ij} \times b_{jE} - E_i \times \bar{T} = T_{i1} - T_{i2} \quad \forall i \in A$
11.  $\sum_j Y_{ij} \times b_{jL} - L_i \times \bar{T} = T_{i3} - T_{i4} \quad \forall i \in A$
12.  $X_{ij}, Y_{ij}, E_i, L_i \in \{0,1\}$
13.  $T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}, T_{i4} \geq 0$
14.  $\epsilon_{Ei1}, \epsilon_{Ei2}, \epsilon_{Li1}, \epsilon_{Li2} \geq 0$

### Ek 2. Sıralama Modeli

$$\min \sum_i^n T_{i1} \times w_i$$

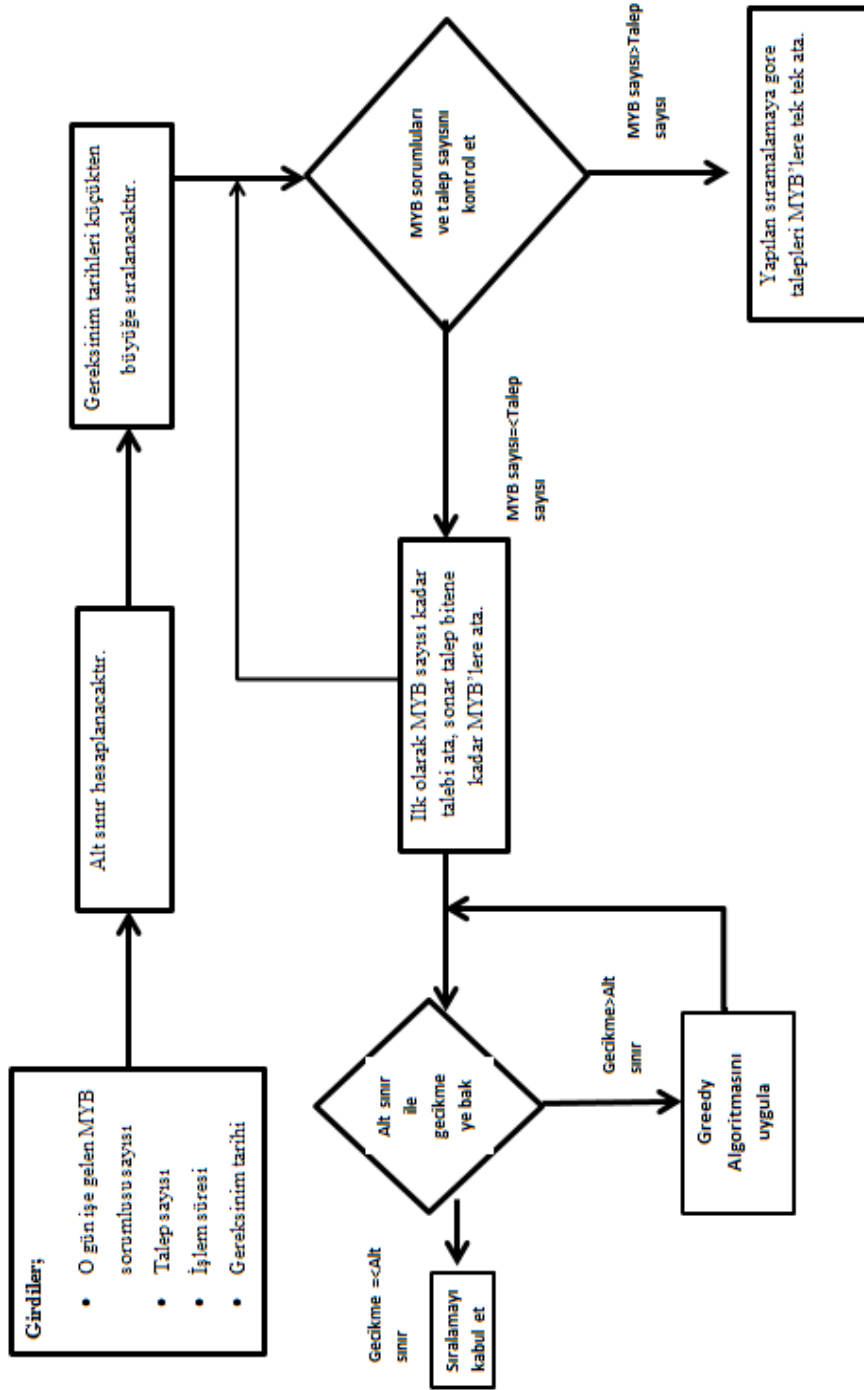
#### Kısıtlamalar:

1.  $\sum_{i=1}^n X_{it} \leq 1 \quad \forall t$
2.  $\sum_{t=1}^t \sum_{i=1}^n X_{it} = n$
3.  $\sum_{t=1}^n X_{it} \leq P_i \quad \forall i$
4.  $t \times X_{it} \leq C_i \quad \forall i, t$
5.  $t \times X_{it} \geq C_i - P_i + 1 \quad \forall i, t$
6.  $C_i - D_i = T_{i1} - T_{i2} \quad \forall i$
7.  $X_{it} \in \{0,1\}$
8.  $C_i, T_{i1}, T_{i2} \geq 0$

### Ek 3. İş yüğü farkı tablosu

<b>MYB SORUMLULARININ İŞ YÜKÜ FARKLARI TOPLAMI(saat)</b>					
	<b>Şirket tarafında verilen veri</b>	<b>8 MYB/0,9 yorgunluk katsayısı</b>	<b>İyileştirme Yüzdesi</b>	<b>9 MYB/0,8 yorgunluk katsayısı</b>	<b>İyileştirme Yüzdesi</b>
<b>ELMADAĞ+LALAHAN</b>	330.56	118.12	64.26%	43.07	86.97%

**Ek 4.** Havuz Sistemi Kavramsal Modeli





# **Malzeme Deposu Yerleşiminin İyileştirilmesi**

## **Tepe Home Mobilya Sanayi ve Ticaret A.Ş.**

### **Proje Ekibi**

Zeynep Balıkçı  
Oğul Başol  
Melis Çınar  
Yiğit Çörtü  
Cemre Su Erbay  
Gizem Tuğcu

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

Songül Anıl,  
Tepe Home Mobilya San ve Tic. A.Ş.,  
Entegre Yönetim Sistemleri Direktörü

### **Akademik Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Fehmi Tanrısever,  
Bilkent Üniversitesi, İşletme Fakültesi

## **ÖZET**

Tepe Home Mobilya Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de verimsiz yerleşim tasarımı, depolama ve sipariş toplama yöntemlerindeki yetersiz politikalar verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu projenin amacı şirketin materyal deposunun yerleşim düzenini yeniden tasarlayarak, sipariş toplamada optimal bir rota belirlemek, yeni depolama teknikleri önererek materyal deposunun içinde harcanan zamanı minimize etmek ve bu sürenin en uygun ve en verimli hale getirilmesini sağlamaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Depo yerleşim planı, bölgeleme, stok tutma birimi, sipariş toplama, yığınlama, karar destek sistemi

### **1. Şirket Tanıtımı**

Tepe Home Mobilya ve Dekorasyon Ürünleri Sanayi Ticaret A.Ş. 1997 yılında Bilkent Holding'e bağlı olarak kurulmuş, ülkemizde

mobilya ve ev aksesuarı perakendeciliği alanında faaliyet gösteren ilk ve en büyük mağazalar zinciridir. Kuruluşundan itibaren hızlı bir büyüme sürecine giren Tepe Home; bugün 8 mağaza, 28 bayi, 2 depo ve 74.000 m<sup>2</sup>'lik fabrikasıyla faaliyet göstermektedir. Mağazalarında ortalama 40.000 çeşit ürün teşhir edilmektedir.

Tepe Home mağazalarında ana ürün grupları olarak mobilya ve ev aksesuarı yer almaktadır. Tepe Home, mobilya ürünlerinin büyük bir kısmını kendi üretim tesislerinde üretmekte ayrıca diğer yerli ve yabancı tedarikçilerle de anlaşmaları bulunmaktadır. Tepe Home, aksesuar ürünlerini yerli ve yabancı üreticilerden tedarik etmektedir.

## **2. Proje Kapsamı ve Sistem Analizi**

Fabrikanın içerisinde iki farklı depo bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, çeşitli depolama alanları içeren ham maddelerin saklanması için kullanılan materyal deposudur. Diğer depo ise mamüllerin sevkiyatlarını beklediği depodur. Bu proje materyal deposunun analizini kapsamaktadır.

Materyal deposu, sadece üretim ve montaj ile ilgili ham maddelerin saklandığı bir üretim deposudur. 4 tanesi ana depolama sahası olan 11 tane depolama alanı içermektedir. Birinci ana depolama sahası en büyük depolama alanı olmakla beraber ahşap levha, aksesuar, kauçuk ve kumaşları depolamak için kullanılmaktadır. Eskişehir deposundan gelen materyaller, aksesuar ambalajları ve kullanılmayan stoklar da bu alanda saklanmaktadır. Gelen materyallerin kalite kontrolleri de bu depolama alanı içerisinde yapılmaktadır. Bu depolama sahasında alanlar, aynı türdeki materyalleri aynı alana koyma amacına göre ayrılmıştır. Uzun zamandır kullanılmayan materyaller kullanılmayan stok sahasına transfer edilir. Ana depolama sahasının en problemlili kısmı Eskişehir deposundan transfer edilen materyaller için ayrılan bölümdür. Taşıma esnasında eğer materyalin yeri bilinmiyorsa rastgele bir yerleşim yapılmakta, bu da materyalleri takip etmekte zorluk çıkartmaktadır. Bu nedenle bu depolama sahasında ürün çeşitliliği diğerlerinden daha fazladır. İkinci ana depolama sahası kimyasalların depolandığı alandır. Üçüncü depolama sahası yastıkların bulunduğu alandır ve doğrudan üretim hattına bağlanır. Dördüncü depolama sahası kerestelerin depolanması için açık bir alana kurulmuştur.

Materyal deposunda mal kabulü, depolama, sipariş toplama ve sevkiyat olmak üzere dört ana işlem gerçekleştirilmektedir. Mal kabulü ürünlerin gelmesiyle gerçekleşen ilk işlemdir. Tedarikçiden gelen ürünler kalite kontrolden geçtikten sonra eğer kusur bulunmazsa depoya kabul edilir. Depolama işleminde ürünler depolama yerlerine yerleştirilir. Sipariş toplama işlemi ise depolanan ürünlere çalışanların erişmesiyle gerçekleşir. Siparişlerin üretim hattına ulaştırılması da sevkiyat işlemidir.

Tanımlanan sistemde incelenecek olan problem güncel yerleşim planının artan ihtiyaçları karşılayamıyor oluşudur. Bu durumun ilk sebebi geçmişte ihtiyaçlar arttıkça yeni hammadde depolarının, üretim hattına olan uzaklıkları göz önüne alınmadan, boş alanlara inşa edilmesidir. İkinci sebep ise Eskişehir deposundan gelen materyallerdir. Bu materyallerin çoğu, departmanlarına bağlı olmadan, boş alanlara yerleştirildiği için takip edilmeleri çok zor hale gelmiştir. Tüm bu durumlar sonucunda ürünlerin bulunma ve sipariş toplama sürelerini artmıştır.

### **2.3 Problem tanımı ve kapsamı**

Bu raporda incelenecek olan problem verimsiz yerleşim planı, optimal olmayan depolama ve sipariş toplama yöntemleri nedeniyle artan depolama ve sipariş toplamaya harcanan süreyi azaltmak olarak belirlenmiştir. Üretim amaçları, grup büyüklükleri ve sipariş politikaları proje kapsamına dahil değildir.

#### **2.3.1 Proje amacı**

Amaç, depolama, sipariş toplama ve taşıma için geçen süreyi en aza indirmektir. Dikkat edilmesi gereken nokta ise planlama departmanının görevlerinden olan, materyalin kabulü sırasında harcanan süre ve depoda geçirdiği toplam sürenin projenin kapsamında olmamasıdır.

#### **2.3.2 Kısıtlamalar ve varsayımlar**

Depo yerleşim tasarımında ve optimizasyonunda geçerli olan kısıtlamalar:

- Toplam depo alanı ( $m^3$  cinsinden) sabittir ve güncel alan aşılamaz.
- Ulaşılabilir işçi sayısı, 9 depo görevlisi ve 2 operatör, sabittir.
- Ekipman, 3 forklift, 2 hidrolik el ve 2 el arabası, şeklinde sabittir.
- Deponun boş olarak içerisinde duvarların var olmadığı varsayıldı.
- Ürün gamı ve ikmal zamanı sabit varsayıldı.

### **2.4 Veri analizi ve varsayımlar**

16283 materyal üzerinden yapılan veri analizinde ürünlerden bazıları aktif bazıları farklı kodlarla saklanmaya başlandığı için pasif olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle, Tepe Home'un da onayı dahilinde pasif materyaller veri analizinin dışında tutulmuştur. DSTOK olarak gruplandırılmış materyallerin ise sadece proje bazlı işlerde kurulan materyaller olduğu ve proje sonunda çoğunlukla ihtiyaç dahilinde olmadıkları için Tepe Home tarafından analizin dışında tutulmaları istenmiştir. Bunlar dışında, kereste gibi bazı materyaller taşınamayacakları için aynı şekilde proje kapsamının dışında tutulmuştur. Son durumda, 3043 materyal projeye dahil edilmiştir ve dağılımları 434 ahşap plaka, 559 kauçuk, 208 kimyasal, 642 kumaş ve 1200 aksesuar şeklindedir.

## **3. Literatür Taraması**

Literatüre bakıldığında yerleşim düzenlemesi için birçok çalışma yapılmıştır. Rosenblatt ve Roll (1988) çalışmalarında dikdörtgen bir depoyu ele almış ve optimal yerleşim düzenini, depolama alanını analitik yöntemler kullanarak ve bölgelere ayırarak elde etmiştir. Bu sayede taşıma mesafesini ve zamanını minimize etmiştir. Tepe Home deposu için de depolama politikasının bölgelere göre ayarlanmasına karar verilmiştir, bu yüzden sipariş toplama bu bölgelere uygun olmak zorundadır. Sipariş toplama konusunda Bartholdi (2000) dizisel bir toplama yöntemi sunmuştur. Bu yönteminde, toplayıcılar belli bir bölgede kısıtlı kalmadan bölgeler arasında ürünleri toplayabilmektedirler. Bu araştırmalar projemizde kullanabileceğimiz yöntemlerin ve algoritmaların belirlenmesinde önemli referans oluşturmuştur.

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları**

Sorunun çözümünde uygulanacak olan ilk aşama belirlenen hammadde depoları için bir yerleşim tasarımı oluşturmaktır. Önerilen planla güncel depo planı karşılaştırılıp verimliliği yüksek olan yerleşim tasarım planı nihai plan olarak sunulmuştur. İkinci aşamada güncel depolama sistemlerine alternatif olarak yeni sistemler sunulmuş ve her bir sistemin şirkete yararları anlatılmıştır. Sonrasında ise ABC analizi yapılmış ve her bir ürünün depo içindeki yeri uzaklıkları ve istenme sıklıkları göz önüne alınarak birinci aşamada sunulan depolara yerleştirilmiştir. Üçüncü ve son aşamada deponun yerleşim planı, içindeki malzemelerin yerleri ve bunların nasıl depolanacağı belirlendikten sonra depodaki toplayıcıların gezinme süresini kısaltmak amacıyla bir sipariş toplama algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmanın kullanıcıya yararlı olması açısından da sipariş toplama listesi hazırlayan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

##### **4.1 Yerleşim tasarımı**

Güncel plan 11 hammadde deposundan oluşmaktadır fakat kimyasalların ayrı bir depoda tutulması ve kerestelerin açık havada kuruması gerektiği için bu ürünlerin proje kapsamından çıkarılmasına karar verilmiştir. Bunun sonucunda 4 hammadde deposunun yer aldığı ana deponun yerleşim düzeninin planlanmasına karar verilmiştir. Bu hammaddeler ahşap levha, aksesuar, kumaş, sünger ve kauçuktur. Amaç, ilgili üretim hattı ile hammadde deposu arasındaki uzaklıkları azaltan bir yerleşim tasarımı sunmaktır. Güncel hammadde depo planı Ek 1'de bulunmaktadır. Yerleşim planının tasarlanmasında Automated Layout Design Program (ALDEP) algoritması kullanılmıştır (Griffin, 2013) ve algoritma MATLAB kullanılarak yazılmıştır. Algoritma aşamaları:

Aşama 1: Aylık malzeme ihtiyacı en yüksek olan ürün grubunu seç ve kaç hücre kapladığına bak. Eğer ürün kalmamışsa, dur.

Aşama 2: İlk hücreyi üretim hattına en yakın hücreye yerleştir.

Aşama 3: Hücre sayısını bir azalt. Eğer yerleştirilecek hücre kalmadıysa 1. aşamaya dön. Yoksa Aşama 4'e geç.

Aşama 4: Sıradaki hücreyi en yakın komşu hücrelerden birine yerleştir ve Aşama 3'e geç.

Depo alanı yaklaşık olarak 2400 m<sup>2</sup>'dir (genişlik: 30m, uzunluk: 80m). Ahşap levha 750 m<sup>2</sup>, aksesuar 450 m<sup>2</sup>, kauçuk ve sünger 900 m<sup>2</sup> ve kumaş 300 m<sup>2</sup> kaplamaktadır. Depo 6x16'lık bir dikdörtgen alan olarak düşünülmüştür ve her bir hücre 25 m<sup>2</sup> kaplamaktadır.

Tepe Home'un panel, masif aksesuar paketleme ve döşeme olmak üzere 4 ilgili üretim hattı bulunmaktadır. Ahşap levha panel ve masif üretim hatlarında, aksesuarın %80'i aksesuar paketlemede, %20'si döşeme hattında, kauçuk, sünger ve kumaşın tamamı ise döşeme hattında kullanılmaktadır. Aylık ürün istenme sıklıkları ahşap levha, aksesuar, kauçuk, sünger ve kumaş için sırasıyla 779, 2597, 591 ve 2267'tir. Matlab kodu gerekli hücre sayısını, her hammaddenin ürün istenme sıklığını, her bir hücrenin üretim hattına uzaklığını girdi olarak alıp depo planını tasarlar. Algoritma sonucu önerilen yerleşim planı Ek 2'de yer almaktadır.

Önerilen yerleşim planı ile güncel planı karşılaştırmak için Centroid Metodu kullanılmıştır (Chase vd, 2006). Metot öncelikle her bir hammadde grubunun merkezinin koordinatlarını bulup tüm üretim hatlarına olan uzaklıklarını ölçer. Daha sonra her bir hammaddenin üretim hattına olan uzaklığıyla ürün istenme sıklıklarını çarpar ve her bir yerleşim planı için bir skor belirler. Burada amaç en düşük skor elde etmektir. Bu metot da Matlab yardımıyla kodlanmıştır ve güncel yerleşim planı için skor 212245, önerilen plan için ise 199880 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak önerilen plan %7 daha verimli çıkmıştır.

## **4.2 Depolama**

### **4.2.1 Alanlama ve depolama sistemlerinin geliştirilmesi**

TepeHome ürün bazlı bir alanlama metodu kullanılmaktadır. Bunu beş ana stok tutma birimi kullanarak yapmaktadır; aksesuar, kimyasal, ahşap levha, kumaş ve kauçuk. Bu ürünler için mevcut depolama teknikleri özetlenip uygulanabilirlikleri tartışılacaktır.

Aksesuar grubu, küçük hacimlerde ve yüksek sayılarda olduğu için karton kutularda sabit raflarda saklanmaktadır. Tavsiye edilen ilk iyileştirme olan akan karton rafları, açılı pozisyonu sayesinde yerçekimini kullanarak bir bant taşıma mekanizması oluşturmakta ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. İkinci iyileştirme sistemi ise döner raf sistemidir. Bu sistemde, döndürülebilir bir merkez üzerine oturtulan çekmeceler farklı ebatlardaki ürünleri barındırabilecek şekilde

ayarlanabilmektedir. Ancak bu sistemin en ciddi faydası, tasarruf ettiği alandır.

