

**BİLKENT ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜNİVERSİTE - SANAYİ/İŞ DÜNYASI
İŞBİRLİĞİ PROJELERİ
2019**

Derleyenler

Prof. Dr. Savaş Dayanık
Yeşim Gülseren
Dr. Emre Uzun

ISBN: 978-605-9788-31-1

BASKI: Meteksan Matbaacılık, Mayıs 2019

YAYINCI SERTİFİKA NO: 27028

MATBAA SERTİFİKA NO: 13563

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

According to the second paragraph of Article 5 of the Regulation on Banderole Application Procedures and Principles, the use of banderole for this publication is not compulsory.

Para ile satılamaz.

For free distribution only.

Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Savaş Dayanık
Dr. Emre Uzun
Yeşim Gülseren
Ece Çiğdem
Metehan Dilaver
Aleyna Kof

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
Prof. Dr. Savaş Dayanık
Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu
Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak
Prof. Dr. Bahar Yetiş Kara
Prof. Dr. Oya Ekin Karaşan
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman
Dr. Ishwar Krishna Murthy
Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar
Doç. Dr. Osman Oğuz
Arş. Gör. Meltem Peker
Prof. Dr. Mustafa Pınar
Dr. Nil Şahin
Doç. Dr. Alper Şen
Doç. Dr. Fehmi Tanrısever
Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus
Dr. Emre Uzun

İÇİNDEKİLER

Önsöz -----	xi
Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı'ndan -----	xii
Firmalardan Gelen Teşekkür Mektupları-----	xiii
Depo Personeli Vardiya Planlaması A101 Yeni Mağazacılık A.Ş. -----	1
Yardımcı Sanayi Kısıtları Altında Dinamik Üretim Planı Oluşturulması Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi İşletmesi -----	15
Ana Gövde Üretim Hattı için Ara Stok Seviyesinin Eniyilenmesi Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi -----	22
Montaj Bandında Ürünlere Göre Değişkenlik Gösteren Eleman Sayısının Eniyilenmesi BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. -----	35
Tedarik Zincirinin Performansını Geliştirme Odaklı Dinamik Üretim Seviyelendirme Sistemi Tasarımı BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.-----	44
Hammadde Stok Yönetimi Karar Destek Sistemi Tasarımı Coca-Cola İçecek A.Ş. -----	54
Depo Tasarım ve Yönetimi için Karar Destek Sistemi Tasarımı DHL Tedarik Zinciri -----	68
Taktiksel Rota Planlama Karar Destek Sistemi Tasarımı DHL Tedarik Zinciri -----	80
Üretim Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarımı Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş. -----	90
Milkrun Operasyonları için Araç Rotalama Sisteminin Geliştirilmesi Erkunt Traktör A.Ş. -----	103
Yedek Parça Stok Miktarı İyileştirmesi Erkunt Traktör A.Ş. -----	113
Müşteriye Özel Promosyon Stratejisi Belirlemeye Yönelik Etkin Karar Destek Modeli Tasarımı ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. -----	121

Günlük Talep Tahmin ve Güvenlik Stoğu Belirlenmesi ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. -----	133
Envanter Yönetim Sistemi için Tek Tuşla Karar Destek Aracı Tasarımı Ford Otosan-----	147
Talep Tahmini ve Stok Eniyilemesi için Karar Destek Sistemi Tasarımı GlaxoSmithKline Tüketici Sağlığı A.Ş. -----	161
Sürücüsüz Araçlarla Araç Dağıtım Ağı Tasarlanması Infirms Yarışma Projesi (General Motors) -----	171
Montaj Hattında Ara Stok Alanları ve Süpermarket Düzenlemesi Nurul Makina-----	184
Satış Tahmini ve Emniyet Stoğu Belirleme Sistemi Tasarımı Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.-----	194
Filtre Üretim Fabrikası için Makine Çizelgeleme ve Senaryo Yönetim Sistemlerinin Tasarımı Philsa A.Ş.. -----	202
Ortak Kullanılan Malzemeler için Envanter Yönetim Sistemi Tasarımı Roketsan Roket Sanayi ve Ticaret A.Ş. -----	213
Vardiya Atamaları için Karar Destek Sistemi Tasarımı ve İş Gücü Eniyilemesi Tepe Betopan Sanayi ve Ticaret A.Ş.-----	224
Fabrika Yerleşim Planının Yeniden Düzenlenmesi Tepe Home Mobilya Dekorasyon Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.-----	235
Bölümleme ile Özelleştirilmiş Tedarik Zinciri Stratejileri Geliştirilmesi Unilever Türkiye-----	245

2018-2019 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
Prof. Dr. Savaş Dayanık
Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu
Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak
Prof. Dr. Bahar Yetiş Kara
Prof. Dr. Oya Ekin Kardeşan
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman
Dr. Ishwar Krishna Murthy
Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar
Doç. Dr. Osman Oğuz
Arş. Gör. Meltem Peker
Prof. Dr. Mustafa Ç. Pınar
Dr. Nil Şahin
Doç. Dr. Alper Şen
Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus
Dr. Emre Uzun

Bilkent Üniversitesi İşletme Bölümü'nden

Doç. Dr. Fehmi Tanrısever

Bilkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Üniversite-Sanayi İşbirliği Koordinatörü

Yeşim Gülseren

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü İdari Asistanı

Aslı Koca

İş Dünyasından Değerli Temsilciler

A101 - Yeni Mağazacılık

Gürhan Özeseñli

Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi

Serdar Çevik

Tamer Yıldırım

Arçelik. Buzdolabı İşletmesi

Çiğdem Koç

Melih Sönmez

Bilkent Holding

Cem Ağın

Duygu Akman

H. Erkan Akdoğan

BSH Ev Aletleri San. ve Tic. A.Ş.

Burcu Büyükataş

Esra Gökçe

Erhan Kan

Coca-Cola İçecek A.Ş.

Gizem Dede

Sinan Hoşgöl

DHL

Enes Başarır

Yasin Ayhan Cimbek

Serkan Kabalı

Ömür Özkardeşler

Ezcacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş.

Mustafa Altan

Ersin Çağlın

Ekin Çırakman

Volkan Karagöz
Filiz Zorka

Erkunt Traktör A.Ş.

Mustafa Akkuş
Bahar Aydın
Burcu Barutçu
Dilara Baykal Bilici

ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.

İrem Erdem
Koray Karaaslan
Yunus Şahin
Süleyman Tekincan

Ford Otosan

Haluk Aşar
Fırat Boz
Aslı Kurt
Bilal Şeker

GlaxoSmithKline Tüketici Sağlığı A.Ş.

Raif Mutlu
Alper Özcan
Uğurcan Öztürk
Erhan Vural
Güçlü Ozan Vardar
Murat Yapıcı

Nurol Makina ve Sanayi A.Ş.

Alper Çatalkaya
Tüzün Süsveren

Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş.

Dr. Alptekin Demiray

Philsa A.Ş.

Feyza	Aykır
Mert	Karaarslan
Buket	Önal

Roketsan A.Ş.

Emre	Aytac
Burçe	Boğmak
Duygu	Soylu
Özgün	Şahin
Saime Ceren	Şar
Orkun	Temiz
Hasan	Yavuz

Tepe Betopan A.Ş.

Özge	Altınyollar
------	-------------

Tepe Mobilya A.Ş.

Aykut	Coşan
Enre	Dinçman
İbrahim	Şimşek

Unilever Türkiye

İdil	Berke
İrem	Evelek
Deniz	Çakıroğlu

ÖNSÖZ

Bu kitap, 2018-2019 öğretim yılında Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü tarafından gerçekleştirilen Üniversite-Sanayi İşbirliği Bitirme Projeleri özetlerini kapsamaktadır. Programımız 25 yıl önce sistem tasarımı derslerinin sanayi projelerine dönüştürülmesi ile başlamıştır. Bu süre içerisinde farklı sektör ve büyüklükte 102 şirketle toplam 470 proje gerçekleştirilmiştir.

Endüstri Mühendisliği Bölümü dördüncü sınıf öğrencilerinden oluşan proje ekipleri, akademik ve iş dünyasından danışmanların gözetiminde firmanın gündemine girmiş olan ve çözüm bekleyen gerçek problemlerini çözmektedirler. Yapılan projeler sonucunda ortaya çıkan ürün, yöntem veya hizmet, ilgili firmaya önemli yarar ve katma değer sağlamaktadır.

Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı ve Yarışması, 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 Emre Aytac (Roketsan A.Ş.), Dr. Alptekin Demiray (ORS), Tanzer Tunçalp (Arçelik), ve Prof. Dr. Oya Karaşan’a (Bilkent Üniversitesi) teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Savaş Dayanık
Dr. Emre Uzun

*Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Sistem Tasarımı Dersi Koordinatörleri*

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 25 yıldır başarılı bir şekilde uygulamaktadır. Bu programın ana hedefi mezuniyet aşamasındaki öğrencilerimize kapsamlı ve derinlikli bir mesleki deneyim kazandırmaktır. Bu kapsamda 6-7 kişilik proje ekipleri, akademik ve iş dünyasından danışmanların gözetiminde firmanın gündemine girmiş olan ve çözüm bekleyen gerçek problemlerini çözmektedirler.

Bu yıl 17.sini düzenlediğimiz Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı ve Yarışması'nda 23 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 Prof. Dr. Savaş Dayanık, Dr. Emre Uzun hocalarımıza, Üniversite-Sanayi İşbirliği Mezuniyet Projeleri Koordinatörümüz Yeşim Gülseren'e, asistanlarımız, Ece Çiğdem, Metehan Dilaver, Aleyna Kof'a ve emeği geçen herkese çok teşekkür ediyorum.

Saygılarımla,



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

FİRMALARDAN GELEN TEŞEKKÜR MEKTUPLARI

DHL Tedarik Zinciri'nden

Şirketimiz Deutsche Post DHL'in vizyonu dünyanın tercih edilen lojistik şirketi olmaktır. "Saygı ve Sonuç" odaklı bir yolda ilerlerken, insanların yaşamlarına dokunmak ve iyileştirmek istiyoruz. Temel amaçlarımız ise çalışanlarımızın, yatırımcılarımızın ve müşterilerimizin ilk tercihi olmak ve bunu sosyal sorumluluk bilinci ile yerine getirmektir. Dünyanın Lojistik Şirketi olma vizyonu ile 220 ülke ve bölgede 500.000'i aşkın çalışanıyla faaliyetlerine devam eden Deutsche Post DHL'in bir parçası olan DHL Lojistik Hizmetler A.Ş. 2017 yılında AR-GE Merkezi Faaliyetlerine resmi olarak başlamıştır.

Ar-Ge Merkezi personelinden başlayarak tüm şirkette bir farkındalık ve Endüstri 4.0 yolunda değişim süreci gelişmiştir. Ar-Ge Merkezi faaliyetleri ile birlikte, sektörün ihtiyacı teknolojik projeler geliştirilmekte, dünyadaki sosyal, teknolojik ve ticari trendleri tanınması sağlanmakta, bunlarla ilgili fikirleri/önerileri dikkate alınmakta, çalışanlara eksik yönlerini tamamlamaları için inovasyon odaklı, operasyonel ve akademik konularda eğitimler verilmektedir. Tüm bu süreçte çalışanlarımızın nitelikleri artmakta, müşterilerimizin memnuniyeti artmakta, sistemlerimiz dijitalleşmekte ve bunlarla birlikte şirket karlılığına olumlu katkı sağlanmaktadır.

Üniversite Sanayi İşbirliği, Ar-Ge Merkezi Faaliyetlerimizin merkezinde yer almaktadır. Bu kapsamda; başta İstanbul olmak üzere, Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki Üniversiteleri ile farklı işbirliklikleri yapmaktayız. Yapılan bu işbirliklikleri süresince; üniversitelerin, dallarında yetkin akademisyenleri ile Tübitak ve Avrupa Birliği Projeleri gerçekleştirilmekte, lisans ve yüksek lisans seviyesindeki öğrenciler ile bitirme tezleri yürütülmekte, öğrenciler için; proje yarışmaları, staj olanakları, işe alım programları yürütülmektedir. Ayrıca anlaşmalı olduğumuz üniversite önderliğinde şirket içerisinde yüksek lisans programı iki yıldır devam etmektedir.

Bilkent Üniversitesi ile yürüttüğümüz "Depo Tasarım ve Yönetimi için Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi" amacına uygun olarak gerek üniversite, gerek öğrenciler gerekse şirketimiz için büyük fayda sağlamıştır. Öğrenciler, DHL kurumsal kimliği ve proje yönetim süreci ile tanışarak iş hayatına ilk adımları atmakta, Üniversite DHL'in Global ağına katılmakta, şirketimiz ise çözüm bulmaya çalıştığı gerçek bir probleme akademik katkı olarak ortak bir çözüme ulaşmaktadır. Ar-Ge Merkezi çalışanlarımız ve Bilkent Üniversitesi öğrencileri tarafından ortak kurulan proje ekibinin geliştirdiği sistem

depolarımızda aktif olarak kullanılmakta ve operasyonel verimliliğe katkı sağlayan olumlu sonuçlar elde edilmektedir.

Bilkent Üniversitesine, projeye katkı sağlayan hocalarımıza ve Endüstri Bölümü öğrencilerine teşekkürlerimizi sunuyor ve gelecek senelerde tekrar birlikte proje geliştirmek üzere sabırsızlanıyoruz.

Ömür Özkardeşler
Ar-Ge ve İnovasyon Direktörü

Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş. Artema Armatür Grubu'ndan

Eczacıbaşı Yapı Ürünleri Grubu, sektöründeki en geniş ürün yelpazesine ve üretim kapasitesine sahip 60 yıllık deneyimiyle, banyo ürünleri toplamında Türkiye'de pazar liderliğini elinde bulundurmaktadır.

Yaklaşık 6.500 çalışana sahip Grup, 4 ülkedeki 14 tesiste üretim yapıyor. Bozüyük, Gebze ve Tuzla olmak üzere Türkiye'de 5, Almanya, Fransa ve Rusya'da 9 tesisi bulunuyor. Grubun, ana üretim merkezi Bozüyük'te yer alan ve çevre dostu teknolojilerin kullanıldığı üretim kampüsü; kapasite, teknoloji ve kalite bakımından, dünyada seramik üreten tesisler arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

Artema Bozüyük üretim tesisleri, 1979 yılında sıhhi tesisat armatürleri ile üretime başlayarak, 1995'te faaliyet alanına banyo aksesuarlarını da eklemiştir. Bugün, banyo ve mutfak armatürleri, duş sistemleri, gömme rezervuar ve banyo aksesuarları olmak üzere 4 ana ürün grubunu müşterilerinin beğenisine sunmaktadır. Artema, kaliteye yönelik yatırımlarıyla sektöründe "Ulusal Kalite Başarı Ödülü" almaya hak kazanan ilk kuruluştur.

Şirketimiz yalın üretim ve TPM felsefelerini benimsemiş olup, ürettiğimiz projelerle iş süreçlerini sürekli iyileştirme yolunda devam etmekteyiz. Bu doğrultuda da 2018 Eylül ayında Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü ile lisans bitirme projesi kapsamında başlattığımız Üretim Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarımı Projesi'ni beklenen hedefleri karşılayarak tamamlamış olduk.

Bu proje sonucunda servis seviyesi ya da stoklarımızı etkilemeden, talep karşılama süremizi hedeflediğimiz 14 güne indirebildiğimizi görüyoruz. Bu ana sonucun ötesinde önemli yan kazançlarımız da var. Örneğin, endüstri mühendisi adaylarının gerçek bir sanayi problemini ele alıp çözebilmeleri, aynı zamanda şirketimiz bünyesinde benzer projelerin belirlenmesi ve tetiklenmesini motive etmesinin yanında yoğun olduğumuz bir dönemde bize çok değerli bir kaynak da sunmuştur.

Proje ekibinde yer alan öğrenci arkadaşlarımız, disiplinli ve özverili bir şekilde projeyi yürütmüşlerdir. Projenin firmamız açısından uygulanabilir bir sonuç çıkarmış olması ise ayrıca memnuniyet vericidir. Proje ekibi ile birlikte, çalışmalar süresince görüşleri ve destekleri ile her an yolumuzu aydınlatan öğretim üyelerimize ve üniversite-sanayi işbirliği yöneticilerine teşekkürlerimizi sunarız.

Filiz Zorka

Artema Üretim Planlama ve Malzeme Lojistik Yöneticisi

ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş'den

Küçük mutluluklar üreten bir fabrika, 1961 yılında sadece Sn.Firuz Kanatlı'nın kendi elleriyle çizdiği bir hayaldi. ETİ'nin lezzet yolculuğu, işini aşkla yapan bir avuç insanın gösterdiği cesaret, özveri ve yenilikçilik anlayışı ile başladı. Kalite ve emekle büyüdü, gelişti ve yıllar geçtikçe Türkiye'de 'mutluluk denince akla' ilk gelen marka oldu.

Bugün ETİ, 8.000'e yakın çalışanı ve kendi teknolojisini üretme gücüne sahip altyapısıyla Türkiye'nin en büyük "unlu mamuller ve çikolata" üreticisinden biri olarak, müşterilerine 50'den fazla marka ve 250'den fazla ürün ile hizmet vermektedir.

Bu mükemmeliyetçi yaklaşımla, firmamız, ürettiği projelerle iş süreçlerini sürekli iyileştirme yoluna devam etmektedir. Yine bu vizyon doğrultusunda, düzenli olarak Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ile ortak çalışmalar yapılmakta ve üniversite-sanayi iş birliğinin geliştirilmesine yüksek değer verilmektedir.

Proje ekibinde yer alan arkadaşlarımız, özen göstererek ve derinlikli analizler yaparak projeyi yürüttüler. Proje ekibinde yer alan arkadaşlarımıza teşekkür ederiz. Projenin firmamız açısından uygulanabilir bir sonuç çıkarmış olması ise ayrıca memnuniyet vermektedir.

Proje ekibi ile birlikte, çalışmalar süresince görüşleri ve destekleri ile her an yolumuzu aydınlatan öğretim üyelerimize ve Bilkent TTO Yöneticilerine teşekkürlerimizi sunarız.

Süleyman Tekincan
ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş
Satış & Pazarlama İş Süreçleri Geliştirme Müdürü

GlaxoSmithKline Tüketici Sağlığı A.Ş'den

Daha aktif, daha iyi ve daha uzun bir yaşam vizyonu ile insanların yaşam kalitelerini yükseltmek üzere dünya çapında 190 ülkede, 100 bini aşkın çalışanımızla ilaç, aşı ve tüketici sağlığı alanlarında etkin sağlık çözümleri sunuyoruz.

Başlıca İngiltere, ABD, İspanya, Belçika ve Çin olmak üzere 80 ülkede 89 üretim tesisiyle üretiyoruz, Ar-Ge çalışmaları yapıyoruz. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencileri, akademisyenleri ve Üniversite-Sanayi İşbirliği koordinatörlerinin katkıları ile gerçekleştirdiğimiz “Talep Tahmini ve Stok En İyilemesi için Karar Destek Sistemi” projesi ile Tüketici Sağlığı şirketimizin tedarik ve müşteri hizmetleri stratejisine katkıda bulunacaktır. Bunlardan en önemlisi Distribütör kanalının müşterilerine Ağız Bakım kategorisinde en az maliyetle en iyi hizmeti sağlamak olacaktır.

Şirketimiz, tedarik zinciri, satış ve ticari pazarlama departmanlarımız için bu projenin hemen hayata geçirilebilir olması bizi mutlu etmiştir. İlk defa katıldığımız bu organizasyondan öğrendiklerimiz bizi gelecekte daha fazla işbirliğine teşvik edecektir.

Özenli çalışmalarından dolayı, Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümüne, değerli öğrencileri ve desteklerini esirgemeyen akademik danışmanlarına, Üniversite-Sanayi İşbirliği Koordinatörlerine teşekkürlerimizi sunarız.

Raif Mutlu

Tedarik Zinciri Direktörü

Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş. 'den

Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş. (ORS) bilyalı rulman, konik makaralı rulman, silindirik makaralı 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 33 yıl içerisinde üretim kapasitesi 100 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. Üretiminin %80'nini başta Batı Avrupa ve Kuzey Amerika ülkeleri olmak üzere sanayisi ve teknolojisi en üst seviyedeki ülkelere ihraç eden şirket, Türkiye'nin ilk 500 sanayi kuruluşu arasında yer almaktadır.

ORS, eğitime sağladığı her türlü katkısı 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.

2018-2019 akademik yılında bayi kanalıyla satılan ürünlerin talep tahmini ve stok seviyelerinin yönetimi üzerine gerçekleştirdiğimiz projenin gerek şirketimiz gerekse öğrenci arkadaşlarımız için son derece yararlı olduğuna inanıyoruz. Söz konusu projede beraber çalıştığımız mühendis adaylarına katkılarından dolayı teşekkür ediyor, bundan sonraki iş ve akademik hayatlarında kendilerine başarılar diliyoruz.

Dr. Alptekin Demiray
Üretim Planlama Müdürü
Bilkent IE 2002 Mezunlu

Tepe Betopan Sanayi ve Ticaret A.Ş'den

1984 yılında, Bilkent Holding çatısı altında kurulan TEPE BETOPAN A.Ş., Türkiye’de faaliyet gösteren tek Çimento Yonga Levha üreticisidir. 1999 yılında modern teknoloji sistemleri kullanılarak fabrika revize edilince kapasite 2 katına çıkartıldı. 2000 yılında uzun zamandır firma bünyesinde sürdürülen Ar-Ge çalışmaları sonucu geliştirilen “stabil ve dayanıklı Betopan”, Betopanplus ürün yelpazesine katıldı. Böylece, TEPE BETOPAN A.Ş. 1984 yılından bu yana üretimini ve satışını yaptığı “Çimentolu Yonga Levha” Betopan’ın yanında, Betopanplus ’ın da üretim ve satışını başlatarak teknolojiyi geliştiren firmalar arasındaki yerini aldı.

Firmamız, ürettiği projelerle iş süreçlerini sürekli iyileştirme yoluna devam etmektedir. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğrencileri ve Akademisyenleri katkıları ile gerçekleştirdiğimiz “Vardiya Atamaları ve İş Gücü Eniyilemesi için Karar Destek Sistemi Tasarımı” projesi başarı ile tamamlanmıştır.

Proje ekibinde yer alan arkadaşlarımız, özen göstererek ve derinlikli analizler yaparak projeyi yürüttüler. Proje ekibinde yer alan arkadaşlarımıza teşekkür ederiz. Projenin firmamız açısından uygulanabilir bir sonuç çıkarmış olması ise ayrıca memnuniyet vermektedir.

Proje ekibi ile birlikte, çalışmalar süresince görüşleri ve destekleri ile her an yolumuzu aydınlatan öğretim üyelerimize teşekkürlerimizi sunarız.

Özge Altınyollar
Üretim Yöneticisi

Depo Personeli Vardiya Planlaması

A101 Yeni Mağazacılık A.Ş.



Proje Ekibi

Elif Azap, Onur Borman, Elif Naz Bozkurt,
Gülipek İnceoğlu, Alper Yılmaz, Nehir Yılmaz

Şirket Danışmanı

Gürhan Özesenli
Tedarik Zinciri Proje Müdürü

Akademik Danışmanlar

Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu
Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

A101 Yeni Mağazacılık A.Ş. depolarında gördüğü değişken talep, yüksek çalışan sirkülasyonu, çalışan kapasitelerinde değişkenlik ve iş kanunu kısıtlarından ötürü personel vardiya planlamasında sıkıntılar yaşamaktadır. Projenin amacı bu belirtileri göz önünde bulunduran ve objektif vardiya planları oluşturan bir karar destek aracı geliştirmektir. Problem tamsayılı programlama ile modellenmiş ve iki aşamayla ele alınmıştır. İlk aşamada günlük taleplerin karşılanması hedeflenmiş; çeşitli ölçütleri göz önünde bulunduran ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu tasarlanmıştır. Toplam talebin karşılanamaması durumunda ise karar destek aracı ikinci aşamaya geçmekte ve planlama süresi boyunca karşılanamayan toplam talep enazlanmaktadır. Karar destek aracı Excel üzerinde geliştirilmiş ve matematiksel modeller OpenSolver açık yazılımı üzerinde kodlanmış ve denenmiştir. Karar destek aracı, pilot depodan alınan 60 günlük veriyle yapılan analiz sonucunda toplam karşılanamayan talepte %2,31'lik bir performans iyileştirmesi elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vardiya planlaması, karar destek aracı

1. Şirket Tanıtımı

A101 perakende market zinciri 2008 yılında indirim mağazacılığı adı altında kurulmuş olup Turgut Aydın Holding'e aittir. Günümüzde 81 ilde faaliyet göstermekte olan A101'in 40.000'i aşkın çalışanı, 43 deposu ve 8.200'ün üstünde mağazası bulunmaktadır. A101 Yeni Mağazacılık A.Ş., Türkiye'nin cirosu en yüksek 2. perakende şirketi, dünyada en hızlı büyüyen 5. perakende şirkettir. A101 mağazalarında 1.250'nin üzerinde ürün çeşidi bulunmaktadır ve bu ürünlerin yanı sıra spot ve grup spot ürünler de satılmaktadır. A101 mağazaları günde ortalama 3 milyon müşteriye hizmet vermektedir.

2. Sistem Analizi ve Problem Tanımı

2.1. Sistem Analizi, Belirtiler ve Şikayetler

A101 depoları haftada 6 gün ve iki vardiya şeklinde çalışmaktadır. Depolarda birçok çalışan türü olmasına karşın projemiz iki ana çalışan tipine odaklanmaktadır. Bunlardan ilki çalışanların çoğunluğunu oluşturmakta olan selektörlerdir. Selektörler, A101 şubelerinden öğlene kadar gönderilen siparişleri toplamakla yükümlüdür. İkinci çalışan türü olan sevkiyatçılar da toplanan siparişleri paketleyerek kamyonlara yüklemekle görevlidirler.

Depo personelinin vardiya planlamasında belirli bir sistem uygulanmamakta ve planlar elle hazırlanmaktadır. Bu süreçte A101 depolarının karşılaştığı çeşitli problemler vardır: Depolarda günlük talepler değişkenlik göstermekte ve ani tavan yapan talebi depo ya yüksek kapasiteli çalışanlarıyla ya da fazla mesai ile karşılamaya çalışmaktadır. Günlük talebin karşılanamaması durumunda ise bu talep ya kayıp talebe yol açmakta ya da ileriki vardiyalara devredilmektedir. Taleplerin ileriki vardiyalara aktarılması bunların birikmesi riskini ortaya çıkarmaktadır. Fazla mesailer, nesnel olmayan vardiya planlaması ve biriken talep, çalışan memnuniyetsizliğine, bu da yüksek çalışan sirkülasyonuna neden olmaktadır. Bu sebeplerin yanı sıra iş kanunu kısıtları da vardiya planlamasını zorlaştırmaktadır.

2.2. Problem Tanımı ve Kapsamı

A101 günlük talep farkını dengelemek ve şirketin büyümesine cevap verebilmek adına depolarının çalışma sistemini haftada altı günden yediye çıkarma kararı almıştır. Bu gelişme ile birlikte proje kapsamımız 2.1.'deki belirtilere paralel olarak günlük talep ve çalışan kapasitelerini göz önünde bulunduracak ve iş kanunlarına uygun vardiya planı hazırlayabilecek bir matematiksel model ve karar destek aracı geliştirilmesi şeklinde belirlenmiştir. Bu kapsamda talebin karşılanamaması durumunda bu sürecin en iyi şekilde yönetilebilmesi için önerilerin karar destek aracı tarafından sunulması da yer almaktadır.