TepeHome'un kimyasal depolama dinamiklerinin uygulanabilir iyileştirmeler kapsamında olmaması sebebiyle mevcut kullanılan FIFO (First In First Out) prensibinin en iyi uygulama olduğu tespit edilmiştir. Bunun için kullanılan çarkıfelek sistemi, daha farklı ölçek ve kapasitede uygulanabilirse taşıma personeli için kullanım kolaylığı sağlayacaktır.

Ahşap levha grubu için tavsiye edilen iyileştirme sistemi blok halinde yığılmak ve bu yığını standartlaştırmak için özdeş paletler kullanılmaktadır.

Kumaş grubu için raf seçimi alanlamayı kolaylaştırmak için önemlidir. Sarılmış hallerinin uzun-ince yapılarından ötürü yatay şekilde saklamak yer ve erişilebilirlikte iyileştirme sağlamaktadır. Gelişmiş raflar bunun için son derece uygundur. TepeHome'da mevcut asma katlardan ötürü ek raflama mekanizmalarına gerek olmayacaktır.

Kauçuk grubunun yoğunlukları ve boyutları farklıdır ve üst üste konularak muhafaza edilmektedirler. Önerilen ilk yöntem, Tepe Home'un kauçukları tedarikçilerinden sıkıştırılmış şekilde sipariş etmesidir. İkinci alternatif ise kauçukların bir sıkıştırma makinesinden geçirilerek rulolar halinde saklanmasıdır, bunun dezavantajı kauçukların depoya varışları ve rafa yerleştirilişleri arasında bir zaman farklı oluşacak olmasıdır. Bir diğer alternatifse kauçukların vakumlanarak hacimlerinin azaltılmasıdır.

#### **4.2.2 Uygulanan algoritma ve ABC analizi**

Depolama kısmının ikinci adımı stok tutma birimlerinin (STB) kendi bölgeleri içindeki yerlerinin belirlenmesidir. Bu adımda kullanılacak teknik ABC tekniğidir. Bu teknikte STB'lerin yerleri kullanım sıklıkları ağırlık olarak kullanılarak belirlenir. Amaç ise bir stok tutma biriminin ağırlığı arttıkça, depoya girişinden üretim hattına kadar kat ettiği uzaklığın azalmasıdır. STB'ler, Tinelli vd. (2012) tarafından da belirtildiği üzere üç ana grup altında toplanır:

**A Sınıfı:** bu grupta çok fazla kullanılan az sayıda ürün yer alır. Bu proje kapsamında, A sınıfı ürünler toplam kullanımın 75% - 80%'ini ve toplam sayının da 5% - 10% unu oluşturur.

**B Sınıfı:** bu grupta orta seviyede kullanılan orta sayıda ürün yer alır. Bu proje kapsamında, B sınıfı ürünler toplam kullanımın 15% - 20%'ini ve toplam sayının da 10% - 20% 'ini oluşturur.

**C Sınıfı:** bu grupta orta seviyede kullanılan orta sayıda ürün yer alır. Bu proje kapsamında, C sınıfı ürünler toplam kullanımın 5%'ini ve toplam sayının da 75% - 80% 'ini oluşturur.

Her farklı tip malzeme bölgesi için, farklı bir ABC analizi yapılacaktır. Bunun yanı sıra, her bölge için katedilen ağırlıklı uzaklığı minimize eden ve STB'lerin açık yerlerini veren bir algoritma kullanılacaktır. Bu algoritmanın adımları aşağıda açıklanmaktadır:

1. STB'ler, her bir ürün tipi için (aksesuar, kumaş vb.) günlük kullanım oranlarına göre azalan şekilde sıralanır.

2. Buna göre sıralanmış ürün kodları bir metin dosyasına alınır.

3. Algoritma her STB'yi (i,j,k) şeklinde belirtilmiş optimal yerine atar. 'i' koordinatı rafın/dolabın yerini belirtir, imax ise bölgede kaç depolama sistemi (dolap, raf sistemi vb.) olduğunu belirtir. 'j' koordinatı stok tutma biriminin depolama sistemi içindeki yerini belirtir, jmax ise bir rafın genişlik bakımından kapasitesini belirtir. 'k' koordinatı ise stok tutma biriminin depolama sistemi içindeki yerini yükseklik bakımından belirtir, kmax ise bir depolama sisteminin yükseklik bakımından kapasitesini belirtir.

4. Modele imax, jmax ve kmax değerleri girildiğinde, algoritma ürünleri bu sisteme yerleştirir. Bu algoritma Java kodlama dili kullanılarak yazılmıştır. Bundan sonra istenilen ürünün yeri kodu yazılarak bulunabilir.

Bu yerleştirmeden sonra, her ürün grubu için ABC analizi yapılmıştır. Her ürün grubu için sonuçlar Ek3'te bulunabilir.

Ahşap Levha, Aksesuar ve Kauçuk grubu ABC analizi prensiplerine uygundur. Bu yüzden de A grubu ürünler girişe/çıkışa en yakın yere yerleştirilmelidir. Bundan sonra, ürünler günlük kullanım sıklıklarına göre sıralanır ve bu sıraya göre giriş/çıkış noktalarına yakınlıkları belirlenir.

Kumaş grubu ABC modeline uymamaktadır, çünkü A sınıfının ürünlerin sayıca sadece 0,54%'ini oluşturmaktadır. Ürünlerin sadece 6 tanesi, günlük kullanımın 79.62%'ini oluşturmaktadır ve girişlere/çıkışlara en yakın yerlere yerleştirilmelidirler. Bunun yanı sıra, bu ürün grubu için FIFO prensibi önemli olmadığı için –kumaş grubu zaman içerisinde bozulmamaktadır– yerleştirilmeleri yine kullanım sıklıkları üzerinden yapılabilir.

Kimyasal grubu ABC modeline uygun değildir. Kimyasal ürün grubunda son tüketim tarihleri de önemli bir faktör olduğundan ve kimyasallar için önerilen depolama teknikleri diğerlerinden farklılaştığı için bu ürün grubu için uygun olan teknik FIFO prensibidir.

### **4.3 Sipariş toplama sistemi**

#### **4.3.1 Sipariş toplama algoritması**

Günlük olarak gelen 20-40 satırlık sipariş listesi mevcut durumda toplayıcıların bilgisi ve deneyimine göre toplanmaktadır. Hem mevcut durumda hem de geliştirilen yöntemde "Toplayıcıdan parçalara" adı verilen sipariş toplama tipi esas alınmıştır. Bu tip sistemlerde, toplayıcı, koridorlar arasında yürüyerek veya bir aracı sürerek, tek bir siparişteki parçaları ya da yığın haline getirilmiş birden fazla sayıdaki parçaları toplar. Mevcut durumda toplayıcı parçaları tek tek toplarken, önerilen sistem toplayıcının sipariş listesinin bir kısmını toplayacak ve departmanlar arası gezinmeyi kısaltacak şekilde geliştirilmiştir. Sipariş

toplama listesinde yığınlama yapmak için toplayıcının kullandığı taşıma sisteminin kapasitesi göze alınmıştır. Sepet ve forklift olmak üzere iki farklı taşıma sistemi kullanılan depoda, aksesuar ve kumaş ürün grupları sepet ile, kauçuk, sünger ve ahşap levha ürün grupları forklift ile taşınmaktadır. Gezinmeyi kısaltmak için de en yakın komşu algoritması kullanılmıştır. Taşıma sisteminin kapasite kısıtı ve en yakın komşu algoritmasının birleşimiyle sistemin sipariş toplama algoritması oluşturulmuştur:

1. Adım: Sipariş listesi içindeki malzemeleri taşıma sistemine göre sıralanır.
2. Adım: Sıralanan liste malzemelerin departmanlarına ve sonra da sınıflarına göre ayrılır.
3. Adım: Ahşap Levha departmanı başlangıç düğümü olarak seçilir. Ahşap Levhadan malzeme alınmayacaksa en yakın düğüm başlangıç düğümü olarak seçilir.
4. Adım: Mevcut sınıftaki siparişler toplanır. Eğer taşıma sisteminin kapasitesi dolmamışsa en yakın sınıfa veya departmana gidilir. Eğer kapasite dolmuşsa durulur ve toplayıcının rotası bastırılır.
5. Adım: Geri kalan siparişler için 4.Adım'a geri dönülür. Eğer sipariş kalmamışsa en yakın çıkış seçilir ve durulur.

Bu algoritma ile sipariş listesindeki siparişler hem yığılanlar hem de toplayıcının rotası belirlenir. Sipariş listesi toplayıcıya ulaştıktan sonra toplayıcı elindeki listeye göre hareket eder ve sipariş listesini toplama süresi mevcut sisteme göre kısılır.

#### **4.3.2 Dinamik karar destek sistemi kullanımı**

4.3.1. bölümde anlatılan algoritmanın VBA programlama dili ile kodlanması ve arayüzü oluşturulması ile içinde rota barındıran sipariş listesi hazırlamak için dinamik karar destek sistemi oluşturulmuştur (Ek 4). Sınıflar arası uzaklıklar ve çıkışlar bir uzaklık matrisi olarak sistemin içine dahil edilmiştir. Yeni bir teknolojinin kullanılması halinde sepet ve forklift kapasiteleri kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Karar destek sisteminde tüm malzemelerin bulunduğu bir veri tabanı bulunmaktadır. Veri tabanı malzemelerin SKU kodunu, ismini, yerini, boyutunu ve hangi taşıma tipi ile taşındığını içermektedir. Kullanıcı bu veri tabanından gerektiği takdirde malzeme çıkartabilir veya veri tabanına malzeme ekleyebilir. Kullanıcı yeni bir sipariş toplama listesi oluşturmak istediğinde karşısına "Create an Orderlist" ekranı çıkar (Ek 5). Bu ekranda sipariş listesini oluşturduktan sonra sipariş listesi yayınlanırsa toplayıcılara gider ve toplayıcının eline içinde malzemenin kodunu, ismini, yerini, malzemeleri hangi sırayla alması gerektiği ve bunun rotasını içeren bir sipariş listesi geçer (Ek 6).

### **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**



Tepe Home firmasının Ankara'daki deposunun iyileştirilmesi amacıyla başlayan projemizde, bu iyileştirmenin depolamada ve sipariş toplamada harcanan süre azaltılması kapsamında yapılacağı belirlenmiştir. Bu amaca ulaşmak için, bir grup depodaki beş büyük malzeme grubunun (ahşap levha, aksesuar, kumaş, kauçuk ve kimyasal) optimal yerleştirilmesi yapılmış her bir stok depolama birimini bu alanlara yerleştirecek ve istenilen ürünün yerinin çıktı olarak alınabileceği bir model yazılmış, belirlenen yerlerden birimlerin toplanma yolunun hazırlanması için 'en yakın komşu' tekniği kullanmış ve Tepe Home'un bu sistemi kullanabilmesi için bir kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Depodaki beş ürün grubunun hacim kısıtları altında tekrar tasarlanması sonucunda verimlilikte 7% artış gözlenmiş, Tepe Home'da bulunmayan bir ürün yeri sorgulama sistemi geliştirilmiş, son olarak da firma için uygulanabilir olan bir sipariş toplama algoritması ve ilgili kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır.

## **KAYNAKÇA**

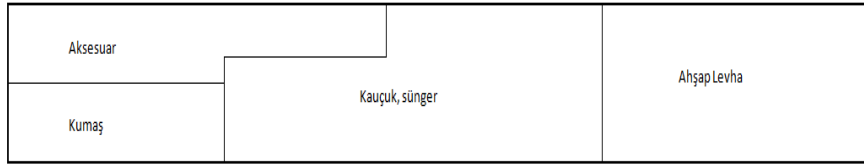
- Chase, R. B., Jacobs, F.R, Aquilano, N.J.(2006) “Operations Management for Competitive Advantage” Vol. 11: Facility Location.
- Griffin, P. 2013 “Layout Design” accessed at <http://www2.isye.gatech.edu/~pinar/teaching/isye3104-fall2013/layout-partI.pdf> as of December.
- L. Tinelli, K. Vivaldini, M. Becler, 2012. “Product Positioning Optimization Using The ABC Method”. Section V – Intelligent and Distributed Manufacturing Systems.
- Y. Bassan, Y. Roll, M.J. Rosenblatt, 1980. “Internal layout design of a warehouse”, AIIE Transactions, 12(4), 317-322.
- Y.Roll, M.J. Rosenblatt, 1983. “Random versus grouped storage policies and their effect on warehouse capacity”, Material Flow 1, 199-205.

## EKLER

### Ek 1. Güncel Depo Planı



### Ek 2. Önerilen Depo Planı



### Ek3. ABC Analizi Sonuçları

Ahşap Levha	Ürün sayısı	Toplam ürün sayısına oranı	Günlük kullanım	Toplam günlük kullanıma oranı
A Sınıfı	39	9,01%	8441,168	75,04%
B Sınıfı	88	20,32%	2254,160	20,04%
C Sınıfı	306	70,67%	553,847	4,92%
Toplam	433	100,00%	11249,18	100,00%

Kumaş	Ürün sayısı	Toplam ürün sayısına oranı	Günlük kullanım	Toplam günlük kullanıma oranı
A Sınıfı	6	0,54%	285029,444	79,62%
B Sınıfı	60	5,42%	55294,156	15,45%
C Sınıfı	1041	94,04%	17667,962	4,94%
Toplam	1107	100,00%	357991,561	100,00%

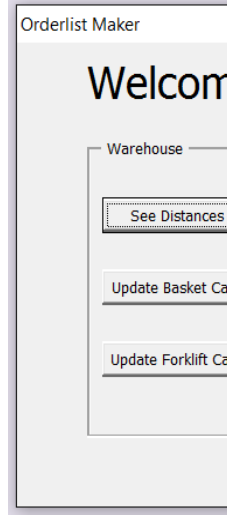
Aksesuar	Ürün sayısı	Toplam ürün sayısına oranı	Günlük kullanım	Toplam günlük kullanıma oranı
A Sınıfı	108	9,01%	83191,054	80,15%
B Sınıfı	153	12,76%	15405,618	14,84%

C Sınıfı	938	78,23%	5195,324	5,01%
Toplam	1199	100,00%	103791,996	100,00%

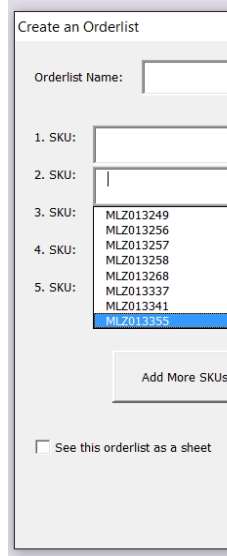
Kimyasal	Ürün sayısı	Toplam ürün sayısına oranı	Günlük kullanım	Toplam günlük kullanıma oranı
A Sınıfı	2	0,97%	9721,090	81,11%
B Sınıfı	17	8,21%	1710,407	14,27%
C Sınıfı	188	90,82%	554,066	4,62%
Toplam	207	100%	11985,563	100%

Kauçuk	Ürün sayısı	Toplam ürün sayısına oranı	Günlük kullanım	Toplam günlük kullanıma oranı
A Sınıfı	54	9,68%	8501,489	77,39%
B Sınıfı	90	16,13%	1931,341	17,58%
C Sınıfı	414	74,19%	552,936	5,03%
Toplam	558	100,00%	10985,766	100,00%

**Ek 4. Sipariş Toplama Karar Destek Sistemi Ana Ekranı**



## Ek 5. Karar Sistemindeki Listesi Oluşturma



SKU Code	SKU Name	Quantity	Department
MLZ011260	KAUCUK D22 130 * 240 * 8 CM	1	Rubber A Zone
MLZ011262	KAUCUK D22 140 * 240 * 2 CM	1	Rubber A Zone
MLZ011264	KAUCUK D22 140 * 240 * 4 CM	1	Rubber B Zone
MLZ011270	KAUCUK D22 163*62*4 CM	1	Rubber B Zone
MLZ011040	MDF BOYALI BEYAZ 3 MIM 210*280	1	Wooden Sheets A Zone
MLZ011049	MDF BOYALI AMERIKAN CEVIZ 3 MIM 210*280 TEVER M41	1	Wooden Sheets A Zone
MLZ011050	MDFLAM ALPI MESE 3 MIM 210*280	1	Wooden Sheets A Zone
<b>Route:</b>	Wooden Sheets A Zone- Rubber B Zone- Rubber A Zone		
MLZ013385	SURME KAPAK DIS MEKANIZMASI MIXAL ALIENTE 40 (40MM KAPAK KALINLIGI+2 YAVASLATICI)	2	Accessories A Zone
MLZ003083	AYAK PLASTIK LUKENZ KOSE BEYAZ KMS 15 CM	1	Accessories B Zone
MLZ003085	AYAK PLASTIK LUKENZ KOSE BEYAZ KMS 15 CM	3	Accessories B Zone
MLZ000680	KUMAS BN42 SOLAR BNT 2960-09 SU YEŞİLİ KREM BEJ ÇİZGİLİ	3	Fabric B Zone
MLZ000696	KUMAS BN44 ROVETA Z1 BNT 3018 Z1-06 S.KAHVE	1	Fabric C Zone
<b>Route:</b>	Fabric C Zone- Fabric B Zone- Accessories A Zone- Accessories B Zone		

## Destek Sipariş Ekranı

## Ek 6. Karar Destek Sistemi ile Yayınlanan bir Sipariş Listesi Örneği

# **Tek Makinede Hazırlık Süresi Bağımlı Parçaların Çizelgelenmesi**

## **Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.**

### **Proje Ekibi**

Suna Arısoy  
Tuğçe Gökcesu  
Mehmet Önder Metin  
Oğuz Polat  
Emre Yıldırım

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

Ahmet Yalçınkaya  
TUSAŞ., Şef

Kapasite Planlama Kurumsal Yönetim Sistemleri Başkanlığı

### **Akademik Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu  
Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

### **ÖZET**

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. kompozit üretim alanında bulunan istasyonların, projelerin üretim süreçlerinin ve teslimat tarihlerinin incelenmesinin ardından Su Jeti Kesim Tezgahı'nın üretimi aksatan bir darboğaz olduğu tespit edilmiştir. Bu projenin amacı parçaların sıra-bağımlı hazırlık zamanlarına göre çizelgenerek tamamlanma süresini (yani bir sonraki istasyona hazır hale gelmesini) ve ağırlıklı gecikme zamanlarını enazlamaktır. Bu amaca uygun olarak gerekli literatür araştırmaları yapılmış, benzer problem çözüm yaklaşımları incelenmiş ve TUSAŞ'ın problemine en uygun olacak şekilde uyarlanmıştır. Matematiksel model ve sezgisel algoritmaların belirlenmesinden sonra kullanıcıların ulaşabileceği bir arayüz tasarlanmış ve hayata geçirilmesi planlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tek makine, Çizelgeleme, Ağırlıklı Gecikme Zamanlarını Enazlamak, Sıra-Bağımlı.

### **1. Şirket Tanımı ve Motivasyon**

TUSAŞ, 1984 yılında Türkiye-Amerika işbirliğiyle kurulduğundan beri her sene iş gücünü, üretim kapasitesini ve ARGE

faaliyetlerini artıran bir firmadır. 2005’de Build-to-Design üretim modeline geçtiğinden beri modernizasyon, entegrasyon, patentleşme ve yeni projeler için faaliyetlerini artırmıştır. Airbus, Boeing gibi şirketlerle ortak projeler yürütmekte; Hürkuş, Türk Özgün Helikopter, Genel Maksat Helikopteri, ANKA, Göktürk, TURKSAT gibi milli projeleri seri üretime geçirme, projelerin ARGE faaliyetlerini yürüterek onlara değer katma adına çalışmalar yapmaktadır.

TUSAŞ’ın, ülke içi ve ülke dışında birçok müşterisi vardır. Yerel müşterilere Savunma Bakanlığı, Kara ve Hava Kuvvetleri Komutanlığı, SSM; uluslararası müşterilere ise Boeing ve Airbus örnek verilebilir. TUSAŞ, savunma ve havacılık sanayisine katkı sağlayan birçok proje içindedir. Bu projelerin parçalarını işlem zamanlarına, teslimat tarihlerine, hazırlık sürelerine göre sıralayarak toplam üretim zamanını ve ağırlıklı gecikmeyi enazlamak ve TUSAŞ’ın var olan kapasitesini daha verimli hale getirmek araştırma konusu olarak seçilmiştir. Proje konusu seçilirken, fabrikadaki kompozit üretim süreçleri incelenmiş ve üretimi aksatanın Su Jeti Kesim Tezgahı olduğu tespit edilmiştir. Bu tezgahta parçalar operatör tarafından sistematik bir sıra izlenmeden işlenmekte ve bu durum istasyonun üretim hızını düşürmektedir.

Projede kompozit üretim alanının üzerine yoğunlaşmıştır. Kompozit binası, üretimdeki kayıpların en aza indirildiği, yüksek kalitede, gerektiği zaman ve gerektiği kadar üretimin yapıldığı “yalın üretim sistemine” göre çalışmaktadır. Kompozit binası, ileri teknolojik uçak parçalarının üretildiği, uzun süreç gerektiren, kompleks malzemelerin ve tezgahların kullanıldığı önemli bir üretim alanıdır. Ürünlerin birim maliyetleri yüksektir. Kullanılan malzemeler geri dönüşümsüzdür, bu yüzden projelerin sürdürülebilir olması için ürünler özenle, hatasız ve yüksek kalitede üretilmelidir. Örneğin, temiz odada ürünler tozdan korunarak üretilmektedir. Parçalar fırınlarda 12 saat çok hassas bir sıcaklık değerinde ısıtılmaktadır, sonra hassas bir şekilde soğutulmaktadır. Ürünlerin yüzde yüzü kalite kontrolden geçmek zorundadır.

Projede sadece bir istasyona (Su Jeti Kesim Tezgahı) odaklanılmış ve bu makineye giren parçalar sıralanmıştır. Çıktılar hem kompozit üretim alanındaki diğer istasyonlarda hem de TUSAŞ gibi proje bazlı çalışan ve az sayıda ürün üreten üretim tesislerinde, çoklu makinelere de adapte edilerek kullanılabilir.

## **2. Mevcut Sistem Analizi**

TUSAŞ’ın kompozit binasındaki parçalar sırasıyla temiz oda, otoklav, Su Jeti Kesim Tezgahı, ultrasonik tarama makinesi, montaj ve boyahane istasyonlarından geçerek teslim hazırlanmaktadır. Bu istasyonların birer birer incelenmesi sonucunda Su Jeti Kesim Tezgahı’nın darboğaz olduğu ve kendinden sonra gelen istasyonların

üretim hızını düşürdüğü tespit edilmiştir. Beş temiz odadan gelen ve 6altı otoklava dağılan parçalar, daha sonra tek bir Su Jeti Kesim Tezgahı tarafından işlenmek zorundadır. Su Jeti Kesim Tezgahı'nın aparatları seçilen parçaya göre ayarlanmakta, tezgaha gelen parçalar incelenmekte ve daha sonra işlenmektedir. Bu durum, Su Jeti Kesim Tezgahı önünde işlenmeyi bekleyen parça kuyruğu yaratmıştır. Bu istasyondaki kuyruğu minimuma indirmek için parçaların sistematik bir sırada işlenmesinin gerekli olduğu düşünülmüştür.

Bu yüzden projenin amacı parçaların tek makinede ve sıra-bağımlı hazırlık zamanlarına göre çizelgenerek tamamlanma süresini (yani bir sonraki istasyona hazır hale gelmesini) ve ağırlıklı gecikme zamanlarını enazlamaktır. Su Jeti Kesim Tezgahı'nın belli bir zamanda sadece bir işi işleyebildiği ve iş görecekt parçaların tezgah önünde beklediği bilinmektedir. Optimum bir sıra bulmak için Make-to-Order (ısmarlama) üretim stratejisini izleyen endüstrilerde yaygın olarak kullanılan ve tamamlanma süresini (makespan) ve ağırlıklı gecikmeyi enazlayan modeller ortaya konmuştur. Bu gibi problemler NPHard olduklarından, bu modeller TUSAŞ'ın arzu ettiği miktarlarda parçayı makul sürelerde sıralayamadığı için sezgisel yöntemlere de başvurulmuştur. Sezgisel yöntemlerden biri toplam tamamlanma süresini diğeri ise ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmek için tasarlanmış olup literatürde Memetic Algorithm adıyla da bilinmektedir. Sezgisel yöntemler temel olarak parça sırasında yerel değişiklikler yaparak iyileştirme olup olmadığını belirtir. Sezgisel yöntemlerimizdeki temel mantık sıradaki parçaların birer ikişer ve üçerli kümeler halinde yanındaki komşularının yanına taşınması ve daha sonra ikili ikili takas edilmesiyle tamamlanma ve gecikme sürelerinde iyileşme sağlanmasıdır. Proje sonunda elde edilmesi beklenen sonuç parçaların sistematik bir sıra ile işlenmesiyle birlikte tamamlanma sürelerini düşürmek ve şirketin kapasite kullanımını artırmaktır.

### **3. Projenin İçerdiği Yenilik Unsuru**

Tek makine üzerinde çizelgeleme konusu uzun yıllardan beri literatürde olan ve üzerinde halen çalışmaların sürdüğü bir alandır. Dolayısıyla proje fikrinin içerdiği yenilik unsuru firma düzeyinde olacaktır. Firma şimdiye kadar parçaları işleme sokarken sistematik olmayan bir sıra kullanmaktaydı. Projede önerilen metod ile parçalar belli düzende işleme girmeye başlayacaktır. Tamamlanma süresini ve ağırlıklı gecikmeyi enazlayan modeller 45 parçayı en iyi şekilde sıralamaktadır. Bütün işlerin tamamlanma süresini enazlamaya çalışan sezgisel algoritma ise firmanın halihazırdaki beklentisini karşılayacak durumdadır. Bu amaç doğrultusunda elde edilen iyileştirme yüzde 30 civarındadır. Bütün işlerin ağırlıklı gecikmesini enazlayan sezgisel algoritmayla ise firmanın hali hazırda kullandığı sıradan yüzde 78



oranında iyileştirme gözlenmiştir. Bu oran Ocak 2016 verilerinden elde edilmiştir.

#### **4. Projede Kullanılan Yöntemler**

Problem tanımı tespit edildikten sonra literatür araştırması yapılmıştır. Benzer endüstrilerde kullanılan benzer problemler için ortak yaklaşımlar incelenmiştir. Varolan çalışmalar analiz edilerek TUSAŞ'ın problemine en uygun olacak şekilde uyarlanmıştır. Son olarak ise matematiksel model ve sezgisel algoritmaların belirlenmesinden sonra ilgili kullanıcıların ulaşabileceği bir arayüz tasarlanmış ve uygulanması planlanmaktadır.

##### ***4.1 Tamamlanma süresini enazlayan matematiksel model***

Bu model Seyyar Satıcı Modeli (TSP) mantığıyla çalışmaktadır. İlk olarak sıfırdan bir parça atanarak bu parçadan diğer bütün parçalara giden bir sıra bulunmuştur. Modelde sıraya sokulan bütün parçaların hazırlık süreleri, işlem süreleri ve tamamlanma süreleri için kısıtlar tanımlanmıştır. Karar değişkenleri: proje öncelikleri, işlerin hazırlık, işlem ve tamamlanma süreleridir. Amaç fonksiyonu ise tamamlanma süresi enazlamaktır. Bu model 50 parçaya kadar olan problemleri en verimli şekilde sıralayabilmektedir.

##### ***4.2 Ağırlıklı gecikme süresini enazlayan matematiksel model***

Bu model işleme zamanlarını, teslimat tarihlerini, ilk sırada yapılacak işin hazırlık süresini, parçalar arası hazırlık süresi geçiş matrisini ve işlerin ağırlıklarını girdi olarak almaktadır. Karar değişkenleri ise hangi işin hangi işten sonra geleceği ve hangi sırada işleneceği, bir işin gecikmesi ve tamamlanma süresidir. Amaç fonksiyonu ise tüm işler için toplam ağırlıklı gecikmeyi bulmak için o işin ağırlığı ile o işin gecikmesinin çarpımıdır. Kısıtlar ise şu şekilde belirlenmiştir: Her bir iş belirli bir pozisyona atanmaktadır. Her pozisyona belirli bir iş atanmaktadır. Bir işin tamamlanma süresi makineyi hazırlama süresi ve işin işlem süresinin toplamıdır. Bir işin geç kalması için gecikme süresi, tamamlanma süresinden teslimat tarihinin çıkarılmasıyla elde edilecek değerden büyük veya eşit olmalıdır.

##### ***4.3 Tamamlanma süresini enazlamak için hazırlanan sezgisel algoritma***

Üzerinde karar kılınan sezgisel algoritma, melez yerel arama metodlarını kullanır ve literatürde Memetik algoritma olarak bilinmektedir. İlk olarak rastgele oluşturulan sıradan çiftler halinde bir popülasyon havuzu oluşturulur. Bu havuzdaki her bir çiftin (ebeveyn) kendi arasında çaprazlanması sonucunda yeni bir sıra (çocuk) oluşturulur. Oluşturulan o sıralardan seçilen en iyi çocuklar (ağırlıklı gecikmesi minimum olan) bir üst havuza alınmaktadır. Bir üst havuza alınan çocuklar, ilk havuzda olduğu şekilde rastgele eşleştirilerek çaprazlanmaya tabi tutulurlar. Bu işlem en iyi (çocuk) sıra bulunana

kadar devam eder. Bu işlem tamamlandıktan sonra bulunan sıra, yerel arama metodlarına girdi olarak verilir. Yerel arama 1. metodunda, oluşturulan sıradan birer ikişer ve üçer elemanlık alt kümeler kendinden sonra parçaların yanına eklenerek iyileştirme olup olmadığı gözlemlenir. Bu işlem bir iyileştirmenin olmadığı ana kadar sürer. Yerel 2 metodunda, parçalar ikili ikili yer değiştirilir ve bir gelişme olup olmadığı gözlenir.

#### **4.4 Ağırlıklı gecikme süresini enazlamak için hazırlanan sezgisel algoritma**

Bu algoritma tamamlanma süresini enazlamak için hazırlanan sezgisel algoritma kısmında anlatılan sezgisel algoritma mantığıyla aynıdır. Tek fark, amaç fonksiyonudur yani tamamlanma süresinin yerine toplam ağırlıklı gecikmeyi enazlamaya çalışmaktadır.

#### **5. Teknik Anlatım**

Xpress programında kurulan TSP matematiksel modelinin temel çıktıları, minimum tamamlanma süresini ve parça dizilimini göstermektedir. Xpress'in istatistik çıktısında ise programın modeli çözerken kaç değişken ve kısıt kullandığı, programın ne kadar bir sürede çözdüğü görülebilir. Modelin çıktıları Ek-1'te görülebilir.

Xpress programında kurulan ağırlıklı gecikmeyi enazlayan matematiksel modelin çıktıları minimum tamamlanma süresi ve parça dizilimidir. Xpress'in istatistik çıktısında ise programın modeli çözerken kaç değişken ve kısıt kullandığı, programın ne kadar bir sürede çözdüğü görülebilir. Modelin çıktıları Ek-2'te görülebilir.

Sezgisel algoritmalar ise işlem sürelerinin, teslimat tarihlerinin, ağırlıklarının bulunduğu dosyanın ve hazırlık-bağımlı matrisin .dat uzantılı hallerini girdi olarak alır. Kullanıcıya kaç parçayı sıralamak istediğini ve kaç çift halinde çaprazlama yapmak istediğini sorar. Bunların sonucunda kullanıcıya üç parça sıra çıktısı verir. Bunlardan ilki memetik algoritma sonucu elde edilen sıradır. İkincisi, çaprazlama çıktısı üzerinden yerel arama 1 metoduyla iyileştirilme yapılmış sıradır. Üçüncüsü ise yerel arama 1 metodunun çıktısı üzerinden yerel 2 arama metoduyla bir kez daha iyileştirilmenin yapıldığı sıradır. Üçüncü sıra bulununanlar arasında en iyi çözüm olduğu için firmaya bu çözüm önerilmektedir. Sezgisel algoritmanın çıktısı Ek-3'te görülebilir.

Arayüz bu sezgisel metodlar için oluşturulmuştur ve yukardaki anlatıma uygun olarak kullanıcıya parça sayısını, kaç çift çaprazlama yapılmak istendiğini sorar ve girdi dosyalarını arayüze yüklenmesini ister, üç çıktı verir. Her bir sıranın tamamlanma süresini ve gecikmesini de ayrıca sıranın altında belirtir. Arayüz çıktıları Ek-4'da görülebilir.

#### **6. Projenin Gerçekleşme Düzeyi**

Proje planı çerçevesinde problem tanımı, literatür taraması, modellerin ve sezgisel algoritmaların onaylanması, bilgisayar programına dökülmesi, veri kümeleriyle sonuç alınması ve

doğrulanması gibi işlemler tamamlanmıştır. Ayrıca TUSAŞ'ın bir önceki yani Mart ayına ait veri kümeleri de sisteme girilmiş ve uygulanması gereken sıra bulunmuştur. Şimdiki hedefimiz TUSAŞ'a ait daha büyük veri kümelerini yani üç ve altı aylık işlerin sırasını modeller ve sezgisel algoritmalarla elde etmektir. Yapılan işlemler gözlemlendikten sonra sistem günlük kullanım için önerilecektir.

## **7. Sonuç**

Bu projeden elde edilmesi beklenen sonuç tek makinenin kullanımını daha verimli hale getirmek, makineye parçaların girişini sistematikleştirmek, tek makinenin uzun periyotlarda kullanım oranlarını gözlemleyerek şirkete gerekliyse yatırım ihtiyacı bilgisini sağlamaktır.

## KAYNAKÇA

- González, M., & Vela, C. (2015). An efficient memetic algorithm for total weighted tardiness minimization in a single machine with setups. *Applied Soft Computing*, 506-518.
- Guo, Q., & Tang, L. (2014). An improved scatter search algorithm for the single machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setup times. *Applied Soft Computing*, 184-195.
- Lawler, E. (1978). A "Pseudopolynomial" Algorithm for Sequencing Jobs to Minimize Total Tardiness. *Studies in Integer Programming Annals of Discrete Mathematics*, 331-342.
- Pinedo, M., Bhaskaran, K. & Lee, Y.H. (1997). A heuristic to minimize the total weighted tardiness with sequence-dependent setups. *Estados Unidos: Institute of Industrial Engineers*.
- Raman, N., Rachamadugu, R., & Talbot, F. (1989). Real-time scheduling of an automated manufacturing center. *European Journal of Operational Research*, 222-242.
- Vepsalainen, A., & Morton, T. (1987). Priority Rules for Job Shops with Weighted Tardiness Costs. *Management Science*, 1035-1047.
- Yalçınkaya, Ahmet; Cephe, Ecem; Baştaş, Naz Cansu. "Tai Hakkında.", Bireysel Röportaj, Eylül 2015-Nisan 2016
- "Şirket Profili - TUSAŞ-Türk Havacılık Ve Uzay Sanayii A.Ş." TUSAŞ-Türk Havacılık Ve Uzay Sanayii A.Ş. Web. 2016.

## EKLER

**Ek 1.** Tamamlanma süresini enazlayan matematiksel modelin çıktıları

**Output/Input**

Clear

Optimal Value: 9667

```

x(1,40)=1
x(2,15)=1
x(3,26)=1
x(4,7)=1
x(5,19)=1
x(6,18)=1
x(7,37)=1
x(8,22)=1
x(9,31)=1
x(10,35)=1
x(11,34)=1
x(12,38)=1
x(13,9)=1
x(14,44)=1
x(15,27)=1
x(16,4)=1
x(17,23)=1
x(18,14)=1
x(19,42)=1
x(20,24)=1
x(21,39)=1
x(22,6)=1
x(23,20)=1
x(24,32)=1
x(25,3)=1
x(26,2)=1
x(27,43)=1
x(28,36)=1
x(29,16)=1
x(30,33)=1
x(31,8)=1
x(32,25)=1
x(33,28)=1
x(34,29)=1
x(35,12)=1
x(36,10)=1
x(37,41)=1
x(38,5)=1
x(39,30)=1
x(40,11)=1
x(41,21)=1
x(42,17)=1
x(43,13)=1
x(44,45)=1
x(45,1)=1

```

Type here:

Output/Input   Stats   Matrix   Solutions   Objective   MIP search   BB tree   User graph

**Stats**

Matrix		Presolved	
Rows(constants)	2249	Rows(constants)	2107
Columns(variables)	2160	Columns(variables)	2065
Nonzero elements	20071	Nonzero elements	12216
Global entities	2025	Global entities	2011
Sets	0	Sets	0
Set members	0	Set members	0

Overall status: **Finished global search.**

LP relaxation:		Global search:	
Algorithm:	Newton Barrier	Current node:	88210
Iterations:	0	Depth:	90
Primal objective:	556.945	Active nodes:	40257
Dual objective:	-5937.94	Best bound:	456.169
Status:	Unfinished	Best solution:	9667
Time:	0.0s	Gap:	0%
		Status:	At least one solution found
		Time:	275.8s

Time overheads:	
Progress graphs:	144.2s
Writing output:	0.0s
Pausing:	0.0s
Updating status:	144.2s

Output/Input   Stats   Matrix   Solutions   Objective   MIP search   BB tree   User graph

## Ek 2. Ağırlıklı gecikme süresini enazlayan matematiksel modelin çıktıları

N=9

```
File Edit Format View Help
!Data File
p:[102, 118, 88, 88, 166, 155, 151, 151, 144]
d:[900, 1600, 1300, 800, 1000, 1500, 1400, 1600, 1700]
s:[100000, 20, 30, 30, 45, 45, 45, 35, 20, 25, 20
20, 100000, 30, 30, 45, 45, 45, 20, 40
30, 30, 100000, 20, 45, 30, 30, 45, 50
30, 30, 20, 100000, 45, 45, 45, 50, 30
45, 45, 45, 45, 100000, 30, 30, 25, 30
45, 45, 45, 45, 30, 100000, 20, 30, 40
45, 45, 45, 45, 30, 20, 100000, 25, 40
50, 30, 50, 30, 30, 45, 30, 100000, 25
45, 35, 35, 30, 20, 45, 45, 45, 100000]
s0:[45,25,35,25,30,35,50,50,35]
M: 100000
n: 9.
```

Stats			
Matrix:		Resolved:	
Rows(constants):	1260	Rows(constants):	1188
Columns(variables):	747	Columns(variables):	675
Nonzero elements:	3070	Nonzero elements:	3654
Global entities:	729	Global entities:	657
Sets:	0	Sets:	0
Set members:	0	Set members:	0
Overall status: <b>Finished global search.</b>			
LP relaxation:		Global search:	
Algorithm:	Simplex dual	Current node:	167721
Simplex iterations:	636	Depth:	51
Objective:	0	Active nodes:	64598
Status:	Unfinished	Best bound:	14
Time:	0.0s	Best solution:	1211
		Gap:	0%
		Status:	At least one solution found
		Time:	1322.9s
Time overheads:			
Progress graphs:	1275.1s		
Writing output:	0.0s		
Pausing:	0.0s		
Updating status:	1275.1s		
Output/Input	Stats	Matrix	Solutions
Objective	MIP search	BB tree	

```
Output/Input
Clear
Optimal Value: 1211
y(1,2,1)=1
y(2,8,2)=1
y(8,6,3)=1
y(6,3,4)=1
y(3,4,5)=1
y(4,7,6)=1
y(7,9,7)=1
y(9,5,8)=1
}
Bulunan Sıra:
1-2-8-6-3-4-7-9-5
Type here:
Output/Input Stats Matrix Solutions Objective MIP search BB tree
User graph BS
```

## Ek 3. Sezgisel modelin çıktıları N=90 parça için

```
General Output
-----Configuration: <Default>-----
Enter number of jobs: 9
Number of pairs in the population: 40
Solution after genetic algorithm
Tardiness = 1211
Sequence is: 1 - 2 - 8 - 6 - 3 - 4 - 7 - 9 - 5
Completing all jobs take: 71 units of time.
After first local search algorithm
```