3. Sistem Tasarımı

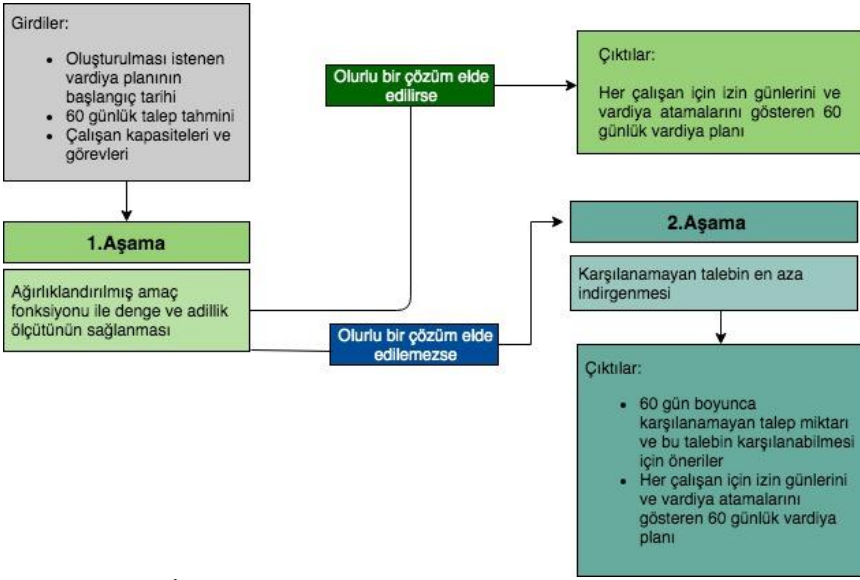
3.1. Literatür Taraması

Bergh vd. (2013) vardiya planlaması problemini ele alan makaleler için detaylı bir literatür taraması gerçekleştirmiş, makaleleri modelleme esnasında göz önünde bulundukları varsayımlar, kısıtlar, performans ölçütleri ve sektörler açısından kategorilendirmiştir. Ernst vd. (2004) yaptığı literatür taramasında modelleri uygulandıkları sektörler ve çözüm yöntemlerine göre sınıflandırmıştır. Son olarak Brucker vd. (2011) vardiya planlaması problemi için çeşitli temel modeller sunmuş ve modellerin hangi durumlar için kullanılabileceğini açıklamıştır. Bu makalelerde önerilen yaklaşımlara benzer şekilde, projede uygulanacak çözüm yaklaşımı için tamsayılı programlamaya karar verilmiş, talep türünün ve çalışan kapasitelerinin koli cinsinden tanımlanması gibi çeşitli varsayımlar için de literatür araştırması makaleleri temel oluşturmuştur. Bunun haricinde Cai ve Li'nin (2000) ele aldığı çok kriterli vardiya planlama modeli ve Carrasco'nun (2010) adil vardiya dağılımını göz önünde bulundurduğu hastane çalışanı vardiya planlama modeli de modelleme sürecinde örnekler teşkil etmiştir.

3.2. Çözüm Yaklaşımı

3.2.1. Vardiya Planlama Problemi ve Ana Model

Vardiya planlanması için kullanılacak olan ana model Ek 1'de yer almaktadır. A101'in belirttiği kısıtlar ve varsayımlar ile problem tamsayılı programlama ile modellenmiş, karar değişkenleri çalışanların herhangi bir vardiyada çalışıp çalışmadıkları şeklinde ikili (binary) olarak tanımlanmıştır. Parametreler, koli cinsinden günlük talep tahminleri ve çalışan kapasiteleridir. Kısıt (1) ve (2), günlük taleplerin selektörler ve sevkiyatçılar tarafından karşılanmasını sağlamaktadır. Kısıt (3), her çalışanın günde en çok bir vardiyada çalışmasını, kısıt (4) gece vardiyasında çalışanın ertesi gün sabah vardiyasına atanamamasını, kısıt (5) bir çalışanın üst üste en fazla beş gün çalışmasını ve kısıt (6) bir çalışanın iki haftada üst üste en fazla 12 gece vardiyasına atanabilmesini sağlamaktadır. Bu kısıtlar (3-6) iş kanunu kısıtları olduğu için modelde belirtilen diğer dört çalışan türü için de tekrar etmektedir. Bunlar kısıt (7)'den (22)'ye kadarki kısmı kapsamaktadır. Kısıt (23) ile her vardiyada en az iki forklift sürücüsü atanacak, (24) ve (25) ile iki çalışan tipi için de en az birer şef yardımcısı bulunacaktır. Son beş kısıt ise her çalışan türünün 30 günün 25'inde çalışmasını sağlamaktadır. Ana modelin oluşturulmasından sonra çözüm yaklaşımında iki aşamalı bir sürece karar verilmiştir. Bu iki aşamalı yaklaşım Şekil 1'de özetlenmiştir:



Şekil 1. İki aşamalı çözüm yaklaşımının akış diyagramı

3.2.2. Birinci Aşama Modeli

İlk aşamada günlük talep kısıtlarının karşılanması hedeflenmiştir. Aynı zamanda çalışanlara adil şekilde vardiya atayan ve vardiyalara dengeli çalışan dağılımı yapan alternatif amaç fonksiyonları geliştirilmiştir. Proje kapsamında çalışan adilliği, bir çalışana benzer sayıda gece ve gündüz vardiyası atanması veya toplam vardiya atanması şeklinde; vardiya dengesi ise vardiyalara benzer sayıda çalışan dağılımı yapılması şeklinde tanımlanmıştır. Çalışan adilliği için bütün işçiler üzerinden hesaplanacak üç fonksiyon geliştirilmiştir:

- $\text{Toplam} | \text{Bir çalışanın gece vardiyaları sayısı} - \text{Bir işçinin gündüz vardiyaları sayısı}$
- $\text{Toplam} | \text{Bir çalışanın toplam vardiya sayısı} - \text{Bir çalışanın ortalama vardiya sayısı}$
- $\text{Maks} | \text{Bir çalışanın toplam vardiya sayısı} - \text{Bir çalışanın ortalama vardiya sayısı}$

Vardiya dengesi için bütün vardiyalar üzerinden hesaplanacak dört fonksiyon tasarlanmıştır:

- $\text{Toplam} | \text{Bir günde gece vardiyasındaki çalışan sayısı} - \text{gündüz vardiyasındaki çalışan sayısı}$
- $\text{Toplam} | \text{Bir vardiyadaki çalışan sayısı} - \text{Bir vardiyadaki ortalama çalışan sayısı}$
- $\text{Maks} | \text{Bir vardiyadaki çalışan sayısı} - \text{Bir vardiyadaki ortalama çalışan sayısı}$
- $\text{Maks} (\text{Bir vardiyadaki çalışan sayısı})$

Bu modellerin matematiksel gösterimleri Ek 2’de yer almaktadır. Modellerin ön analizi, A101 ile karşılaştırılan pilot depodan alınan veriler ile gerçekleştirilmiştir. Veri, günlerin ortalama talepleri ve çalışanların ortalama koli kapasitelerinden oluşturulmuş ve bütün model alternatifleri için çalıştırılmıştır. Ön analiz sonucu Tablo 1’de yer almaktadır. Sütunlar modellerin kendilerini, satırlar bir modelin çözümünün başka fonksiyonlarda aldığı değerleri belirtmektedir. Tüm fonksiyonlar enazlanmaktadır.

Tablo 1. Ön analiz sonuçları

Enazla		S1, A1	S1, A2	S1, A3	S1, A4	S1, A5	S1, A6	S1, A7	S2, A1	S2, A2
Çözüm Süresi (Saniye)		10000+	61,53	10000+	10000+	3,91	10000+	30,56	180,43	25,12
Denge	S1, A1 Toplam Gece Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı - Gündüz Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı	10	478	36	X	1184	1174	58	1108	498
	S1, A3 Toplam Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	65	478,5	45	X	959	937,5	40,5	979,75	513
	S1, A4 Maks Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	1,25	10,75	0,75	X	13,75	10,25	2,25	11,75	12,75
	S1, A7 Maks (Bir vardiyadaki işçi sayısı)	12	22	12	X	25	24	12	23	24
Adillik	S1, A2 Toplam Bir işçinin gece vardiyaları sayısı - Bir işçinin gündüz vardiyaları sayısı	334	0	344	X	1160	1112	506	1108	662
	S1, A5 Toplam Bir işçinin toplam vardiya sayısı - Bir işçinin ortalama vardiya sayısı	0	0	0	X	0	0	0	0	0
	S1, A6 Maks Bir işçinin toplam vardiya sayısı - Bir işçinin ortalama vardiya sayısı	0	0	0	X	0	0	0	0	0
	S2, A1 Maks (Talep-Kapasite)								8811	14222
S2, A2 Toplam (Talep-Kapasite)								299165	299165	

Yapılan ön analizde modellerin eniyi çözümü bulma süresi ve başka ölçütlerde gösterdikleri performanslar göz önünde bulundurulmuştur. Çözüm süresi için 10.000 saniye sınırı belirlenmiş, süreyi aşan modellerde en son bulunan olurlu çözüm analizde değerlendirilmiştir. Ön analiz sonucunda adillik fonksiyonu olarak Toplam|Bir çalışanın gece vardiyaları sayısı - Bir çalışanın gündüz vardiyaları sayısı|, denge fonksiyonu olarak da Maks(Bir vardiyadaki çalışan sayısı) belirlenmiştir. Tablo 1’de yer alan tüm modellerin S1, A5 ve S1, A6 fonksiyonlarının ölçütlerinde eniyi değer olan sıfırı elde ettiği görülmüştür. Bu sebeple iki fonksiyon model validasyon sürecinde performans ölçütü olarak göz önünde bulundurulmamıştır.

Tablo 1’de görüldüğü gibi adillik fonksiyonu denge ölçütlerinde iyi performans garantileyememiştir. Bu durum denge fonksiyonunun adillik ölçütündeki performansı için de gözlemlenmiştir. Model validasyonu sürecinde 20 farklı veri kümesi oluşturularak farklı problem durumları üzerinde bu gözlemler doğrulanmıştır. Model validasyonu sonuçları Tablo 2 ve 3’te yer almaktadır. Bu tablolarda sırasıyla seçilen adillik ve denge fonksiyonları enazlanarak elde edilen çözümlerin tüm kriterler açısından performansları görülmektedir.

Tablo 2. Adillik fonksiyonu için model validasyonu sonuçları

1.Aşama 2.Model					
Min(Toplam Bir İşçinin Gece Vardiyası Sayısı - Bir İşçinin Gündüz Vardiyası Sayısı)					
Amaç Fonksiyonları		Min	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma
Denge	S1, A1 Toplam Gece Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı - Gündüz Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı	1042,00	1063,80	1084,00	11,95
	S1, A3 Toplam Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	1045,00	1066,88	1086,50	12,25
	S1, A4 Maks Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	12,75	13,32	14,75	0,65
	S1, A7 Maks (Bir vardiyadaki işçi sayısı)	24	25	26	1
Adillik	S1, A2 Toplam Bir işçinin gece vardiyaları sayısı - Bir işçinin gündüz vardiyaları sayısı	0	0	0	0

Tablo 3. Denge fonksiyonu için model validasyonu sonuçları

1.Aşama 7.Model		Min(Maks(Her vardiyadaki İşçi Sayısı))	Min	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma
		Amaç Fonksiyonları				
Denge	S1.A1	Toplam/Gece Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı - Gündüz Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı	62	74	78	3,97
	S1.A3	Toplam Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	84	93,00	96	2,98
	S1.A4	Maks Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	2,25	2,25	2,25	0,00
	S1.A7	Maks (Bir vardiyadaki işçi sayısı)	12	12	12	0,00
Adillik	S1.A2	Toplam Bir işçinin gece vardiyaları sayısı - Bir işçinin gündüz vardiyaları sayısı	360	375	400	10,57

Model validasyonundan sonra iki ölçütü de göz önünde bulunduran ve daha gerçekçi sonuçlar vermesi öngörülen bir ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonunda bu iki ölçüt birleştirilmiştir. Ağırlıkların belirlenmesi için veri kümelerinden bağımsız, nesnel bir yöntem belirlenmiştir: Karar destek aracı önce adillik ve denge fonksiyonlarını ayrı ayrı enazlayarak iki ön çözüm elde etmekte, sonra da bu iki çözümün yer aldığı doğruyu belirleyerek kullanılacak ağırlıkları hesaplamaktadır. Sonrasında modeli tekrar çalıştırarak bu yeni fonksiyonun eniyilenmesi sağlanmakta; hem adillik hem de denge ölçütlerini dikkate alan, gerçekçi ve nesnel bir vardiya planı elde etmektedir. Ağırlıklandırılmış fonksiyonun matematiksel gösterimi Ek 3'te yer almaktadır. Örnek bir veri kümesi ile yapılan analiz sonucunda ağırlıklandırılmış fonksiyonun hem denge hem de adillik ölçütünde çok iyi performans sergilediği görülmüştür. Analiz sonucu Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Fonksiyonların performans karşılaştırması

		Adillik	Ağırlıklandırılmış	Denge	
Denge	S1.A1	Toplam/Gece Vardiyasındaki - Gündüz Vardiyasındaki İşçilerin Sayısı	1048,00	74,00	72,00
	S1.A3	Toplam Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	1053,00	93,00	91,50
	S1.A4	Maks Her vardiyadaki işçilerin sayısı - Bir vardiyadaki ortalama işçi sayısı	13,75	2,25	2,25
	S1.A7	Maks (Bir vardiyadaki işçi sayısı)	25	12	12
Adillik	S1.A2	Toplam Bir işçinin gece - gündüz vardiyaları sayısı	0	0	362

3.2.3. İkinci Aşama Modeli

Toplam talebin depodaki çalışan kapasitesi ile karşılanamaması durumunda ise karar destek aracı ikinci aşamaya geçip talep kısıtlarını kaldırmaktadır. Bu aşamada, planlama süresi boyunca bir günde gözlenen maksimum karşılanamayan talebin enazlanması ve bütün günler boyunca toplam karşılanamayan talebin enazlanması şeklinde iki farklı fonksiyon denenmiştir. Ek 4'te iki alternatif fonksiyonun matematiksel açıklaması bulunmaktadır. Tablo 1'de yer alan ön analiz sonuçlarında bu iki fonksiyon arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Çözüm süreleri ve OpenSolver'da kodlama kolaylığı göz önünde bulundurularak planlama süresi boyunca toplam karşılanamayan talebin enazlanması fonksiyonuna karar verilmiştir.

3.3. Karar Destek Aracı

Karar destek aracı Excel üzerinde geliştirilmiş ve modeller OpenSolver açık yazılımı üzerinde kodlanmıştır. Kullanıcı, karar destek aracına girdi olarak çalışan kapasitelerini ve 60 günlük talep tahminlerini vermektedir. Şekil 2'de kullanıcının karşılaştığı ana ekran gösterilmiştir.

A.101

Vardiya Planlama Sistemi

Program Başlangıç Tarihi: Gün Ay Yıl
10 4 2019

Tarih Sorgula ?

Talep Tahmini Güncelle ?

Eleman Bilgisi Güncelle ?

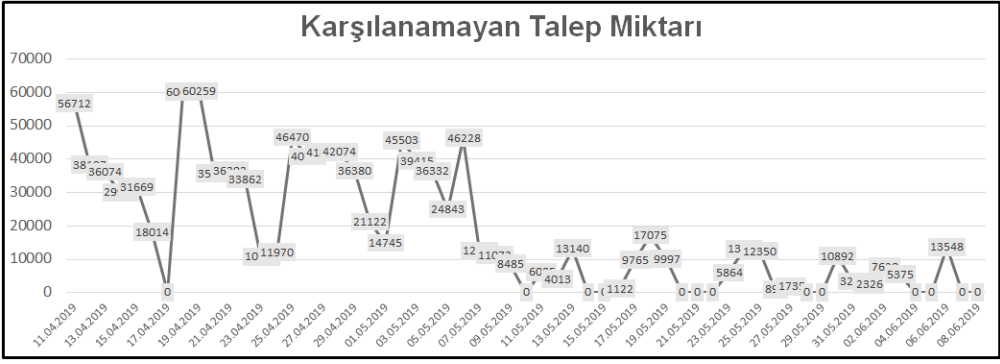
Toplama Aracı Sayısı: 33 ? Program Yap ?

Şekil 2. Karar destek aracı ana ekranı

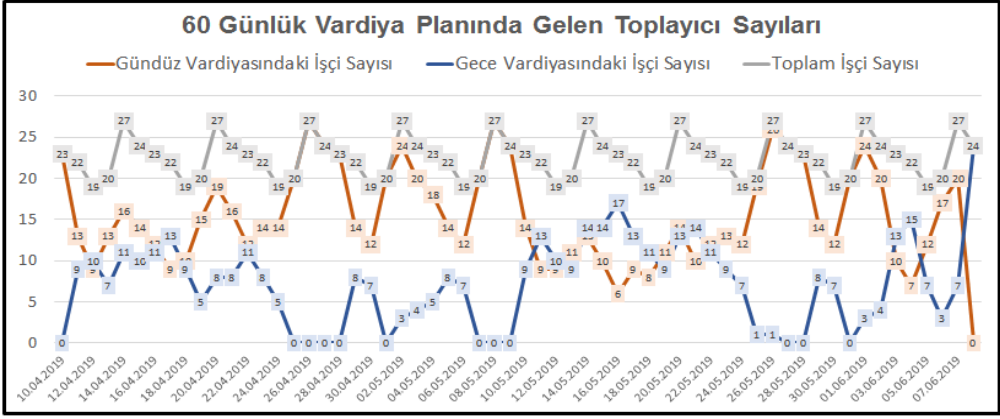
Çalışan kapasitelerinin talepleri karşılması durumunda araç birinci aşamada eniyilenmiş vardiya planını çıktı olarak sunmaktadır. Çıktılarda ayrıca gece ve gündüz vardiyalarına atanan çalışan sayılarının grafiği de yer almaktadır. Talebin karşılanamaması durumunda ise ikinci aşamaya geçmekte ve çıktı olarak toplam karşılanamayan talebi en aza indirgeyen bir vardiya planı sunmaktadır. Vardiya planında talebin karşılanabilmesi için kaç çalışana ihtiyaç duyulduğu ve karşılanamayan taleplerin hangi günlerde bir önceki günden karşılanabileceği bilgilerine de kullanıcı tarafından erişilebilmektedir. Şekil 3'te karar destek aracında elde edilmiş örnek vardiya planının bir kesiti yer almaktadır. Çarpı işaretli kutular çalışanın o vardiyaya atandığını belirtmektedir. Ayrıca şekildeki oklar hangi günlerde karşılanamayan talebin başka bir güne aktarılabilirliği önerisini göstermektedir.

Kişisel Planları Aç																													
Özete Dön																													
Anasayfaya Dön																													
		10 Nisan 2019 Pz	11 Nisan 2019 Pt	12 Nisan 2019 Pa	13 Nisan 2019 Çr	14 Nisan 2019 C	15 Nisan 2019 Pz	16 Nisan 2019 Pt	17 Nisan 2019 Pa	18 Nisan 2019 Çr	19 Nisan 2019 C	20 Nisan 2019 Pz	21 Nisan 2019 Pt	22 Nisan 2019 Pa	23 Nisan 2019 Çr	24 Nisan 2019 C	25 Nisan 2019 Pz	26 Nisan 2019 Pt	27 Nisan 2019 Pa	28 Nisan 2019 Çr	29 Nisan 2019 C	30 Nisan 2019 Pz	1 Mayıs 2019 Pt	2 Mayıs 2019 Pa	3 Mayıs 2019 Çr	4 Mayıs 2019 C	5 Mayıs 2019 Pz		
Yeni olarak girilen günlerde talepten fazla çalışabilir. Bir sonraki gün yetişmeyecek siparişlerin belirtilen kollar için bir gün önce aktarılabilir.		1756	6712	18527	18074	29991	11669	10114	107	6024	40219	15542	12483	13862	10579	11970	44470	40768	41871	42074	10180	11222	14745	45593	18415				
Karşılanamayan Talep																													
Çalışanlar																													
AYKAN K		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
AYKUT D		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BARIS A		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BERAL I		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
BURAC Y		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CAFER S O		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CENGİZ CAL		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CENGİZ P		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Şef 1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Şef 2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Şef 3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Şef 4		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Şekil 3. Karar destek aracından elde edilen örnek vardiya planının bir kesiti
 Şekil 4 ve 5'te toplam talebin karşılanamaması durumunda karar destek aracının verdiği istatistiklerin örnekleri yer almaktadır.



Şekil 4. İkinci aşamada elde edilen vardiya planında karşılanamayan talebin günlere dağılımı



Şekil 5. Örnek vardiya planında gün başına gelen çalışan sayıları

4. Geliştirilen Sistemin Başarısı

4.1. Sonuçlar

Karar destek aracı ve matematiksel modellerin gerçek performanslarının karşılaştırılması için pilot depodan 31 Ocak – 31 Mart 2019 tarihleri arasındaki çalışan kapasiteleri, talep tahminleri ve kullanılmış vardiya planı elde edilmiştir. Bu 60 günlük periyot için karar destek aracı çalıştırılmış ve elde edilen vardiya planı ile gerçek vardiya planının performansları karşılaştırılmıştır. Karar destek aracı vardiya planını ikinci aşamada elde etmiş, planlama süresi boyunca gözlenen toplam karşılanamayan talebi 794.953,99 koliden 776.624,00 koliye düşürerek %2,31'lik bir performans iyileştirmesi elde etmiştir. Ayrıca diğer amaç fonksiyonları performans ölçütü olarak kullanıldığında, karar destek aracı maksimum karşılanamayan talebi 82.446 koliden 44.158 koliye düşürerek %46,44'lük bir performans iyileştirmesi gözlemlenmiştir. Bu karşılaştırma pilot depodan alınan verilerin problem varsayımlarına uygun olması için yapılan veri temizlemesinden sonra elde edilmiştir.

Karar destek aracı birinci aşamada elde edilen planlarda denge ve adillik ölçütlerinde iyi performans gösteren, çalışanların iki aylık çalışma planlarını

görebildiği bir vardiya planı sunmaktadır. Bununla birlikte taleplerin karşılanamaması durumunda sonraki vardiyada bu talebin ne kadarının karşılanabileceği, kaç çalışan alımı ile talep birikimi probleminin çözülebileceği bilgileri ile beraber çalışanların bireysel planlarına ulaşmak mümkün hale gelmiştir. Proje, çalışan adilliği ve vardiya dengesi gibi ölçütleri aynı anda göz önünde bulunduran ağırlıklandırılmış fonksiyon kullanılmasıyla ve çok aşamalı yaklaşımıyla da literatüre katkı sağlamaktadır.

4.2. Detaylı Uygulama Planı ve Öneriler

A101 yedi günlük çalışma sistemine geçiş sürecinde olduğu için geliştirilen karar destek aracının uygulanma potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür. Yeni destek aracına geçişin sorunsuz olması için karar destek aracının kullanıcı dostu, kolay ulaşılabilir ve öğrenilebilir olmasına özen gösterilmiştir. Mart ayında karar destek aracı hazır konuma gelmiş ve uygulama sürecine geçilmiştir.

Yapılan görüşmeler sonucunda ilk uygulama için, yedi günlük sisteme geçmiş Ankara yakınındaki bir pilot depo belirlenmiştir. Depoda kullanım kolaylığı ve çıktılarının yeterliliği hakkında geri bildirim alınmış ve araç bu geri bildirimlere göre düzenlenmiştir. Depodan alınan veriler ile aracın verdiği sonuçlar karşılaştırılarak projenin performansı değerlendirilmiştir. Güncellenen araç için bir kullanım kılavuzu hazırlanmıştır. Şirketten alınan onayların ardından ikinci uygulama için Ankara yakınında bir başka depoyla iletişime geçilmiş ve aracın kullanılması talep edilmiştir. Bu uygulamanın ardından aracın kullanıma hazır olduğu kesinleşmiş ve proje A101'e teslim edilmiştir.

Nisan ayında uygulamalara başlanılmasının ardından depolar özelinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen karar destek aracı, haftanın yedi günü, günde iki vardiya çalışan ve planlama süresi boyunca talep tahminlerine sahip olan bir örnek depo için tasarlanmış ve etkinliği doğrulanmıştır. Operasyonel farklılıklardan ötürü bu varsayımların bir kısmını sağlamayan depolar içinse karar destek sistemi çıktılarının yol gösterici olacağı ve vardiya planlayıcılarına büyük kolaylık sağlayacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak projenin şirket için ana çıktıları ilk defa nesnel vardiya planı yapılabilmesi, şeffaf vardiya planlarının çalışan memnuniyetini artırması, değişken talebin daha iyi karşılanması ve karşılanamayan talebin karar destek aracı önerileriyle daha iyi yönetilmesi şeklindedir. Projemiz, A101 için geliştirilebilir bir karar destek aracı ortaya çıkarmıştır ve önerilen sistem istenildiği takdirde eklemeler ile daha geniş bir kullanım alanına hitap edebilecektir.

KAYNAKÇA

- Bergh J.V.d., J. Belien, P.D. Bruecker, E. Demeulemeester ve L.D Boeck (2013), "Personnel scheduling: A literature review", *European Journal of Operational Research* 226, 367-385.
- Brucker P., R. Qu ve E. Burke (2011), "Personnel scheduling: Models and complexity", *European Journal of Operational Research* 210, 467-473.
- Cai X. ve K.N. Li (2000), "A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria", *European Journal of Operational Research* 125, 359-369.
- Carrasco R. C. (2010), "Long-term staff scheduling with regular temporal distribution", *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 100, 191-199.
- Ernst A. T., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, D. Sier (2004), "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models", *European Journal of Operational Research* 153, 3-27.

EKLER

Ek 1. Amaç Fonksiyonu İçermeyen Ana Model

- $i = 1, 2, \dots, n$ selektör indeksi
 $s = 1, 2, \dots, q$ sevkiyatçı indeksi
 $j = 1, 2, \dots, m$ gün indeksi
 $k = 1, 2$ vardiya indeksi (gündüz/gece)
 $l = 1, 2, \dots, f$ forklift sürücüsü indeksi
 $b = 1, 2, \dots, a$ selektör şef asistanı indeksi
 $e = 1, 2, \dots, r$ sevkiyatçı şef asistanı indeksi

Parametreler

- $d_{(j)}$ = j günündeki talep
 n = selektör sayısı
 q = sevkiyatçı sayısı
 m = gün sayısı
 f = forklift sürücüsü sayısı
 a = selektör şef asistanı sayısı
 r = sevkiyatçı şef asistanı sayısı
 $c_{(i)}$ = toplayacağı kutu sayısı cinsinden selektör i 'nin kapasitesi
 $g_{(s)}$ = yükleyeceği kamyon sayısı cinsinden sevkiyatçı s 'nin kapasitesi

Karar Değişkenleri

$$x_{(i,j,k)} = \{\text{eğer selektör } i, j \text{ günü, } k \text{ vardiyasında çalıştıysa 1, değilse 0}\} \\ \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

$$y_{(l,j,k)} = \{\text{eğer forklift sürücüsü } l, j \text{ günü, } k \text{ vardiyasında çalıştıysa 1, değilse 0}\} \\ \forall l \in \{1, 2, \dots, f\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

$$z_{(s,j,k)} = \{\text{eğer sevkiyatçı } s, j \text{ günü, } k \text{ vardiyasında çalıştıysa 1, değilse 0}\} \\ \forall s \in \{1, 2, \dots, q\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

$$p_{(b,j,k)} = \{\text{eğer selektör şef yardımcısı } b, j \text{ günü, } k \text{ vardiyasında çalıştıysa 1, değilse 0}\} \\ \forall b \in \{1, 2, \dots, a\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

$$u_{(e,j,k)} = \{\text{eğer sevkiyatçı şef yardımcısı } e, j \text{ günü, } k \text{ vardiyasında çalıştıysa 1, değilse 0}\} \\ \forall e \in \{1, 2, \dots, r\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

Amaç Fonksiyonu

0 (Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'teki fonksiyonlar sıfırın yerine geçmektedir.)