## N=80 parça için

```
General Output
-----Configuration: <Default>-----
Enter number of jobs: 80
Number of pairs in the population: 60
Solution after genetic algorithm
Tardiness = 442244
Sequence is: 5 - 18 - 36 - 30 - 52 - 60 - 71 - 35 - 49 - 75 - 40 - 57 - 1 - 27 - 29 - 48 - 50 - 17 - 9 - 10 - 41 - 22 - 12 - 72 - 61 - 56 - 3 - 59 - 39 - 43 - 68 -
80 - 67 - 19 - 24 - 54 - 74 - 58 - 6 - 14 - 47 - 73 - 16 - 32 - 77 - 46 - 69 - 66 - 28 - 26 - 2 - 79 - 11 - 70 - 51 - 7 - 4 - 65 - 15 - 38 - 64 - 33 - 37 - 23 - 63
- 55 - 34 - 31 - 76 - 13 - 25 - 53 - 20 - 8 - 78 - 42 - 62 - 21 - 44 - 45
Completing all jobs take: 15916 units of time.

After first local search algorithm
Tardiness = 324657
Sequence is: 57 - 18 - 36 - 41 - 60 - 27 - 35 - 40 - 75 - 30 - 49 - 71 - 52 - 5 - 1 - 29 - 17 - 10 - 9 - 22 - 48 - 50 - 72 - 61 - 59 - 68 - 12 - 39 - 43 - 56 - 3 -
19 - 80 - 24 - 67 - 54 - 74 - 58 - 6 - 14 - 47 - 73 - 16 - 32 - 77 - 46 - 69 - 66 - 70 - 79 - 28 - 11 - 2 - 51 - 26 - 4 - 7 - 38 - 31 - 65 - 33 - 62 - 63 - 55 - 42
- 64 - 34 - 13 - 15 - 25 - 23 - 37 - 53 - 21 - 44 - 78 - 76 - 20 - 45 - 8
Completing all jobs take: 15524 units of time.

After second local search algorithm
Tardiness = 289555
Sequence is: 9 - 57 - 18 - 41 - 60 - 27 - 35 - 40 - 75 - 49 - 30 - 52 - 5 - 72 - 61 - 10 - 29 - 17 - 36 - 22 - 48 - 50 - 3 - 1 - 68 - 71 - 59 - 43 - 12 - 39 - 19 -
56 - 80 - 24 - 67 - 54 - 74 - 58 - 6 - 14 - 47 - 73 - 16 - 32 - 77 - 46 - 69 - 66 - 70 - 79 - 28 - 11 - 2 - 51 - 26 - 4 - 7 - 38 - 31 - 65 - 33 - 62 - 63 - 55 - 42
- 64 - 34 - 13 - 15 - 25 - 23 - 37 - 53 - 21 - 44 - 78 - 76 - 20 - 45 - 8
Completing all jobs take: 15507 units of time.
```

**Ek 4.** Arayüz çıktısı  
N=90 parca için

```
Message
Solution after genetic algorithm
Completing all jobs takes 19502 units of time
Sequence is: 35 - 83 - 74 - 62 - 77 - 82 - 60 - 71 - 69 - 90 -
89 - 20 - 66 - 51 - 9 - 31 - 63 - 49 - 37 - 39 -
87 - 79 - 4 - 53 - 27 - 58 - 84 - 86 - 59 - 61 -
72 - 55 - 65 - 64 - 32 - 44 - 56 - 24 - 18 - 13 -
38 - 68 - 50 - 36 - 22 - 26 - 28 - 15 - 17 - 8 -
73 - 5 - 14 - 88 - 78 - 25 - 10 - 29 - 80 - 48 -
76 - 70 - 19 - 6 - 41 - 1 - 23 - 33 - 43 - 34 -
46 - 45 - 3 - 40 - 75 - 47 - 21 - 54 - 57 - 67 -
81 - 12 - 2 - 30 - 85 - 7 - 52 - 16 - 42 - 11
Tardiness of schedule = 915228

After first local search algorithm
Completing all jobs takes 19497 units of time
Sequence is: 35 - 83 - 74 - 62 - 77 - 82 - 60 - 71 - 69 - 90 -
89 - 20 - 66 - 51 - 9 - 31 - 63 - 49 - 37 - 39 -
87 - 79 - 4 - 53 - 27 - 58 - 84 - 86 - 59 - 61 -
72 - 55 - 65 - 64 - 32 - 44 - 56 - 24 - 18 - 13 -
38 - 68 - 50 - 36 - 22 - 26 - 28 - 15 - 17 - 8 -
73 - 5 - 14 - 88 - 78 - 25 - 10 - 29 - 80 - 48 -
76 - 6 - 41 - 1 - 70 - 19 - 23 - 33 - 43 - 34 -
46 - 45 - 3 - 40 - 75 - 47 - 21 - 54 - 57 - 67 -
81 - 12 - 2 - 30 - 85 - 7 - 52 - 16 - 42 - 11
Tardiness of schedule = 918020

After second local search algorithm
Completing all jobs takes 19477 units of time
Sequence is: 35 - 83 - 74 - 62 - 77 - 82 - 60 - 71 - 69 - 90 -
89 - 20 - 66 - 51 - 9 - 31 - 63 - 49 - 37 - 39 -
11 - 79 - 4 - 53 - 27 - 58 - 84 - 86 - 59 - 61 -
72 - 55 - 65 - 64 - 32 - 44 - 56 - 24 - 18 - 13 -
1 - 68 - 50 - 36 - 22 - 26 - 28 - 15 - 17 - 8 -
73 - 5 - 14 - 88 - 78 - 25 - 10 - 29 - 80 - 48 -
76 - 6 - 30 - 38 - 70 - 19 - 23 - 33 - 43 - 34 -
46 - 45 - 3 - 40 - 75 - 47 - 21 - 54 - 57 - 67 -
81 - 12 - 2 - 41 - 85 - 7 - 52 - 16 - 42 - 87
Tardiness of schedule = 921195

OK
```



*Bulunan İyileştirmeler*



*Bulunan İyileştirmeler*



*Bulunan En İyi Sonuç*



# **Bağışların Etkin Kullanımı için Şubeler Arası Yönetim Planlaması**

## **Türk Kızılayı**

### **Proje Ekibi**

Semih Boz  
Semih Kaldırım  
Bilge Kaycıoğlu  
Buse Eylül Oruç  
Eren Özbay  
Mirel Yavuz

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

Pınar Özkurt

Türk Kızılayı, Kalite Koordinasyon Birim Yöneticisi

Ali Erkan,

Türk Kızılayı, Stratejik Yönetim Bölümü Yetkilisi

Sinan Derindere

Türk Kızılayı, Stratejik Yönetim Bölümü Yetkilisi

### **Akademik Danışman**

Doç. Dr. Bahar Y. Kara, Dr. Nil Şahin

Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## **ÖZET**

Türk Kızılayı'nın aynı yardım yönetimindeki sistemsel problemleri bağışların ihtiyaç sahiplerine ulaşmasında sorunlar yaratmaktadır. Bu projenin temel hedefi, Türk Kızılayı'na aynı yardımların etkin bir şekilde yönetimini sağlayacak bir karar destek sistemi (KDS) sunmaktır. Bağış süreçleri şube bazında farklılık göstermektedir. Analitik Hiyerarşi Prosesi'nden esinlenilerek geliştirilen sistemle şubeler renklendirilmiştir. Şubelerin renklendirilmesi, şubelerin gruplandırılması/sorumluluk alanlarının belirlenmesi için bir çıktı sağlamış, her şube bir Genel Hizmet Yöneticisi'nin sorumluluk alanına yerleştirilmiştir. Bu aşamaların devamında hazırlanan veritabanı şubeler arası işlemleri düzenlemek ve yönetmek için bir arayüz; KDS ise bağış ve talep yönetimini sağlamaktadır. Tasarlanan sistem, Türk Kızılayı tarafından onaylanmış olup, şubelere yaygınlaştırılmadan önce odak grup çalışmasına ve pilot uygulamalara tabi tutulmaya başlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karar destek sistemi, Anahtar Performans Göstergesi, İnsani yardım, süreç akış diyagramları

## **1. Şirket Tanıtımı**

Türk Kızılayı, Türkiye çapında görev yapmakta olan en büyük ve köklü insani yardım kuruluşudur. Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay

Dernekleri Federasyonu (IFRC) üyesi olmakla beraber hem Türkiye hem de Ortadoğu Bölgesi çevresinde; hem afet hem de olağan zamanlarda bölgedeki en büyük insani yardım hizmeti sağlayan kuruluş olarak görev yapmaktadır.

Türk Kızılayı'nın, Türkiye içinde gerçekleştirdiği bölgesel faaliyetlerin çoğu Türk Kızılayı şubeleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İnsani yardımı en hızlı ve en etkin şekilde ulaştırmak amacıyla halihazırda 683 şube bulunmaktadır. Bu şubeler Türk Kızılayı Tüzüğü altında yönetim ve işleyiş açısından birbirlerinden bağımsız olarak görev yapmaktadırlar. Her şubenin işleyişini sağlayan işgücü Gönüllü, Üye, Profesyonel Çalışan ve Genel Hizmet Yöneticisi (GHY) olmak üzere dört farklı başlıktan oluşmakta ve şubeden şubeye farklılık göstermektedir.

## **2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Bağışların Etkin Kullanımı İçin Şubeler Arası Yönetim Planlaması projesi, Türk Kızılayı'nın şubeleri arasındaki iletişim ve ortak çalışma çerçevesinde; şubelere gelen aynı yardımların daha etkin kullanımına, şubeler arasında bağış aktarımına ve şubelerin birbirleriyle yardımlaşmasına odaklanmıştır.

Türk Kızılayı'nın ülke çapındaki yardım ağı birbirinden bağımsız şubeleri üzerinden yürütülmektedir. Bu şubelerin hepsi temelde aynı yetkiye sahip olmakla birlikte kapasite ve yetkinlik bakımından farklılık göstermektedir. Proje kapsamındaki şubeler arası yönetim planlaması, bütün şubelerin kapasite ve yetkinliklerini belirleyerek şubelerin birbirlerinden yardım aktarımında faydalanabilecekleri bir sistem ortaya koymaktadır.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı ve analizi**

Türk Kızılayı'nın mevcut aynı yardım sistemi; bağışçı, ihtiyaç sahibi ve şube olmak üzere üç taraftan oluşmaktadır. Tarafların sistemin her sürecindeki rolleri birbirinden farklıdır.

Aynı yardım süreci dikkate alındığında, sürecin girdisi olarak bağış ve bağışçılar görülmektedir. Bağışçı profilindeki değişkenliğe karşın aynı yardım olarak genellikle birinci el giyim malzemeleri ve yiyecek malzemeleri kabul edilmektedir. Mevcut sistemde bağışçı, ilgili veya yakın bulunduğu şubeye giderek aynı yardımı yapar ve bağış sürecini sonlandırır. Bu süreçte yapılan bağış, şubenin bağış kampanyası düzenlediği durumlar haricinde şubeye gelen yardım talebinden bağımsızdır. Buna ek olarak, bağış sürecinin sonunda aynı yardımların dijital ortamda takibi ve envanter takibi hakkında sorunlar yaşanmaktadır.

Aynı yardım sürecinin amacı, sistemin asıl çıktısı olan ihtiyaç sahibine ulaşmaktır. Mevcut sistemde, bazı şubeler ihtiyaç sahiplerine kendileri ulaşmakta; bazı ihtiyaç sahipleri de ikamet ettikleri bölgelere

yakın olan şubelere ulaşmaktadır. İhtiyaç sahiplerinin şubeyle iletişime geçtikleri süreçte bazı şubelerin ihtiyacı karşılamak için tanıdık olan başka bir şubeyle iletişime geçmesi, bazılarının da Genel Müdürlük bünyesindeki Sosyal Hizmetler Müdürlüğü ile doğrudan iletişime geçmesi, süreci karmaşıklaştırmakta ve kesin bir iş akışına engel olmaktadır.

Proje kapsamında incelenen ve Türk Kızılayı'nın başışçı ve ihtiyaç sahibi arasında köprü görevi gören yapıları şubelerdir. Türk Kızılayı, bu şubeler aracılığıyla aynı yardım taleplerine en hızlı şekilde cevap vermeye çalışmaktadır. Mevcut sistemde şube açılması için gereken kriterlerdeki belirsizlikten dolayı şubeler arasında altyapı ve işgücü gibi çeşitli konularda ciddi farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar, aynı yardım sürecini zaman zaman zorlaştırmakta ve şubeler arası iş birliği konusunda engellere sebep olabilmektedir.

### **3. Problem Tanımı**

#### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Farklı düzeyde işleyen üç şubeye yapılan ziyaretler ve şirket yetkilileri ile yapılan toplantılar sonucunda, Türk Kızılayı'nın aynı başışların kullanımı ve aktarımında karşılaştığı sorunlar dört ana başlık altında incelenmiştir: (1) Şube düzeyinde; şubelerin fiziki şartlar, teknolojik altyapı ve işgücü yönünden farklılıkları, (2) Envanter ve Veri düzeyinde; şubelere gelen aynı yardımların herhangi bir dijital ortamda kaydının sınırlı olması ve şubeler arasında aynı yardımların görülmesine imkan sağlayacak dijital bir sistemin bulunmaması, (3) Organizasyonel düzeyde; şubeler arasında iletişim ve işbirliği eksiklikleri, (4) Tüzel ve Finansal düzeyde; şubelere gelen aynı yardımlardaki ve dolayısıyla şube kaynaklarındaki düzensizlikler ve şubeler arası kaynak aktarımının sınırlılığı.

#### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Belirti ve şikayetler kısmında açıklandığı üzere, şubeler gelen aynı yardımların dijital ortamda kaydını yapmakta sorunlar yaşamaktadır. Bu bağlamda kayıtlardaki sınırlılık, şubelerin depolarındaki envanter hakkında kesin bir bilgiye ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Şubelerin fiziksel koşulları da göz önünde bulundurulduğu takdirde, depoya ve envantere sahip bir şubenin yeni gelecek bir aynı yardım başışına ihtiyacı; deposu olmayan ve normal zamanda başış akışı göreceli olarak daha düşük olan şubeye göre daha az öncelikli olarak görülebilir. Aynı yardımlar ile ilgili yaşanan şubeler düzeyindeki bu düzensizlikler, diğer belirti ve şikayetlerle bir araya getirildiğinde, problem tanımı aynı yardımların şubeler arasında yeterli düzeyde etkin bir şekilde yönetilememesi olarak ifade edilebilir. Bu problemin çözümü amacıyla oluşturulan Karar Destek Sistemi (KDS), proje kapsamında Şubelerin Renklendirilmesi, Sorumluluk Alanlarının

Oluşturulması, Yeni Akışların ve Kararların Oluşturulması ve Veritabanı Oluşturulması olarak dört alt sistemden oluşmaktadır.

Yardım zinciri ve tedarik zincirinin yapısal benzerliğinden ötürü literatür araştırmamızda ilk olarak tedarik zinciri alanında araştırmalar yapılmıştır. Bu alandaki önemli bulgulardan biri, görev ve sorumlulukların dağıtılması yönündedir. İnsani lojistik alanında görev dağılımının önemi literatürdeki çalışmalarda şu şekilde vurgulanmaktadır: “Yeniden yapılanmayla sorumlulukların tekrar belirlenmesi daha iyi kararlar almayı, tedarik zinciri verimliliğini artırmayı ve sürdürülebilirliğe ulaşmayı kolaylaştırmaktadır.” (Pedraza-Martinez ve Wassenhove, 2013). Başka bir kaynağa göre de; “insani yardım operasyonlarının karmaşık yapısından ötürü, IFRC, merkezleşmiş tedarik zinciri yerine dağıtılmış tedarik zinciri kullanma yoluna gitmiştir.” (Charles, Gatignon, ve Wassenhove, 2010). Bu bağlamda, merkezleşmemiş şubeleşme biçimi Türk Kızılayına sunulan önemli yöntemlerden birini oluşturmaktadır.

İnsani yardım zincirlerinde bir diğer önemli konu ise performans ölçümleri ve anahtar performans göstergelerinin (KPI) belirlenmesidir. Beamon’un “Kaynak, Ürün ve Esneklik” adı altında sunmuş olduğu kavramsal çerçeve baz alınarak projede uygun KPI’lar belirlenecektir (Beamon, 1999). İnsani yardım alanında performans ölçümü uygulamaları projenin amacıyla da bağlantılı olarak şu şekilde ifade edilmiştir: “Performans ölçümleri kaynakların daha verimli bir şekilde paylaşılmasına olanak sağlar. Bu sayede operasyonların kontrolü sağlanır.” (Balçık ve Beamon, 2008). Performans ölçümlerini yardım zincirinde uygularken yardım zincirinin dinamik çevre şartları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu anlamda yardım zincirlerinin performans ölçümleri ve KPI’ları farklılık göstermektedir. Balçık ve Beamon’a göre yardım zincirleri, “Kaynak, Ürün ve Esneklik” konseptinin özellikleri ile benzerlik gösterirken, amacı yönünden özellikle hayatta kalma ve ölüm riski konuları göz önünde bulundurulduğunda farklılık göstermektedir. (Balçık ve Beamon, 2008). IFRC’nin günümüzdeki uygulamalarına bakılacak olursa, yardım zincirlerinde performans ölçümleri için dinamik bir modelleme izlenmesi gerekmektedir: “Çünkü her şube, her kuruluş veya branş farklı alanlarda faaliyet göstermekte ve değişimi de bu alanlarda mümkün olmaktadır.” (Davidson, 2006). Bu incelemeler şubelerin renklendirilmesinde kullanılacak olan model için temel oluşturacaktır.

Projede “Analitik Hiyerarşi Prosesi” (AHP) şubelerin renklendirilmesinde karar verme sistemi olarak kullanılmaktadır. Bu modelin geliştiricisi Saaty ve beraberinde Penivati, AHP’nin karmaşık sistemlerde karar alma modeli olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Projede farklı KPI’ları ve bölgesel faktörleri kapsayabilmek için şubelerin renklendirilmesinde dinamik bir model gerekmektedir. “AHP

modeli kurulduktan sonra kriterler değişse bile modelin üzerinde gerekli düzenlemeler yapıp tekrar uygulanabilir hale getirelebileceği” Saaty’nin diğer makalelerinde ifade edilmiştir (Saaty, 2008). Buna ek olarak KPI’lar hem nicel hem de nitel değerlendirmeler içerdiği için “model de hem somut hem de soyut faktörleri içine alabilmelidir. AHP’nin de tam olarak işlevi budur.” (Saaty, 1980) Bu bulgular göz önünde bulundurulduğunda AHP, şubelerin renklendirilmesinde gerekli olan dinamik yapıyı sağlayacaktır.

#### **4. Çözüm Yöntem ve Metodları**

Önerilen sistem dört farklı öğeden oluşmaktadır: (1) Karar destek sistemi, (2) Şubelerin renklendirilmesi, (3) Şubelerin gruplandırılması ve Sorumluluk alanlarının belirlenmesi ve (4) Veritabanı. Literatür araştırmalarında da gözlemlendiği üzere, merkezileşmemiş şube anlayışının şubeler arası iletişim ve iş birliğini arttıracakı öngörülmektedir. Önerilen sistemin öngörülen sonuçları sağlaması için altı temel hedef belirlenmiştir: (1) Şubeleri Türk Kızılayı’yla karşılaştırılan anahtar performans göstergeleri çerçevesinde renklendirmek, (2) şubeleri, şubelerin her biri bir GHY’ye bağlı olacak şekilde gruplandırmak, (3) yeni GHY atamasına ihtiyaç duyan bölgeleri belirlemek, (4) veri akışının sürekliliğini ve doğruluğunu sağlayabilecek bir veritabanı tasarlamak, (5) yeni akışlar yaratmak ve (6) bahsi geçen işlemleri gerçekleştirebilecek dinamik bir karar destek sistemi tasarlamak.

Bahsedilen hedeflerin uygulanması kısa, orta ve uzun vade olmak üzere üç döneme ayrılmıştır. 683 şubenin hepsine sistemin bir anda uygulanması hem maddi hem de yönetsel açıdan uygun bulunmadığı için kısa vadede veritabanının öncelikle GHY bulunan şubelere uygulanması öngörülmüş, veritabanına erişimi olmayan şubelerin işlemlerinin de GHY’ler aracılığıyla yürütülmesi uygun bulunmuştur. Temel olarak, orta ve uzun vadede de, Türk Kızılayı’nın veritabanına erişimi olmayan şubelerin sayısını düşürmesi tavsiye edilmektedir.

Önerilen sistem bağışların etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamak için tasarlanmıştır. Bahsedilen dört öğe de bu ana amaç gözetilerek tasarlanmış ve uygulama çalışmaları bu çerçevede sürdürülmüştür.

#### **4.1 Kavramsal Modelin Ana Çıktıları ve Alt Sistemleri**

Karar Destek Sistemi (KDS) önerilen sistemin öğelerinden biri olsa da projenin ana çıktısı olarak nitelendirilmelidir. Diğer üç öğe KDS’nin somutlaştırılmasında kullanılmakta, bir nevi destek olmaktadır. Önerilen sistemin dört öğesi aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

#### **4.2 Ana Çıktı ve Alt Sistem Modelleri**

*Karar Destek Sistemi:* KDS projenin ana çıktısıdır. Son kullanıcıların büyük bir kısmı tarafından süreçler veritabanı üzerinden

işliyor olsa da, önerilen sistemin diğer üç ögesi KDS'ye bir taban hazırlamak için mevcuttur. Bunlara ek olarak KDS aynı zamanda akışların içinde bulunan kararları da içermektedir. Kararların kriterleri, kriterlerin her birinin ağırlığı vb. gibi bileşenler Türk Kızılayı kurum danışmanlarıyla birlikte kararlaştırılmış, böylelikle akışlar ve kararlar onaylanıp noktalandırılmıştır.

Türk Kızılayı aynı yardım sürecinde iki ana akış bulunmaktadır: (1) Bağış akışı (Ek 1.1) ve (2) Talep akışı (Ek 1.2). Önerilen akışların içeriği aşağıda anlatılmıştır.

Bağış akışı bağışçının şubeyle iletişime geçmesiyle başlar. Ardından şube elindeki verileri kullanarak gelen bağışın tamamını kullanıp kullanamayacağını bağışın yönetilebilirliğinin belirlenmesi kararıyla sorgular. Kullanabildiği durumda bağışın hepsini kendine ayırır, kullanamadığı durumda ise, bağışçının bağışı istenilen yere gönderip gönderemeyeceği sorusu dahilinde, fazla miktarın gönderilebileceği şube veya şubelerin dağıtım kararıyla belirlenmesi için bağlı olduğu GHY'yle iletişime geçer. Böylelikle bağış akışı sonlanır.

Talep akışı tarafında ise süreç, ihtiyaç sahibinin şubeyle iletişime geçmesiyle başlar. Eğer talep edilen yardım mevcutsa ihtiyaç karşılanır. Eğer mevcut değilse, şube bağlı bulunduğu GHY'yle iletişime geçip ihtiyaç duyduğu yardımı belirtir. GHY, çağrıya çıkma kararı kullanarak talep eden şubenin talebinin uygunluğunu kontrol eder ve talebin uygun olması durumunda, öncelikle kendi sorumluluk alanında, sonuç alınamazsa komşu GHY'lerin sorumluluk alanlarında, şubeler arası aktarım kararı kullanarak talebi karşılayabilecek uygun bir şube arar. Eğer bulunursa, talep en uygun şube tarafından karşılanır ve süreç sonlanır. Eğer bahsi geçen sınırlar dahilindeki hiçbir şube talebi karşılayamıyor veya çağrıya çıkma kararı sonucunda olumsuz bir sonuç almıyorsa, şubenin bu talebi kendi imkanlarıyla karşılaması tavsiye edilir. Böylelikle talep akışı sonlanır.

KDS'nin içinde toplam dört adet karar bulunmaktadır: (1) bağışın yönetilebilirliğinin belirlenmesi kararı, (2) dağıtım kararı, (3) çağrıya çıkma kararı ve (4) şubeler arası aktarım kararı.

İlk karar şubelerin topladığı bağışın ne kadarının bağışı alan şube tarafından kullanılacağını belirleyen bir karardır ve beş farklı kriter içerir: (1) bağışı ilk alan şubenin depo hacmi, (2) rengi, (3) şubelere yardım etme geçmişi, (4) ilgili yardıma dair ihtiyaç miktarı ve (5) bulunduğu grubun ihtiyaç profili. Son iki kritere dair veriler Türk Kızılayı'nın başlattığı bir projeye, proje takımının da çalışmanın gerekliliğine dair vurgusu sonrasında, raporun hazırlandığı tarihlerde toplanmaktadır.

İkinci karar etkili bir şekilde kullanılmayacak bağış miktarının gönderileceği şube veya şubelerin belirlenmesinde kullanılır. Bu karar

dört kriter içermektedir ancak şube gönderimi kendi imkanlarıyla gerçekleştirecekse beşinci bir kriter daha dahil olmaktadır: (1) bölgesel ve mevsimsel ihtiyaç eğilimleri, (2) şubenin yardımı dağıtma konusunda etkin olması, (3) yardımın depolanma imkanı, (4) şubenin yardım akışının düşük olduğu bir bölgede bulunması ve (5) lojistik masrafları. Bu kriterler kullanılarak aday şubeler uygunluklarına göre sıralanır ve gönderimden sorumlu GHY yardımın gönderileceği şube sayısına karar verir.

Üçüncü karar talep eden şubenin talebi için diğer şubelerden yardım istenip istenemeyeceğine karar verir. Bu kararı diğer kararlardan ayıran en büyük özellik ise bu kararın büyük oranda GHY'ye bırakılmış olmasıdır. (1) aciliyet, (2) talep eden şubenin rengi, (3) talep eden şubenin talep etme sıklığı ve (4) talep eden şubenin talep ettiği yardımı bir hafta içinde kendi kaynaklarıyla elde etme ihtimali de kullanılan kriterler arasındadır.

Dördüncü ve son karar talebi uygun bulunan şubeye talep ettiği yardımı gönderecek bir şube bulmak için kullanılan bir karardır. Bu kararın beş tane kriteri bulunmakta: (1) gönderen şubenin rengi, (2) göndereceği yardımı bir hafta içinde kendi kaynaklarıyla temin etme ihtimali, (3) göndereceği yardıma bir hafta içinde ihtiyaç duyması, (4) göndereceği yardımı kendi grubu içindeki şubelerden bulma ihtimali ve (5) şubeler arası mesafe.

**Şubelerin Renklendirilmesi:** Bu süreçte, Analitik Hiyeraşi Prosesi (AHP)'nden esinlenerek oluşturulan ve şubeler için Anahtar Performans Göstergelerini (KPI) içeren sezgisel bir yaklaşım kullanılmaktadır. Bu sistemin başında kullanıcı, AHP modülünü kullanarak üç alt KPI grubu - Fiziksel, Finansal ve Aktivite grupları - altındaki kriterleri modülün başında tanımlanan yaklaşım ile birbirlerine göre önem sırasına sokmaktadır. AHP modülü, kullanıcının girdiği önem sıralamalarını kullanarak her KPI için kendi alt grubu içerisinde sıfır ile bir arasında bir ağırlık değeri çıktısı sunar. Bu ağırlık çıktısı sunulurken, AHP modülü öncelendirmenin doğruluğunu ölçmek amacıyla çıktılarının yanında ek olarak bir tutarlılık analizi sunmaktadır. KPI'ların ağırlıklandırılmasında son olarak üç alt grup birbirlerine eş önemde kabul edilerek ağırlıklandırılır ve süreç sona erer.

Ağırlıklandırma sürecinin çıktılarını kullanarak, devamında şubelerin bu KPI'lardaki yetkinliklerini belirlemek amacıyla sezgisel bir yaklaşım izlenmektedir. Her KPI, şube bazında değerlendirilmek amacıyla ya var-yok ya da asgari-orta-azami şeklinde bir yapıya oturtulur ve bu yapıdaki durumlara karşılık gelen katsayılar atanır. Bu atamanın sonunda AHP'den gelen ağırlıklar ve kullanıcının şube bazında KPI değerlendirmesinden gelen katsayılar çarpılarak, her şube için üç alt KPI grubunda farklı skorlar ve şubenin tamamı için genel bir skor çıktı olarak sunulur ve süreç sona erer.

Şubelerin üç alt skoru ve genel skoru belirlendikten sonra son adım olarak skor bazlı renklendirme süreci uygulanır. Bu süreçte, Türk Kızılayı ile önceden belirlenen aralıklarla paralel olarak, her şubeye alt KPI grupları için üç renkten biri -kırmızı, sarı veya yeşil- atanarak şubenin o alandaki yetkinliği ve kapasitesi belirlenir. Bunun devamında şubenin genel skoru, yine Türk Kızılayı ile belirlenen aralıklar üzerinden şubeye dört renkten birinin- kırmızı, sarı, mavi veya yeşil- atanması için kullanılır. Şubelerin renklendirilmesi sürecinin sonundaki çıktı, her şube için üç alt renk ve bir ana renktir.

Proje kapsamında kullanılan renklendirme modülü, şubelerin yapısında gelecekte olabilecek değişiklikler ve KPI'lar altında bölgesel faktörlerdeki önceliklerdeki değişim göz önünde bulundularak olabildiğince dinamik ve kullanıcı dostu olarak hazırlanmıştır. Yapılan toplantılar ışığında renklendirme modülünün yılda bir defa çalıştırılmasına ve kullanım kılavuzu olmasına karar verilmiştir.

Proje kapsamında şubelerin renklendirilmesiyle Türk Kızılayı şubelerin fiziksel kapasitesi, finansal olanakları ve aktiviteleri ile ilgili daha detaylı ve sistematik bilgiye sahip olabilecektir. Ayrıca şubeler arası ortak çalışma alanları ve şubeler arası bağış aktarımı yaparken şubeleri birbirlerinin daha az yetkin oldukları alanlarda beraber çalışmaya yönlendirebilecektir. Bir diğer taraftan, şubeler hakkında ileriye dönük bir altyapı yatırımı yapılacağı zaman, Türk Kızılayı hangi şubeye ne kapsamda yatırım yapılacağı konusunda da detaylı bilgiye sahip olacaktır.

**Şubelerin Gruplandırılması/ Sorumluluk Alanlarının Belirlenmesi:** Şubeler arasındaki iletişim ve koordinasyonu arttırmak ve tüm şubelerin veri girişini sağlamak amacıyla şubelerin gruplandırılarak GHY bulunan şubelere atanması gerektiğine karar verilmiş ve bu doğrultuda matematiksel modeller geliştirilmiştir.

GHY bulunan şubeler sorumlu şubeler olarak değerlendirilerek, bu şubelerin sorumluluk alanlarının belirlenmesine öncelik verilmiş ve Mevcut GHY'ler ile Maksimum Kaplama Modeli (Ek 2) geliştirilmiştir. Bu modelde amaç, maksimum sayıda şubenin GHY'ye atanmalarının belirlenen kısıtlar çerçevesinde gerçekleştirilmesidir. Modelde, her GHY'nin sorumlu olabileceği maksimum şube sayısı, şubelerin atandıkları GHY'ye olan maksimum uzaklıkları ve her GHY'nin sorumlu olabileceği şube sayısına ilişkin ağırlıklı bir kapasite kısıtı vardır. Son kısıtta kullanılan şubelerin ağırlıkları için renklendirme modelinin çıktısından yararlanılmakta, bu kısıt GHY'ler arasındaki iş yükü eşitliğini sağlamaktadır.

Türk Kızılayı'nın yeni GHY atamalarına, maddi ve yönetsel kısıtlar göz önünde bulundurularak, proje kapsamı dahilinde sıcak bakmaması sebebiyle bütün şubeler, var olan GHY'lerle, Mevcut GHY'ler ile Maksimum Kaplama Modeli'ndeki kısıtların



gevşetilmesiyle kapsanmaya çalışılmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için senaryo analizleri yapılmış, bahsedilen üç kısıt değiştirilerek ve CPLEX'te kodlanarak çözülmüştür. En iyi sonuç, GHY'nin sorumlu olacağı maksimum şube sayısı 10, ağırlıklı kapasitesi 20 ve kapsayabileceği maksimum uzaklık 300 km iken elde edilmiş ve bu doğrultuda Türk Kızılayı'nın 683 şubesinin 69 GHY'ye ataması gerçekleştirilmiştir.

Yeni bir şube açıldığında bu şubenin renklendirilmesi için yeterli veri bulunmadığından hangi GHY'nin yetkinlik alanına dâhil olacağı sorunu doğmakta, bu problem yukarıda anlatılan model tarafından çözülememektedir. Bu atama işlemi için öncelikle yeni açılan şubeye 300 km mesafe sınırı içerisindeki GHY'lerin iş yüküne bakılır. Eğer iş yükü sınırını aşmamış GHY'ler bulunuyorsa, bu GHY'ler iş yüküne göre, uzaklık da gözetilerek, sıralanır. Yeni açılan şube seçilen GHY'ye bağlanır. Eğer iş yükü sınırını aşmamış GHY bulunmuyorsa, ya yeni bir GHY atanır ya da varolan GHY'lerden birinin iş yükü göz ardı edilerek atama yapılır.

Yeni bir GHY ataması yapmak için, bu ihtiyacı ortaya çıkaran şubeye 300 km uzaklıktaki GHY bulunmayan tüm yeşil ve mavi şubeler aday olarak belirlenir ve en uygun aday uzaklık ve renk gözetilerek seçilir. GHY seçilen şubeye atanır ve yeni açılan şube yeni GHY'ye bağlanır. En sonunda ise yeni GHY'nin yetkinlik alanının belirlenmesi için komşu GHY'lerden en yakın birer tane şube seçilip yeni GHY'ye bağlanır.

Türk Kızılayı'nın bütün atamaları en baştan yapmak istemesi durumunda kullanabileceği sezgisel bir yöntem de geliştirilmiştir. Bu sezgisel yöntemde öncelikle her şubenin kendisine en yakın olan GHY'ye olan uzaklığı bulunur. Toplanan bütün bu uzaklıklar büyükten küçüğe doğru sıralanır ve uzaklığı en fazla olan şubelerden başlanarak atamalar gerçekleştirilir. Bir GHY'nin kapasitesi dolduğunda, henüz atanması gerçekleştirilmemiş şubelerin, kapasitesi dolmamış GHY'ler içerisinde kendisine en yakın olan GHY'nin uzaklığı hesaplanır. Bulunan uzaklıklar tekrar büyükten küçüğe sıralanarak uzaklığı en fazla olan şubelerden başlanmak üzere atamalar gerçekleştirilir. Kullanılan yöntem, GHY'ye ataması gerçekleştirilmemiş şube kalmayana kadar devam eder.

**Veritabanı:** Veritabanı son kullanıcıların KDS ile ilişkilerini sağlamaktadır. Bu veritabanının, kısa vadeli hedefler doğrultusunda, GHY bulunan bütün şubelere özel bir ağ üzerinden entegre edilip çalışması sağlanacaktır. Böylelikle GHY'ler bütün şubelere dair güncel bilgilere sahip olacaklar, şubelerin yardımlaşmasını kolaylaştıracaklardır. Veritabanının kullanıcı arayüzü GHY'ler için yukarıda anlatılan kararların verilmesine olanak sağlayan modüller içermektedir. Bunlar “İhtiyaç İşlemleri”, “Transfer İşlemleri” ve “Bağış

İşlemleri” modülleridir. Bu modüller, GHY’lerin kararları uygulamalarında yardımcı olan yukarıda bahsedilen kararların kriterleri baz alınarak hesaplanan skorları üretmektedir.

Birçok veritabanının aksine, bu sistemdeki hesaplamalar ve arka planda devam eden işlemler dinamik bir şekilde zamana ve verilere bağlı olarak kendini yenilemektedir. Örneğin, GHY şubesine bağlı diğer bir şubeden gelen yardım talebi için çağrıya çıkma kararı alınırken şubenin skoru sistem tarafından belirlenir (Ek 3). Bu skor sistemde sabit kayıtlı olmayıp yukarıda anlatıldığı gibi şubenin GHY’den talepte bulunma sıklığına göre değişecek olan dinamik bir formülden hesaplanmaktadır. Bu özelliği sayesinde sistem dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadan kendini güncelleyebilmektedir.

Sistemde yeni şube açılması gibi yapılacak köklü değişiklikler için yönetici erişimi de bulunmaktadır. Sadece Genel Müdürlük’te ilgili birimden sorumlu olanların erişebileceği bu alanlar GHY veya başka şubelere açık olmayacak, her GHY yalnızca kendi sorumluluk alanındaki şubelerin bilgilerine erişebilecektir.

## **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Türk Kızılayı’nın şubelerinde gözlemlenen belirtiler -aynı yardım yönetimindeki sistemsel problemler ve bağışların ihtiyaç sahiplerine ulaşması konusunda yaşanan aksaklıklar- doğrultusunda, sistemi iyileştirmek için Türk Kızılayı yetkilileri ve akademik danışmanların desteği ile KDS hazırlanmıştır. KDS, bağışların ihtiyaç sahiplerine ulaşmasını sağlamanın yanı sıra, şubeler arasında iş birliği ve iletişimin artmasına da olanak sağlayacak bir sistemdir. Şubelerin 3 ana başlıkta renklendirilmesi, şubeler arası bağış aktarımı yaparken, şubeleri birbirlerinin daha az yetkin oldukları alanlarda birbirleriyle beraber çalışmaya yönlendirecektir. Ek olarak, renklendirme Türk Kızılayı’na hangi şubeye ne kapsamda yatırım yapmasının daha etkili olacağı konusunda bilgi sağlayacak ve Türk Kızılayı insani yardım süreçlerinin nasıl iyileştirilebileceğine dair bir yol haritasına sahip olacaktır. 16.03.2016 tarihinde, Türk Kızılayı ile Genel Müdür Yardımcısı’nın da katılımıyla gerçekleştirilen toplantıda, çözüm önerilerimizin bağış ve talep akışlarını düzenleyerek talebin etkili bir şekilde karşılanmasını sağlayacağı, şubeler arasındaki iş birliği ve iletişimi arttıracığı onaylanmıştır. Sunduğumuz KDS, şubelere yaygınlaştırılmadan önce, odak grup çalışmasına tabi tutulmuştur ve pilot uygulaması sürdürülmektedir. Önümüzdeki yıllarda, Genel Kurul tarafından tasarlanan yeni ERP’ye geçiş sürecinde, KDS’nin bileşenlerinin yeni ERP sistemine modül olarak eklenebilmesi de söz konusudur.

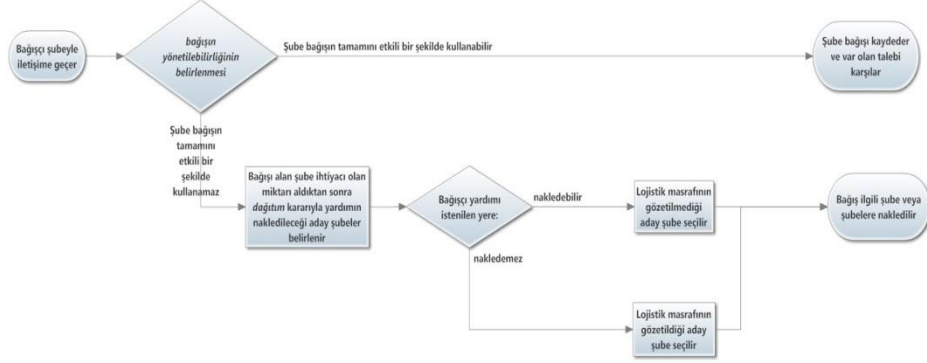
## KAYNAKÇA

- Beamon, Benita M. "Measuring supply chain performance", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19 Nos 3/4 (1999) pp. 275-92.
- Beamon, Benita M., and Burcu Balcik. "Performance measurement in humanitarian relief chains." *International Journal of Public Sector Management* 21.1 (2008): 4-25.
- Davidson, Anne Leslie. *Key performance indicators in humanitarian logistics*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- Gatignon, Aline, Luk N. Van Wassenhove, and Aurélie Charles. "The Yogyakarta earthquake: Humanitarian relief through IFRC's decentralized supply chain." *International Journal of Production Economics* 126.1 (2010): 102-110.
- Pedraza-Martinez, Alfonso J., and Luk N. Van Wassenhove. "Vehicle replacement in the International Committee of the Red Cross." *Production and operations Management* 22.2 (2013): 365-376.
- Saaty, Thomas L. "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation" (1980) McGraw-Hill, ISBN 0-07-054371-2
- Saaty, Thomas L. "Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the 25 measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process." *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas* 102.2 (2008): 251-318.