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^2 x_{(i,j,k)} \times c_{(i)} \geq d_{(j)} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (1)$$

$$\sum_{s=1}^q \sum_{k=1}^2 z_{(s,j,k)} \times g_{(s)} \geq 70 \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

$$x_{(i,j,1)} + x_{(i,j,2)} \leq 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

$$x_{(i,j+1,1)} + x_{(i,j,2)} \leq 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, m-1\} \quad (4)$$

$$\sum_{j=j'}^{j'+5} x_{(i,j,k)} \leq 5 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-5\}, \forall k \in \{1, 2\} \quad (5)$$

$$\sum_{j=j'}^{j'+14} x_{(i,j,2)} \leq 12 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-14\} \quad (6)$$

•
•
•

(Kısıt (3), (4), (5) ve (6) diğer dört karar değişkeni için tekrar etmektedir.)

$$\sum_{l=1}^f y_{(l,j,k)} \geq 2 \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad \forall k \in \{1, 2\} \quad (23)$$

$$\sum_{b=1}^a p_{(b,j,k)} \geq 1 \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad \forall k \in \{1, 2\} \quad (24)$$

$$\sum_{e=1}^r u_{(e,j,k)} \geq 1 \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \quad \forall k \in \{1, 2\} \quad (25)$$

$$\sum_{j'=j}^{j'+29} \sum_{k=1}^2 x_{(i,j,k)} = 25 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-29\} \quad (26)$$

$$\sum_{j'=j}^{j'+29} \sum_{k=1}^2 y_{(l,j,k)} = 25 \quad \forall l \in \{1, 2, \dots, f\}, \quad \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-29\} \quad (27)$$

$$\sum_{j'=j}^{j'+29} \sum_{k=1}^2 z_{(s,j,k)} = 25 \quad \forall s \in \{1, 2, \dots, q\}, \quad \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-29\} \quad (28)$$

$$\sum_{j'=j}^{j'+29} \sum_{k=1}^2 p_{(b,j,k)} = 25 \quad \forall b \in \{1, 2, \dots, a\}, \quad \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-29\} \quad (29)$$

$$\sum_{j'=j}^{j'+29} \sum_{k=1}^2 u_{(e,j,k)} = 25 \quad \forall e \in \{1, 2, \dots, r\}, \quad \forall j' \in \{1, 2, \dots, m-29\} \quad (30)$$

Ek 2. Birinci aşama amaç fonksiyonları

Toplam |Gece Vardiyasındaki Çalışan Sayısı - Gündüz Vardiyasındaki Çalışan Sayısı|

$$\min \sum^j (|\sum^i x(i,j,2) - \sum^i x(i,j,1)|)$$

Doğrusallaştırma:

$$\min \sum^j dum(j)$$

$$s.t. dum(j) \geq \sum^i x(i,j,2) - \sum^i x(i,j,1) \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$- dum(j) \leq \sum^i x(i,j,2) - \sum^i x(i,j,1) \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

Toplam |Bir çalışanın gece vardiyası sayısı - Gündüz vardiyası sayısı|

$$\min \sum^i |\sum^j x(i,j,2) - \sum^j x(i,j,1)|$$

Doğrusallaştırma:

$$\min \sum^i dum1(i)$$

$$s.t. dum1(i) \geq \sum^j x(i,j,2) - \sum^j x(i,j,1) \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$- dum1(i) \leq \sum^j x(i,j,2) - \sum^j x(i,j,1) \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Toplam |Bir işçinin toplam vardiya sayısı - Bir işçinin ortalama vardiya sayısı|

$$\min \sum^i \left| \sum^k \sum^j x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{n} \right|$$

Doğrusallaştırma:

$$\min \sum^i dum(i)$$

$$s.t. dum(i) \geq \sum^k \sum^j x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{n} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$- dum(i) \leq \sum^k \sum^j x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{n} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Maks |Bir işçinin toplam vardiya sayısı - Bir işçinin ortalama vardiya sayısı|

$$\min \max \left| \sum^k \sum^j x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{n} \right|$$

Doğrusallaştırma:

$$\min dum$$

$$s.t. dum \geq \sum^k \sum^j x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{n} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$- dum \leq \sum^k \sum^j x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{n} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Toplam |Her Vardiyadaki Çalışan Sayısı - Bir Vardiyadaki Ortalama Çalışan Sayısı|

$$\min \sum^k \sum^j \left| \sum^i x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{2m} \right|$$

Doğrusallaştırma:

$$\min \sum^k \sum^j dum(j,k)$$

$$s.t. dum(j,k) \geq \sum^i x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{2m} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

$$- dum(j,k) \leq \sum^i x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{2m} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

Maks (Bir Vardiyadaki Çalışan Sayısı)

$$\min \max \sum^i x(i,j,k)$$

Doğrusallaştırma:

$$\min dum$$

$$s.t. dum \geq \sum^i x(i,j,k) \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

Maks |Her Vardiyadaki Çalışan Sayısı - Bir Vardiyadaki Ortalama Çalışan Sayısı|

$$\min \max \left| \sum^i x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{2m} \right|$$

Doğrusallaştırma:

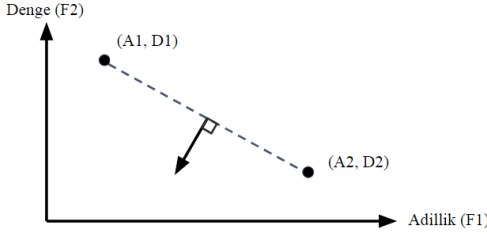
$$\min dum$$

$$s.t. dum \geq \sum^i x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{2m} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

$$- dum \leq \sum^i x(i,j,k) - \frac{\sum^k \sum^j \sum^i x(i,j,k)}{2m} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k \in \{1, 2\}$$

Ek 3. Ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu

$$\text{Ağırlıklandırılmış Fonksiyon} = W1 \times F1 + W2 \times F2$$



F1: Adillik fonksiyonu
F2: Denge fonksiyonu
W1: Adillik fonksiyonun ağırlığı
W2: Denge fonksiyonun ağırlığı
(F1 ve F2 3.2.2'de açıklanmıştır.)

A1: Adillik fonksiyonun adillik değeri A2: Denge fonksiyonun adillik değeri
D1: Adillik fonksiyonun denge değeri D2: Denge fonksiyonun denge değeri

Ağırlıkların (W1, W2) belirlenme süreci:

1. basamak: W1=1, W2=0

Adillik fonksiyonu ile ön çözüm elde edilir.

2. basamak: W1=0, W2=1

Denge fonksiyonu ile ön çözüm elde edilir.

3. basamak: W1=(D2-D1)/(A1-D1-A2+D2), W2=1-W1

Ağırlıklar hesaplanarak iki çözümden geçen doğru belirlenir. Adillik ve denge ölçütlerinin göz önünde bulundurduğu bu fonksiyon eniyilenir.

Ek 4. İkinci aşama amaç fonksiyonları

Max |Karşılanamayan talep|

$$\min \max |d_{(j)} - \sum_{k=1}^i x(i,j,k) * c_{(j)}|$$

Doğrusallaştırma

$$\min \text{dum}$$

$$\text{s.t. } \text{dum} \geq d_{(j)} - \sum_{k=1}^i x(i,j,k) * c_{(j)} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$-\text{dum} \leq d_{(j)} - \sum_{k=1}^i x(i,j,k) * c_{(j)} \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$$

Toplam |Karşılanamayan Talep|

$$\min \sum_j (d_{(j)} - \sum_{k=1}^i x(i,j,k) * c_{(j)})$$

Yardımcı Sanayi Kısıtları Altında Dinamik Üretim Planı Oluşturulması

Arçelik A.Ş. Bulaşık Makinesi İşletmesi



Proje Ekibi

Mert Altıngövde, Osman Furkan Çalhan, Sultan Merve Erdoğan,
Khandakaer Abir Hossain, Kenan Ufuk Kuruçay,
Kamila Hatun Savaş, Murat Anıl Özarslan

Şirket Danışmanları

Serdar Çevik
Tamer Yıldırım
Endüstri Mühendisliği Takımı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Çağın Ararat
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi'nde yardımcı sanayiden tedarik edilen malzeme türleri her gün için belirli miktarlarda temin edilebilmektedir. Bu durumda SAP bu kısıtları göz önünde bulundurmadığından uygulanabilir bir üretim planı sunamamakta, şirket üretim planını el ile düzenlemektedir; bu sebeple şirket müşteri taleplerini zamanında karşılayamama riskiyle karşılaşmaktadır. Projemizin amacı, mevcut yardımcı sanayi kısıtları altında müşteri taleplerini olabildiğince zamanında ve tamamıyla karşılayabilmektir. Bu amaç doğrultusunda kullanıcı değişikliklerine imkân veren üretim planlama programı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme, üretim planlama, yardımcı sanayi kısıtı, sezgisel algoritma, matematiksel modelleme

1. Şirket Tanımı

Arçelik 1955 yılında Vehbi Koç ve Lütü Doruk tarafından kurulmuştur. Şirket günümüzde 30.000 çalışanı, 7 farklı ülkedeki 18 üretim tesisi ile 145'ten fazla ülkeye hizmet vermektedir. Şirketin tek bulaşık makinesi işletmesi olan Ankara Bulaşık Makinesi İşletmesinde 1414 çalışan bulunmaktadır ve bu işletme 109.000 m²'lik alan üzerine kurulmuştur (Arçelik, 2018).

2. Proje Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Mevcut Sistem Tanımı

1993 yılında kurulan Ankara Bulaşık Makinesi İşletmesi yıllık 3.080.000, günlük ise 11.000 bulaşık makinelik üretim kapasitesine sahiptir. Bir bulaşık makinesinin üretimi ortalama 8,6 saniye sürmektedir. Bulaşık makineleri gövde genişliklerine göre 45 cm, 60 cm ve 90 cm olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Arçelik, 2018). Şirket ürün taleplerindeki dönemsel ve öngörülemeyen değişimlerden dolayı üretim planlamasını gelen talep miktarına göre yapmaktadır.

2.2. Mevcut Sistem Analizi

Bulaşık makinesi üretimi dört ana montaj hattında gerçekleştirilmektedir ve her bir hatta farklı gövde genişliğindeki (45 cm, 60 cm, 90 cm) bulaşık makineleri üretilmektedir. Mayıs ve ekim arasındaki bulaşık makinesi siparişleri artış gösterdiği için kısa dönem sözleşmeli işçiler işe alınmaktadır. Ekim sonrası gerçekleşen talep artışlarına işletme yanıt vermekte zorlanmaktadır ve talepleri zamanında karşılayamama riski oluşmaktadır. Şirket enküçük sipariş miktarı politikası uygulamamakta, 1 adet siparişi dahi karşılayacak şekilde üretim planı yapmaktadır. Bu durum da sipariş büyüklüklerinde dalgalanmalara sebep olmaktadır.

Montaj hatlarındaki üretim planı yapılırken yardımcı sanayi firmalarının malzeme tedarik kapasitesi dikkate alınmaktadır. Şirketin lojistik politikasından dolayı malzemelerin teslim süresinin, yardımcı sanayi firmalarının teslim kapasitesine göre daha az önemi bulunmaktadır. Şirket malzemeleri zamanında temin edebilmek için ihtiyaç olduğunda özel araç organize edip malzemelerin işletmeye getirilmesini sağlamaktadır. Üretim planlama bölümü belirli parçaların tedarik kapasitesini esnetilemez kısıt olarak tanımlamıştır. Üretim planlama bu kısıtları göz önünde bulundurularak yapılmaktadır.

3. Problem Tanımı

3.1. Belirti ve Şikayetler

İşletmede aylık ve haftalık zaman dilimleri için üretim planlamada SAP kullanılmaktadır. Bir malzeme tipi için günlük toplam teslimat kapasitesi önceden belirlenmiştir. Belirli bir tür için toplam kapasite ortalama talebi karşılayabilse bile talepteki günlük dalgalanmalar kapasite kısıtlarını ihlal edebilmektedir ve belirli malzeme tipleri için teslimat kapasitesi aylık ortalama ihtiyacın altında kalabilmektedir. Bu durum birçok malzeme tipi kısıtı için

geçerli olduğunda SAP uygulanabilir bir üretim planı sunamamaktadır ve üretim planlama uzmanları deneme yanılma yöntemiyle üretimi planlamaktadır. El ile gerçekleştirilen üretim planlama ise taleplerin zamanında karşılanamaması riski oluşturmaktadır.

3.2. Problem Tanımı

Üretim Planlama uzmanlarının üretim planını el ile hazırlarken yaşanan verimsizlik, işletmenin en büyük problemlerinden biri olarak belirlenmiştir. Bu planlama yöntemi, zaman kaybına ve anlık değişen talep miktarına zamanında cevap verememeye sebep olmaktadır.

3.3. Çözümüne Yönelik Akademik Tarama

Problem çözümüne yönelik birçok akademik kaynak taranmıştır ve iki ana makale önerilen sistem için yol gösterici olmuştur. İlk makale kısıtlı kaynakların tahsisine ilişkin üretim planlamasını eniyileyen eden sezgisel algoritmaları ele almaktadır (Cooper, 1976). Planlama, teslim tarihi en erken olan işlere öncelik verilmesiyle başlar; daha sonra kaynak kısıtlarını ihlal eden işler planlamada sona konulur. İkinci makale ise zaman ve kaynak kısıtlarını göz önünde bulunduran farklı programlama yöntemlerini ele almaktadır (Zhao,1987). Bu makale en erken teslimat tarihine, enküçük işlem süresine ve kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılmasına öncelik veren basit sezgisel algoritmaları açıklamaktadır. Bu kaynaklar üretim planı yaparken sezgisel algoritmaların nasıl kullanılacağı hakkında projemize yol göstermiştir.

4. İzlenen Yöntemler ve Uygulamaları

Önerilen sistem tedarikçi kısıtlarını, hat üretim kapasitelerini ve müşteri taleplerini değerlendirerek üretim planı elde eden bir program için matematiksel model ve sezgisel algoritmadan yararlanılmıştır. Sipariş bilgileri (miktar, ürün tipi, müşterinin talep ettiği teslim tarihi vb.), hat üretim kısıtları (bant önceliği, günlük kapasite vb.) ve tedarikçi teslim kısıtlarını girdi olarak alan bir matematiksel model geliştirilerek sistemin ana unsurları modellenmiş, ancak bu model girdi çokluğu sebebiyle güncel durumu temsil etmekte yetersiz kalmıştır. Bunun üzerine daha fazla sayıda girdiyle işlem yapabilen bir sezgisel algoritma geliştirilmiş ve kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır.

4.1. Matematiksel Model

Oluşturulan matematiksel model için sipariş teslim tarihi, sipariş miktarı, müşterinin öncelik derecesi, hat üretim kapasitesi ve günlük tedarik edilen parka miktarı girdi olarak alınır. Modelin amaç fonksiyonu sipariş tarihinden model tarafından belirlenmiş teslim tarihini çıkararak gecikmeyi hesaplar. Teslim gecikmesi, sipariş miktarı ve müşteri öncelik derecesine bağlı bir fonksiyon ile sipariş için ceza puanı hesaplanır. Gecikme yoksa, o siparişin ceza puanı sıfır değerini alır. Model, tüm siparişler için ceza puanlarının toplamını enküçükler. Bu fonksiyonu kısıtlayıcı etkenler olarak tedarikçilerin günlük malzeme teslim kısıtları ve ürün teslimat kısıtları oluşturulmuş, böylece mevcut modelin

belirtilen sistemin kısıtlarına uygun hale gelmesi sağlanmıştır. Model bu kısıtlar içerisinde günlük her hat için üretilecek miktarları belirler ve yetişmeyen teslimatlar için ceza puanını hesaplar. Daha sonrasında bu modelin sezgisel modelle kıyaslanabilmesi için üzerinde değişiklik yapılarak daha pratik bir biçimi türetilmiştir. Bu biçimi sezgisel modele daha yakın olup amaç fonksiyonundan müşteri önceliği parametresi çıkartılarak oluşturulmuştur. Tüm müşterilerin önceliğinin eşit varsayıldığı bu model sezgisel modelle kıyaslama ve sezgisel modelin geçerliliğini test etme amacıyla kullanılmıştır.

4.2. Sezgisel Algoritma

Sezgisel yöntem için kullanılan ilk algoritma sipariş edilen miktarlarla doğru, siparişin hedeflenen teslim tarihinin uzaklığıyla ters orantılı olacak bir temsili oran oluşturmayı ve bu yöntem ile geciktirilen siparişlerin etkisini en düşük olacak şekilde ayarlamayı amaçlamaktadır. Ürünlerin öncelikli olarak üretilebildiği montaj hatlarını dikkate alan bu algoritma kısa süre içerisinde kabul edilebilir bir üretim planı oluşturmaktadır. Programın çalışabilmesi için gerekli olan bilgiler kullanıcı tarafından sisteme aktarılmalıdır. Bu bilgiler: sipariş edilen ürünün tipi (SKU), siparişin hedeflenen teslim tarihi, siparişin miktarı, sipariş edilen ürünün alt parça bilgileri ve sipariş edilen ürünün montaj hattı önceliğidir. Bu bilgiler doğrultusunda algoritma, siparişleri kontrol edip üretim planı çıkarmaktadır.

Algoritma sırasıyla şu şekilde çalışmaktadır: Programın çalıştırıldığı gün belirlenir, sipariş edilen miktarlar sisteme aktarılır, kritik oran hesaplanır -bu oran siparişin hedeflenen gününden planın yapıldığı gün çıkartılıp çıkan sonucun sipariş miktarına bölünmesiyle elde edilir- ve kritik oranları küçükten büyüğe olacak şekilde sipariş listesi sıralanır. Bu noktada algoritmanın ana bölümü çalışmaya hazır hale gelir, birinci günden itibaren 30 gün boyunca algoritma her gün tüm siparişlere ve tüm öncelik listelerine bakar. En öncelikli olan listeye göre üretim planı hazırlanır ve aynı gün içinde algoritma sırasıyla diğer öncelik listelerinden üretim olup olamayacağını değerlendirir. Her bir öncelik listesi için tüm siparişlere kritik oran sırasıyla bakar ve montaj hattının kapasitesinin o siparişi üretip üretemeyeceğini değerlendirir. Bu noktada algoritmanın izleyebileceği yollar farklı şekilde ilerler. Montaj hattı kapasitesi yeterli ise alt parça kontrolü yapmaya başlar. Her bir alt parça için siparişin yüzde kaçının üretilebileceğini hesaplar. Siparişin tamamını üretmek mümkünse siparişin tamamını üretir, eğer üretimin tamamı mümkün değilse alt parça kısıtlarına uygun olacak şekilde üretimin mümkün olduğu en yüksek miktarı üretir ve sonraki siparişe geçer. Montaj hattının kapasitesinin yeterli olmadığı durumda aynı hesaplamaları tekrarlar, üretim miktarını üretimin mümkün olduğu en fazla miktara eşitler ve sonraki siparişe geçer. Bu işlemler sonucunda öncelik listemize göre oluşturulmuş ve uygulanabilir bir plan elde edilir.

İkinci algoritma ise kritik oran hesaplaması yapmak yerine teslim tarihi en erken olan sipariŖten başlayarak tüm siparişleri sıralar. Aynı adımlar bu sefer hedeflenen tarihlere göre çalışır.

Sezgisel yöntemin ana parçası olan hesaplama dışında sisteme sipariş eklemeye, yeni malzeme eklemeye, malzeme kısıtlarını değiştirmeye, kapasite kısıtlarını güncellemeye izin veren bir program oluşturulmuştur. Çalışma sırasındaki hataları önlemek amacıyla malzemenin alt parça bilgisinin veya öncelikli montaj hattı bilgisinin olup olmadığını kontrol eden ek algoritmalar da program içerisinde bulunmaktadır.

4.3. Kullanıcı Arayüzü

Sezgisel algoritmamız Arçelik’e kullanım kolaylığı sunmak için arayüz ile desteklenmiştir. Arayüzün alışma prensibi şu şekildedir: Sipariş listesi açıldığında arayüzün anasayfası otomatik olarak açılmaktadır. Ana sayfada, montaj hattı kapasiteleri güncellenebilmektedir ve en erken teslim tarihine göre ya da kritik orana göre üretim planı oluşturma seçeneği işaretlenebilmektedir. Sipariş ekleme butonuyla ürün tipi (SKU) girilerek yeni sipariş eklenebilmektedir. Olurluk kontrolü butonu değişiklik yapılan üretim planındaki ürünleri teker teker inceleyerek yeni planın malzeme ve montaj hatları kısıtlarına uygunluğunu kontrol etmektedir. SKU-montaj hattı ve SKU-malzeme eşleştirme butonları ürün tiplerini ilgili malzemelere ve montaj hatlarına atamaktadır. Malzeme seçenekleri butonuyla ise günlük malzeme kapasitesi girilerek yeni malzeme türü eklenebilmektedir. rnek arayüz tasarımı Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-4’te gösterilmiştir.

5) Uygulama Planı

Uygulama aşaması sezgisel algoritmanın şirket sistemine entegre edilmesi ve arayüzün sisteme kurulması ile başlayıp seçilmiş belirli hatların üretim planlarının karşılaştırılması ile gerçekleştirilecektir. Sezgisel algoritma ve arayüz Visual Basic kullanılarak oluşturulmuştur. Dinamik yapısıyla programımız, kullanıcıya model parametrelerini değiştirme imkânı verirken uygulama sırasında kullanıcıya planı oluşturma ve karşılaştırma aşamasında pek çok farklı senaryoyu test etme olanağını sunacaktır.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Elle yapılan verimsiz üretim planlamasını, dinamik bir üretim planlamasına dönüştürmeyi hedefleyen projemiz; sipariş edilen ürünün tipi (SKU), siparişin hedeflenen teslim tarihi, siparişin miktarı, sipariş edilen ürünün alt parça bilgileri ve sipariş edilen ürünün montaj hattı önceliğini göz önüne alan bir algoritma kullanmaktadır. Bu algoritma hangi hatta, hangi sırayla, hangi öbek büyüklüğünde, hangi gövde tipinin retileneğini belirlemektedir. Geliştirilen sezgisel algoritma ile siparişlerdeki dalgalanmalara verilen cevaplar hızlanmıştır ve zamanında karşılanan talep miktarı artış göstermiştir. Zamanında karşılanan talep miktarının artmasının temel sebeplerinden biri geliştirilen

algoritma sayesinde olası problemlerin olurluk kontrolü sayesinde önceden fark edilebilmesi ve önlem alınabilmesidir.

KAYNAKÇA

Arçelik, “Arçelik A.Ş. Hakkında: Kurumsal Tanıtım”. 5 Kasım 2018 tarihinde erişildi.

http://www.arcelikas.com/sayfa/72/Arcelik_Kurumsal_Tanitim.

Cooper, D.F., “Heuristics for Scheduling Resource-Constrained Projects: An Experimental Investigation”. *Management Science*, Vol. 22, No. 11, 1976.

Zhao, W., Ramamritham, K., Stankovic, J.A. “Preemptive Scheduling Under Time and Resource Constraints”. *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-36, No. 8, 1987.

EKLER

Ek 1. Kullanıcı Arayüzü

The screenshot displays the user interface of the 'Üretim Planlama Programı' (Production Planning Program). The interface is titled 'Üretim Planlama Programı' and includes a close button (X) in the top right corner. On the left side, there is a logo for 'Arçelik BMI Üretim Planlama Programı' and the 'arçelik' logo. The main area is divided into several sections:

- Sipariş Ekle** (Add Order)
- Fizibilite Kontrolü** (Feasibility Control)
- SKU-Montaj Hattı Eşleştirme Kontrolü** (SKU-Assembly Line Matching Control)
- SKU-Malzeme Eşleştirme Kontrolü** (SKU-Material Matching Control)
- Malzeme Seçenekleri** (Material Options)

On the right side, there is a section for 'Montaj Hattı Kapasiteleri' (Assembly Line Capacities) with four input fields, each set to '1500':

- Montaj Hattı 1: 1500
- Montaj Hattı 2: 1500
- Montaj Hattı 3: 1500
- Montaj Hattı 4: 1500

Below this section, there are two radio buttons for selection: 'En Erken Teslim Tarihinine Göre' (Selected) and 'Kritik Orana Göre' (Critical Ratio). At the bottom right, there is a button labeled 'Aylık Üretim Planı Oluştur' (Create Monthly Production Plan).

Ek 2. Malzeme Seçenekleri Sayfası

Malzeme Seçenekleri

Malzemeler

Güncel Kısıt

Değiştirmek İstedığınız Değer

Yeni Malzeme Ekle

Geri Dön

Üst Tabla
Beko Üst Tabla
Boyalı Üst Tabla
Beko Tekmelik
Fan Motoru
Fan Cebi
Yan Duvar
Akplas 111

Ek 3. Malzeme Ekleme Sayfası

Malzeme Ekle

Malzeme adını giriniz.

OK

Cancel

Ek 4. Yeni Sipariş Ekleme Sayfası

Yeni Sipariş Ekleme

Siparişin SKU numarasını giriniz?

OK

Cancel

Ana Gövde Üretim Hattı için Ara Stok Seviyesinin Eniyilenmesi

Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi



Proje Ekibi

Aytuna Barkçin, Şifanur Çelik, İdil Su Kaya, Eda Korkem,
Yağmur Buğra Küçükarslan, Hilal Elif Tavşanoğlu, Gökçe Yumuşak

Şirket Danışmanı

Melih Sönmez
Endüstri Mühendisliği Takımı

Akademik Danışman

Meltem Peker Sarhan
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu proje Arçelik Eskişehir Buzdolabı Fabrikası içerisindeki ana gövde üretim hattı için en uygun ara stok seviyesini belirlemeyi ve bu sayede ana gövde üretim hattı ve kapı üretim hattının senkronizasyonunu artırmayı amaçlamaktadır. Ara stok seviyesinin yetersiz kalması ana gövde üretim hattının gün içerisinde durmasına neden olmaktadır. Durmaların önüne geçmek için fazla stok tutulduğu gözlemlenmiştir. Projemiz sezgisel algoritma kullanarak ana üretim hattını durdurmadan ara stok seviyesini eniyileştirecek bir üretim planı oluşturmayı amaçlamaktadır ve aynı algoritma kullanılarak üretim planı için günlük model bazlı üretim öbeği miktarını belirlenmektedir. Bu amaç doğrultusunda mevcut üretim taleplerini ve modellerin kurulum sürelerini göz önüne alarak dinamik bir üretim planı oluşturan ve model bazlı tutulması gereken ara stok seviyesini veren karar destek sistemi geliştirilmiştir. Aynı zamanda ARENA benzetim programı kullanılarak karar destek sistemimizin güncel üretime olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Senkronizasyon, Ara Stok

1. Şirket Tanıtımı

Arçelik A.Ş. Koç Holding'in ev aletleri ve beyaz eşya sektörü üzerine faaliyet gösteren bir kolu olan şirket geniş bir müşteri yelpazesine sahiptir. Ürün ve hizmetlerini 145 farklı ülkeden müşterilerine sunmaktadır. Şirket Türkiye'de pazar payının %65'ine sahipken, küresel piyasada ise %20'ye yakın bir paya sahiptir. Buna ek olarak Arçelik A.Ş., Türkiye'de çevresel sorunlara karşı aldığı tutum ve uyguladığı projeler ile de bilinmektedir. 1973 yılı itibari ile Eskişehirde faaliyet gösteren Arçelik Buzdolabı Fabrikası, yaklaşık 3500 çalışanı ile üretimini sürdürmektedir. Arçelik Buzdolabı Fabrikası'nın günlük üretim kapasitesi 15.000 buzdolabıdır.