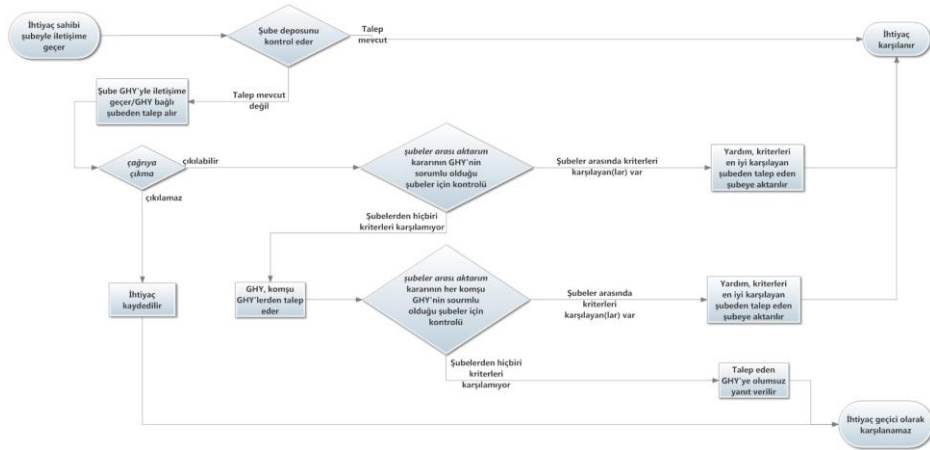


## EKLER

### Ek 1.1 Bağış Akışı



### Ek 1.2 Talep Akışı



## Ek 2. Mevcut GHY'ler ile Maksimum Kaplama Modeli

N: Şubeler kümesi

M: GHY bulunan şubeler kümesi

Parametreler:

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j \in M \text{ şubesinde bir GHY çalışıyorsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$
$$d_{ij} = i \in N \text{ şubesiyle } j \in M \text{ şubesi arasındaki mesafe}$$
$$w_i = i \in N \text{ şubesinin rengine göre aldığı ağırlık}$$
$$R = \text{kapsama için maksimum uzaklık}$$
$$C_j = j \in M \text{ şubesinin ağırlıklı kapasitesi}$$
$$Q_j = j \in M \text{ şubesinin sorumlu olabileceği maksimum şube sayısı}$$
$$h_i = i \in N \text{ şubesinin desteğe ihtiyacı}$$

Karar Değişkenleri:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \in N \text{ şubesi } j \in M \text{ şubesinde görevli} \\ & \text{GHY tarafından kapsanıyorsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Model:

$$\max \sum_{ij} h_i * X_{ij}$$
$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in N, j \in M$$
$$\sum_i w_i * X_{ij} \leq C_j \quad \forall j \in M$$
$$\sum_i X_{ij} \leq Q_j \quad \forall j \in M$$
$$\sum_j X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in N$$
$$d_{ij} * X_{ij} \leq R \quad \forall i \in N, j \in M$$
$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in M$$

**Ek 3.** Veritabanı Arayüzü

## Bekleyen Yardım Talepleri

Ad	Soyad	BağışTipi	CinsNo	Miktar	Sube	Skor	
Fahri	Mutlu	Erkek Pantolon	23-02-0001	4	KARASU	440	<a href="#">Üye Şubelere Git</a>
Fevziye	Ersöz	Tekerlekli Sandalye	30-07	1	NILUFER	880	<a href="#">Üye Şubelere Git</a>
Kazım	Erdemir	Battaniye	20-04	2	ORHANGAZI	293	<a href="#">Üye Şubelere Git</a>

**GENEL HİZMET YÖNETİCİSİ ANA SAYFA**

**İhtiyaç İşlemleri**

- Bekleyen Talep Kaydı
- Bekleyen Talepler

**Transfer İşlemleri**

- Gelen Transfer Talepleri
- Yanıtlanan Transfer Taleplerim

**Bağış İşlemleri**

- Yeni Bağış Kaydı
- Gelen Bağışlar

**TURK KIZILAYI**  
1868

# Lojistik Dağıtım Ağı Optimizasyonu

## Unilever

### Proje Ekibi

Mertcan GÜLBEŞ  
Erdem İSTANBULLU  
Burcu ÖZEK  
Zeynep Ezgi ÖZGÜL  
Hande SÜMER  
Esin ÜSTÜN

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### Şirket Danışmanları

Tağra Bayık  
Unilever, UltraLogistik, OTM Uzmanı  
Koray Kalcı  
Unilever, Müşteri Servis Yöneticisi

### Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak  
Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Unilever, İstanbul Gebze’de bulunan fabrikasına ek olarak Konya’da yeni bir fabrika açmayı planlamaktadır. Bu fabrika açıldıktan sonra, önceden Gebze’de üretimi yapılan kişisel bakım ve ev bakımı ürünleri Konya’da üretilmeye başlanacak. Bu projenin amacı, Türkiye bazında, üretim hatlarının ayrılması sonucu artacak olan lojistik maliyetlerini en aza indirmektir. Gerekli tüm kısıtları içeren bir optimizasyon modeli ve JAVA kodu oluşturulmuştur. Ek olarak yenilikçi araştırmalar yapılarak, farklı çözüm önerileri sunulmuştur. Model sonuçları ve danışmanların istekleri doğrultusunda, şirkete, maliyetleri en aza indireyen ve ana performans göstergelerinde en çok iyileştirme sağlayan iki çözüm önerilmiştir. Birinci çözüm önerisi, palet başına ücretlendirilen pazar araç sayısında artışa gitmektir. İkinci çözüm önerisi ise optimizasyon modeli ile CNG (Sıkıştırılmış Doğalgaz) yakıtlı araçlara dönüştürülecek olan filo araç sayısını belirlemektir.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik, Araç ve Rota Optimizasyonu, FMCG, Maliyet İndirgenmesi

## 1. Şirket Tanımı

Unilever 190 ülkede hızlı tüketim malları üreten, dünyanın önde gelen şirketlerinden biridir. Dünya üzerinde, günde ortalama iki milyar



insan tarafından kullanılmakta ve 400'den fazla markası bulunmaktadır. Yıllık ortalama 53 milyar dolar ciroya sahip olan şirketin, bir diğer önemli özelliği de çevreci tavrıdır. Projenin kapsamında olan Unilever Türkiye ise, 29 markaya sahip olmakla birlikte, Türkiye'de bulunan sekiz adet fabrika ve 5000'i aşkın çalışan ile 51 milyon yerli müşteriye ulaşmakta ve 34 farklı ülkeye ihracat yapmaktadır.

Unilever ürünlerinin portföyü genel olarak, üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar Unisel, Ufs ve Algıda'dır. Bu kategorilerden ilki olan Unisel, gıda ve ev/kişisel bakım ürünlerini içermektedir.

Müşterileri ile iyi ilişkiler ve dürüstlük ilkesini benimseyen Unilever, ürünlerin alıcıya zamanında ve uygun kalitede gönderilmesi konusunda çok titiz davranmaktadır. Bu sebeple, üretim, pazarlama, satış ve dağıtım departmanlarının birbirleri ile koordine çalışmaları büyük önem taşımakta ve şirketin ana kollarını oluşturmaktadır.

## **2. Proje Kapsamı ve Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

İstanbul Dilovası'ndaki fabrikada ev/kişisel bakım ürünleri üretim hatları, Çayırova'da bulunan fabrikada ise gıda ürünleri üretim hatları bulunmaktadır. Bu ürünlerin depolanması ise Gebze'de bulunan ana depoda gerçekleşmektedir. . Bu proje ev/kişisel bakım ürünleri üretim hatlarının Konya'da açılacak olan fabrikaya taşınması sürecini içermektedir. Mevcut sistemde, Türkiye'deki dağıtım noktalarına aynı araçlarla teslimat yapmak mümkündür. Projenin amacı, üretim hatlarının ayrılması sonucunda oluşacak fazladan maliyeti en aza indirmek olduğu için, proje kapsamına Gebze'de kalacak olan gıda deposundan ve Konya'ya taşınacak olan ev ve kişisel bakım fabrikasının deposundan yapılacak olan taşımalar girmektedir. Margarin ve dondurma ürünleri, bu projeye dahil olmadığı için proje kapsamının dışında kalmaktadır.

Unilever ürünlerinin dağıtımı için kullanılan bir taşıma yönetim sistemi bulunmaktadır. Bu sistem stok eşleme, araç kapasite ve müşteri kısıtları, planlama, taşıma yöntemlerinin açıklanması ve raporlama aşamalarından oluşmaktadır. Projenin amacı taşıma maliyetlerini azaltmak olduğu için, proje kapsamında öncelikli olarak planlama aşaması ele alınmıştır. Taşıma gerçekleştirilirken kullanılan iki tip araç bulunmaktadır. Bunlardan ilki Unilever'in kendisine ait olan filo araçları, ikinci tip ise pazar araçlarıdır. Filo araçları, genel olarak margarin ve dondurma ürünlerinin dağıtımı ve geri dönecek mallar için kullanıldığı için, proje kapsamına alınmamıştır.

Proje kapsamındaki analizler ve gözlemler, genel olarak kapsama dahil olan pazar araçlarının kullanımlarında değişikliklere giderek maliyet azaltılmasına yönelik olsa da alternatif ve yenilikçi ikinci bir çözüm önerisi sunmak için kapsam dışı bırakılan filo araçlarının kullanımı da göz önünde bulundurulmuştur.

## **2.2. Sistem analizi ve bileşenleri**

Yukarıda söylendiği gibi, Unilever'in üretimini yaptığı ve proje kapsamında olan üç farklı tipte ürün bulunmaktadır ve bu ürünlerin üretimi Çayırova ve Dilovası'nda bulunan üretim fabrikalarında yapılmaktadır. Bu fabrikalarda üretilen ürünler daha sonra dağıtım yapılmak üzere Gebze'deki merkez depoya taşınmaktadır. Ürünlerin Türkiye'ye dağıtım sırasında pazar aracı kategorisi altında tır, kamyon, kamyonet ve parsiyel adı verilen dört farklı tipte araç kullanılmaktadır. Tırlar 32, kamyonlar 16 ve kamyonetler ise 6 paletlik kapasiteye sahiptir. Bu üç pazar aracı tipinin ücretlendirmesi gidilen rotaya göre ve tek yönlü olarak yapılmaktadır. Parsiyel araçları ise 32 palet kapasiteye sahiptir, fakat içinde taşınan palet sayısına göre fiyatlandırılmaktadır. Pazar araçlarının yanı sıra filo araçları Unilever'in kendisine ait olup sadece tırları kapsamakta ve ödeme çift yönlü yapılmaktadır. Fakat filo araçları yalnızca yenilikçi çözüm önerilerinden biri olan CNG araç kullanımıyla ilişkili olarak proje kapsamının küçük bir kısmına dahil edilmiştir. Bu yenilikçi çözüm önerisinden "Sonuçlar ve Genel Değerlendirme" kısmında bahsedilecektir. Kamyonet hariç bütün araçlarda kapasite %90'dan fazla verimlilikle kullanılmaktadır. Taşımada kullanılan araçların %75'ini tırlar oluşturmaktadır; bunun en önemli sebebi ise palet başına düşen maliyetin en az olduğu araç tipinin tır olmasıdır.

Mevcut sistem verilerine göre ürünlerin ton cinsinden %90'ını kişisel ve ev bakım ürünleri; geriye kalan %10'luk kısmı ise gıda ürünleri oluşturmaktadır. Türkiye'nin bu ürünler için yıllık toplam talebi 451.000 tondur. Proje kapsamında, dağıtım yapılan 68 rota ve 28 bölge bulunmaktadır. Aynı zamanda, şirketten elde edilen bilgilere göre, herhangi bir ara depo kullanılması ya da ev/kişisel bakım ürünlerinin Gebze deposunda tutulması mümkün değildir, bu sebeple farklı tip ürün taşıyan araç sayılarının sıfıra ineceği düşünülmektedir.

## **3. Problem Tanımı**

### **3.1 Belirtiler ve şikayetler**

Kişisel/ev bakım üretim hatlarının Konya'ya taşınmasından sonra ortaya çıkması beklenen şikâyetler ve belirtiler; taşıma ücretlerinde artış, bazı talep noktaları için teslim sürelerinde artış, araç kapasitelerinin daha verimsiz kullanılması gibi kategoriler altında gruplanmıştır. Kişisel ve ev bakım üretim hatlarının taşınması, mesafe olarak 18 şehirden uzaklaşılması anlamına gelmektedir. Bu da, talebin tonaj olarak %33'ünden uzaklaşıldığı anlamına gelmektedir. Fakat bu 18 şehrin içerisinde ton cinsinden talebi yüksek olan teslimat noktaları bulunduğu için, yalnızca kilometreyi baz alarak hesaplama yapmak sağlıklı bir sonuç vermeyecektir. Bu sebeple, ton kilometre çarpımını dikkate almak gerekir. Bu çarpımın sonucuna göre, Konya'ya taşınmak, %5 oranında daha iyi gibi gözükse de iki temel nedenden dolayı gıda ve

kişisel/ev bakım ürünlerinin toplam taşıma maliyetlerinde 4.239.298 TL artışa sebep olması beklenmektedir. İlk neden fabrikaların ayrılması sonucunda araç doluluğundaki azalmadan kaynaklı araç sayısının artmasıdır. Yani, mevcut sistemde araçların %57'sinde gıda ve kişisel/ev bakım ürünleri aynı araç içerisinde taşınabilmekteyken, üretim hatlarının ayrılması araç doluluğundaki azalmadan kaynaklı araç sayısının artmasına neden olacaktır. İkinci olarak; Konya merkezli araçların taşıma maliyetlerinin Gebze'ye kıyasla daha yüksek olmasıdır. Örneğin, Gebze'den Gebze'ye tır ile taşıma yapma maliyeti araç başına 400 TL iken, Konya'dan Konya'ya bu maliyet 1.691 TL olmaktadır

Yeni sistemdeki bir diğer sorun da, uzaklaşan noktadaki teslimat sürelerinde meydana gelebilecek artışlar olacaktır. Ancak, ürünlerin sevkiyatı, teslimat süreleri göz önüne alınarak yapılacağı için teslimat sürelerindeki artış bu projenin kapsamı dışında olacaktır.

### **3.2 Problem tanımı ve ilgili literatür**

Unilever'in karşılaştığı ana problem, Konya fabrikası açıldıktan sonra hem Konya hem Gebze fabrikasından yapılacak teslimatları kapsayan, optimize bir lojistik dağıtım sistemi geliştirilmesine ihtiyaç duyulmasıdır. Üretim fabrikalarının iki farklı şehre ayrılması, araç kapasitelerinin verimsiz kullanılması ve kişisel/ev bakım ürünleri talebinin yüksek olduğu bölgelerden uzaklaşılması gibi sebeplere bağlı olarak maliyette artış öngörülmektedir. Unilever'in mevcut olarak yalnızca Gebze fabrikasından ürün dağıtımını kapsayan optimize bir lojistik sistemi vardır; fakat Konya fabrikası açıldıktan sonra bu sistemin yenilenerek her iki şehirden eş zamanlı ürün dağıtımını sağlayacak şekilde dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için oluşturulan optimizasyon modelinde araç rotaları, araç kapasiteleri ve araç sayısı gibi değişkenlerin en düşük maliyeti, en yüksek kapasite verimliliğini ve müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde kullanılması sağlanmıştır.

Optimizasyon modelinin oluşturulması aşamasında çeşitli literatür araştırmalarına yer verilmiştir. İlk olarak başvuru model, Vehicle Routing Problem (VRP) adı verilen, bir ya da birden fazla depodan farklı konumlardaki talep noktalarına ürün dağıtımını sağlayan modeldir. VRP modeli, Unilever sisteminde bulunan farklı araç tipleri ve bu araçların ID numaralarını dikkate almadığı ve araçların başlangıç noktasına dönme zorunluluğunu getirdiği için sisteme uygun olmadığına karar verilmiştir. Literatür araştırmasına, Open Vehicle Routing Problem (OVRP) adı verilen model ile devam edilmiştir. OVRP'nin VRP'den farkı, modelin depodan çıkan ürünlerin başlangıç noktasına geri dönüşünü mecbur kılmamasıdır. Fakat bu model de her bir araç için tanımlanan ID numaralarını dâhil etmediğinden yeterli görülmemiştir. Benzer şekilde irdelenen Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) modelinde de araç kapasiteleri de düşünülmesine karşın araç bazında inceleme yapmak mümkün değildir. Yapılan literatür araştırmaları

sonucunda bu modellerin, Unilever'in ihtiyaç duyduğu dağıtım sistemini sağlayabilecek şekilde değiştirilmesi gerekmiştir.

#### **4. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar**

Projedeki birincil amaç, Konya'ya taşınacak üretim hatlarının mevcut lojistik sistemde neden olacağı kısıtları göz önüne alarak yeni sisteme uyumlu, araç kapasitelerini maksimum verimlilikle kullanabilecek, oluşacak fazladan lojistik maliyetlerini azaltmaya yönelik yeni bir model oluşturmaktır.

##### **4.1 Optimizasyon modeli**

Unilever'in ev ve kişisel bakım üretim hatlarının Konya'ya taşınmasından sonraki dağıtım ağı için maliyeti en aza indirgeyen bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Şirketin isteği üzerine bu modele, talep miktarı girdi olarak verilmiştir. Modelin çıktısının ise en düşük maliyette en uygun araç sayıları ve rotaları olması hedeflenmiştir. Oluşturulan modelin yeni, kullanılabilir, esnek ve sürdürülebilir olması amaçlanmıştır.

Bu modelde farklı bilgiler içeren kümeler bulunmaktadır. Noktalar kümesi talep noktalarını ve kaynak noktasını içeren kümedir. Araç tipleri kümesi, 1'den 4'e kadar değer almakta olup bunlar; tır, kamyon, parsiyel ve kamyonet tipi araçlardır. Kullanılan araçların sırasını gösteren dizin olarak m kullanılmıştır. Modelde kullanılacak değişkenler ve parametreler aşağıdaki gibidir:

##### Karar Değişkenleri

$X_{ijkm}$ : Eğer k tipi m'inci araç i noktasından j noktasına gidiyorsa 1 değerini alır, aksi takdirde 0 değerini alır

$Z_{km}$ : k tipi m'inci aracın rotasında üçten fazla nokta var ise fazladan maliyetini hesaplamak için kullanılacak tam sayı değişkeni

$f_{ijkm}$ : k tipi m'inci aracın i noktasından j noktasına giderken (i,j) yayı üzerinde taşıdığı yük miktarı

$P_{jkm}$ : k tipi m'inci araçta j talep noktası için ayrılan yük miktarı

$T_{km}$ : Rotalara göre değişkenlik gösteren k tipi m'inci aracın maliyeti

##### Parametreler

$D_j$ : j noktasının talep miktarı

$Q_k$ : k tipi aracın kapasitesi

$TC_{jk}$ : k tipi aracın j noktasına gittiği takdirdeki maliyeti

$PC_j$ : j talep noktası için, parsiyel tipi araçların palet başına düşen maliyeti

EC: Rotasında 3'ten fazla yay bulunduran araçlar için uygulanacak fazladan maliyet

Bu modelde, kullanılan her aracın takibinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu sebepten ötürü  $X_{ijkm}$  değişkeni tanımlanmış olup; her k araç tipinin m'inci aracının i ve j noktaları arasındaki kullanımlarının gözlemlenmesi sağlanmıştır. Türkiye'nin lojistik piyasası koşulları ve kısıtlamaları düşünüldüğünde; kurulan modelde bir

aracın en fazla beş noktaya gidebileceği varsayılmıştır. Ayrıca üç noktadan fazla noktaya giden araçlar, gidilen nokta sayısına göre fazladan ücrete tabi tutulmaktadır. Bu fazladan maliyet ise  $Z_{km}$  değişkeni ile hesaplanmıştır. Bununla birlikte sistemin akışını ve taleplerin karşılanmasını sağlamak amacıyla  $f_{ijkm}$  ve  $P_{jkm}$  değişkenleri kullanılmıştır. Araçların kullanım maliyetlerinin hesaplanmasında, parsiyel araçları dışında, rotalara göre farklı bir uygulama kullanıldığı öğrenilmiştir ve bu ücretlendirme  $T_{km}$  değişkeni ile gösterilmiştir. Bu uygulamaya göre, eğer bir araç rotasında hem  $j$  hem  $l$  noktasına gidiyorsa; aracın maliyeti  $TC_{jk}$  ve  $TC_{lk}$  değerlerinin en büyüğünü almaktadır.

Sistemin parametreleri sisteme girilen ve sabit kalan değerlerdir. Geliştirilen optimizasyon modelinde, sistemin çıktısının girilen talep miktarlarına göre değişkenlik göstermesi istenmektedir. Bu sebepten ötürü girdi olarak sisteme herhangi bir  $j$  noktasının talebi,  $D_j$  parametresi, girilmektedir. Bunun dışında, her araç tipi farklı kapasiteye sahip olduğu için  $k$  tipi aracına özgü kapasiteyi gösteren  $Q_k$  parametresi kullanılmıştır. İkinci parametre ise  $k$  tipi aracın, parsiyel araçları dışında, rotası üzerindeki  $j$  noktasına gitmesi için ödenmesi gereken ücrettir ve  $TC_{jk}$  ile gösterilmektedir. Parsiyel araçlar için palet başı ücretlendirme uygulandığı için bu araç tipine özel, her  $j$  noktası için  $PC_j$  palet başı ücreti tanımlanmıştır. Son parametre ise rotasında üçten fazla nokta içeren araçlar için kullanılan fazladan maliyettir ve  $EC$  ile gösterilmektedir. Bu değişkenler ve parametreler gözetilerek model geliştirilmiştir. Bu model Ek 1’de LATEX yazılımı ile gösterilmiştir.

Amaç fonksiyonu (1) üç ayrı bölüme ayrılmıştır. İlk bölüm, her araç için rotalara göre, parsiyel taşıma dışında, toplam maliyeti hesaplamaktadır. İkinci bölümde ise parsiyel araçlarının ücretlendirilmesi farklı olmasından dolayı, maliyet palet başı ücretlere göre hesaplanmıştır. Üçüncü kısımda ise rotalarında üçten fazla yay bulunduran araçların fazladan oluşturdukları maliyet yer almaktadır. Bununla birlikte modelde birçok kısıt bulunmaktadır:

- (2) İlk kısıt, kümede yer alan her noktanın, o nokta için ayrılan tüm araçlardaki toplam yük ile talebinin karşılanmasını sağlamaktadır.
- (3) İkinci kısıt, her araç için farklı noktalara ayrılan toplam yük kapasitesinin o aracın kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır.
- (4)(5) Üçüncü ve dördüncü kısıtlar, eğer bir araçta  $j$  talep noktası için ayrılan bir kapasite varsa, o aracın o noktaya teslimat yapmasını garantilemektedir. Bununla birlikte, eğer bir araçta  $j$  noktası için ayrılmış bir kapasite yoksa aracın o noktaya gitmesini engellemektedir.
- (6) Beşinci kısıt, her araç için her  $i$  noktasından en fazla bir çıkış kullanılmasını sağlamaktadır.
- (7) Altıncı kısıt, her araç için her  $j$  noktasına gelirken en fazla bir giriş kullanılmasını sağlamaktadır.

(8) Yedinci kısıt, sistemdeki akışı sağlamaktadır. Bir araç eğer j noktasına gelmiyorsa o aracın j noktasından başka bir noktaya gitmemesini sağlamaktadır. Eğer bir araç j noktasına geliyorsa ya teslimatını yapıp yolculuğunu tamamlaması ya da başka bir noktaya devam etmesini sağlamaktadır.

(9) Sekizinci kısıt ise eğer bir araçta teslim edilmesi gereken bir yük bulunuyorsa o aracın kaynak noktasından kesinlikle çıkmasını sağlamaktadır.

(10) Dokuzuncu kısıt, rotasında üçten fazla yay bulunduran araçlar için fazladan maliyeti hesaplamak için kullanılan değişkene tam sayı değeri verilmesini sağlamaktadır.

(11) Onuncu kısıt, sistemdeki hiçbir aracın rotasında beşten fazla talep noktası bulundurmamasını sağlamaktadır.

(12) Onbirinci kısıt, hiçbir aracın yaylardaki toplam yük miktarının o aracın kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır.

(13) Onikinci kısıt, sistemdeki akış sağlanırken, araçların talep noktalarına teslimatlarını yaptıktan sonra, yük miktarlarının yapılan teslimat miktarı kadar azalmasını sağlamaktadır. Araçlar teslim etmeleri gereken yükleri teslim ederken, son noktadaki teslimattan sonra araçların yolculukları tamamlanmaktadır. Bu yolla, sistemde oluşabilecek herhangi bir döngü engellenmektedir.

(14) Onüçüncü kısıt, kaynak noktasından çıkan araçların dizinlemesinin küçükten büyüğe yapılmasını sağlamaktadır.

(15) Ondördüncü kısıt, yukarıda belirtilen araç ücretlendirme uygulamasını yansıtan, araçların rotalara göre değişen maliyetini belirlemektedir.

(16)(17) (18) (19) Bu kısıtlar değişkenlerin tanım kümelerini belirtmektedir.

Geliştirilen optimizasyon modelinin ana amacı, Unilever'in lojistik sistemine entegre olacak biçimde her araç türünden kullanılacak optimum sayıdaki araç sayısını ve rotalarını bularak toplam maliyeti en aza indirmektedir. Optimizasyon modelinin çözüm sürecinde NetBeans programı ile birlikte IBM ILOG CPLEX OPTIMIZATION STUDIO Programı (OPL) kullanılmıştır.

#### ***4.2 Optimizasyon modelinin kullanım sürecinin veriminin artırılması için Java kodu oluşturulması***

Model oluşturulduktan sonra, sistem girdilerinin Excel programından alınmasını ve bu alınan verilerin modele entegrasyonunu ve optimizasyon modelinin çalıştırılmasını aynı anda sağlamak için bir JAVA kodu yazılmıştır.

NetBeans programı ile çalıştırılan JAVA kodu, halihazırda bulunan her bölge için tanımlı olan rota kodlarını ve o rota kodlarının Gebze ve Konya'dan taşınma maliyetlerini araç tiplerine göre, oluşturulan bir Excel sayfasından almaktadır. Daha sonra, başka bir Excel

sayfasından her bölgedeki rota kodları için, her teslimat tarihindeki gıda talepleri ile ev ve kişisel bakım talepleri ayrı ayrı alınmıştır. JAVA kodunun girdilerin alındığı bölümü Ek 2’de görülebilir. Bu sayede, Konya ve Gebze fabrikaları için farklı talep girdileri oluşturularak optimizasyon modelinin çalıştırılması sağlanmıştır. Böylece, JAVA kodu oluşturulmadığı takdirde el ile hesaplanması gereken girdiler, çıktılar ve modelin her bölge için her teslimat tarihinde çalıştırılmasına gerek kalmamıştır. Dolayısıyla, süreç otomatikleştirilerek kullanım verimi artırılmıştır.

Optimizasyon modelinin çalıştırıldığı JAVA kodunun çıktı olarak, her bölge için her teslimat tarihinde oluşan maliyeti, hangi araç tipinden kaç adet araç kullanıldığını ve toplam maliyeti vermesi sağlanmıştır. Oluşturulan kod, henüz araç taşıma maliyetleri kesin olmayan Konya deposu için oluşabilecek maliyet değişikliklerine entegre edilebilecek biçimde tasarlanmıştır. Bu kodun kullanılmasındaki en önemli sebeplerden bir diğeri; Konya’daki fabrika açıldıktan sonra, mevcut sisteme göre belirlenmiş olan bölgelerin içerdiği rota kodlarının değişme ihtimalidir. Bu durum proje kapsamına girmemekle birlikte, oluşturulan sisteme esneklik kazandırılarak, sistemin gelecekte oluşabilecek değişikliklere cevap verebilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte, farklı araç maliyetleri ve farklı bölge veya bölgelerin içerdikleri farklı rota kodu seçenekleri için senaryo analizlerinin yapılmasına olanak verilmesi amaçlanmıştır.

#### ***4.3 Sistem entegrasyonu ve doğrulama***

Proje süreci boyunca optimizasyon modelin geliştirilmesiyle eş zamanlı olarak, geçmiş veri analizi yapılarak mevcut sistem incelenmeye devam edilmiştir. Matematiksel modelin sonuçları veri analizleriyle karşılaştırılarak modelin doğru çıktılar verip vermediğinin kontrolü yapılmıştır.

#### **5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme**

Bu projenin maliyetlerinin azaltılmasını amaçlayan iki farklı çözüm önerisi sunulmuştur:

##### ***5.1 Parsiyel araç kullanımının artırılması***

Optimizasyon modelinin mevcut sisteme göre validasyonu yapılırken, Muğla bölgesi kullanılmıştır. Model ile Muğla bölgesinin 9 aylık taşıma maliyeti hesaplandığında, eldeki verilere göre, 21.180TL daha az olarak hesaplanmıştır. Bu azalmanın sebebi, mevcut sistemde 10 adet parsiyel aracı kullanılırken, modelin çıktısı bu sayının 71 adete çıkarılmasını önermektedir. Bu sebeple, Konya fabrikası açıldıktan sonra parsiyel kullanımının arttırılmasının maliyetlerin en az indirgenmesine büyük bir katkıda bulunacağı öngörülmüştür. Mevcut sistemde, sadece 14 rota için parsiyel araç kullanımı anlaşması bulunmaktadır ve bu sayının yeni anlaşmalar ile arttırılması

amaçlanmıştır. Bunun üzerine, Konya'daki ve Gebze'deki parsiyel maliyetlerinin, şirket danışmanlarından alınan bilgiler doğrultusunda ne kadar olacağı hesaplandıktan sonra, optimizasyon modeli ve JAVA kodu kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yıllık maliyette parsiyel kullanımı aynı olan sisteme göre, kullanım artmış sistemde 2.558.025 TL azalma olduğu görülmüştür. Detaylı maliyet analizi Ek 3'de görülebilir. Ayrıca, projenin ana performans göstergesi olan ton başına maliyette, Konya fabrikası açıldıktan sonra ton başına 10.38 TL'lik bir artış olacağı öngörülmüştür. Diğer rotalarda parsiyel kullanım anlaşması yapıldığı takdirde, bu değerde ton başına 5.67 TL'lik bir azalma öngörülmektedir. Aylık olarak, bu ana performans göstergesindeki değişim Ek 4'de görülebilir.

### **5.2 CNG araç kullanımı**

CNG, sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış doğalgaza verilen isimdir. Motorine göre %25 oranında daha az CO<sub>2</sub> salınımına sebep olmakla birlikte mevcut sistemde kullanılan araçların yakıtlarına göre daha düşük bir maliyete sahiptir. Bu sebeple, taşıma maliyetinde ve CO<sub>2</sub> salınımında azalma sağlaması öngörülmüştür. CNG sistemine dönüşüm, sadece Unilever'e ait filo araçlarında mümkündür, bu sebeple sınırlı sayıda CNG aracı kullanılabilir. Filo araçlarının, çift yönlü ödeme yapılan araçlar olması sebebiyle, fabrikaların yerleri de gözetilerek, Konya'nın gıda ve Gebze'nin ev/kişisel bakım taleplerini karşılamak için kullanılması düşünülmüştür. Seçilen CNG araç rotası, Gebze, İzmit, Ankara ve Konya'yı içermektedir. Yalnızca Konya ve Gebze rotası seçildiğinde Konya rotasının gıda taleplerinin yetersizliğinden dolayı tırlar doldurulamayacak ve bu nedenle Konya'ya sevkiyat yapılmaması bekleme maliyetlerini artıracaktır. Bu durumu engellemek için Konya ve Gebze rotasına ek olarak optimizasyon modelinden elde edilen araç sayılarının analizine ve toplam talebe göre Ankara ve İzmit rotalarının eklenmesine karar verilmiştir. Bu sayede Gebze'de bekleyen araç sayısında azalma gözlenmiştir.

Yapılan senaryo analizi sonucunda, CNG kullanımının maliyette yaptığı değişiklik, kullanılan CNG araç sayısına göre değiştiği görülmüştür. Ek 5'te görülebileceği üzere, optimizasyon modelinin ve JAVA kodunun sonucunda CNG dönüşümü yapılacak araç sayısı üç olduğu zaman maliyette en yüksek azalma elde edilmiştir. Bu dönüşüm ile sağlanacak maliyet azalması 46.481,6 TL olarak hesaplanmıştır. Şirket danışmanlarından edinilen bilgiler doğrultusunda, bir aracın CNG yakıtlı araca dönüştürülme maliyeti 8.000 € olduğu öğrenilmiştir. Dönüştürülmesi planlanan üç aracın, 1,65 yılda kendi maliyetini çıkartacağı hesaplanmıştır. Buna ek olarak, yapılan hesaplamalara göre hesaplama yapılan rota için CO<sub>2</sub> salınımında bir yılda %5,6 azalma



olacağı görülmüştür. Unilever, çevreciliği fazlasıyla önemseyen bir şirket olduğu için, bu azalmanın çok önemli olduğuna karar verilmiştir.

## KAYNAKÇA

- A Strategy for Reducing the Computational Complexity of Local Search-Based Methods, and its Application to the Vehicle Routing Problem. Department of Process Analysis and Plant Design, National Technical University of Athens, Greece.
- Andrade, C, and F Miyazawa. Evolutionary Algorithm for the K-Interconnected Multi-Depot Multi-Traveling Salesmen Problem. University of Campinas, Brazil.
- Brito. An Exploratory Analysis of Reverse Logistics in Flanders, European Journal of Transport and Infrastructure Research. 2007.
- D, Aysen, and Z Özyurt. "NEO: Networking and emerging optimization." [Http://portal.ku.edu.tr](http://portal.ku.edu.tr). 2014.
- Helsgaun, K. An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. Department of Computer Science Roskilde University, Denmark: n.p., n.d. Print.
- Murray, Martin. "Cross Docking in the warehouse cross docking can optimize material movement costs." Money. About.com Money, 12 Mar. 2016.
- Marjani, Mohammad Reza, and Mohammad Moattar Husseini Seyyed. Bi-Objective Heuristics for Multi-Item Freights Distribution Planning Problem in Crossdocking Networks. N.p.: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016. Print.
- Tağra Bayık, Unilever Lojistik Uzmanı, Röportaj, 15 Ocak 2016. "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms." [Http://citeseerx.ist.psu.edu/](http://citeseerx.ist.psu.edu/). Toprak,Hakkı, Coca Cola Lojistik Uzmanı, Röportaj 28 Feb. 2016. Zachariadis, Emmanouil, and Chris Kiranoudis. "An Open Vehicle Routing Problem Metaheuristic for Examining Wide Solution Neighborhoods."

## EKLER

### Ek 1 Optimizasyon Modeli

Objective Function:

$$\min \sum_{k|k \neq 3} \sum_m T_{km} + \sum_j \sum_{k|k=3} \sum_m P_{jkm} * PC_j + \sum_k \sum_m Z_{km} * EC \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_k \sum_m P_{jkm} = D_j \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_j P_{jkm} \leq Q_k \quad \forall k, m \quad (3)$$

$$\sum_{i|i \neq j} X_{ijkm} * Q_k \geq P_{jkm} \quad \forall j, k, m \quad (4)$$

$$\sum_{i|i \neq j} X_{ijkm} \leq P_{jkm} \quad \forall j, k, m \quad (5)$$

$$\sum_{j|i \neq j} X_{ijkm} \leq 1 \quad \forall i, k, m \quad (6)$$

$$\sum_{i|i \neq j} X_{ijkm} \leq 1 \quad \forall j, k, m \quad (7)$$

$$\sum_{i|i \neq j} X_{ijkm} \geq \sum_{l|l \neq j} X_{jllm} \quad \forall j : j \neq 1, k, m \quad (8)$$

$$\sum_{j|j \neq 1} X_{1jkm} \geq \sum_j P_{jkm}/Q_k \quad \forall k, m \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijkm} \leq Z_{km} + 3 \quad \forall k, m \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijkm} \leq 5 \quad \forall k, m \quad (11)$$

$$f_{ijkm} \leq X_{ijkm} * Q_k \quad \forall i, j, k, m \quad (12)$$

$$\sum_i f_{ijkm} - P_{jkm} = \sum_l f_{jllm} \quad \forall j : j \neq 1, k, m \quad (13)$$

$$\sum_j X_{1jk(m-1)} \geq \sum_j X_{1jkm} \quad \forall k, m : m \geq 2 \quad (14)$$