2.Sistem Tanıtımı

Proje kapsamında Arçelik Buzdolabı Fabrikası'nın buzdolabı üretim tesisinde gözlemler gerçekleştirilmiştir. Bu tesiste, kapı ve ana gövde üretimi yapılır ve bu parçaların montajı gerçekleşir. Üretim, üretim planlama departmanı tarafından, müşteri taleplerini baz alınarak hazırlanan üretim planına göre yapılır. Müşteri taleplerinde dalgalanma oldukça, gün boyu üretilen buzdolabı çeşidi de değişmektedir. Bu değişiklik aynı zamanda kapı üretiminde kullanılan drum makinelerinin kalıplarında da değişikliğe sebep olmaktadır ve bu durum model değişikliği olarak bilinir. Ayrıca kapılara fazladan parça eklemek veya çıkarmak ise marka değişikliği olarak adlandırılır. Kapıların üretimi öncelikle kalıplama operasyonu ile başlar. Kapı imalatı, plastik iç ve kapı metal dışlarının kalıplara alındığı ve aralarının poliüretan ile doldurulduğu sekizli gruplar halinde gerçekleştirilir. Daha sonra poliüretan kür süresi boyunca kalıplarda katılaşması için drum makinesinde çevrilir, bu süre üretilen buzdolabının modeline göre farklılık gösterir. Poliüretan malzemesi ana gövde parçası üretimindeki işlevine benzer olarak, güç ve yalıtım sağlamak için kullanılır. Üretilen kapılar kalıplardan çıkarılır ve sonraki istasyona gönderilmek üzere konveyör bant üstüne yerleştirilir. Bu istasyonda, kapının çok sert kapanmasını ve buzdolabının soğuk bölgesi dışardan nispeten daha sıcak hava ile temas ettiğinde meydana gelen yoğunlaşma (terleme) oluşumunu önleyen contalar kapının kenarlarına yerleştirilir. Bu operasyondan sonra kapılar, kapasiteleri kısıtlı yük araçlarına yüklenir ve sonrasında stok alanına götürülür. Bu alandaki kapılar buzdolabının ana gövdesiyle birleştirilmek üzere bekletilir.

2.1. Belirtiler ve Şikayetler

Arçelik Eskişehir Buzdolabı Fabrikası'nda imalatı yapılan ürün çeşitliliği çok fazladır, fabrikada bu sebeple karışık üretim sistemi benimsenmiştir. Kapıların üretildiği istasyonlarda çok sık kalıp değişimleri gözlemlenmektedir. İmalat esnasındaki ilk değişim türü ana model değişimi olarak adlandırılmaktadır ve bu değişim türü marka değişimine kıyasla daha uzun sürmektedir. Bunun nedeni kapı parçalarının yerleştirildiği kalıplardaki armatürlerin değiştirilmesinden kaynaklanmakta olup, bu operasyon çalışanlar

tarafından tüm kalıplar için yapılmaktadır. Ana model değişimi aynı zamanda gövdeler için de gerçekleşen bir işlemdir. İkinci değişim türü ise marka değişimi olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem model değişimine kıyasla daha az zaman almaktadır, çünkü marka değişiminde yapılan işlem sadece kapı kalıplarına cam kapı panelleri veya buz dağıtıcıları gibi bazı eklentilerin kurulmasıdır. Kısaca kalıplara farklı modellere uyarlama amacıyla ek parçalar yerleştirilmesidir. Marka değişimleri üretim planına ve müşterilerin kişisel siparişlerine bağlı olarak gerçekleştirilir.

Buna ek olarak değişim sürelerinin, uzunluklarının ve sıklıklarının değişebilmesi ana gövde ve kapı üretim hattının senkronizasyonunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu senkronizasyon eksikliği, ana üretim hattı için kapı ara stoğu tutma ihtiyacına neden olmaktadır. Ancak ara stokta tutulan kapı sayısının üretilen ana gövde sayısı için yeterli olmadığı durumlar gözlemlenmektedir. Bu durum üretim hattında ve ana gövde üretiminde aksamalara neden olmaktadır ve ana üretim hattının durmasına neden olmaktadır.. İki üretim hattının arasındaki bu senkronizasyon eksikliğinden doğan ana gövde üretim hattının duraklamaması için, kapıların ara stok halinde tutulması gerekmektedir.

2.2 Problem Tanımı

Farklı değişim süreleri, sıklıkları ve yetersiz ara stok seviyesinden dolayı ortaya çıkan kapı ve gövde üretim hatları arasındaki senkronizasyonun sağlanamaması, fabrikada görevli üretim mühendisi tarafından da belirtildiği üzere, ana gövde üretim hattının durma sebeplerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Hattın durması, kapılar ile birleştirilmek için bekleyen ana gövde parçalarının, ana gövde üretim hattında birikmesinden dolayı gerçekleşmektedir. Bu durum, fiili üretim miktarının, planlanan üretim miktarına ulaşamamasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, yetersiz ara stok seviyesi, üretim tesisinin verimliliği açısından önemli ve çözülmesi gereken bir sorundur.

Projenin asıl amacı bu sorunu çözmek ve üretim tesisinin daha etkin bir şekilde işlemlerini sağlamaktır. Bu sorunun gelecekte fabrikanın ürün teslim tarihlerini geciktirmesine ve buna bağlı olarak müşteri memnuniyetinin düşmesine sebep olabileceğinden dolayı, bu senkronizasyon eksikliğinin giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Projenin ele aldığı problemin içeriği ve projenin amacı aşağıda belirtilmektedir:

Problem İçeriği: Kapı üretim hattında, ana gövde üretim hattına göre daha sık kurulum değişikliği yapılması gün içinde yetersiz ara stok seviyesi yüzünden ana gövde üretim hattının durmasına neden olmaktadır.

Projenin Amacı: Ana gövde üretim hattı için en iyi ara stok seviyesinin belirlenmesi ile iki hat arasındaki senkronizasyonun artırılması.

2.2.1 Projenin Kapsamı

Bu proje Eskişehir’de bulunan Arçelik buzdolabı fabrikasının üretim tesisindeki ana gövde ve kapı üretim hattını kapsamaktadır. Proje kapsamında iki üretim hattı incelenip aralarındaki senkronizasyon seviyesinin artırılması için en uygun ara stok seviyesinin bulunması amaçlanmaktadır.

2.2.2. Problem Çerçevesinde Verilerin İncelenmesi

Şirket tarafından paylaşılan veri, buzdolabı işletmesi içindeki üretim tesisinin 2018 yılındaki her ay planlanan ve gerçekleşen üretim planlarını içermektedir. Üretim planında, üretilmesi planlanan ve gerçekte üretilen buzdolabının marka, model ve üretim sayısına ulaşılabilir. Aynı zamanda, veride günlük toplam planlanan üretim miktarı (marka ve modeller dikkate alınmaksızın) ve toplam üretilen buzdolabı miktarları bulunmaktadır. Veriler fabrikanın şu anki durumunu gözlemleyebilmek için kullanılmaktadır.

Veriler incelendiğinde üretilmesi planlanan ve gerçekte üretilen buzdolabı sayılarının farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu aşamada gün bazında kümülatif fark hesaplanmıştır, planlanan ve üretilen buzdolabı sayıları arasındaki fark, bir önceki günlerinde planlanan ve üretilen buzdolaplarının miktarları eklenerek kümülatif olarak hesaplanmıştır. Veri incelenmesi sürecinde, günlerin çoğunda farkın negatif değerler içerdiği, dolayısıyla fabrikanın sıklıkla amaçlanan üretim miktarına erişemediği görülmüştür. Üretim miktarındaki yetersizliği göstermek amacıyla ‘Kümülatif %’ değerleri hesaplandı. Bu yüzdenin denklemi aşağıda belirtilmektedir:

$$\text{Kümülatif \%} = (\text{Gerçekleşen Üretim Miktarı} / \text{Planlanan Üretim Miktarı}) * 100$$

Bu kümülatif yüzde değerlerinin düşük olması, hedef üretimin tutturulamamasına işaret etmektedir. Her ay için üretim çizelgesi incelendiğinde, bu yüzdenin farklı değerlerinin olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler, fabrikadaki verimliliğin artırılabilirliğini göstermektedir.

Verilerde analiz edilen diğer bir nokta ise ana gövde üretim hattının durma süreleridir. Bu süreyi hesaplamak için üretimde kaybedilen zaman kullanılmıştır. Ana gövdeler montaj hattına her gövde çevrim süresinde bir gelmektedir. Bu bilgiyi kullanarak, ana gövde hattının durma süreleri aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Durma Süresi} = (\text{Toplam Planlanan Üretim Miktarı} - \text{Gerçekleşen Üretim Miktarı}) * \text{Gövde Çevrim Süresi}$$

Yukarıda yer alan denkleme göre, montaj edilemeyen her ana gövde, gövde çevrim süresi kadar bir kayba denk gelmektedir. Bu denklemi kullanarak, her ay için üretim hattında toplam durma süreleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, veriler proje çerçevesinde incelendikten sonra problemin önemi daha açık bir şekilde fark edilmiştir. Şirket danışmanı tarafından da belirtildiği üzere, planlanan ve gerçekleşen üretim miktarı arasındaki farkın en büyük sebeplerinden bir tanesi,

doğru ara stok seviyesinin tutulmaması ve bunun günlük üretim üzerindeki olumsuz etkileridir.

3. zm Yöntemleri

Şirket tarafından uygulanan sistemde en iyi ara stokun tutulmaması, gün içinde üretim planının istenildiği gibi uygulanmamasına sebep olmaktadır. Proje zm yöntemi olarak kullanılmış olan sezgisel algoritma, Excel programı üzerinden geliştirilmiştir. Excel programından oluşturulan kullanıcı arayüzü şirketin kullanabileceği ve her model/marka için en iyi ara stok seviyesi belirleyebilecek bir karar destek sistemidir. Karar destek sistemi günlük üretim planı ve kullanıcı tarafından her zaman değitirilebilecek değişim sürelerini girdi olarak almaktadır ve en iyiye yakın ara stok seviyesini çıktı olarak vermektedir. Buna ek olarak, karar destek sistemi değişim sürelerini baz alan basit bir sezgisel algoritma ile sisteme verilen üretim planını da iyiletirebilmektedir ve bu üretim planı için gerekli en iyiye yakın ara stok seviyelerini de çıktı olarak verebilmektedir. Karar destek sisteminin görüntüsü Ek 1’de yer almaktadır.

3.1 Kısıtlar ve Varsayımlar

3.1.1 Genel Varsayımlar

Kullanılan zm yöntemi için kritik varsayımlarda bulunulmuştur ve aşağıda belirtilmiştir:

1. Elektrik aksamları ve elik bileşenler konveyördeki her marka ve model için sabit zamanda yerleştirilmektedir.
2. Drum makinelerinde durma veya bozulma olmamaktadır.
3. Kapılardaki marka değişimlerini gerçekleştirmek için belirli sayıda drum makinesi kullanılmıştır.

3.1.2 Kısıtlar

Fabrikanın kapasitesinden dolayı bazı kısıtlarla karşı karşıya kalınmış ve bu kısıtlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Her arabanın kapasitesi belirli sayıda bir kapasitesi olup, her biri belirli sayıda ana gövdeyi beslemektedir.
2. Ara stok alanında toplam araba sayısı endüstriyel danışman tarafından bizlere belirtilmiş olup, gerektiğinde bu sayıda azalma ve artırılmaya gidilebilir.
3. Fabrikadaki toplam drum sayısı ve kapasiteleri değiştirilemez.
4. Planlanan retim miktarlarının geçilmesi mümkün değildir ve bu değerler projede limit olarak kullanılmıştır.

3.2 Sezgisel Algoritmanın Microsoft Excel zerinde Uygulanması

Yapılan geniş literatür araştırmalarından sonra kullanılması kararlaştırılan “Optimal Work-in-Process Inventory Levels for High-variety, Low-volume Manufacturing Systems” isimli makalenin ana mantığı

kullanılarak Microsoft Excel kullanılarak sezgisel algoritma oluşturulmuştur (Srinivasan, 2008). Microsoft Excel programının seçilmesinin sebebi geniş bir kullanım alanının oluşu ve şirketin kullanmakta zorluk çekmeyecek olmasıdır. Şirkete sunulan karar destek sistemi, kapı üretim hattı ve ana gövde üretim hattı olmak üzere iki iş istasyonunu temel alarak çalışmaktadır. Üretilen ürünlerin sayısı, kullanıcının sisteme gireceği günlük üretim planına göre belirlenmektedir. Kısaca anlatmak gerekirse, iş istasyonları seti M , üretim tipleri J seti olarak tanımlanmıştır. Sezgisel algoritma her ürün için ortalama kurulum sürelerini (S_{mj}), ortalama üretim süresini (P_{mj}) ve üretim miktarını (D_j) girdi olarak almaktadır.

Sezgisel algoritma, çıktı olarak içinde j ürünü bulunan araba sayısını (N_j) ve bir arabada bulunan j ürünü sayısını, yani grup büyüklüğünü (B_j) vermektedir. Sistemde tutulan en yüksek ara stok miktarı, karar değişkenleri olan N_j ve B_j tarafından belirlenmektedir. Grup büyüklüğünün sınırlarına, sistemdeki bir arabanın kapasitesi karar verir. Bu yüzden sisteme aşağıda belirtilen kısıt uygulanmaktadır:

$$1 = B_{Low} \leq B_j \leq B_{High} = 8$$

Modelin NP-zor sınıfına dahil olmasından dolayı, tam arama metoduyla en iyi sonuç bulunmamaktadır (Srinivasan, 2008). Ancak şirket bu arayüzü günlük ve farklı girdilerle kullanmayı hedeflediği için, bu metod bu projenin problemi için verimli bir yöntem değildir. Bu sebeple sezgisel algoritma kullanılması tercih edilmiştir. Amaç fonksiyonu için bulunan alt sınır, sezgisel algoritmanın uygulanmasında kullanılacak ilk değer olarak alınır. Belirli bir N değeri için, amaç fonksiyonu B_j nin olabilecek en küçük değeri kullanılarak enazlanır. Bu yüzden, belirli bir N_j sayısı için $B_j(N)$ değeri, aşağıdaki denklem kullanılarak bulunur:

$$B_j(N_j) = \frac{\bar{S}_j + S_j^* N_j + S_j^*(J-2)}{(N_j/D_j) - \bar{P}_j - N_j P_j^* - P_j^*(J-2)}$$

$$\bar{S}_j = \sum_{m=1}^M S_{mj}, \bar{P}_j = \sum_{m=1}^M P_{mj}, S_j^* = \min_m \{S_{mj}\}, P_j^* = \min_m \{P_{mj}\}$$

Amaç fonksiyonunun değeri yukarıda belirtilen denklemler sonucunda elde edilenler ile Ortalama Değer Bulma Analizi (Mean Value Analysis-MVA) denklemlerinin kullanılmasıyla bulunur. (MVA denklemleri Ek 2'de bulunmaktadır). En iyi sonucu bulmak için bu süreç her ürün tipi için N_j değerinin artırılması veya azaltılması ile devam eder. Eğer yeni bir N değeri amaç fonksiyon değerinin azalmasına sebep olursa, çözüm uygun şekilde güncellenir. Tüm j değerleri denendikten sonra herhangi bir iyileştirme elde edilemez ise, arama durdurulur ve elde edilen sonuç en iyi sonuç olarak tanımlanır (Srinivasan, 2008).

3.3. Sezgisel Algoritmasının Doğrulanması

3.3.1 Makaledeki Veriler ile Doğrulanması

Sezgisel algoritmayı doğrulamak için, “Optimal Work-in-process Inventory Levels for High-variety, Low-volume Manufacturing Systems” makalesinde belirtilmiş olan veriler kullanılıp, algoritma buna göre çalıştırılmıştır. Bunun sonucunda, çıktıların makaledeki algoritmayla aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu da bize yapmış olduğumuz algoritmanın doğru olduğunu göstermektedir.

4. Projenin Firmada Uygulanması

Geliştirilmiş olan sezgisel algoritma Excel Programı üzerinden programlandığı için şirket tarafından uygulanabilecektir. Şirket tarafından belirlenen dönem içerisinde Arçelik Eskişehir Buzdolabı Fabrikası’nda şirket danışmanlarımız tarafından uygulanması planlanmaktadır. Yapılan deneme sonucunda çıkan sonuçların, karar destek sistemi kullanılmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması ve gerçekleşen üretim ile planlanan üretim arasındaki farkın azaltılması hedeflenmektedir. Bu iyileştirme ile fabrikada yer alan iki üretim hattının arasında senkronizasyonun artması ve buna bağlı olarak ana gövde hattının durma sıklıklarının kayda değer miktarda kadar düşmesi beklenilmektedir.

4.1 Firmaya Sağlanan Katkılar

Karar destek sistemi üzerinden belirlenen en iyi veya en iyiye yakın ara stok seviyeleri ile ana gövde hattındaki durma sıklıklarını azaltarak gün içinde daha fazla buzdolabının üretiminin sağlanması hedeflenmektedir. Buna bağlı olarak planlanan ve gerçekleşen üretim için ‘Kümülatif Fark’ ve ‘Kümülatif Yüzde’lerinde belirli bir azalmanın gerçekleşmesi ve bunun sonucunda üretim tesisindeki üretim verimliliğinde bir artış görülmesi amaçlanmıştır. Üretimdeki kümülatif fark planlanan ve gerçekleşen üretim arasındaki fark olduğundan, bu farkın az olması üretimin daha verimli gerçekleştiğini gösterir. Bu da şirketin günlük planlanan üretim sayılarına erişmesini kolaylaştırır. Daha az kümülatif fark daha fazla gerçekleşen üretim anlamına gelmektedir. Sezgisel algoritmanın yardımı ile elde edilen ara stok seviyelerinin, ARENA programı yardımı ile günlük üretime olan etkisi simüle edilmiş ve sonuç olarak kümüle farkın azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda daha verimli bir üretim hattı elde edileceği gözlemlenmektedir.

4.1.1 Arena Benzetim Modeli

Benzetim modelinde, girdi olarak üretim planı çıktı olarak ise montajlanan ana gövde sayısı alınmaktadır. ARENA benzetim modelinin akış şemasını Ek-3’te görebilirsiniz. Benzetim modelinde kullanılan kurulum ve işlem süreleri endüstriyel danışman tarafından sağlanmış olup; benzetim

modelinin kullanım amacı, benzetim modeli ile gerçek sistem arasındaki bağlantıyı kanıtlamaktır. Bağlantı kanıtlandığı takdirde yapılacak olan iyileştirme hesaplamalarında benzetim modelini Arçelik sistemi gibi düşünmek mümkün olacaktır. Bu sayede sezgisel algoritmadan elde ettiğimiz çıktılar ile benzetim modelinin çıktıları karşılaştırılarak Arçelik için bir iyileştirme hesaplaması yapılacaktır. Benzetim modelinin Arçelik sistemini yansıttığını kanıtlamak için sıfır hipotez önem testi uygulanmıştır ve bu bağlamda finansal faydaların hesaplanması için sezgisel algoritmanın sonuçları ile benzetim modeli arasındaki fark dikkate alınmıştır.

4.1.2 Benzetim Modeli için Olan Varsayımlar

ARENA benzetim programını içeren çözüm yönteminde yukarıdaki varsayımlara ek olarak bazı ek varsayımlarda bulunulmuştur. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Başlangıç envanteri 0'dır.

2. ARENA modelinde insan operasyonlarına bağlı olan süreler üçgensel, makine operasyon sürelerinin ise doğrusal dağılıma sahip olduğu varsayılmıştır.

4.1.3 Benzetim Modelinin Doğrulaması

Doğrulama, projemizin önemli bir kısmını oluşturmaktadır çünkü benzetim modelinin fabrikanın operasyonlarını doğru bir şekilde temsil ettiğini göstermeyi sağlar. Benzetim modelinin doğruluğunu test edebilmek için her ay için olan verileri girdi olarak kullanarak model çalıştırılmıştır. Çıktıları doğrulamak için sıfır hipotez önem testi kullanılmıştır. Bağımlı örneklem testi uygulanıp önem düzeyi 0.025 olarak alınmıştır. Bir veri örneği 2018'de bir ay için gerçekleşen üretim miktarı, diğeri ise planlanan üretim miktarlarını girdi olarak alan ARENA modelinin çıktılarıdır. Bağımlı örneklem testi ile aşağıda görünen sıfır hipotez önem testi yapılmıştır:

$$H_0: \mu_{\text{arçelik}} - \mu_{\text{benzetim}} = 0$$

$$H_1: \mu_{\text{arçelik}} - \mu_{\text{benzetim}} \neq 0$$

Testin p-değeri 0,2407 olarak bulunmuştur. Bu değer belirlenen önem düzeyinden büyük olduğu için sıfır hipotezi reddedilememiştir, yani iki örnek arasında belirgin bir fark olmayabilir ($\mu_{\text{arçelik}} = \text{Arena modeli kullanılmadan elde edilen günlük ortalama üretilen ana gövde sayısını göstermektedir}$

$\mu_{\text{benzetim}} = \text{Arena modeli kullanılarak elde edilmiş olan günlük ortalama üretilen ana gövde sayısını göstermektedir}$).

4.2 Şirkete Sağlanması Beklenen Faydalar

Sezgisel algoritmanın çıktıları ile Arçelik sistemini temsil ettiği doğrulanan ARENA benzetim modelinin çıktıları karşılaştırıldığında günlük %2,7 iyileştirilme olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, ana gövde üretim hattı ile kapı üretim hattı arasındaki senkronizasyonun arttığı sonucuna varılmış, bunun yanı sıra duraklama sürelerindeki sıklıkların azaldığı ve tüm bunların

sonucunda daha verimli ve senkronize çalışan ana gövde üretim hattı ve kapı üretim hattı elde edilmiştir. Ayrıca günlük üretim planındaki üretim sıralamasındaki geliştirmeler ile daha düşük ara stok seviyesi tutulduğu gözlemlenmiş ve bunun sonucunda daha senkronize çalışan ana gövde üretim hattı ve kapı üretim hattı elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Arçelik A.ř. 2017. Faaliyet Raporu 2017. Accessed at <http://www.arcelikas.com/> as of December 30, 2018.
- Arçelik A.ř. 2019. Beyaz Eşya 2019. Accessed at <https://www.arcelik.com.tr/gardirop-tipi-buzdolabi>.
- Koç Holding 2018. Türkiye'deki İlkler. Accessed at <https://www.koc.com.tr/> as of December 23, 2018.
- Srinivasan, M., Viswanathan, S. 2008. "Optimal work-in-process inventory levels for high variety, low-volume manufacturing systems". IIE Transactions, 42(6), 379-391.

EKLER

EK 1-Karar Destek Sisteminin Kullanıcı Formu

Arçelik Günlük Üretim Planı Oluşturma

Aylık Üretim Planı Yükleiniz

Tarih Seçiniz

Günlük Üretim Planı Çizelgesi Al **İyileştirilmiş Günlük Üretim Planı Çizelgesi Al**

Ana Gövde Çevrim Ana Gövde Çevrim

Gerekli ara stok seviyesi **Gerekli ara stok seviyesi**

Model	Üretim Miktarı	Model	Üretim Miktarı
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Kurulum sürelerini değiştir ve ara stok seviyesi al **Yeni ürün ekle ve sıra değiştir**

Yenile

EK 2-MVA Denklemleri

PROC-B Metodu

Verilen N sayısı için B(N) ve Z(N) değerlerini Ortalama Değer Analizi (Mean Value Analysis, MVA) denklemlerini çözerek bulma metodudur.

1. q_{mj} 'yi $j=1, \dots, J$ için tanımlayın.
Eğer metod problem için ilk defa kullanılıyorsa, $q_{mj} = S_{mj}N_j / \sum_{p=1}^M S_{pj}$ olarak tanımlayın, eğer ilk defa kullanılmıyorsa $q_{mj} = R_{mj}N_j / CT_i$ olarak tanımlayın.
2. $B_{prev_j} = 0, \forall j$; $q_{prev_{mj}} = 0 \forall m, j$. İşlemGerçekleşti = YANLIŞ olarak işaretleyin.
3. Eğer (İşlem Gerçekleşmemişse) şunları yapmaya devam et:
 { İşlemGerçekleşti = DOĞRU;
 $j=1, \dots, J$ için:
 { $X_j = \sum_{m=1}^M S_{mj}(1 + (\sum_{k=1}^J q_{mk})) - (q_{mj}/N_j)$
 $Y_j = \sum_{m=1}^M P_{mj}(1 + (\sum_{k=1}^J q_{mk})) - (q_{mj}/N_j)$
 $B_j = \left[\frac{D_j X_j}{N_j - D_j Y_j} \right]$
 $CT_j = X_j + Y_j B_j$
 $m = 1, \dots, M$ için şunları yap:
 { $R_{mj} = (S_{mj} + P_{mj} B_j)(1 + \sum_{k=1}^J q_{mk} - q_{mj}/N_j)$
 $q_{mj} = N_j R_{mj} / CT_i$
 eğer
 $(|q_{mj} - q_{prev_{mj}}| > 0,000001)$ ise, İşlemGerçekleşti = YANLIŞ olarak işaretleyin.
 $q_{prev_{mj}} = q_{mj}$
 }
 eğer
 $(|q_{mj} - q_{prev_{mj}}| > 0,000001)$ ise, İşlemYapıldı = YANLIŞ olarak işaretleyin.
 $B_{prev_j} = B_j$
 }
 }
4. Eğer herhangi bir $j = 1, \dots, J$ için $(0 < B_j < B_{LO})$ ise, $B_j = B_{LO}$ olarak işaretleyin.
5. Eğer herhangi bir $j = 1, \dots, J$ için $((B_j < 0)$ ya da $(B_j > B_{HI}))$ ise, Z(N) = SONSUZ olarak işaretleyin,
Diğer bütün durumlarda $Z(N) = \sum_{j=1}^J C_j N_j B_j$ olarak işaretleyin. ALGORİTMAYI DURDURUN.

Ek 5 – Karar Destek Sistemi Arayüzü – Veri Ekleme/Değiştirme

Dashboard - Decision Support System

Home	Data	Solve	Analyze	Report	Settings
Suppliers	OrderCode	SupplierCode	CustomerName	ZipCode	DeliveryDate
Customers	400415/2018/W14/2	400415	TT	37	06/04/2018
Orders	400415/2018/W14/2	400415	TT	37	06/04/2018
Lead Times	400274/2018/W14/2	400274	TT	60	06/04/2018
Costs	400076/2018/W14/3	400076	TT	10	06/04/2018
Cross Docks	400094/2018/W14/3	400094	TT	10	06/04/2018
Model Configuration	400415/2018/W14/2	400415	TT	37	06/04/2018
	400094/2018/W14/3	400094	TT	10	06/04/2018
	400041/2018/w14/3	400041	TT	41	06/04/2018
	400329/2018/W14/4	400329	TT	25	06/04/2018
	400276/2018/W14/4	400276	TT	25	06/04/2018
	400276/2018/W14/4	400276	TT	25	06/04/2018
	400428/2018/W14/4	400428	TT	14	06/04/2018
	400428/2018/W14/4	400428	TT	14	06/04/2018
	400428/2018/W14/4	400428	TT	14	06/04/2018
	400330/2018/W14/2	400330	TT	10	06/04/2018
	400330/2018/W14/2	400330	TT	10	06/04/2018
<input checked="" type="checkbox"/> Overwrite Excel	400324/2018/W14/2	400324	TT	80	06/04/2018
	400333/2018/W14/4	400333	TT	10	06/04/2018
	400022/2018/W14/4	400022	TT	40	06/04/2018
	400022/2018/W14/4	400022	TT	40	06/04/2018
	400022/2018/W14/4	400022	TT	40	06/04/2018

Ek 6 – Karar Destek Sistemi Arayüzü – Rotalama Limitlerinin Belirlenmesi

Dashboard - Decision Support System

Home	Data	Solve	Analyze	Report	Settings
Algorithm Presets	Enter the name of the run		Current date of the run	Genetic Algorithm Selection Type	
Rapid	Description of the run		<input checked="" type="checkbox"/> Elitism	<input type="checkbox"/> Tournament	<input checked="" type="checkbox"/> Truncated
Conventional			<input type="checkbox"/> 3PL	<input checked="" type="checkbox"/> Survivor	<input type="checkbox"/> Offspring
Balanced			<input checked="" type="checkbox"/> Stoppage	<input type="checkbox"/> 2 Stops	<input checked="" type="checkbox"/> 3 Stops
Comprehensive				<input type="checkbox"/> 4 Stops	
Expensive					
Manual Configuration	Parameters	Main Model	Milkrun	Sub-Cluster	
Run	Crossover Rate :	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	
Stop	Mutation Rate :	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	
	Population Size :	5 105 205 305 405 500	5 105 205 305 405 500	5 105 205 305 405 500	
	Iteration Limit :	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	
	Runtime Limit :	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	0 25 50 75 100	

Montaj Bandında Ürünlere Göre Değişkenlik Gösteren Eleman Sayısının Eniyilenmesi

BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

İlbey Alişan, İlayda Ece Esen, Göksen Karakuş, Lütfü Karaman,
Gül Kızılkale, Çelik Özdamar, Gizem Yağmur

Şirket Danışmanı

Erhan Kan

İmalat Mühendisliği Müdürü

Akademik Danışman

Prof. Dr. Savaş Dayanık

Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Montaj bantlarında değişik standart zamanlı üretimlerin yapılması sonucu istasyonlarda değişken eleman sayısı gerekmektedir. Bu da eleman sayısı planlamasında zorluklara ve verimlilik kaybına neden olmaktadır. Proje kapsamında hatların dengesi göz önünde bulundurularak eleman sayısı planlaması beklenmektedir. Problemin çözümü aşamasında istasyonların ürün çeşitlerine göre değişen zamanları ve bekleme süreleri incelenmiştir. İncelemeler sırasında Metod Zaman Ölçümü (Method-Time Measurement) verileri kullanılmıştır. Bu incelemelere göre yükseltilmiş ürün üreten ve ek eleman gerektiren istasyonların işleri, bekleme zamanı olan istasyonlara dağıtılarak iyileştirmeler yapılmıştır. İstasyonlarda gerçekleşen belirli işler, Metod Zaman Ölçümü süreleri çevrim zamanını geçmeyecek şekilde uygun istasyonlara paylaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: eleman sayısı planlama, üretim ağı, standardizasyon

1. Şirket Tanıtımı

BSH, 1967 yılında Robert Bosch tarafından kurulmuştur. BSH Grubu, 48 ülkedeki 42 fabrikada 80 şirket aracılığıyla yenilikçi beyaz ürünler sunmaktadır. Bahsedilen 42 fabrikanın en büyüğü Çerkezköy, Tekirdağ'da bulunmaktadır. 550.000 m2 alan üzerine kurulu Çerkezköy tesisi 6.2 milyon adet kapasiteye sahiptir. 2005'ten bu yana, 1 milyar Euro'luk yatırımla BSH, Türkiye konumundaki en büyük ev aletleri şirkettir. BSH, Bosch, Siemens, Gaggenau ve Profilo gibi markaları bünyesinde bulundurmaktadır. Bu markalarla BSH, dünya genelinde enerji verimliliğini geliştirmeyi ve tüm dünyaya ihracat yapmayı hedeflemektedir. 2014 yılı itibariyle, 86 ülkede yaşayan 2 milyar insanın ve 7 üretim tesisinin sorumluluğu BSH Afrika, Orta Doğu, Orta Asya, Ukrayna ve Rusya Grupları tarafından BSH Türkiye'ye verilmiştir. BSH Ev Aletleri A.Ş.'nin 9 bin BSH çalışanı, 7 iştirak ve 2 temsilcilik ofisi bulunmaktadır. BSH, Türkiye'nin ilk Ar-Ge merkezi sertifikasına sahiptir. Ayrıca, son 10 yılda Ar-Ge mühendislerinin sayısını %300 artıran BSH Ev Aletleri, dünya şampiyonu ürünleri yaratacak Ar-Ge ve üretim faaliyetleri ile sektörün geleceğini şekillendirmektedir. BSH Servis'in Türkiye genelinde yayılmış 4 bölge ofisi ve 8 Fabrika Servis Merkezi bulunmaktadır ve 350'nin üzerinde Yetkili Serviste görevli 2.500 çalışanı ile sektörde öncü konumdadır.

2. Problem Tanımı ve Sistem Analizi

2.1. Problem Tanımı

Montaj bantlarında farklı standart zamanlı üretimlerin yapılması, istasyonlarda değişken eleman sayısını beraberinde getirmektedir. Bu durum eleman planlamasında zorluklara ve verimlilik kaybına neden olmaktadır. Her biri sekiz saatten oluşan toplam üç vardiyada eleman sayıları, üretilen ürüne göre oldukça değişkenlik göstermektedir. Belirli istasyonlarda birden fazla eleman çalışmasına karşın, bu istasyonlardaki işlemler esasında üretim hattında gecikmeye veya birikmeye sebep olmamaktadır. Diğer bir taraftan, bazı istasyonlarda tek elemanın çalışması zaman zaman üretim ağındaki akışı sekteye uğratmaktadır. Sonuç olarak, istasyonlarda gerçekleştirilen işlemler ve bunlara atanan eleman sayılarındaki dengesizlik üretim ağında beklenen verimliliğe ulaşmaya engel olmaktadır.

2.2. Proje Amaçları

Projemiz üretim hattındaki eleman sayısını azaltarak DEP (Direct Employee Productivity) oranını artırmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda ilk olarak hangi istasyonlarda birden fazla eleman çalıştığı gözlemlenmiştir. Belirlenen istasyonların MTM (Metod-Zaman Ölçümü) değerlerinin incelenmesi sonucunda hangi işlemlerin başka istasyonlara aktarılabilirliği veya

hangi işlemlerin kendi aralarında yer değiştirebileceği analiz edilmiştir. Son olarak, bu istasyonlar için kaç eleman gerektiği hesaplanmıştır.

2.3. Kaynak Taraması

Personel planlama (çizelgeleme) ve hat dengeleme, mevcut soruna yaklaşmanın iki yolu olsa da literatür taraması araştırmamız sırasında rastladığımız başka bir potansiyel çözüm de var. Townsend (2012) tarafından yazılan “The Basics of Line Balancing and JIT Kitting” adlı kitapta, üretim ortamındaki verimsizlik ve bunun sonucunda ortaya çıkan gereksiz maliyetler, sisteme entegre olan yedi olası üretken olmayan unsurdan kaynaklanmaktadır. Bu elemanlar seyahat süresi, stok, hareket, bekleme, fazla işlem, fazla üretim ve kusurlar olarak listelenebilir. Bize verilen problem tanımına gelince, BSH tesisinde seyahat süresi, hareket, bekleme ve fazla işlem, üretken olmayan en önemli unsurlardır. Dolayısıyla, listelenen unsurlara odaklanarak, çalışanların verimliliğini arttırmayı ve soruna yaklaşımımıza karar vermeyi hedefleyebiliriz. Bu, süreçleri birbirine yaklaştırmak, işçilerin gereksiz yere hareket etmelerini engellemek, parçaları kullanım noktasına (KN) getirmek ve 5S kullanmak gibi çalışmalar yoluyla başarılabilir. Diğer çözüm yöntemleri arasında, işçinin boşa kalma süresinin azaltılması ve bir işçinin bir üründe fazla işlenmesi nedeniyle ortaya çıkan teslim süresinin geciktirilmesinin zaman çalışması ve iş gücü planlaması sayılabilir. Townsend'in (2012) bahsettiği bu çözüm yaklaşımları, bir tesis içindeki verimsizlik sorununa nasıl yaklaşılacağı hakkında genel bir fikir verir ve daha sonraki adımlarda en uygun çözüm yöntemini seçmemiz için bize rehberlik edebilir.

El-Rayah (1979), bir üretim hattının ilgili istasyonlardaki ortalama çalışma süreleri bakımından dengelenmiş olabileceğini, ancak kesişme aralıkları için kapasite tahsisi veya çalışma süresi değişkenliğinin tüm istasyonlar için eşit olmadığı anlamında dengesiz olabileceğini iddia ediyor. El-Rayah (1979), hattın ortasındaki istasyonlara yakın daha düşük ortalama döngü süreleriyle operasyon ayarlama fikrini destekliyor.

Buxey'nin (1974), paralel işlemler veya aynı istasyonlar için montaj hattını genişletme fikri tercih edilir. Bu çalışma, benzer faaliyetlerde yoğunlaşan istasyonların kaldırılmasının önemini göstermektedir. Bu tip bir sistemle çalışmanın pratik sonuçları, hem istasyonların kendileri hem de bir bütün olarak hat için, çeşitli montaj hattının sınıflandırmasına ve üretim hattı tasarımının genel bir stratejisine uyacak şekilde dengelemenin yapılabileceği yollara değinilerek tartışılmaktadır. Alan araştırmasında, düğme panellerini monte etmek için tek bir istasyon oluşturma fikri ele alınmıştır. Bu istasyon modifikasyonuna göre, üretim planında beklenmedik bir çeşitlilikle karşılaşma sorunu, süreç stoğunda kısa vadeli bir iş yaratma avantajı ile ortadan kaldırılabilir.

Christmansson(2000) zamanlama sistemlerinin geliştirilmesinin yollarını bildirmektedir. Daha yüksek seviyeli yöntem-zaman-ölçümü, çalışma alanına veya ağırlıklı tutamaçlara göre diğer faktörleri göz önünde bulundurur. Bu yöntem, bilimsel bir model olan Küp modeline göre, iş duruşlarının fiziksel taleplerini ve tekrarlanan sayıda eylemi tahmin etmek için tasarlanmıştır. BSH tesisi için, işlemler ve işlemlerin parçaları, istasyonun verimliliğini etkileyen faktörlere göre değerlendirilebilir. Bu nedenle hattaki darboğazlar da yöntem-zaman-ölçüm faktörlerine göre dikkate alınmalıdır.

2.4 Veri Yorumlaması

Üzerinde yoğunlaşmaya karar verilen çözüm yaklaşımına göre şirket danışmanı tarafından gönderilmesi gereken dosyalar ihtiyaca göre belirlendi. Bu bağlamda birkaç veri önemli bulundu. Sıkça kullandığımız bu dosyaları tek bir çatı altında toplamak mümkündür; bu dosyaların her biri tek bir istasyona aitti ve her bir dosya ise belirli bir istasyonun yöntem süreç ölçüm (methods time measurement ya da MTM) bilgisini içeriyordu. Bu bilgiye göre her bir istasyona özgü kullanılan metotların toplam süresine ulaşmak mümkündü, böylelikle saniye cinsinden bir istasyonda harcanan standart süreye erişim sağlanabildi. Ek olarak, her bir istasyonda gerçekleştirilen belirli işlemlere ve bu işlemlerin harcadığı standart zaman sürelerinin bilgisine erişim sağlandı. Bu verilerin incelenmesi sonucunda birkaç istasyonun devir süresinden (cycle time) daha fazla sürede zaman harcadıkları tespit edildi. Buna bağlı olarak, devir süresini arttırmamak ve hat dengelenmesini (line balancing) sağlayabilmek için tespit edilen bu istasyonlara odaklanmak gerektiğine karar verildi. Şirketten alınan dosyalar ve fabrikaya düzenlenen ziyaretlerdeki gözlemler ışığında belirlenen istasyonlarda gerçekleştirilen her bir işlemin incelenmesine karar verildi. Bu bağlamda, istasyonlarda gerçekleştirilen belirli işlemlerin tuttuğu zaman süreleri dikkate alınıp bu işlemlerin devir süresinden daha az bir süreye sahip olan başka istasyonlara kaydırılıp kaydırılmayacağı incelendi.

3. Önerilen Sistem

3.1 Önerilen Sistemin Yöntemi

Projenin amacında belirtildiği gibi montaj hatlarında eleman optimizasyonu yapılarak DEP değerinde %1'lik bir verimlilik artışı gözlemlenmesi planlanmaktadır. DEP değerinin hesaplanması bir formüle dayanmaktadır. (Tablo 1) Verim artışının hesaplanması için ise güncel dönemin değeri bir önceki dönemin değerine bölünmektedir. Bizden beklenen gelişme eleman optimizasyonu olduğundan dolayı DEP'in verimini arttırmak için istasyonlardaki eleman sayısını azaltmayı hedefledik.

$$DEP = \frac{\text{Birim Ürüne Düşen Üretim Maliyeti}}{\text{Birim Ürüne Düşen Katılım Süresi}}$$

Tablo 1: DEP Değeri Formülü

Hatta çalışan elemanların sayısının değişken olmasına sebep olan faktör üretim sırasında yoğun bir şekilde varyant değişimi olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden eleman sayısını azaltılıp sabit hale getirilebilmesi için odaklanılabilecek en uygun istasyonların varyantların gözlemlendiği istasyonlar olduğuna karar verdik ve bunlar için bir çözüm önerisi sonucunda “Hat Dengeleme” methodunun problemin çözümü açısından uygun olabileceği kanaatine vardık.

Bu bağlamda ilk olarak varyantların gözlemlendiği istasyonlar ve bu istasyonlara ardışık gelen diğer istasyonlar incelendi. Bu incelemeler süresince MTM verilerinin varyantlara göre nasıl değişiklik gösterdiğinin grafiği kullanıldı. Bu grafik üzerinde yüksek kırılmaların meydana geldiği istasyonlar ele alındı. Ardından istasyonlarda hangi varyanta göre hangi operasyonlar yapıldığı ayrıntılı olarak çıkarıldı. Öncesinde ve sonrasında gelen istasyonlarda da aynı şekilde operasyonlara göre detaylı incelemeler yapılarak, varyant gözlemlenen istasyondaki operasyonların nasıl diğer operasyonlara çevrim zamanı olan 21.6 saniyeyi geçmeden dağıtılabileceğini inceledik. En büyük kısıtlamalardan bir tanesi ise operasyonların çoğunlukla birbirini bağlamasından kaynaklanıyordu. Bunun anlamı bir operasyonun yapılabilmesi için ondan önce gelen operasyonun tamamlanmış olması gerektiğidir.

3.2 Önerilen Sistemin Modeli

İncelenen istasyonlar arasından eleman çeşitliliği gösteren 311 ve 312 ardışık istasyonu bizim için hedef istasyonu oluşturdu. Bu ardışık istasyon dizisinde B modeli plastik tabanlı ürün üretildiği sırada 2 eleman çalışmasına rağmen Ax metal tabanlı ürün üretime başladığında toplamda 3 elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sebeplerinden biri operasyonel olarak dizilim ve bir diğeri ise gelen kişinin istasyondaki zamanı azaltıyor olmasıdır.

İlk olarak iki istasyondaki bütün operasyonların süreleri ve bunların hangi varyantlar için gerekli olduğu belirlendi. (Tablo 2) Ardından bu operasyonlar iki istasyona eşit süreye tekabül edecek şekilde tekrar dağıtıldı. Önceki modelde benzer ürünler üretilirken iki istasyon arasında 9.44 saniyeye kadar üretim farkı gözlemlenebiliyorken yeni model ile bu süre maksimum 6.27 saniye olacak şekilde ayarlanmıştır. Modeller arasındaki detaylı fark EKLER’de görülebilmektedir.

4. Uygulama Planı

Önerilen modelin denenme sürecinde gerekli ekipmanların yerleri tekrar ayarlanmıştır ve bu ayarlamaların ardından gerekli operasyonlar istasyonlardaki elemanlara atanmıştır. Ardından deneme üretimi yapılarak modelin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Model Ax üretimi için de iki kişinin yeterli olabileceği bir imkan sunmuştur.

Op.1	Hepsi	2,74
Op.2	Hepsi	1,73
Op.3	Hepsi	2,16
Op.4	(Ax-B) V için	0,58
Op.5	(Ax-B) V için	1,58
Op.6	Hepsi	5,62
Op.7	Hepsi 311'de kesin	5,26
Op.8	Hepsi	2,88
Op.9	Ax	7,20
Op.10	Ax	5,33
Op.11	Hepsi	2,59
Op.12	B	2,59
Op.13	B V için	4,32

Tablo 2: 311-312 Numaralı İstasyonların Operasyon Süreleri ve Modele Göre Operasyonun Gerekisini

5. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Projemizin ana hedefi, üretim hattındaki dengesizlikleri geniş çaplı bir optimizasyonla ortadan kaldırmaktır. Bu bağlamda fabrikada üretilen bulaşık makinesi modellerini daha ayrıntılı inceleyebilmek için iki gruba ayırdık. Bu gruplar üretim hattındaki sabit iş gücü ile üretimi tamamlanabilen ve üretim hattında ekstra iş gücü gerektiren ürünleri kapsıyor. Mevcut üretim sisteminde, belirli bir sayıdaki ek iş gücü, gerekli istasyonlarda gereken zamanda olmak üzere kullanılıyor. Ancak üretim planı ve müşterilerin talepleri değişkenlik gösterebildiği için optimal ekstra iş gücü belirlenemiyor. BSH Şirketi kullanılan iş gücü ve üretim maliyetlerini değerlendirmek için DEP adı verilen formülasyonu kullanıyor. DEP firmaya üretkenliği ve verimliliği ölçme hususunda yol gösteriyor.

Birim ürüne düşen katılım süresinin azalması, DEP değerinin artması, dolayısıyla fabrikanın hedefine ulaşması anlamına geliyor. Birim ürüne düşen çalışan katılım süresini azaltmak için, ek iş gücünün gerektiği istasyonlar başta olmak üzere üretim hattındaki bütün istasyonları sırasıyla inceledik. Amacımız kendi oluşturduğumuz hiyerarşik sıraya göre döngü süresini aşmadan hat dengeleme işlemi başarıyla sağlamaktı. Bu hiyerarşik yaklaşımda ilk aşamada üretim hattında birleştirebileceğimiz istasyonların olup olmadığını kontrol ettik. İkinci olarak birleştirmeye olanak olmayan istasyonlarda yapılan işlemleri uygun başka istasyonlara aktarıp aktaramayacağımızı kontrol ettik. Son aşamada

ise, tamamen aktaramadığımız işlemlerin içindeki iş yükünü dağıtarak fazla iş gücü gerekliliğini azaltmaya yönelik kontrollerimiz oldu.

Bu süreç boyunca yaptığımız çalışmalar, raporlar, toplantılar ve fabrika ziyaretleri ile hedefimizi başarıyla gerçekleştirmeyi planlıyoruz. Bulduğumuz sonuçlara göre vardiya sayısı hesaba katıldığında, 312 numaralı istasyonda gereken ek iş gücü kadrosunda 5 farklı vardiyada toplam 5 kişilik bir azalma gerçekleştirilebilir. Bu oran yaklaşık %1.1'lik bir geliştirmeye tekabül ediyor. Ayrıca 5 kişilik kadronun genel olarak günlük %23 oranında üretilen modellerde çalıştığı göz önünde bulundurulursa, DEP değerinin arttırılmasında ve üretim masraflarının azalmasında ciddi anlamda bir iyileştirme sağlanabilir. Türkiye şartlarında ortalama bir işçinin işverene maliyeti, maaş, sigorta ve fon giderleri ele alındığında 3100-3350 TL gibi bir sayıya denk geliyor. Bu giderler 5 kişi açısından hesaplandığında, yaklaşık 15500- 16750 TL aylık gider iyileştirmesi ortaya çıkıyor.

KAYNAKÇA

- Buxey, G. M.. 1974 “Assembly Line Balancing with Multiple Stations.” *Management Science*, vol. 20, no. 6, pp. 1010–1021., doi:10.1287/mnsc.20.6.1010.
- Christmansson, M., et al. 2000 “Modified Method Time Measurements for Ergonomic Planning of Production Systems in the Manufacturing Industry.” *International Journal of Production Research*, vol. 38, no. 17, pp. 4051–4059., doi:10.1080/00207540050204911.
- Townsend, Beverly. 2012. “The Basics of Line Balancing and JIT Kitting”, *CRC Press*, Taylor and Francis Group, US.
- T. El-Rayah. 1979 “The effect of inequality of interstage buffer capacities and operation time variability on the efficiency of production line systems,” *International Journal of Production Research*, vol. 17, no 1, pp.77-89.

EKLER

Eski Dizilimi

İLK BAŞTAKİ 311 OPERASYONLARI	B MODELLERİ			Ax MODELLERİ		
	SOLO	INT	V	SOLO	INT	V
Op.1	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Op.2	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Op.3	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Op.4	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,58
Op.5	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	1,58
Op.6	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Op.7	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
TOTAL	17,50	17,50	19,66	17,50	17,50	19,66

İLK BAŞTAKİ 312 OPERASYONLARI	B MODELLERİ			Ax MODELLERİ		
	SOLO	INT	V	SOLO	INT	V
Op.8	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Op.9	0,00	0,00	0,00	3,17	3,17	3,17
	0,00	0,00	0,00	4,03	4,03	4,03
Op.10	0,00	0,00	0,00	1,44	1,44	1,44
	0,00	0,00	0,00	1,15	1,15	1,15
	0,00	0,00	0,00	1,58	1,58	1,58
	0,00	0,00	0,00	1,15	1,15	1,15
Op.11	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Op.12	2,16	2,16	2,16	0,00	0,00	0,00
	0,43	0,43	0,43	0,00	0,00	0,00
Op.13	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00
TOTAL	8,06	8,06	12,38	18,00	18,00	18,00

Yeni Dizilimi

YENİ 311 OPERASYONLARI	B MODELLERİ			A _x MODELLERİ		
	S	I	V	S	I	V
Op.1	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Op.2	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Op.3	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Op.4	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,58
Op.7	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Op.11	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
TOTAL	14,48	14,48	15,056	14,48	14,48	15,056

YENİ 312 OPERASYONLARI	B MODELLERİ			A _x MODELLERİ		
	S	I	V	S	I	V
Op.5	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	1,58
Op.9	0,00	0,00	0,00	3,17	3,17	3,17
	0,00	0,00	0,00	4,03	4,03	4,03
Op.10	0,00	0,00	0,00	1,44	1,44	1,44
	0,00	0,00	0,00	1,15	1,15	1,15
	0,00	0,00	0,00	1,58	1,58	1,58
	0,00	0,00	0,00	1,15	1,15	1,15
Op.12	2,16	2,16	2,16	0,00	0,00	0,00
	0,43	0,43	0,43	0,00	0,00	0,00
Op.13	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00
Op.6	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
TOTAL	8,208	8,208	14,112	18,144	18,144	19,728

Tedarik Zincirinin Performansını Geliştirme Odaklı Dinamik Üretim Seviyelendirme Sistemi Tasarımı

BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

Yaren Doğan, Yiğit Gülöksüz, Bersu Karadayı, Mert Can Polat,
Yağız Suğür, Umut Taşkiranlı, Büşra Tekin

Şirket Danışmanı

Burcu Büyükatdeş
Bölgesel Tedarik Zinciri Bölümü
Proje Lideri

Akademik Danışman

Prof. Dr. Mustafa Ç. Pınar
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

BSH'nın Çerkezköy Fabrikasında dondurucu hattını hedef alan bu projenin amacı, değişken müşteri taleplerine hızlıca cevap verirken üretimin verimliliğini düşürmeyecek dinamik bir üretim sistemi oluşturmaktır. Bu süreçte, ilk olarak problem tanımı için seviyelendirme çalışmaları üzerine literatür araştırmaları yapılmıştır. Probleme daha iyi bir yaklaşımda bulunabilmek için şirketin lojistik ve müşteri talebi verilerine dayanan sezgisel yöntemlere başvurulmuş ve sonrasında Microsoft Excel programında Makro aracılığıyla kodlama çalışması yapılarak üretim için gerekli olan parametreler girildiğinde iyileştirilmiş üretim planını ve planın performans göstergelerini kullanıcıya sunan bir arayüz geliştirilmiştir. Eski veriler ile karşılaştırma yapıldığında üretim sisteminin daha esnek olduğu ve aynı zamanda da servis seviyesini iyileştirirken üretimin verimliliğinin de korunduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seviyelendirme, üretim sıklığı, servis seviyesini iyileştirme, sezgisel yöntemler

1. Şirket Tanıtımı

Bosch Siemens Ev Aletleri grubu 13 Ocak 1967 tarihinde Bosch ve Siemens şirketlerinin işbirliği ile kurulmuştur. Günümüzde şirket, dünya genelinde 43 fabrikada üretim yaparak 48 ülkede 80 farklı markayla hizmet vermektedir. B/S/H/ sektöründe Avrupa'nın en büyüğü olmasının yanında Dünya genelinde de 2.sırada yer almaktadır. 2015 yılında Siemens'e ait tüm hisseler Bosch tarafından satın alınmıştır. B/S/H/, toplamda 60.000 kişinin üzerinde çalışana istihdam sağlamaktadır ve 2017 yılında 13.8 milyar euro gelir sağlamıştır. Ürün yelpazesinde bulaşık makinesi, fırın, çamaşır makinesi, buzdolabı, kurutucu, klima ve kahve makinesi gibi ürünler bulunmaktadır. 2014 yılında başlattığı yeni projeye beraber verimlilikten ziyade müşteri memnuniyeti ve servis kalitesi gibi konulara odaklanmaya başlamıştır.

B/S/H/ grubunun en büyük üretim tesisi Çerkezköy/Tekirdağ'da bulunmaktadır. Tesis 550.000 m² alana kurulmuş olup, yılda 6.3 milyon adetlik üretim kapasitesine sahiptir. Çerkezköy tesisinde toplamda 67.000 m² kapalı alanı kurulmuş olan 5 farklı fabrika bulunmaktadır. B/S/H/ Türkiye'nin mevcut durumunda ülkedeki en büyük yabancı yatırımcı konumundadır. B/S/H/ Türkiye 8.000'e yakın çalışanı ve 4 markasıyla hizmet vermektedir. Bu markalar; Bosch, Siemens, Profilo ve Gaggenau'dur. B/S/H/ Türkiye, 2017 yılında 1.8 milyar euroluk satış hacmine ulaşmıştır ve pazar payı % 30.1'dir. Aralarında Afrika, Orta Doğu, Orta Asya Ukrayna, Rusya ve Belarus gibi bölgeleri içinde barındıran RTC bölgesinin sorumluluğu B/S/H/ Türkiye'ye verilmiştir.

2. Sistem Analizi

B/S/H üretim sisteminde iki ana prensip kullanılmaktadır. Ürünlerin %50'si seviyelendirme, geriye kalan %50'si ise tam zamanında üretim prensibine göre üretilmektedir. Firma güncel olarak itme seviyelendirme sistemini kullanmakta olup, ilerleyen süreçte çekme seviyelendirme sistemini kullanmayı hedeflemektedir. İtme sisteminde, ne kadar sayıda üretim yapılacağıının belirlenmesi için odak noktası tahmin yöntemidir. Çekme sisteminde ise bir kanban uygulaması olan süpermarket prensibi kullanılarak üretim yapılmaktadır.