$$T_{km} \geq TC_{jk} * X_{ijkm} \quad \forall i, j, k, m \quad (15)$$

$$X_{ijkm} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, m \quad (16)$$

$$Z_{km} \geq 0 \quad \forall k, m \quad (17)$$

$$f_{ijkm} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (18)$$

$$P_{jkm} \geq 0 \quad \forall j, k, m \quad (19)$$

$$T_{km} \geq 0 \quad \forall k, m \quad (20)$$

## Ek 2

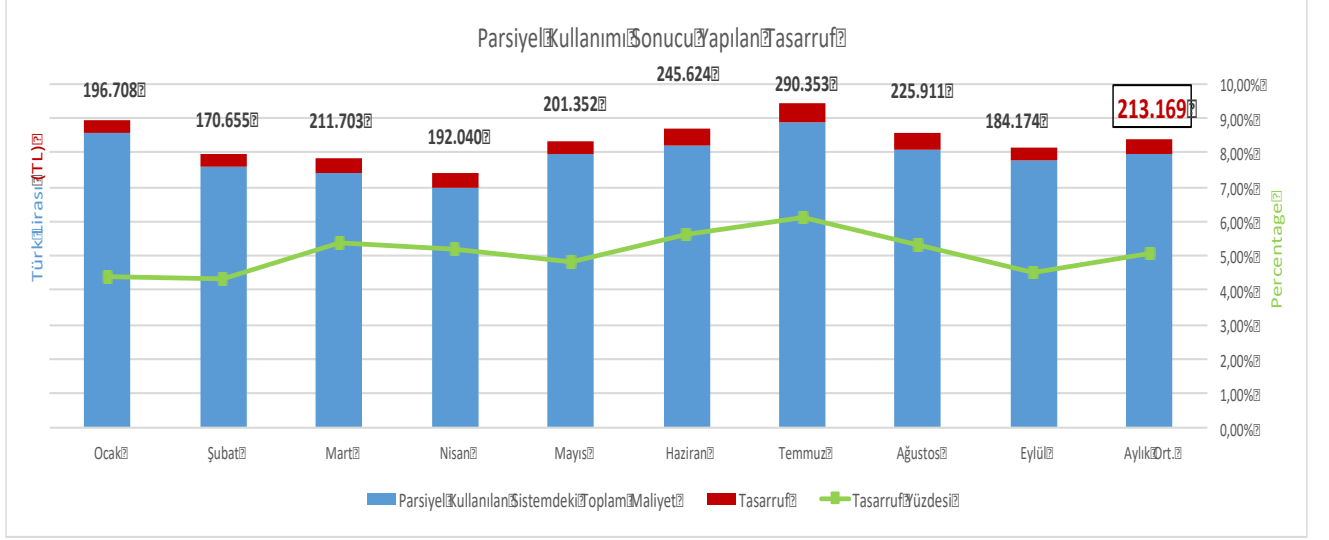
Bitirme - NetBeans IDE 8.1

File Edit View Navigate Source Refactor Run Debug Profile Team Tools Window Help

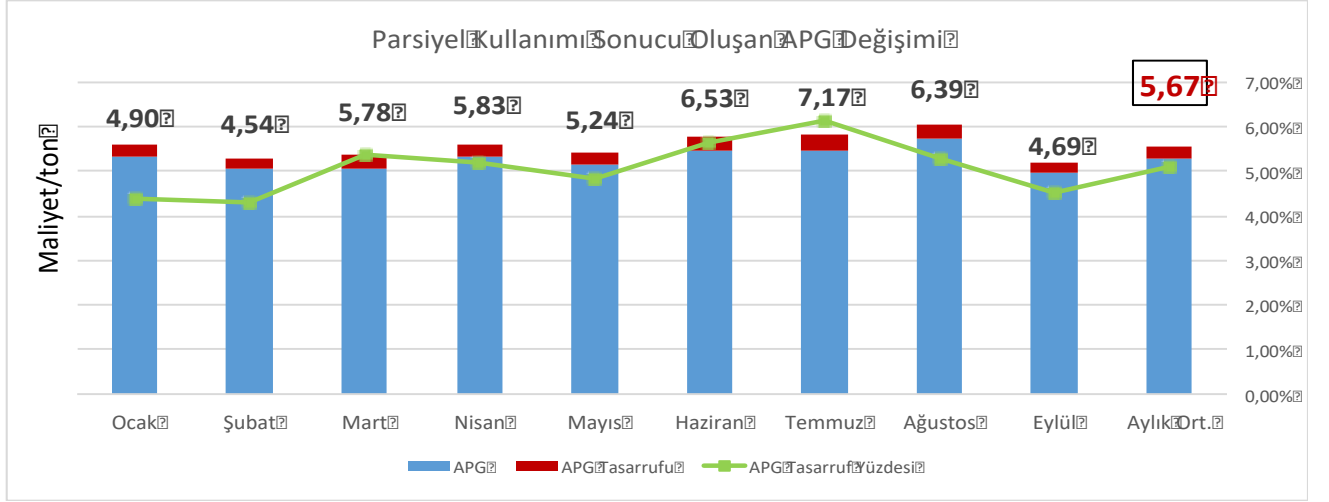
```
27 Sheet bolgesheet = workbook.getSheet("BolgeSayfasi");
28 System.out.println("Bolgelerin yer aldığı sayfa açıldı, şu an hesaplamalara başlanıyor...");
29 int datalength=bolgesheet.getRows()-3;
30
31 ArrayList<String> bolge = new ArrayList<>();
32 bolge.add(bolgesheet.getCell(0, 3).getContents());
33 int test=0;
34 for (int k=3;k<datalength;k++){
35     test=0;
36     for (int m=0; m<bolge.size();m++){
37         if (bolgesheet.getCell(0, k).getContents().equals(bolge.get(m))){
38             test+=1;
39         }
40     }
41     if (test==0){
42         bolge.add(bolgesheet.getCell(0, k).getContents());
43     }
44 }
45 Integer[] sayisi= new Integer[bolge.size()];
46 for (int i=0;i<bolge.size();i++){
47     sayisi[i]=0;
48 }
49 for (int k=3;k<datalength;k++){
50     for (int m=0; m<bolge.size();m++){
51         if (bolgesheet.getCell(0, k).getContents().equals(bolge.get(m))){
52             sayisi[m]+=1;
53         }
54     }
55 }
56 for (int m=0; m<bolge.size();m++){
57     String[] rota= new String[sayisi[m]];
58     int t=0;
59     for (int k=3;k<datalength;k++){
60         if (bolgesheet.getCell(0, k).getContents().equals(bolge.get(m))){
61             rota[t]=bolgesheet.getCell(2, k).getContents();
62             t+=1;
63         }
64     }
65
66     Sheet rotasheet = workbook.getSheet("talepsheet");
67     int datalength2=rotasheet.getRows()-1;
68     ArrayList<String> tarih = new ArrayList<>();
69     for (int k=1;k<=datalength2;k++){
70         for (int tt=0;tt<rota.length;tt++){
71             if (rotasheet.getCell(6,k).getContents().equals(rota[tt])){
72                 tarih.add(rotasheet.getCell(10,k).getContents());
73             }
74         }
75     }
76
77     Set<String> hs = new HashSet<>();
78     hs.addAll(tarih);
79     tarih.clear();
```

bitirme.Bitirme main bolgesheet

### Ek 3: Parsiyel Kullanımı Sonucu Taşıma Maliyetindeki Aylık Azalma



### Ek 4: Parsiyel Kullanımı Sonucu Anahtar Performans Göstergesindeki Aylık Değişim



### Ek 5: CNG Araç Kullanımı Senaryo Analizi Sonuçları

Araç Sayısı	Taşıma Maliyetinde Azalma(TL)
1 CNG Aracı İle	18.449,59
2 CNG Aracı İle	36.190,11
<b>3 CNG Aracı İle</b>	<b>46.481,64</b>
4 CNG Aracı İle	40.298,82
5 CNG Aracı İle	8.753,63

# **Nakliye Araçları İçin Rota Optimizasyonu**

## **Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş.**

### **Proje Takımı**

Ahmet Koray Enis  
Ayşe Özge Gazioğlu  
Nilsu Göğen  
Oğuz Atalay  
Oğuz Özçelik  
Sevgi Deniz Us

Endüstri Mühendisliği  
Bilkent Üniversitesi  
06800 Ankara

### **Şirket Danışmanı**

Serkan Arslan  
Vivense Teknoloji Hizmetleri Ve Tic. A.Ş., İş Analisti

### **Akademik Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus  
Endüstri Mühendisliği Bölümü

### **ÖZET**

Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş. Türkiye'nin önde gelen internet üzerinden mobilya satışı yapan firmalarından biridir. Şirketin karşılaştığı önemli sorunlardan biri, kullanılan rotalama sistemi sebebiyle teslimatlarda gecikmeler yaşanabilmektedir. Bu sorunun ortaya çıkardığı sonuçlar, düşük müşteri memnuniyeti, kaynakların yetersiz kullanılması ve kar marjlarında azalmalardır. Bu projenin amacı, sisteme endüstri mühendisi bakış açısını entegre ederek, zaman içinde geliştirilebilir, sürdürülebilir bir iyileştirme sağlamaktır. Bir başka deyişle, matematiksel modeller yardımı ile mümkün olduğunca uygulanabilir bir sistem oluşturmaktır. Bu bağlamda, problemi çözmeye yönelik bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model Xpress'te uygulanmış olup, şirketin kullanımına uygun hale gelmesi için Excel'e aktarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Araç Rotalama, Optimizasyon, Buluşsal Yöntemler, Karar Destek

### **1.Şirketin Tanıtımı**

Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş. 2013 yılında İstanbul'da kurulmuş olan ve internet üzerinden mobilya satışı yapan bir

firmadır. Şirketin, güncel olarak gönderime hazır durumda bulunan 7578 ürünü ile büyük çoğunluğu İnegöl'de olan 171 farklı ürün tedarikçisi bulunmaktadır. Diğer tedarikçiler, Çanakkale, Kayseri, İstanbul, Ankara, Sakarya, Kütahya, Eskişehir, Aydın, Antalya, Uşak ve İzmir gibi farklı şehirlerde bulunmaktadır. Ürün tedarikçileri, Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş. için üretim yapmaktadır ve bu ürünler daha sonra internet sitesinden müşterilere sunulmaktadır. Şirketin İstanbul ve Ankara olmak üzere iki adet galerisi bulunmaktadır. Ayrıca, şirketin Ataşehir'de tüm Türkiye'ye dağıtım yapılan malların depolandığı bir ana merkezi bulunmaktadır. Bunun yanında, şirketin İstanbul içerisindeki mallarını dağıtımını sağlayan iki adet aracı vardır.

## **2.Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi**

### **2.1 Proje kapsamı**

Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş. rota iyileştirmesi projesinin amacı şirketin kullandığı mevcut rota sisteminin iyileştirilmesi üzerine olup, şirketin ve müşterilerin ihtiyacını duyduğu geliştirmelerin yapılıp, tüm bir sistem halinde meydana konulmasıdır. Bu sebeple öngörülen yöntem, matematiksel modellemelere dayanan bir rotalama karar destek sistemi oluşturmaktır.

Proje kapsamında odaklanılan İstanbul ilinde yapılacak teslimatların optimizasyonudur. Ancak şirketin yıllar içinde teslimat ağını genişleteceği varsayıldığından; müşteri sayısı ve kamyon sayısının artacağı göz önüne alınarak, gelecek yıllarda da uygulanabilecek sürdürülebilir bir sistemi inşa etmek hedeflenmektedir.

### **2.2 Mevcut sistem tanımı**

Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş.'de mevcut sistem siparişin başından müşteriye teslimata kadar uzanan farklı basamaklardan oluşur. Bunların ilki, müşteri tarafından siparişi verilen ürünün depoda var olup olmadığının kontrol etmektir. Eğer ürün hâlihazırda depoda mevcutsa, şirketin bu bağlamda yapacağı ikinci adım müşteriye ürünün teslimatının gerçekleşeceği tarihi vermek ve ürünü teslimata hazırlamaktır. Ürünün hazırlanmasından sonra gelen son safhada ürün müşteriye teslim edilir ve gerektiği takdirde kurulumu yapılır. Eğer ürün stoklarda bulunmuyor ise, ilgili üreticiye haber verilip ürünün üretimi sağlanır. Bu durumda üreticinin Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş.'ye ürünün üretiminin ne kadar süre içerisinde tamamlanacağını haber vermesi beklenir. Daha sonra bu tarih ilgili müşteriye iletilir. Son adımda ise bu tarihlere bağlı kalınmaya çalışılarak ürünün teslimatı gerçekleştirilir. Vivense bu teslimatları gerçekleştirirken 3 farklı teslimat yöntemi kullanmaktadır. Bunların ilki Vivense Kargo olarak adlandırılır. Bu yöntemde Vivense ürünün müşteriye teslimatı aşamasında ürünün kargoya verilme görevini kendi üstlenir. İkinci teslimat yöntemi olarak, Üretici Kargo olarak adlandırılan sistem kullanılmaktadır. Bu yöntem genellikle İstanbul



dışından gelen siparişler için kullanılır. Bu sistemde, üretici, üreteceği ürün ve teslimatı hakkında Vivense tarafından bilgilendirilir ve üreticiden ürünün kargolamasını da üstlenmesi istenir. Son olarak Vivense nakliye yöntemi kullanılmaktadır, bu yöntemde ürünün depodan alınıp müşteriye teslimatı, gerekli durumlarda kuruluşu şirket tarafından üstlenilmektedir.

### **2.3 Mevcut sistem analizi**

Şirketin proje kapsamında ele alınan rotalama sistemi, günlük olarak uygulanan mobilyaların dağıtım sistemidir. Şirketin iki aracı da her gün sabah 8.00'de o gün dağıtım yapılacak ürünlerin yüklenmesi için depoda hazır bulunur. Mobilyaların araca yüklenmesi işlemi yaklaşık 15 dakika sürmektedir. Gün içinde gidilecek müşteri listesi, günlük olarak belirlenir. Daha sonra, hazırlanmış olan müşteri listesi dağıtım elemanlarına teslim edilir ve kamyon depodan çıkar. Bu noktadan sonra mobilyaların dağıtımında izlenecek rota, tamamen dağıtım elemanlarının inisiyatifindedir. Dağıtım elemanları, kişisel tecrübelerine ve tahminlerine dayanarak bir rota çizmektedirler. Mevcut rotalama sistemi tecrübeler ve tahminlere dayalı olduğu için, doğal olarak hataya da açıktır. Oluşturulacak bir karar destek sistemi, insan kaynaklı oluşabilecek hatalardan arınıp, rotalama işleminin en uygun şekilde tamamlanabilmesini sağlar.

## **3. Problem Tanımı**

### **3.1 Belirtiler ve şikâyetler**

Vivense Teknoloji Hizmetleri ve Ticaret A.Ş. online mobilya satışı yapan bir şirkettir ve mevcut durumda dağıtım öncesinde araçların hangi rotayı takip ederek, hangi müşteriye hangi ürünleri vereceğinin sırası ve kapsamlı bir şekilde günlük rotasının belirlenmesi tamamen dağıtım elemanlarının görevidir. Dağıtım elemanlarının süregelen tecrübelerine dayanarak tayin edilen rotalar, müşteri değişiklikleri veya belirlenen rotanın kullanılamaz oluşu gibi harici sebeplerden ötürü dağıtımın kontrolünü de zorlaştırmaktadır. Ayrıca mevcut sistemin getirdiği problemlerden biri de genellikle optimal bir rota belirlenemediğinden kaynaklanan insan gücü ve kaynakların verimsiz kullanılmasıdır. Rotalama sistemi tecrübe ve tahminlere dayalı olduğu için eldeki kaynaklar, karar destek sistemine göre daha verimsiz kullanılabilir. Bu durumların sonucu olarak ürünlerin teslimatı, bir karar destek sistemi aracılığıyla daha verimli bir şekilde yapılabilir ve müşterilere verilen son teslim tarihlerine daha yüksek oranda uyulabilir.

### **3.2 Problem tanımı**

Şirketle yapılan görüşmeler sonucunda iki ana problemin varlığı dikkatimizi çekmiş ve projenin akışı bu problemleri çözmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu problemler, kullanılan rotalama sisteminin artan ihtiyaçları karşılama yavaş kalması, dolayısıyla ürünlerin

müşteriye söz verilen teslim tarihinde ulaşmasında yaşanan aksaklıklardır. Daha detaylı açıklamak gerekirse, şirkette kullanılan, tecrübeler ve tahminlere dayanan rotalama sisteminin, şirketin artan ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalması ve buna bağlı olarak şirketin kaynaklarının görece verimsiz bir şekilde kullanılmasıdır.

### **3.3 İlgili literatür**

Şirket için kurulacak sistemin araştırılması sırasında rota optimizasyonu problemini çözecek olan Araç Rotalama Problemi (ARP) ile benzerliği nedeniyle Gezgin Satıcı Modelini (GSP) de inceledik. İki model arasındaki temel fark Gezgin Satıcı Modelinde dağıtım görevinin bir dağıtıcıya devredilmesiyle, ARP teslimatı tamamlamak için birden fazla kanalın olmasıdır.

Gezgin Satıcı Modelinde elindeki ürünleri satmak isteyen bir satıcı sayısı önceden belirlenmiş noktaları ziyaret ederek kendine bir rota çizer. Probleme satıcının amacı, satış için en uygun olan rotayı en az masraf oluşturacak şekilde belirlemektir. Ayrıca satıcının dikkat etmesi gereken bir husus her noktanın yalnızca bir kez ziyaret edilmesi gerekliliğidir. Gezgin Satıcı Modeli lojistik problemleri dâhil olmak üzere ekonomi alanında bile kullanılabilir. Rasmussen'in belirttiği üzere, "Gezgin Satıcı Modeli iyi bilinen bir iş problemidir ve maksimum yarar, fiyat toplama gibi değişik biçimleri birçok ekonomik uygulamaya sahip olabilir". Problemi anlamak amacıyla farklı kaynaklar incelenmiştir. Araç rotalama probleminin derinlemesine analizi için Toth ve Vigo'nun araç rotalama problemi üzerine yazdıkları makaleler incelenmiş olup (Toth ve Vigo, 2001), konuya farklı bir bakış açısı getirebilmek adına Chang ve Chen'in zaman aralıklarını da hesaba katarak geliştirdikleri algoritmalar taranmıştır. (Chang ve Chen, 2007) Proje tanımında da belirtildiği gibi, bu projede tek bir depodan farklı teslimat noktalarına giden araçların rotalarının iyileştirilmesi beklenmektedir. Bu formdaki problemleri çözmeye yönelik olan Clarke ve Wright algoritmaları (Clarke ve Wright, 1997) ile Gillet ve Miller'ın aynı konu üzerine çalışmaları incelenmiştir. (Gillet ve Miller, 1974) Buluşsal olmayan çözümlerin, problemlerin çözümlerine uygun olmadığı durumlar da göz önünde bulundurularak, Re ve Du'nun buluşsal yaklaşım metoduyla soruna çözüm aradıkları makaleler analiz edilmiştir. (Re ve Du, 2012)

### **4. İzlenen Yöntem**

Projemizdeki problemin yaptığımız literatür araştırmalarının sonucunda araç rotalama problemi olarak modellenebileceği görünmektedir. Bu nedenle matematiksel model oluşturulurken ARP modelleri göz önünde bulundurulmuştur.

Şirketin beklentisi İstanbul'da bulunan depodan, İstanbul içine yapılacak teslimatları daha verimli hale getirilmesi için günlük rotalama sistemi oluşturulmasıdır. Şirketin deposu Ataşehir'de bulunmakta olup

İstanbul içi teslimatlar için iki adet araçları bulunmaktadır. Şirketin hedefi müşterilerine verdikleri son teslim tarihlerine uyararak en verimli ve uygun şekilde ürünlerin müşterilere ulaşmasını sağlamaktır. Oluşturulan modelde ürünlerin son teslim tarihlerine uymak ve bu sayede müşteri memnuniyetini arttırmak en önemli amaç olmakla birlikte, müşterilere ürünleri ulaştırırken en uygun rotayı belirlemek de bir diğer amaç olarak belirlenmiştir. Bu yüzden, matematiksel model oluşturulurken, ceza ücreti olarak adlandırdığımız bir veri oluşturulmuştur. Teslim tarihi o gün olan ürünlerin ceza ücreti yüksek olup, teslimat için daha zaman varsa bu değer düşük tutulmuştur. Matematiksel model, bu ceza ücretinden kaçınacak şekilde kurulmuştur. Böylece model, depodan öncelikle o gün teslim tarihi gelmiş olan ürünleri seçer, bu ürünlerden sonra kamyonunda hala boş alan varsa diğer ürünleri de teslimat tarihini dikkate alarak seçmeye devam eder. Şirketin çalışma saatleri, teslim edilmesi gereken ürünlerin kapasiteleri ve araçların toplam kapasitesi modelin ana kısıtlarını oluşturmuştur.

Matematiksel model tamamlandıktan sonra modelin geçerliliğini test edebilme amacıyla model Xpress'te yazılıp, şirketten alınan verilerle testler yapılmıştır. Bu veriler; günlük depoda bulunan ürünler, müşterilerin adresleri, müşterilerin istedikleri ürünlerin toplam hacmi, şirket tarafından müşterilere verilen son teslim tarihleri ve şirketin hangi rotayı izleyerek bu ürünleri müşterilere teslim ettiğidir. Alınan verilerle oluşturulan problem, kurulan matematiksel model ile çözülmüş ve bu çözüm ile şirketin uyguladığı strateji kıyaslanarak modelin performansı ölçülmüştür. Farklı veri gruplarıyla çok sayıda deneme yapılmış ve matematiksel modelin etkinliği gözlemlenmiştir. Oluşturulan matematiksel model ile elde ettiğimiz sonuçların şirketin şu an ki durumundan daha verimli olduğu gözlenmiştir. Modelin sonucuna göre, kamyonlar daha az yol giderek günü tamamlıyor veya aynı gün içerisinde şirketin şu an ulaşabildiği müşteri sayısından daha fazla müşteriye ulaşabiliyorlar.

Şirketin ulaşımı ve kullanımı açısından daha kolay olmasından dolayı Xpress yerine Excel yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir. Bir sonraki adımda buluşsal yaklaşımlar kullanılarak yeni bir yaklaşımın oluşturulması ve bu buluşsal algoritmanın şirketin kullanımına uygun hale getirebilmek amacıyla Java'ya geçirilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Y.Chang and L. Chen. "Solve the vehicle routing problem with time windows via a genetic algorithm." *Discrete and Continuous Dynamical System Supplement 2007* (2007): 240-249.
- P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Monographs on

Discrete Mathematics and Applications, SIAM, Philadelphia, 2001.

- G. Clarke and J. Wright “Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points”, *Operations Research*, 12 #4, 568-581, 1964.
- B. E. Gillet and L. R. Miller. “A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem”. *Operations Research*, 22:340-349, 1974.
- L. Re and R. Du “Combining Nearest Neighbor Search with Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problem”, *Physics Procedia*, 1536–1546,2012.