B/S/H Çerkezköy fabrikasında ürünler talep miktarlarına göre kategorize edilmektedir ve bu aşamada ABC/XYZ analizi kullanılmaktadır.

ABC analizi ürünleri talep miktarlarına göre kategorilerine ayırmak için kullanılır. A olarak adlandırılan ürünler talebin çok yoğun olduğu ürünlerken, B olarak adlandırılan ürünlerin talep miktarları daha normal seviyelerdedir. C olarak analiz edilen ürünler ise talebi düşük olan ürünlerdir.

XYZ analizi ise ürünlerdeki dalgalanmayı göstermektedir. Ürünlerdeki dalgalanmayı analiz ederken geçmiş dönemlerdeki taleplerin standart sapmasından faydalanılır. X olarak analiz edilen ürünler standart sapmanın az olduğunu gösterir. Bu tarz ürünler için talep dalgalanması oldukça azdır. Y

olarak belirlenen ürünlerin standart saplamaları ortalama düzeydedir. Z olarak belirlenen ürünlerin ise standart saplamaları yüksektir ve talepleri dönemsel olarak oldukça yüksek değişiklikler gösterir.

Yukarıda açıklanan analize göre ürünler runner veya egzotik olarak gruplara ayrılır. Runner ürünler yüksek talebi olan ürünlerden oluşmakta olup egzotik ürünleri ise düşük talepli ürünleri oluşturur. Sonuç olarak bu ürünler runner veya egzotik olmalarına bağlı olarak farklı miktarda depolanırlar.

Runner ürünlerin üretiminde üretim fazlası ürünler sonradan kullanılmak üzere depolanır ve kısa zamanda envanterden çıkışının gerçekleşmesi beklenir. Ancak ihtiyaç fazlası egzotik ürünlerin oluşması durumunda, depolanan bu ürünlerin envanterden çıkışı hızlı sağlanamayacağı için ileriye dönük üretim tahminleri tekrar gözden geçirilir. Bunun yanında, egzotik ürünlerin talepten az üretilmesi durumunda müşteri memnuniyeti düşer. Bu problemi çözmek için tahminler tekrardan analiz edilir.

3.Proje Kapsamı

3.1 Projenin Hedefleri ve Kapsamı

Proje kapsamında, verimliliği ön planda tutan geleneksel üretim anlayışı ile talep odaklı olan yenilikçi üretim anlayışı etkili bir şekilde harmanlanmaya çalışılmıştır. Oluşturulan yeni sistemin odağında ise servis seviyesi ve envanter seviyesinin iyileştirilmesi yer almaktadır. Talep odaklı olan yenilikçi üretim anlayışı müşterinin taleplerine karşı daha esnek bir yapıdadır ve bu sayede servis seviyesini ön planda tutar. Ayrıca, şirketin kısa vadede satamayacağı ürünlerini envanterde tutmasını önlemiş olur. Yapılmış olan seviyelendirme çalışmasında, gerçek hayatın getirdiği kısıtlar göz önünde bulundurularak servis ve envanter seviyesini mümkün olan en iyi seviyede tutacak olan parti büyüklükleri ve bu parti büyüklüğünün üretim sıklığı bulunmuştur.

3.2 Problemin Tanımı

Müşteri taleplerinin değişkenlik göstermesi ve dalgalanması şirketlerin üretim planlarını etkileyen en önemli problemlerin başında gelmektedir. Geleneksel üretim anlayışına göre, kısa zamanda daha çok adet ürün üretmek verimli ve başarılı olmanın göstergesi sayılmaktadır. Günümüzde ise, başarılı olmak doğru zamanda doğru adet ürün üretmeye ve bu ürünleri en kısa zamanda müşteriye ulaştırmaya bağlı bir hale gelmiştir.

Birim zamanda stoğa çok fazla ürün üretmek şirketlerin envanter seviyesini ciddi şekilde arttırır. Envanter seviyesinin artması ise şirkete ilave bir maliyet getirir. Şirketler bu maliyeti azaltmak için doğru zamanda doğru miktarda üretim yapmalıdır. Buna karşılık, müşteriden gelebilecek yüklü miktardaki bir siparişe karşı da hazırlıklı olmak zorundadırlar. Sadece envanter seviyesini düşük tutmayı amaçlayan bir üretim stratejisi olası yüksek adet içeren siparişleri karşılayamaz ve bu durum servis seviyesini kötü yönde etkiler.

Proje kapsamında belirlenmesi gereken parti büyüklükleri tüm bu kısıtları göz önünde bulundurarak şirketin en doğru stratejiyi belirlemesine yardımcı olmak zorundadır.

4. Literatür Araştırması

Bu bölümde literatürde benzer seviyelendirme örneklerinden bahsedilecektir. B/S/H' in seviyelendirme sistemi ile ilgili hazırladığı yazılı kaynaklardan elde edilen bilgiler doğrultusunda iki çeşit seviyelendirmenin mevcut olduğu görülmüştür. Bunlar aile bazlı seviyelendirme ve ürün bazlı seviyelendirme sistemidir. B/S/H'ın kullandığı ürün (VIB) bazlı seviyelendirme ile üretim sistemlerinde kullanımı daha yaygın olan aile bazlı seviyelendirme arasında benzer metodlar bulunmaktadır. (Bohnen,2013) Seviyelendirme sisteminde her ürün/aile çeşidi belirli bir period içerisinde üretilir ve buna EPEI adı verilir. Ürünler runner ve egzotik olarak gruplandırılırken hacimleri ve talep miktarları göz önünde bulundurulur. (Buhl,2017) Aile bazlı seviyelendirme yaygın ve geleneksel seviyelendirme türüdür ve ürünleri sahip olduğu ortak özelliklere göre ailelere ayırır. Aile bazlı seviyelendirmeye bir örnek olarak model kodu 123ABC olan tek kapılı soğutucuların hepsi ortak bir aile olarak düşünülebilir.

5. Problem Çözümü

Tedarik zincirinin performansını geliştirmeyi hedef alan dinamin üretim seviyelendirme sisteminde, ürünlerin müşterilere en kısa zamanda ulaştırılması hedef alınmıştır. Ürünlerin müşteriye ulaşma süresi, servis seviyesini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle, ürünlerin üretilme sıklığı (EPEI değerleri) belirlenirken sevkiyat günleri göz önünde bulundurulmuştur. Bütün ürünler için, her biri iş günlerini temsil eden 5 sütunluk bir dizi oluşturulmuştur. Bu dizide “0” o gün içerisinde sevkiyat olmadığını gösterirken, o gün içerisinde sevkiyat olduğunu göstermek için “1” kullanılmıştır. EPEI değerleri aşağıda belirtilen yöntemlere göre belirlenmiştir. Sevkiyat günlerinin “0” ve “1” olarak nasıl kullanıldığı Ek 1’de gösterilmiştir.

- Oluşturulmuş olan 5 sütunluk dizide, ardışık 2 gün boyunca sevkiyat yoksa ürünün EPEI değeri 3 olarak belirlenmiştir. Örneğin; Pazartesi ve Salı günü sevkiyatı olmaması durumunda ürünün üretim sıklığı 3 günde 1 defadır.
- Eğer ürünün sevkiyat günleri arasında birer günlük boşluk varsa, ürünün EPEI değeri 2 olarak belirlenmiştir. Bu durum ürünün her 2 günde 1 kez üretileceğini göstermektedir.
- Eğer ürünün her gün sevkiyatı varsa, bu durumda ürünün EPEI değeri 1 olarak belirlenmiştir. Bu durum ürünün her gün üretilmesi gerektiğini göstermektedir.
- Son olarak, eğer ürünün haftada sadece 1 gün sevkiyatı varsa, ürünün EPEI değeri 6 olarak belirlenmiştir. Bu durum, o ürünün haftada sadece 1 kez üretileceğini gösterir.

Ürünlerin sevkiyat günlerine göre EPEI değerlerinin nasıl belirlendiği yukarıda açıklanmıştır. Ancak, üretim hattının da belirli kısıtları bulunmaktadır. Bu kısıtların en önemlilerinden biri ise önceden belirlenmiş ve sabitlenmiş 12 günlük üretim planında, her bir hat için toplam 144 tane kalıp değişimine hak tanınmış olmasıdır. Örneğin, EPEI değeri 3 olan ürün (Her 3 günde 1 kez üretilen ürün), 12 günlük sabitlenmiş planda toplam 4 tane kalıp değişimine ihtiyaç duyar. Tüm ürünlerin EPEI değerleri sevkiyat günlerine göre belirlendiği zaman, üretim kısıtlarının belirlediği 144 adet kalıp değişim hakkı aşılabilir. Bu durumla karşılaşıldığı zaman seviyelendirme yüzdesini düşürmeden sistemin uygulanabilirliği sağlamak amacıyla aşağıda açıklanan yöntem kullanılmıştır.

Her bir ürün için; $[Talep(i)] / [12/EPEI(i)]$ değeri hesaplanmıştır. Hesaplamaların sonunda $[Talep(i)] / [12/EPEI(i)]$ değeri en düşük olan ürünün EPEI değeri büyütülmüş yani üretim sıklığı düşürülmüştür. Örneğin, EPEI değeri 3 olarak belirlenen ürünün EPEI değeri 6 olarak değiştirilmiş, aynı şekilde EPEI değeri 2 olan ürünün yeni EPEI değeri 3 olarak atanmıştır. Bu işlem toplam kalıp değişim adeti 144'e eşit veya daha düşük olana kadar devam etmektedir.

$[Talep(i)] / [12/EPEI(i)]$ değeri düşük olan ürünün EPEI değerinin değiştirilmesinin nedeni ise 1 birim kalıp değişimde mümkün olan en yüksek adet ürünü üretmektir. Böylece projenin amaçlarından birisi olan seviyelendirme yüzdesi arttırılabilecektir. Bu yöntem kullanılırken “knapsack” algoritmasından esinlenilmiştir. Algoritmada da belirtildiği gibi kısıtların kullanımı azami seviyeye çıkartılarak, seviyelendirme yüzdesini arttırma hedefine en iyi şekilde ulaşılmaya çalışılmıştır.

Ürünlerin EPEI değerleri belirlendikten sonra her bir ürün için parti büyüklükleri belirlenmiştir. Parti büyüklüklerini belirlemek için talep üretim sıklığına bölünmüştür. Yani, $[Talep(i)] / [12/EPEI(i)]$ değeri ürünün parti büyüklüğünü belirlemek için kullanılmıştır. Ancak, parti büyüklükleri, tasarlanan sistemi kullanan kullanıcının sisteme girdi olarak gireceği sayının katları olacak şekilde ayarlanmıştır. Sistem talep miktarına ve kullanıcının tanımladığı katsayı değerine göre parti büyüklüklerini en az 10, en çok 450 olabilecek şekilde belirlenmektedir. Örneğin, $[Talep(i)] / [12/EPEI(i)]$ değeri 10 ile tam bölünemiyorsa, parti büyüklüğü bir üst değere yuvarlanmıştır. Bunun nedeni ise mevcut talebi karşılamak ve servis seviyesinin düşmesini engellemektir.

6. Gelişmeler

6.1 Proje İçerisindeki Gelişmeler

İlk olarak yukarıda anlatılan sistem oluşturulduktan sonra gerekli olan geliştirmeler belirlenmiştir. Hazırlanan ilk sistemde üretim planını belirlerken, envanter seviyesini önemsemeyerek sadece talebe odaklanılıyordu. Ancak, envanter seviyesi hesaba katıldıktan sonra bazı ürünlerin yeterince stoğa sahip

olduğu ve üretilmelerine gerek olmadığı tespit edildi. Güncel sistem envanter seviyesini de dikkate alıyorduk ve böylece daha tutarlı sonuçlar elde edilebiliyor.

Şirketin üretim planı sabitlenecek yani seviyelendirme uygulanacak ürünler için belirlediği bir günlük üretim üst sınırı bulunmaktadır. Eski sistemde ürünlerin birçoğunun üretimi Salı gününe yığılmaktaydı. Bunun nedeni ise birçok ürünün salı günü sevkiyatının olmasıydı. Geliştirilen sistemde günlük üretim üst sınırı göz önünde bulundurulmaya başlanmıştır.

Sevkiyat günleri dikkate alınarak günlük üst sınır aşılmayacak şekilde planlama yapılmıştır. Örneğin; EPEI değeri 3 olan bir ürünün üretim günleri Salı ve Cuma olarak ayarlandığı zaman eğer günlük üretim üst sınırı aşıyorsa, o ürünün yeni üretim planı Pazartesi-Perşembe veya Çarşamba-Cumartesi olacak şekilde değiştirilmiştir. Aynı şekilde, EPEI değeri 2 olan bir ürünün üretim günleri Salı-Perşembe-Cumartesi olarak ayarlandığı zaman kısık sağlanamıyorsa, o ürünün yeni üretim planı Pazartesi-Çarşamba-Cuma olacak şekilde değiştirilmiştir. Son olarak EPEI değeri 6 olan ürünlerin üretim planı bir önceki güne kaydırılmıştır.

Talepleri belirlerken oluşabilecek herhangi bir değişikliğe karşı hazırlıklı olmak için mevcut sisteme tahmin hatası olarak adlandırılacak bir tolerans eklenmiştir. Böylece gerçek hayatta karşılaşılabilecek tedarik sorunu vb. gibi durumlara karşı önlem alınmıştır. Ayrıca bu durum sisteme esneklik kazandırmıştır. Tahmin hatası olarak belirtilen oran ise %10 olarak belirlenmiştir. Sistem taleplere karşı daha esnek bir hal almış ve servis seviyesini olumlu yönde etkilemiştir.

6.2 Geliştirilen Sistemin Başarısı

Mevcut sistem sayesinde şirketin üretim planlamasına seviyelendirme prensibi entegre edilmiştir. Ayrıca dinamikleştirilen sistemle beraber üretimde yaşanan beklenmedik değişimler ve üretimi iptal edilen ürünlerin meydana getirdiği problemlerin fabrikanın günlük üretim planına olan etkisi ortadan kaldırılmıştır. Yeni sistemle beraber seviyelendirme planının verimliliği ve servis seviyesindeki değişimleri gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Koda entegre edilerek tasarlanan kullanıcı arayüzü sayesinde fabrika parti büyüklüğü, talep miktarı, taşıma tarihi, EPEI değerlerini de değiştirebilme şansına sahiptir. Bu sayede üretim planlamasında farklı senaryolar gözlemlenebilir hale gelmiştir. Kullanıcı arayüzünden kesitler Ek 2 ve Ek 3'te gösterilmektedir.

Runner ürünlerin üretim periyotlarındaki düzenleme sonrasında şirket egzotik ürünleri ihtiyacı olduğu zaman üretebilecek ve bu sayede daha esnek bir üretim planına sahip olacaktır. Şirket çalışanlarına görsel açıdan kolaylık sağlama amacıyla seviyelendirme tablosunun otomatik olarak renklendirilmesi sağlanmış ve günlük üretim planı yalın ve kolaylıkla anlaşılabilir duruma getirilmiştir. Tablo Ek 4'te gösterilmektedir. Aynı zamanda mevcut sistemde 12

gün olarak sabitlenmiş üretim planı, geliştirilen yeni sistem sayesinde istenilen şekilde ayarlanabilir duruma getirilmiştir.

Bu geliştirmelere ek olarak Microsoft Excel VBA kullanılarak oluşturulan raporda hangi ürünün ne sıklıkla üretildiği, egzotik ürün sayısı, servis seviyesi, % segmentasyon, ağırlıklı EPEI değeri, minimum parti büyüklüğü ve günlük üretim kısıtlamasını görmek mümkündür. Rapor Ek 5'te gösterilmektedir. Yapılan geliştirmeler sonucunda yeni sistem çamaşır makinesi fabrikasında uygulanmaya başlanmıştır. Özetle yeni sistem sayesinde ne zaman ve ne kadar üretim yapılacağına ürünlerin sevkiyat sıklığına bakılarak karar verilmektedir.

Kullanıcının kullanıcı arayüzü aracılığıyla sisteme girdiği parti büyüklüğü katsayısı, günlük üretim üst sınırı limiti gibi girdilere uygun şekilde üretim planını otomatik olarak hazırlayan sistem, şirkete aynı ürünler için farklı senaryolar kullanıldığında üretimde meydana gelecek değişimleri karşılaştırma fırsatı sunmaktadır.

6.3 Verilerin Karşılaştırılması

6 farklı periyotta yapılan deneme sonuçları 2018 yılının 45. haftasından başlayıp 2019 yılının 8. haftasına kadar yapılan testleri içermektedir. Bu testler sonucunda geliştirilmiş olan yeni model sayesinde ortalama servis seviyesi ilk çalışmada %95'e, ikinci dönem yapılan geliştirmeler ile servis seviyesi ortalaması %98'e çıkmıştır.

18 Şubat-3 Mart üretim planında yapılan uygulama sonucunda eski sistemde EPEI değeri 3 olan 7 ürün ile %94.8 lik bir servis seviyesine ulaşılırken, ürünlerin özelliklerine göre üretim planlamasında uygulanan deseni ifade eden % Segmentasyon değeri % 46 olup ağırlıklı EPEI değeri ise 3'tür. Önerilen yeni sistem sonrası EPEI değerlerinin tamamı değişmiş olup EPEI değeri 1 olan 7 ürün, EPEI değeri 2 olan 3 ürün ve EPEI değeri 3 olan 1 ürün vardır. Ayrıca geliştirilen yeni sistem sayesinde servis seviyesi %98.2 düzeyine ulaşmış olup % Segmentasyon ise %63.4 değerine çıkmıştır. Ağırlıklı EPEI değeri ise 3'ten 1.21'e düşürülmüştür ve bu gelişme ürünlerin daha sık bir şekilde üretildiğini göstermektedir.

Özet olarak yeni sistem sayesinde seviyelendirme konseptine ayrılan kapasite daha etkili kullanılmış ve % Segmentasyon artırılmıştır. Bunun yanı sıra EPEI değerlerindeki değişim ile üretim daha küçük partilerde daha sık yapılmış ve servis seviyesinde artış görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Anagnostopoulos, Konstantinos P., and Georgios K. Koulinas. "A simulated annealing hyperheuristic for construction resource levelling." *Construction management and economics* 28.2 (2010): 163-175.

- Bohnen, Fabian, et al. "Using a clustering approach with evolutionary optimized attribute weights to form product families for production leveling." *Robust Manufacturing Control*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. 189-202.
- Bohnen, Fabian, Matthias Buhl, and Jochen Deuse. "Systematic procedure for leveling of low volume and high mix production." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 6.1 (2013): 53-58.
- Fujii, Susumu, et al. "A Basic Study of Auction-based Planning and Scheduling for Cell Manufacturing." *Lean business systems and beyond*. Springer, Boston, MA, 2008. 3-10.
- Furmans, Kai. "Models of heijunka-levelled kanban-systems." 5th International Conference on Analysis of Manufacturing Systems-Production and Management. 2005.
- Mallawaarachchi, V. "Introduction to Genetic Algorithms-Including Example Code." *Towards Data Science* (2017).
- Sahni, Sartaj. "Approximate algorithms for the 0/1 knapsack problem." *Journal of the ACM (JACM)* 22.1 (1975): 115-124.
- Talbi, El-Ghazali. *Metaheuristics: from design to implementation*. Vol. 74. John Wiley & Sons, 2009.

EKLER

Ek 1: Ülkelere göre sevkiyat günlerinin gösterimi

	M	T	W	T	F
ES	1	1	1	0	1
FR	0	1	0	0	1
GB	0	0	0	1	0
IT	0	0	1	1	1
PL	0	0	0	1	0
SE	0	1	0	1	1
TR	1	1	1	1	1
DK	0	0	0	0	1
NL	0	0	0	0	1
CH	0	1	0	0	1

Ek 2: Arayüz kullanarak EPEI değeri belirleme

Microsoft Excel

Maximum EPEI value=

OK

Cancel

Range("T1:Y59")

Application.CutCopy

If you want to change the demand of the selected VIB, please enter new demand

Do you want to stop the production of the selected VIB.If you want, please write "Yes"

Make Changes

```
Next j
Stur = Stur - Cells(i, ...
renkkkkk = renkkkkk
End If
Next i
Loop
Sheets("leveling ...
Range("T1:Y59")
ActiveSheet.Pas...
Application.CutCopy...
Dim xRg As Range
Dim xTxt As String
Dim xCell As Rang
Dim xStr As String
Dim xStr1 As Strin
Dim xRow As Long
Dim xCol As Long
On Error Resume N...
If ActiveWindow.RangeSelection.count > 1 Then
xTxt = ActiveWindow.RangeSelection.AddressLocal
```

Ek 3: Seviyelendirme uygulanacak ürünler için parti büyüklüğü sınırının arayüz kullanılarak belirlenmesi

Microsoft Excel

Exotic label threshold

OK

Cancel

Application.CutCopy

If you want to change the demand of the selected VIB, please enter new demand

Do you want to stop the production of the selected VIB.If you want, please write "Yes"

Make Changes

```
Dim xRg As Range
Dim xTxt As String
Dim xCell As Rang
Dim xStr As String
Dim xStr1 As Strin
Dim xRow As Long
Dim xCol As Long
On Error Resume N...
If ActiveWindow.RangeSelection.count > 1 Then
xTxt = ActiveWindow.RangeSelection.AddressLocal
```


Hammadde Stok Yönetimi Karar Destek Sistemi Tasarımı

Coca-Cola İçecek A.Ş.



Proje Ekibi

Meltem Atlılar, İlayda Çiçekci, Şerife Buse İlhan, Tuana Terkin,
U. Gözde Uğur, Deniz Uluçay, Şerife Yetişkin

Şirket Danışmanı

Gizem Dede

Üretim Planlama Mühendisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Emre Nadar

Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede Coca-Cola İçecek A.Ş. Ankara fabrikası için uygun servis seviyesi altında hammadde stok yönetimini iyileştiren karar destek sistemi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu karar destek sisteminde, hammadde tüketim tahminlerini, envanter seviyelerini, parti büyüklüklerini, termin sürelerini ve son ürün taleplerin sezonsal davranışlarını göz önünde bulunduran bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem, emniyet stoklarını ve termin süresi boyunca gerçekleşmesi beklenen hammadde tüketim miktarlarını dikkate alarak haftalık sipariş verme seviyeleri hesaplamaktadır. Sonrasında da envanter seviyelerine göre haftalık sipariş miktarları belirlenmektedir. Önerilen sistem hammadde ve son ürünleri içeren ürün ağacındaki değişikliklere uyum sağlamaktadır. Bununla birlikte sistem, modele yeni ürün ağacı verileri eklendiğinde hammadde tüketim tahminlerini güncelleyip sipariş miktarlarını da tekrar hesaplayabilmektedir. Bu sayede de şirketin zamanla değişen ihtiyaçlarına uyum sağlaması mümkündür. Önerilen yöntemin şirket tarafından hayata geçirilebilmesi için MS Excel ile kullanıcı dostu bir karar destek sistemi hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Envanter modelleri, karar destek sistemi, tahminleme, sezgisel yöntem, dinamik programlama algoritması, benzetim

1. Şirket Tanıtımı

Coca-Cola sisteminde satış hacmine göre altıncı sırada yer alan Coca-Cola İçecek A.Ş. (CCI) 1964'ten beri Türkiye'de faaliyet göstermektedir. CCI, The Coca-Cola Company (TCCC) markalarının üretim, satış ve dağıtımını gerçekleştiren halka açık bir şirkettir. CCI Türkiye, Pakistan, Kazakistan, Azerbaycan, Kırgızistan, Türkmenistan, Ürdün, Irak, Suriye ve Tacikistan'da 10 bini aşan çalışanı ile faaliyet göstermektedir. CCI toplamda 25 fabrikası ile 400 milyonluk tüketici kitlesine gazlı içecekler, meyve suyu, su, enerji ve sporcu içecekleri, buzlu çay ve çaydan oluşan gazsız içecekler kategorisinde zengin bir ürün portföyü sunmaktadır [1].

2. Mevcut Sistem Analizi

Her yıl CCI İstanbul merkez planlama ofisi tarafından yıllık bütçe planları hazırlanır ve ilgili fabrikalar ile paylaşılır. Bu bütçe planları her ürün grubunun aylık taleplerini jenerik kod bazında gösterir. Bütçeye paralel olarak satış tahminlerini içeren haftalık talepler ürün kodları bazında kırılarak fabrikalara yollanır. Bu sayede haftalık üretim planları oluşturulur.

CCI Ankara fabrikası, gelen haftalık talepleri, hat kapasiteleri, hammadde termin süreleri ve parti büyüklüklerini göz önünde bulundurarak taslak haftalık plan oluşturur. Bu taslak plana göre malzeme siparişleri tedarikçilere iletilir, malzeme terminlerinin teyidinden sonra haftalık planlar günlük olarak uygulanır.

Sistemdeki hammadde yönetimini zorlaştıran üç temel faktör vardır. Bunlardan ilki taleplerdeki ani değişikliklerdir. Talep değişkenliği arttıkça hammadelerde aşırı veya eksik stoklamanın gözlenme ihtimali artar. İkinci faktör, mevsim geçişlerinden dolayı son ürün talebinin ve dolayısıyla hammadde tüketiminin sezonsal bir dağılım göstermesidir. Bu doğrultuda, yılın ikinci ve üçüncü çeyrekleri yüksek sezon, kalan çeyrekler ise düşük sezon olarak tanımlanmıştır. Üçüncü faktör ise tedarikçilerin kapasite kısıtlarıdır. Tedarikçilerin yüksek sezonda artan taleplerden dolayı hammadde siparişlerini karşılamakta zorlanmasıyla beraber bazı hammaddelerin termin süreleri artmaktadır.

3. Problem Tanımı ve Proje Kapsamı

CCI Ankara fabrikasının yaptığı incelemeler sonucunda iyileştirilebilir alan hammadde stok seviyesi yönetimi olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda hammaddelerin aşırı stoklanmasının önüne geçilmesi ve aynı zamanda yetersiz stoktan dolayı üretim yapılamama ihtimalinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Aldığımız verileri analiz ettiğimizde hammadde eksikliğinden kaynaklı üretim iptallerinin göz ardı edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu nedenle çözüm olarak sunulacak olan karar destek sisteminin asıl hedefi aşırı hammadde stoklarının önlenmesi olarak belirlenmiştir. Bu problemi çözmek adına sunduğumuz karar destek sistemi, hedeflenen servis

seviyelerini göz önünde bulundurarak hammadde envanter yönetimini iyileştirmektedir.

Bu projenin kapsamı hammadde tüketim tahminlemesi, sipariş miktarı hesaplaması ve bu hesaplamaların kullanıcı dostu bir şekilde yapılabileceği arayüz tasarımıdır. Şirkete sunduğumuz kullanıcı dostu arayüz, sistemde yenilenmesi gereken belgeler ve bu belgelerin formatları hakkında bilgi veren bir yönerge de içermektedir. Bu sürdürülebilir sistem, hammaddelerin değişen kullanım miktarlarına ve ürün ağacına yeni hammadde eklenmesine uyum sağlamaktadır.

4. Veri Analizi ve Çözüm Yaklaşımı

İlk olarak hammaddeleri termin sürelerine göre üç kategoriye ayırdık. Buna göre birinci kategoride termin süreleri 3 veya 5 gün olan hammaddeler bulunmaktadır. Önerilen sistem her hafta çalıştırılacağından bu kategorideki hammaddeler için verilen siparişler, bir sonraki haftanın üretimi gerçekleşmeden fabrikaya ulaşabilecektir. Bu durumda birinci kategorideki hammaddelerin sipariş miktarlarını, haftalık planda belirtilen üretim rakamlarının rassal olmadığını kabul ederek ve stok seviyelerini göz önünde bulundurarak hesaplıyoruz. İkinci kategoride termin süreleri sabit ve 7, 10, 21, 30 veya 90 gün olan hammaddeler bulunmaktadır. Üçüncü kategoride ise sezona göre termin süreleri değişen hammaddeler bulunmaktadır ve bu termin süreleri düşük sezonda 7 gün iken yüksek sezonda 21 gündür. İkinci ve üçüncü kategorideki her hammaddenin tüketimini tahminlemek için 3 farklı yöntem kullanıyoruz. Ardından, gelecek yılın haftalık tüketim hacimlerini ortalamalar ve standart sapmalar şeklinde tahmin ederek alternatifler arasında en düşük karesel ortalama hata (Root Mean Square Error, RMSE) değerine sahip tahmin yöntemini seçiyoruz.

Birinci kategorideki hammaddeler için üretim planına ve ürün ağacına göre sipariş miktarını belirlerken, ikinci ve üçüncü kategorideki hammaddeler için haftalık talep tahminlerini kullanan sezgisel yaklaşımlarla sipariş verme seviyelerini belirliyoruz. Tahminleme ve envanter yönetimi için çözüm yaklaşımlarının detayları aşağıda anlatılmaktadır.

4.1 Hammadde Tüketim Tahminleme Yöntemleri

Tahminlemenin ilk adımı olarak geçmiş tüketim rakamlarını daha doğru kullanabilmek ve tahminlemede karşılaşılabilecek hataları önlemek amacıyla verilerde ayrıştırma ve birtakım dönüşümler yaptık. CCI Ankara fabrikasında yıllık hammadde tüketim seviyeleri hem trend hem de mevsimsel davranış göstermektedir. Bu nedenle tahminleme metotlarımızı seçerken bu parametreleri dikkate aldık.

Özel bir durum olan promosyonlu ürünlerin hammaddeleri için tahminleme yapmadan önce promosyonlu ürünlerin orijinal ürünlerin yerini aldığını gözlemledik. Bu yüzden tahminleme sonuçlarının yanıltıcı olmaması

için bu hammadelerin tüketimlerini orijinal ürünlerin hammaddelerinin tüketimiyle birlikte değerlendirdik.

Haftalık hammadde tüketim tahmini için üç ana yöntem seçilmiştir: Çoklu Lineer Regresyon, ETS (Üstel Düzgünleştirmede Durum Uzay Modellemeleri) ve ARIMA (Otomatik Regresif Entegre Hareketli Ortalama Modelleri). Bu yöntemlere uygun olan dönüşümler yapıldıktan sonra elde edilen yöntem sayısı üçten fazla olmuştur.

- **Çoklu Lineer Regresyon:** Temel olarak değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılan bir yöntemdir [2][3]. Bu projede, bağımlı değişken haftalık hammadde tüketimi iken, bağımsız değişkenler yılın haftalarıdır. Çoklu lineer regresyonun avantajı, bir veya daha fazla tahmin değişkeninin bireysel etkisini her haftanın tüketim miktarı tahmin değerinde ayırt edebilmesidir.
- **ETS:** Tahmin, geçmiş gözlemlerin ağırlıklı ortalamalarıdır. Bu yöntemde gözlem ne kadar yeni olursa, ilişkili ağırlık da o kadar yüksek olur. Trend ve mevsimsel bileşenlerin kombinasyonlarındaki farklılıklar göz önüne alındığında, dokuz üstel düzeltme yöntemi mümkündür. Her yöntem, “Hata”, “Trend” ve “Mevsimsel” türlerini tanımlayan harflerle (E, T, S) etiketlenir. Her yöntem, gözlemlenen verileri tanımlayan bir ölçüm denkleminde ve gözlemlenemeyen bileşenlerin veya durumların (hata, trend, mevsimsellik) zaman içinde nasıl değiştiğini tanımlayan bazı durum denklemlerinden oluşur. Dolayısıyla bunlar, durum uzayı modelleri olarak adlandırılır [3][4].
- **ARIMA:** Bu yöntem bir zaman serisini tahmin etmek için en genel model sınıfıdır. ARIMA'nın diğer tahmin yöntemlerine göre en büyük avantajı, gözlemlenmemiş verilerle çalışabilmesi ve her veri noktasının hatasını ve bunun için eksik bir değişkeni tahmin etmesidir [4]. ARIMA modelleri verilerdeki otomatik korelasyonları tanımlamayı amaçlamaktadır. ARIMA modellerine, ek mevsimsel terimler eklenerek mevsimsel ARIMA modeli oluşturulabilir.

Her bir hammaddenin tahminleme metodlarını doğrulamak ve en uygununu seçmek için, elimizdeki tüketim miktarlarının ilk yıllarını kullanarak son yıl için tahminleme gerçekleştirdik. Daha sonra tahminlemenin verdiği sonuç ile son yılda gerçekleşen tüketim miktarlarını kullanarak RMSE değerlerini hesapladık ve en düşük hata değerine sahip metodu kullanmaya karar verdik. Bu doğrulama yöntemi için hesaplanan RMSE değerleri ve tahminleme yöntemlerinin bir örneği Ek 1'de gösterilmektedir.

4.2 Envanter Denetimi Politikası

4.2.1. Sabit Termin Süreleri

Dinamik Programlama Algoritması

En iyi envanter denetim politikasına karar vermek için kullandığımız ilk yöntem Dinamik Programlama algoritmasıdır (DP). DP algoritması ile 52 haftalık envanter problemi 52 parçaya bölünerek her periyodun problemi o periyotta gerçekleşen duruma ve bir sonraki periyodun amaç fonksiyonuna bağlı olarak çözülür ve o periyodun sipariş miktarı belirlenir [5]. Termin sürelerinin değişken olduğu durumda siparişlerin üst üste binme ihtimali doğduğu için DP algoritması, yalnızca sabit termin süresine sahip hammaddelerin sipariş verme seviyelerini belirlemek için kullanılabilir.

Problemimizi DP algoritması ile çözebilmek için durum değişkeni olarak envanter pozisyonunu; amaç fonksiyonu olarak ise stok tutma ve eksik stoklama maliyetlerinin toplamını belirledik. Ancak stok tutma ve eksik stoklama birim maliyetleri bilgisine sahip olmadığımız için, birim maliyetleri hedeflediğimiz servis seviyesi olan %95'i sağlayacak şekilde seçtik. Problemin gösterimi aşağıdaki gibidir:

y : envanter pozisyonu, $y \in Z$.

u : sipariş miktarı, $u \in Z$.

t : hafta numarası, $t \in \{1, 2, \dots, 53\}$.

L : termin süresi (hafta cinsinden).

c : eksik stoklama birim maliyeti.

h : stok tutma birim maliyeti.

d_t : t haftasındaki hammadde tüketim miktarı, $d_t \sim N(\mu, \sigma)$.

D_t : $t, t+1, \dots, t+L$ haftalarının toplam hammadde tüketim miktarı.

$$D_t = d_t + d_{t+1} + \dots + d_{t+L}$$

$f_t(y)$: $t, t+1, \dots, 52$ haftalarının eksik stoklama ve aşırı stoklama maliyetleri toplamı, $f_{53}(y) = 0, \forall y$.

$$f_t(y) = \text{minimize } \{E[c \times \max\{D_t - y - u, 0\} + h \times \max\{y + u - D_t, 0\} + f_{t+1}(y + u - d_t)]\} \quad u \geq 0.$$

Problemimizin kapsamının 52 hafta olması ve haftalık tüketim miktarlarının yüksek rakamlara çıkması, DP algoritmasının değerlendirmesi gereken durum sayısını çok arttırmakta ve gerçek problemi çözülemeye hale getirmektedir. Problemi çözülebilir hale getirmek için, durumları uygun tamsayıların katları şeklinde ifade etmeyi ve böylece algoritmanın değerlendirmesi gereken durum sayısını düşürüp çözüm süresini kısaltmayı hedefledik. Böyle bir yaklaşımın performansını ölçebilmek adına da DP algoritmasının ve önerilen diğer yaklaşımların bulunduğu en düşük maliyeti karşılaştırabileceğimiz ve bunları kabul edilebilir sürelerde çözebileceğimiz yeni problemler yarattık. Bu problemler 52 haftadan daha kısa bir planlama süresine sahip olup haftalık tüketimleri nispeten daha azdır. Planlama süresi 8,

10 ve 12 hafta arasında; termin süreleri ise 1, 2 ve 3 hafta arasında değişen 9 farklı problem kümesi üzerinde sayısal bir çalışma gerçekleştirdik. Kendi problemimizi yansıtmaları adına hammadde tüketim miktarları normal dağılım gösterirken haftalık dağılımların ortalamaları da sezonsal bir yapıdadır. Sonuçlarımızın güvenilirliğini arttırmak için hammadde tüketim dağılımının ortalama değerlerini değiştirerek her bir problem kümesi için 10 ayrı örnek oluşturduk. Problem kümeleri ile ilgili detaylı bilgi Ek 2’de bulunmaktadır. Problemimizi küçültmek için durum olarak tanımladığımız envanter pozisyonunu algoritmada parti büyüklüklerinin katları cinsinden ifade ederek toplam durum sayısını azalttık. Fakat bu yaklaşımda muhtemel birçok durumun yok sayılması çözümün performansını bir hayli düşürmektedir.

Oluşturduğumuz problemleri ilk olarak envanter pozisyonunu temsil eden durumları gerçek değerleri cinsinden ifade ederek DP algoritması ile çözdürdük. Bu yöntem ile problemlerin durum uzayları ve maksimum sipariş miktarları Ek 3’te gösterilmiştir. DP algoritmasının performansını göstermek için gerçek değerlerin yanı sıra, durumları 3 ve 5’in katları cinsinden de ifade ederek problemleri çözdürdük. Durumların 3’ün katı cinsinden ifade edildiği yöntemde toplam durum sayısı gerçek problemdekinin $1/3$ ’üne, 5’in katı cinsinden ifade edildiğinde ise $1/5$ ’ine düşmektedir. Dolayısıyla bu yöntemlerdeki işlem sayısı azalmakta ve bunun sonucunda çözüm süresi bir hayli kısalmaktadır.

Ek 4 her bir problem kümesinde tüm yöntemler için ortalama çözüm sürelerini göstermektedir. Ek 5 ise tüm yöntemler sonucu elde edilen ortalama en düşük maliyet değerlerinin DP algoritması ile bulunan en düşük ortalama maliyete olan uzaklığını yüzde cinsinden göstermektedir. Gerçek durumlarla çözülen DP algoritması “DP”, durumların 3’ün katları olarak ifade edildiği “DP3”, 5’in katları olarak ifade edildiği “DP5” şeklinde belirtilmiştir. Ortalama maliyetleri hesaplamak için MATLAB üzerinden tasarladığımız benzetim modelinde, siparişler DP algoritmalarının önerdiği sipariş verme seviyelerine göre, her haftanın hammadde tüketim miktarı tahminleme sonuçlarını kullanarak oluşturulmaktadır. Güvenilir bir karşılaştırma olması adına her bir yöntem için benzetim modelini 20,000 kere çalıştırıp o sonuçların ortalamasını kullandık. Tablolardan da görüldüğü üzere durumları daha büyük tam sayıların katları cinsinden ifade etmek, çözüm sürelerinde kayda değer bir düşüş sağlamakta ancak stok tutma ve eksik stoklama maliyetlerinin toplamında ciddi bir artışa neden olmaktadır.

Sezgisel Yaklaşım:

Envanter seviyelerini gözden geçirip sipariş miktarlarını hesaplama sıklığı endüstriyel danışmanımızın mevcut çalışma düzenine uygun şekilde haftada bir olarak ($R = 1$) ve sipariş verme miktarları ise parti büyüklüklerinin (Q) katı olarak belirlenmiştir. Yarattığımız küçük problemler DP algoritmasıyla

bulunan envanter denetim politikasıyla incelendiğinde, sipariş miktarlarının envanter seviyesini aynı hafta içinde hep aynı noktaya çekmek üzere verildiğini gözlemledik. Böylece envanter problemi için uygun olan politikanın (R, S_t, mQ) politikası olduğuna karar verdik. (R, S_t, mQ) , temel yenileme döngüsü olarak adlandırılan (R, S) politikasının siparişleri parti büyüklükleri ile sınırlandırılan ve değişken davranış gösteren talep altında her periyot için farklı sipariş verme seviyelerine sahip olan halidir. Bu sistemde her R zaman biriminde, envanter pozisyonunu en az S_t seviyesine yükseltmek için parti büyüklükleri olan Q 'nun katları cinsinden sipariş verilir.

Böylelikle DP algoritmasına alternatif olarak problemi (R, S_t, mQ) politikası çerçevesinde ve kabul edilebilir bir süre içinde çözebilecek farklı yaklaşımlar aramaya başladık. Dallery ve Babai tarafından (R, S_t, mQ) politikası altında sipariş seviyelerini hesaplamak için önerilen bir sezgisel yaklaşım bulduk. Bu sezgisel yaklaşımın girdileri; hedeflenen sipariş karşılama oranı, sistemi gözden geçirme sıklığı, hammadde termin süresi, termin süreci boyunca periyot başına talep tahminlerinin ortalaması ve tahminlerin standart sapma değerleridir [6]. Sipariş karşılama oranı, her bir periyotta hammadde talebinin direkt olarak envanterden karşılanan oranı olarak tanımlanmıştır ve şirketle görüşmelerimiz sonucunda %95 olarak belirlenmiştir. Sezgisel yöntem sonuç olarak her periyodun sipariş verme seviyelerini bulur ve (R, S_t, mQ) politikası çerçevesinde her hafta için envanter pozisyonunu o seviyelere çeken sipariş miktarları belirlenir.

Benzetim Modeli ile Sezgisel Yöntemi İyileştirme:

Anlattığımız sezgisel yöntem her periyotta termin süresi ve gözden geçirme sürelerinin toplamı kadar olan zamanı dikkate aldığı için miyopik bir yöntemdir. Bu durum sezgisel yöntemin en iyi çözümü vermeme ihtimalini yaratmaktadır. Sezgisel yaklaşımın önerdiği sipariş verme seviyelerini iyileştirmenin mümkün olup olmadığını görmek için benzetim modeli yazılımı ARENA'nın en iyileme aracı OptQuest ile %95 servis seviyesini sağlayan ve daha düşük toplam maliyeti veren sipariş verme seviyelerini bulmayı hedefledik. Fakat OptQuest'in arama algoritmasının, çoğu problemimiz için en az iki saat sürdüğünü gözlemledik.

Sezgisel yöntemin en iyi çözüme olan uzaklığını saptayabilmek için DP algoritması, benzetim modeli ve sezgisel yaklaşımın benzetim modeliyle elde edilen 20.000 replikasyonunun sonuçlarını karşılaştırdık. Süre sonuçları Ek 4'te, maliyet sonuçları ise Ek 5'te bulunmaktadır.

Stok tutma ve eksik stoklama maliyetleri üzerinden yaptığımız analiz sonucunda sezgisel yöntemin DP algoritmasından, yani en iyi çözümden ortalama %0,25 uzakta olduğunu ve Optquest ile iyileştirilmiş benzetim modelinin de benzer bir uzaklıkta olduğunu gözlemledik. DP algoritması ve benzetim modelinin çözüm için uzun zaman gerektirmesi ve sezgisel yaklaşımın

yeterince iyi çözümler vermesini göz önünde bulundurarak sabit termin süreli hammaddeler için sezgisel yöntemi kullanmaya karar verdik.

4.2.2. Değişken Termin Süreleri

Zaman içinde termin süresinin azaldığı durumda siparişlerin üst üste binme ihtimali doğduğu için DP algoritması bu tip problemlerde doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu sebeple, değişken termin süreli hammaddelerin sipariş verme seviyelerini belirlemek için DP algoritması kullanılamamaktadır. Sabit termin süreli hammaddeler için kullandığımız sezgisel yöntem Dallery ve Babai'nin önerdiği şekliyle değişken termin süreleriyle değil, sabit bir termin süresi ile çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemin değişken termin sürelerine sahip hammadde kategorisinde de iyi çalışabilmesi için geçiş haftalarındaki sipariş verme seviyelerini hesaplamasında bazı değişiklikler yaptık. Örneğin, üç haftalık termin süresinden bir haftalık termin süresine geçerken, sistem yüksek talep sezonunun son iki haftasında herhangi bir sipariş veremez. Onun yerine gerekli siparişler düşük talep sezonunun birinci ve ikinci haftasında verilir. Benzer şekilde bir hafta termin süresinden üç haftalık termin süresine geçerken yüksek talep mevsiminin ilk üç haftasında gelmesi gereken siparişler düşük talep sezonun son iki haftasında verilir. Böylelikle termin süreleri azaldığında siparişlerin teslim zamanlarının üst üste gelmesini önlemeyi, termin süreleri arttığında ise siparişlerin tesliminde yaşanabilecek gecikmeye engel olmayı hedefliyoruz.

Sabit termin süreli hammaddeler için yaptığımız gibi, sezgisel yöntemin, önerdiğimiz güncellenmiş versiyonunun ve en iyileme aracı OptQuest'in önerdiği sipariş verme seviyelerinin performanslarını karşılaştırdık. Değişken termin süreli ve gerçek problemimizden daha küçük olan problemler üzerinde üç yöntemin de sonuçlarını analiz ettik. Kurduğumuz 12 haftalık problemlerin her birinde termin süreleri aynı gerçek problemimizde olduğu gibi 1 haftadan 3 haftaya çıkmaktadır. Oluşturulan 5 problemde haftaların beklenen taleplerinin ortalaması ve standart sapmaları değişmektedir. Çözüm sonuçları her bir kümedeki 5 problemin ortalaması cinsinden Ek 6'da bulunmaktadır. Bu problemler üzerinde yaptığımız analizlerimizin sonucunda, sezgisel yaklaşımı değişken termin sürelerine uyarlamak için yaptığımız değişikliklerin bu değişiklikler yapılmamış halinin toplam maliyetini ortalama %60 düşürdüğünü gördük. Daha sonra önceden tasarladığımız ARENA benzetim modelini de değişken termin sürelerine uyarlayıp güncellenmiş sezgisel yöntemin önerdiği sipariş verme seviyelerini geliştirip OptQuest'i yeniden kullandığımızda maliyette ortalama sadece %0.07'lik bir gelişme görebilmişken çözüm sürelerinin her bir hammadde için en az 1 saat olduğunu gözlemledik. Böylece sezgisel yöntemin güncellediğimiz halini değişken termin süreli hammaddeler için kullanmaya karar verdik.

5. Karar Destek Sistemi ve Kullanıcı Arayüzü

Karar destek sistemi ve kullanıcı arayüzü, projemizin ana çıktısıdır. Kullanıcı arayüzü geliştirilmesindeki amaç karar destek sisteminin çalışması için gereken girdileri kullanıcıdan alarak haftalık hammadde sipariş miktarlarını kullanıcıya sunmaktır. Sistem her hafta çarşamba günü, haftalık plan geldiğinde, birinci kategorideki hammaddeler için haftalık plana ve ürün ağacına göre haftalık tüketim miktarını hesaplayıp o haftanın stok seviyesine ve yolda olan siparişlerine de bakarak sipariş miktarını hesaplar. İkinci ve üçüncü kategorideki hammaddeler için tahminleme değerlerinin ortalamasını ve standart sapmalarını, stok seviyelerini ve yolda olan sipariş miktarını baz alarak sezgisel modeli tetikleyip sipariş miktarını hesaplar.

Arayüz, her çarşamba haftalık plan belirlendiğinde çalışacak şekilde Excel VBA'de tasarlanmıştır. Anasayfadan, “Inventory Decision Support System” (Envanter Karar Destek Sistemi) tuşuna tıklanıldığında hammadde sipariş miktarının hesaplanabilmesi için Ek 7’de yer alan takip edilmesi gereken yönergede, “Calculate Order Quantities” (Sipariş Miktarını Hesapla) ve “Production vs. BP (Bütçe Planı)” (Bütçe Kıyaslama) tuşları mevcuttur. Bu yönergede arayüze eklenmesi gereken girdiler ve güncellemeler açıklanmaktadır. Hammadde sipariş miktarlarının hesaplanması için kullanıcıdan istenilen girdiler o haftanın haftalık planı, hammaddelerin güncel stok miktarları ve güncellenmiş haftalık üretim miktarlarıdır. Bu girdilerin dışında yeni bir ürün eklenmesi veya BP’nin değişmesi durumunda kullanıcı arayüzünde de bu verilerin bulunduğu Excel sayfalarının güncellenmesi gerekmektedir. Bu adımlardan sonra “Calculate Order Quantities” tuşuna basıldıktan sonra o hafta için fabrikada bulunan her hammadde için ne kadar sipariş verilmesi gerektiği Ek 8’deki gibi “Order Quantities” (Sipariş Miktarları) sayfasına yazılmaktadır. “Production vs. BP” tuşuna basıldığında ise üretim planlama mühendisini uyarmak için yapılan bütçe karşılaştırılması Ek 9’da yer alan “Alarm” sayfasına yazılmaktadır.

Excel VBA’de tasarlanan kullanıcı arayüzü dışında her senenin sonunda güncellenmiş tüketim rakamları kullanılarak, her hammadde için bir sonraki yılın haftalık tüketim tahminlerinin yapılabilmesi için R Studio’nun bir paketi olan Shiny’de bir arayüz tasarladık. Bu arayüz üretim planlama mühendisinin her aralık ayının sonunda elindeki eski tüketim rakamlarına yenilerini de ekleyip hazırladığı Excel sayfasını bu arayüze yüklemesi ile çalışacaktır. Çıktı olarak da bir sonraki yılın haftalık tüketim tahminlerini verecektir. Daha sonra bu çıktıyı karar destek sisteminin bulunduğu Excel dosyasına yüklediğinde karar destek sistemi güncellenmiş olacaktır.

7. Geliştirilen Sistemin Başarısı

Tasarladığımız karar destek sistemi şirketin belirlediği servis seviyesinden ödün vermeden ay sonu stoklarını önemli oranda azaltılmasına

yardımcı olur. Sistem, geçmiş tüketim değerlerine bakarak gelecek haftaların hammadde tüketim tahminlerini çıkardığı için şirketin merkezden aldığı senelik planlardan daha detaylı ve gerçekçi bir öngörü sunabilir. Bu durumda üretim planlama mühendisi geleceği daha sistematik öngören bir sistemle çalışarak gerekli aksiyonları daha etkili bir şekilde alma fırsatı bulabilir. Bu sayede üretim planlama mühendisi, stok yönetimi ve sipariş miktarı hesabı için ayırdığı vakitten tasarruf edebilecektir.

Geliştirilen kullanıcı dostu sistem şirketin hali hazırda kullandığı bir program olan Excel üzerinden hazırlanıp teslim edileceği için mevcut sistemle uyumlu çalışıp hiçbir ekstra masraf çıkarmayacaktır. Bunlara ek olarak kullanıcı, arayüzün fonksiyonları aracılığıyla BP ile aylık üretim değerlerini de kıyaslayabilecektir.

Son iki kategoriden alınan üç farklı hammadde için uygulanan pilot karar destek sisteminin verdiği sipariş miktarları ve şirketin sistemi kullanmadan verdiği sipariş miktarları sonucunda ulaşılan envanter seviyeleri karşılaştırılmıştır. 2.kategoriden Separator Karton 960 cm x 1160 cm, 3.kategoriden Shrink 47 cm 50 Mikron ve son olarak 3.kategoriden olup promosyon ve jenerik ürünlerini birleştirdiğimiz hammadde olan Coca Cola Orjinal Closure seçilmiştir. 2019'un 16. ve 17. haftaları için yapılan pilot uygulamada eksik stoklama görülmediği gibi, stokta azalmalar görülmüştür ve iyileştirme oranları aşağıdaki gibidir:

- Separator Karton 960x1160: %31
- Shrink 47 cm 50 Mikron: %25
- Coca Cola Orjinal Closure: %6

Detaylı değerler Ek 10'da gösterilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] “Coca Cola Company: Bizi Tanıyın”, [Online]. Available: <https://www.cci.com.tr/bizi-tan%C4%B1y%C4%B1n>. [Accessed Nov. 10, 2018].

[2] S. Chatterjee and A. S. Hadi, “Regression Analysis by Example” Wiley Series in Probability and Statistics, Oct. 2006.

[3] Raymond H Myers. “Classical and Modern Regression with Applications”. P, 1990.

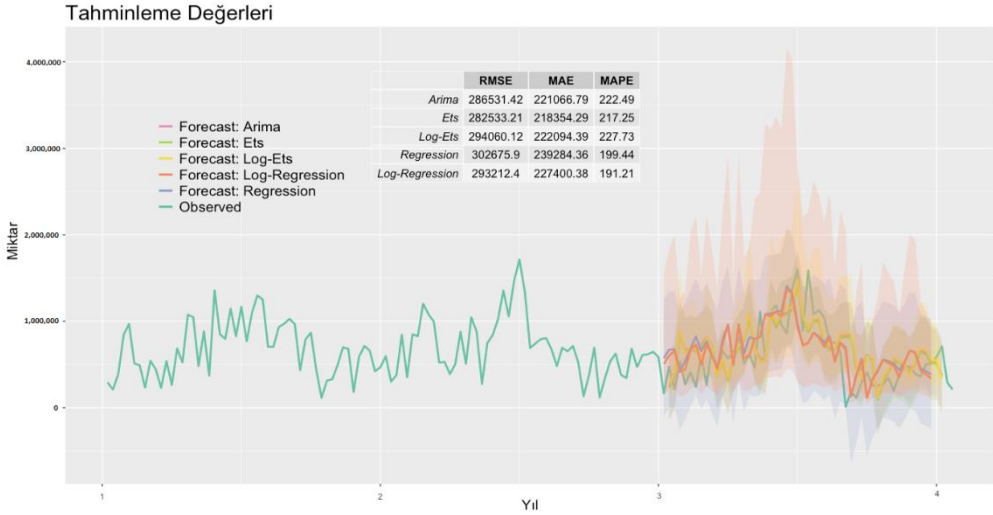
[4] Nikolaos Kourentzes & Fotios Petropoulos, “Forecasting with R: A Practical Workshop”. [Online]. Available: [http://kourentzes.com/forecasting/wp-content/uploads/2016/06/Forecasting-with-R-n\[tes.pdf](http://kourentzes.com/forecasting/wp-content/uploads/2016/06/Forecasting-with-R-n[tes.pdf). [Accessed: 5-Jan-2018].

[5] Bertsekas D. "Dynamic Programming and Optimal Control". 3rd ed. Belmont, Mass.: Athena Scientific, 2005.

[6] Y. Dallery, Z. Babai. "Inventory Management: Forecast Based Approach vs. Standard Approach". International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM05), May 2005, Marrakech, Morocco. 2005.

EKLER

Ek 1: Tahminleme Örneği



Ek 2: Oluşturulan Problemlerin Büyüklükleri Ve Termin Süreleri

Problem Kümeleri	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Problem Büyüklüğü	8 hafta	10 hafta	12 hafta	8 hafta	10 hafta	12 hafta	8 hafta	10 hafta	12 hafta
Termin Süresi	Termin Süresi = 1 hafta			Termin Süresi = 2 hafta			Termin Süresi = 3 hafta		

Ek 3: DP Algoritmasında Her Bir Problemin Sahip Olduğu Durum Uzayları Ve Maksimum Sipariş Miktarları

Problem Kümeleri	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Durum Uzayı	$y = \{-25, -24, \dots, 0, \dots, 124, 125\}$			$y = \{-50, -49, \dots, 0, \dots, 199, 200\}$			$y = \{-75, -74, \dots, 0, \dots, 374, 375\}$		
Sipariş Miktarı	$u \leq 30$			$u \leq 70$			$u \leq 120$		

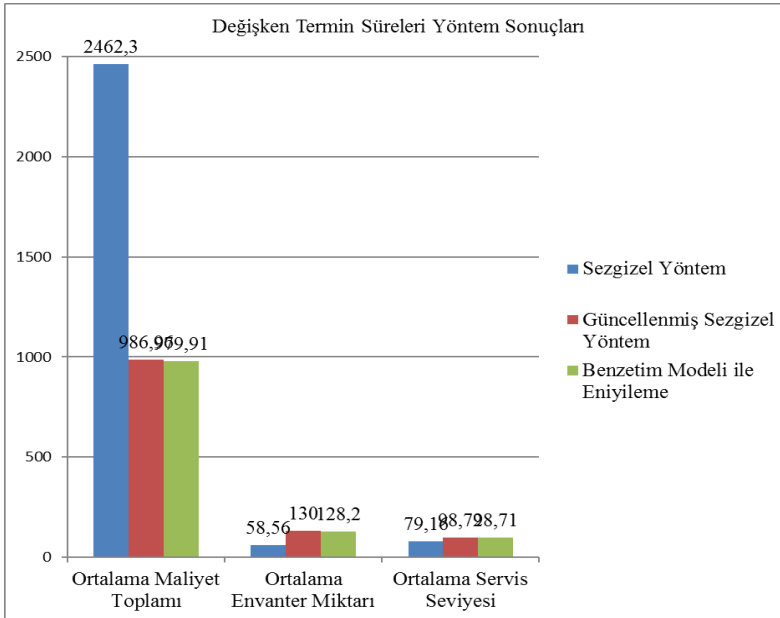
Ek 4: Envanter Yöntemleri Ortalama Çözüm Süreleri

Problem Kümeleri	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DP	480 sanive	720 sanive	1.320 sanive	900 sanive	1.620 sanive	2.040 sanive	1.740 sanive	2.460 sanive	3.420 sanive
DP3	8 sanive	10 sanive	22 sanive	25 sanive	32 sanive	36 sanive	48 sanive	52 sanive	74 sanive
DP5	5 sanive	6 sanive	11 sanive	22 sanive	25 sanive	31 sanive	39 sanive	45 sanive	56 sanive
Sezgisel Yaklaşım	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive	~0 sanive
Benzetim Modeli	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive	>7.200 sanive

Ek 5: Envanter Yöntemi için Çözüm Yaklaşımlarının Ortalama Maliyetlere Göre Karşılaştırması

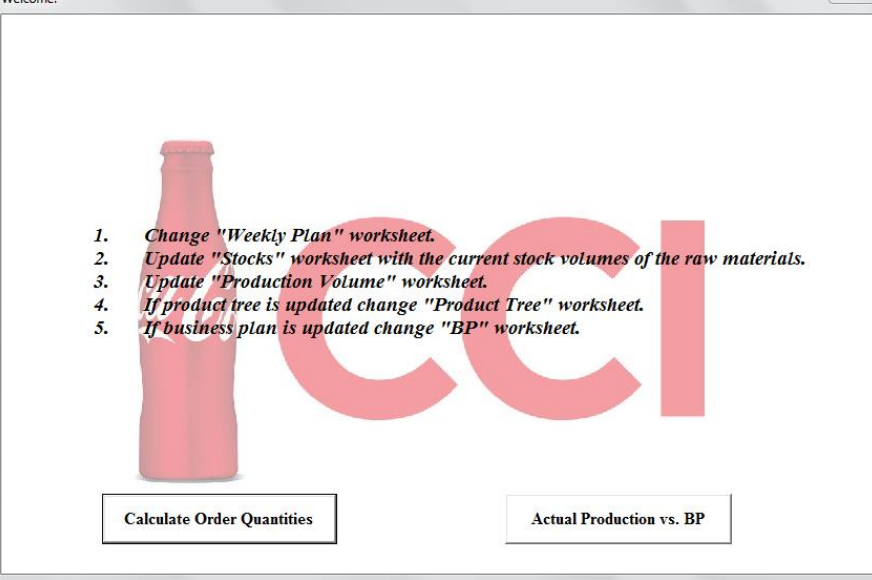
Problem Kümeleri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ortalama
DP3	%30,95	%33,15	%26,12	%28,11	%48,58	%43,6	%18,36	%38,37	%41,28	%34,28
DP5	%38,29	%51,21	%36,61	%36,96	%57,75	%51,76	%26,39	%60,33	%53,5	%45,87
Sezgisel Yöntem	%0,37	%0,1	%0,22	%0,54	%0,16	%0,23	%0,04	%0,08	%0,35	%0,23
Benzetim Modeli	%0	%0,01	%0,02	%0,01	%0,01	%0,01	%0,01	%0	%0,01	%0,01

Ek 6: Değişken Termin Süreleri Yöntem Sonuçları



Ek 7: Kullanıcı Arayüzü Yönerge Sayfası

Welcome!



1. *Change "Weekly Plan" worksheet.*
2. *Update "Stocks" worksheet with the current stock volumes of the raw materials.*
3. *Update "Production Volume" worksheet.*
4. *If product tree is updated change "Product Tree" worksheet.*
5. *If business plan is updated change "BP" worksheet.*

Calculate Order Quantities

Actual Production vs. BP

Ek 8: Kullanıcı Arayüzü Sipariş Miktarları Sayfası

	A	B	C	D	E	F
1				Week Number		
2	RM Code	Raw Material15	16	17.....	
3	954003002	ETİKET CC LIGHT RB ARKA 300ml		108000		
4	930100007	BOTTLE OWB 200 CC LABELLED		0		
5	930101004	BOTTLE OWB 200 FANTA PORTAKAL		141024		
6	930202025	BOTTLE OWB 250 ml CC ONE BR 2		114400		
7	932000001	BOTTLE PET 1000 CNT		7244		
8	CLOSURE	ORJINAL		420000		
9	911036013	SHRINK 47 CM 60 MIKRON (DELİKLİ)		8094		
10	911042003	SHRINK 47CM 50 MIKRON		6300		
11	911042001	SHRINK 47CM 60 MIKRON		2010		
12	.	.		.		
13	.	.		.		
14	.	.		.		

Ek 9: Kullanıcı Arayüzü Alarm Sayfası

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1			Production Volume (Monthly Basis)								
2	Generic Code	Generic Material	1	1 (%)	2	2 (%)	3	3 (%)			
3	2096	COCACOLA LIGHT RB 300	0	0%	0	0%	0	0%			
4	1009	COCACOLA OWB 200	37783	108%	30715	100%	31831	67%			
5	1008	COCACOLA OWB 250	0	0%	0	0%	0	0%			
6	1000	COCACOLA RB 200	101607	121%	71549	86%	132376	114%			
7	1096	COCACOLA RB 300	47380	130%	44116	136%	69715	161%			
8	3014	FANTA ORANGE PET 500	12961	237%	11628	187%	14305	122%			
9	3090	FANTA PET 250	4160	1719%	0	0%	18008	178%			
10	1015	COCACOLA PEM 18	120	45%	320	131%	400	188%			
11	1515	COCACOLA SEKERSİZ PEM 18 L	0	0%	0	0%	0	0%			
12	3015	FANTA ORANGE PEM 18	0	0%	0	0%	0	0%			
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ek 10: Güncel Sistemin ve Önerilen Sistemin Sonucunda Envanter Miktarları

	Güncel Sistem	Önerilen Sistem	İyileştirme Oranı
SEPERATOR KARTON 960 X 1160	5.168	3.568	%31
SHRINK 47CM 50 MIKRON	2.842	2.142	%25
COCA-COLA ORIGINAL CLOSURE	1.308.288	1.228.288	%6

Depo Tasarımı ve Yönetimi için Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

DHL Tedarik Zinciri



Proje Ekibi

Mert Çetin, Zeynep Dokur, Yiğit Can Karaköylü, Elif Naz Özdamar,
Ahmet Yasin Sarı, Fatmanur Sever, Deniz Şimşek

Şirket Danışmanları

Ömür Özkardeşler
Ar-Ge ve İnovasyon Direktörü
Enes Başarır, Yasin Ayhan Cimbeke
Ar-Ge Mühendisleri

Akademik Danışman

Prof. Dr. Bahar Yetiş Kara
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Lojistik şirketleri için ihale sürecinde müşteri ihtiyaçlarını en az maliyetli şekilde karşılayacak bir teklif hazırlamak oldukça önemlidir. Depo yönetimi kapsamında operasyonların verimliliğini sağlamak ve masrafları azaltmak için ise var olan depolardaki ürünlerin doğru adreslenmesi önem taşır. Tasarlanan karar destek sistemi müşteriye özel parametreleri girdi olarak alıp iş sağlığı ve güvenliği yasaları gibi birçok etmeni göz önüne alarak gerekli depo alanını vermektedir. Ardından bu alana işleyen bir depo düzeni oturtmak amacıyla, toplama operasyonlarında kat edilecek toplam mesafeyi enazlamayı amaçlayan bir matematiksel modelden faydalanılmaktadır. Bu aşamada depolanması gereken ürünler kategorilere ayrılmaktadır ve model depo tasarımının yanı sıra hangi ürün kategorisinin depo içerisinde hangi konumlara yerleştirileceği kararını da vermektedir. Tasarlanan depo işlevsel hale getirilmek istendiğinde, ürünler geliştirilen bir algoritma yardımıyla yerleştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Depo Yönetimi, Lojistik, Ürün Kategorileme

1. Şirket Hakkında

DHL Grubu 1969 yılında Adrian Dalsey, Larry Hillblom ve Robert Lynn tarafından San Francisco'da kuruldu. 1971 yılına kadar Uzakdoğu ve Pasifik Okyanusu kıyılarına yayılan DHL, 1977'de Almanya'daki ilk ofisini Frankfurt kentinde açtı. Alman lojistik şirketi Deutsche Post, 1998 yılında DHL Grubu'nun hissedarı oldu. 2002 yılında, DHL Grubu'nun ana hissedarı Deutsche Post World Net, tüm hisse senetlerini satın aldı. 2003'te DHL, Airborne Express'i satın aldı ve Amerika Birleşik Devletleri'nin üçüncü en büyük ekspres servis sağlayıcısı oldu. Günümüzde DHL, 360.000'den fazla çalışanıyla 220'den fazla ülke ve bölgede lojistik hizmeti sunan uluslararası bir şirket konumundadır (DHL Faaliyet Raporu, 2017).

DHL Türkiye'nin birimleri DHL Express, DHL Parsel, DHL Global Forwarding, DHL Freight, DHL Supply Chain ve Deutsche Post International olarak gruplandırılmıştır. DHL Supply Chain, otomotivden sağlığa kadar birçok sektöre hizmet vermektedir. DHL Supply Chain lojistik danışmanlığı, depo çözümleri, paketleme hizmetleri, nakliye çözümleri, tedarik hizmetleri gibi konularla ilgili çözümler üretmektedir. DHL'in Türkiye'deki depo çözümleri ise şu şekildedir: İstanbul'da 8 ana depo ve Türkiye'de 18 farklı lokasyonda geçici depolar bulunmaktadır. DHL bu depolarda farklı alanlardan şirketlerin tüm depolama operasyonlarının gerçekleştirilmesinden sorumludur.

2. Sistem Analizi ve Problem Kapsamı

2.1. Güncel Sistemin Analizi

DHL'in mevcut sisteminde iki ana problem saptanmıştır. İlk olarak, DHL başka firmaların depo operasyonlarını yönetmek için ihaleye girer ve bu süreçte ihaleye teklif verilmesi için ürünlerin özellikleri gözetilerek depo tasarımı ve gerekli alan hesaplamalarının yapılması gerekir. İhale hazırlık süreçleri *Solution Design* departmanı tarafından, AutoCAD, Class, Abacus gibi görselleştirme ve finansal hesaplama araçları kullanılarak elle yürütülmektedir. Ayrıca bu durum, nitelikli işgücünün depo tasarım sürecine yaklaşık iki hafta harcamasına neden olmaktadır.

İkinci ana problem ise DHL'in depo yönetiminde kullandıkları Warehouse Management System (WMS) adındaki sistemden kaynaklanmaktadır. Bu sistem her bir operasyon için geçmiş veritabanı bilgilerini (ürün giriş-çıkış sıklığı, hacmi, ürün adresleri vb.) kaydetmektedir. WMS ile ilgili en büyük problem depoya ürün geldiğinde ürünün özelliklerini gözetmeksizin, rastgele boş bir yere yerleştirilmesidir.

Bunlara ek olarak, depo tasarım ve yönetim süreçleri entegre bir şekilde yürütülemediğinden, DHL müşterisine teklif verirken WMS'ten yararlanamamaktadır ve ciddi miktarda zaman harcamaktadır. Son olarak, DHL depo operasyonlarında ABC&XYZ analizini uygulamak için denemeler yapmaktadır. Bu analiz ürün giriş-çıkış hacmini ve sıklığını göz önünde

bulundurarak ürünleri kategorilere ayırmaktadır. DHL ürün adresleme ve depo tasarım modüllerini ayrı yürüttüğünden yapılan analizler depo tasarımında kullanılamamaktadır.

2.2 Proje Çalışmasına Yol Açan Nedenler

İhale hazırlığı sürecinde gereken hesaplamaları otomatik olarak yapma özelliği bulunan bir yazılım olmadığından, çalışanların ileri düzey programlar öğrenmeleri ve elle hesaplamalar yapmaları gerekmektedir. Bu nedenle süreç uzun sürmekte ve nitelikli işgücü gerektirmektedir. Bu durum süreci insan kaynaklı hatalara savunmasız hale getirmektedir. Ayrıca bu gibi sorunları engellemek için ek incelemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bunun yanı sıra, depoya gelen ürünlerin rastgele şekilde konumlandırılması depoda forklift trafiğini ve toplam katedilen mesafeyi artırmaktadır. Dolayısıyla, bu durum operasyonel verimsizliğe yol açmaktadır.

2.3 Problem Tanımı ve Proje Kapsamı

Bölüm 2.1’de belirtildiği gibi, DHL’in depolarında kullandığı WMS sisteminde bulunmayan bazı fonksiyonlar çalışanlar için zaman kaybı, insan kaynaklı hatalara duyarlılık, entegrasyon ve otomasyon eksikliğine neden olmaktadır. Bu nedenle, bu projenin kapsamı DHL’in depo tasarımı ve yönetimi süreçlerinde kullanabileceği, bir karar destek sistemi geliştirmek olarak belirlenmiştir. Bu sistem ile müşteri ihtiyaçları, iş sağlığı ve güvenliği yasaları, depo standartları gibi birçok etmeni göz önünde bulundurarak toplama operasyonları için kat edilecek toplam mesafeyi enazlayan bir depo tasarımı yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, sistemin depo içerisindeki adresleme operasyonları için kullanılması da planlanmaktadır.

3. Kaynak Taraması

Problemi daha iyi anlamak ve analiz etmek adına, depo tasarımı, adresleme, yerleşim planı düzeni, ürün tahsisi gibi anahtar kelimeler kullanılarak detaylı bir kaynak taraması yapılmıştır.

Taramanın ilk aşamasında şirket tarafından önerilen ABC ve XYZ analizlerine alternatif olabilecek envanter sınıflandırmaları ele alınmıştır. Bulinski vd. (2013) depolanan ürün hacimleri ve ürün giriş-çıkış sıklığını baz alan bu iki analizin uygulamalarını açıklamışlardır. Bunların yanı sıra Vaisakh vd. (2013) ürünleri tüketim kalıplarına göre hızlı, yavaş ve hareket eden olarak ve stok seviyelerinin önemine göre hayati, önemli ve çekici olarak ayırmışlardır. Farklı olarak Giriya ve Bharat (2013) ürünleri tedarik zorluklarına göre kıt, zor ve kolay olarak ayırmışlardır. Son olarak Thomas ve Jayakrishnan (2014) ürünleri sezonsal olup olmamalarına göre ayırmışlardır.

Taramanın ikinci aşaması depo tasarlanması ve yönetilmesine yönelik yapılmıştır. Ghiani vd. (2004) bir deponun tasarımı ve işletimi sırasında oluşan problemleri ve bunların çözüm yöntemlerini incelemiştir. Ayrıca, Heragu vd. (2005) depo tasarımı ve ürün tahsisi için bir matematiksel model önermektedir.

Guerriero vd. (2013) ise uyumluluk kısıtları olan çok katlı bir depoda ürün tahsisi için bir matematiksel model önerip bu modelin değişik senaryolarda verdiği sonuçları paylaşmışlardır.

Bunların yanı sıra, depo sistemlerinin işleyişini ve bu süreçte yardım alınan araçları konu alan bir kaynak taraması da gerçekleştirilmiştir. Accorsi vd. (2014) depolama sistemlerinin tasarımı ve işletmesi için bir karar destek sistemi önermektedir. Keza, Nehzati vd. (2011) de depo yerleşim planı düzeni sorunu için bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır.

4. Proje Neticeleri ve Teslimi Mümkün Bulgular

4.1. Projedeki Kritik Hedefler

Projenin amacı, DHL için depo tasarım ve yönetim operasyonlarında kullanılmak üzere karar destek sistemi oluşturmaktır. Önerilen sistem tasarım ve yönetim modülü olmak üzere 2 kısımdan oluşur. Kapsamlı süreç işleyişi ve modüllerin detayları Ek 1’de mevcuttur.

4.1.1 Yönetim Modülü

Yönetim modülü ürünleri kategorilere ayırıp adresleme yapmayı amaçlar. Eğer mevcut bir depo yoksa yönetim modülü boş bir deponun raf yerleşim planını yaptıktan sonra ürünlerin adreslemelerini yapar. Bu durum için oluşturulmuş matematiksel model *Matematiksel Model 1* başlığı altındadır. Diğer durumda ise önceden kullanılan depo düzeni üzerinden raf yerleşim planını yapılmaksızın ürünler tanımlanan yerlerine adreslenir. Bu durum için oluşturulmuş matematiksel model *Matematiksel Model 2* başlığı altındadır.

4.1.1.1 Matematiksel Model 1

Bu modülde oluşturulan matematiksel modelin amacı, ürünleri kategorilerini depodaki uygun yerlere atamak ve vardiya boyunca kat edilen toplam mesafeyi ve trafiği enazlayarak mevcut depoda iyileştirme yapmaktır. Bu modülde oluşturulan matematiksel modelin amacı, önceden alanı ve koridor yerleşimi belirlenen deponun hangi bölgesinin kaç kata ayrılacağına ve oluşturulan bu depolama lokasyonlarına hangi kategoriden ürün yerleştirildiğinde depo içinde kat edilen toplam mesafe ve trafiğin en az olacağına karar vermektir. Matematiksel model ve gerekli kümeler, parametreler ve değişkenler Ek 2’de bulunabilir.

4.1.1.2 Matematiksel Model 2 ve Atama Algoritması

İlk matematiksel model, ürün kategorilerini depo içerisinde kat edilen toplam mesafeyi göz önüne alarak atadıktan sonra, ikinci matematiksel modelin her bir kategoriye ait ürünleri tam adreslerine atamak için kategori sayısı kadar çalıştırılması gerekir. Temel bir atama modeli olan Matematiksel Model 2, belirli bir kategoriye ait her ürünü belirli bir yere yönlendirir.

Karar destek sisteminin daha kısa sürede sonuç vermesi adına bu matematiksel model yerine, en yüksek skor ile en düşük mesafeye sahip lokasyonları eşleştiren bir algoritmanın kullanılması önerilmiştir. Matematiksel

model 2 yerine kullanılan atama algoritmasının en iyi sonucu verdiğinin matematiksel ispatı Ek 3'te verilmiştir.

4.1.2 Tasarım Modülü

Bu modül, yeni bir müşteri için bir depo tasarlanması gerektiğinde kullanılacaktır. İlk önce ürün boyutlarını içeren SKU ana verileri kullanılacaktır. Eğer müşteri geçmiş stok hareket raporunu paylaşabiliyorsa, bu bilgiler ürünlerin sınıflandırılmasında kullanılır. Aksi halde, ürün kategorizasyonu, müşterinin deneyimlerine dayanan bir işbirliği ile tamamlanabilir. Ardından, alan hesaplama aracı, söz konusu müşteri için gerekli olan alanı belirler. Müşterinin ihtiyacına göre taslak bir yerleşim planı yapılması gerektiğinden rampaların, sevk, iade ve ofis alanlarının tahsisini içeren taslak yerleşim planı buna göre oluşturulacak ve görselleştirilecektir. Yerleşim düzeni belirlendikten sonra, yönetim modülü, her bir ürünün tam yerini belirten ayrıntılı yerleşim planını oluşturacaktır.

4.2 Başlıca Kısıtlar ve Varsayımlar

Yönetim modülü içerisinde yer alan matematiksel model 1 için, yine karar destek sistemi içerisinde bulunan alan hesaplama aracından alınması planlanan önceden belirlenmiş bir koridor ve modül düzeninin bilindiğı varsayılmaktadır. Mevcut depolarda, parçalı siparişler alındığında paletlerin açılıp içlerinden gerekli miktarda kolinin çıkartılması için ayrılmış pick face lokasyonları bulunmaktadır. Benzer bir şekilde, matematiksel model 1 için bu pick face lokasyonlarının önceden bilindiğı varsayılmaktadır.

Tasarım modülünün alan hesaplama kısmı için toplam boşluk yüksekliği, giriş yüksekliği, dik kolonun genişliği gibi birçok parametre belirlenmesi gerekmiştir. Bu parametreler kaynak taraması ve uzman görüşleri ile belirlenmiştir. Bu parametreler müşteri ihtiyaçları, şirket politikaları, yasal kısıtlamalar ve iş sağlığı ve güvenliği kısıtlamalarına göre belirlenmektedir.

4.3 Çözüm Yaklaşımı

4.3.1 Veri Analizi ve Skor Hesaplama

Şirket tarafından ürünlere dair boyut, ağırlık gibi bilgilerin bulunduğu master veriler, bir yıllık ürün hareketleri verileri ve güncel depoda var olan ürünler ve depo içerisindeki konumlarının verileri sağlanmıştır. Bu veriler incelenip gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra oluşturulan modellere girdi olarak verilmişlerdir.

Bu veriler doğrultusunda yıllık toplam ürün talep hacmi ve ürün hareket sıklığı bilgileri çekilerek ikisini de göz önünde bulunduran bir skor hesaplama yöntemi geliştirilmesi planlanmıştır. Bu fikri onaylamak amacıyla RStudio kullanılarak bu iki parametrenin korelasyonunun analizi yapılmıştır. Bu analiz sonrası, modeldeki uzaklık parametresiyle ilişkilendirilen tek parametre olması nedeniyle, yalnızca yıllık ürün talep hacmi bilgileri kullanılarak skor hesaplanmasına karar verilmiştir.

4.3.2 Kategori Atamaları

Kategori sayısının, modeldeki amaç değerini eniyileme açısından önemsiz olduğu bulunmuştur fakat bu değer çözüm zamanını değiştirerek modelin performansını etkilemektedir. Bu parametreyi belirlemek için, Excel VBA kullanılarak farklı kategori sayıları denenip en uygun olanı seçildi. Bu araç sayesinde farklı kategori sayıları belirlendiğinde her bir kategoride kaç SKU bulunduğu ve bu kategorilerin skorlarının kaç olduğu gözlemlendi. Bu analiz sırasında, kategori sayısı arttıkça bazı kategorilerde bulunan SKU sayısının sifıra yaklaştığı gözlemlendi. Bu sonucuna dayanarak, kategori sayısı (K kümesinin kardinalitesi) 12 olarak belirlenmiştir, çünkü bu senaryoda kategoriler barındırdıkları SKU sayısı bakımından kısmen homojendir ve boş kategori yoktur.

4.3.3 Modellerinin Çalıştırılması ve İlk Sonuçlar

Veriler incelendikten ve kategori atamaları gerçekleştirildikten sonra oluşturulan matematiksel modeller çalıştırılmıştır. İlk olarak matematiksel model 1 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Sürüm 12.8'in Java API'si kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu kurulum ve verilerle en iyi sonuca ulaşılması 20 saniye sürmüştür. Sonuçta oluşan depo MS Excel kullanılarak görselleştirilmiştir ve Ek 4'te görülebilir. Ayrıca yine Ek 4'te görsel bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla her bir ürünün depodaki güncel konumları ile oluşturulmuş depo görseli bulunmaktadır.

Şirket bünyesinde halihazırda bir CPLEX lisansı bulunmadığından çözüm önerisini yalnızca bu yöntemle yapmak istenilen bir durum değildir. Bu nedenle bir alternatif olarak bir MS Excel uzantısı olan OpenSolver'in temel çözüm aracı olarak kullanılması kararlaştırılmıştır. Bünyesinde kısıt sayısı ya da değişken sayısı için herhangi bir kısıtlama barındırmayan OpenSolver, MS Excel bulunan bir bilgisayara kolaylıkla yüklenebilir. Ancak daha önce CPLEX üzerinde çalıştırılan model OpenSolver ile çalıştırıldığında en iyi sonuca ulaşması 47 dakika sürmüştür. Fakat bu modelin stratejik bir karar verdiği için çok sık çalıştırılması gerekmeyeceği öngörüldüğü için bu süre uygun bulunmuştur. Ayrıca Bölüm 4.1.1.2'de açıklandığı üzere matematiksel model 2 yerine atama algoritması kullanılacağı için toplam süre kısalmaktadır.

Depoda mevcut ürünlerin konum bilgileri kullanılarak hesaplanan amaç değeri ile model ve algoritma tarafından amaç değeri karşılaştırıldığında, önerilen modelin amaç değerinin % 20 oranında iyileştirildiği görülmektedir.

4.3.4 Karar Destek Sistemi ve Uygulama Planı

Şirket sorunlarına çözüm bulunması sürecinde kullanılan matematiksel modeller, algoritmalar, alan hesaplamaları gibi süreçlerin şirket tarafından kolayca uygulanabilmesi için MS Excel tabanlı bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz standart MS Excel bulunan herhangi bir bilgisayara

OpenSolver kurulduktan sonra rahatlıkla kullanılabilir. Ek 5'te arayüzden kesitlere yer verilmiştir.

Arayüz fonksiyonları da tıpkı projenin iki temel modülü gibi tasarım ve yönetim olarak gruplandırılmıştır. Tasarım modülü başlığı altında alan hesaplama aracına ulaşılabilir ve farklı senaryolar için gerekli koridor ve modül sayısı gibi parametreler hesaplanabilir. Yönetim modülü başlığı altında ise ürün skorlarının hesaplanması, ürün kategorizasyonunun yapılması, lokasyonların kategorilere atanması ve bu lokasyonlara ürün yerleştirilmesi gibi birçok fonksiyon toplanmıştır. Bu fonksiyonların çoğunun kullanılabilmesi için sistem kullanıcıdan o fonksiyon özelinde parametreler girmesini istemektedir. Bu parametrelerin neler olduğu ve hangi durumda hangi parametrelerin girilmesi gerektiği hazırlanan *Kullanıcı Kılavuzu* ile ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Tüm bu fonksiyonlar için VBA ve Makrolar gibi MS Excel araçlarını kullanmaktadır. Yalnızca matematiksel modele ihtiyaç duyulan depodaki modüllerin kaç kata ayrılması gerektiği kararı verilirken ve oluşan lokasyonlara kategoriler atanırken OpenSolver eklentisine ihtiyaç duyulmaktadır ve arayüz bu eklentiye otomatik olarak ulaşmaktadır.

Bunların yanı sıra daha operasyonel kararlar için arayüzden faydalanılması adına arayüze ürün ekleme/çıkarma, herhangi bir lokasyondaki ürüne ya da herhangi bir ürünün lokasyonuna ulaşılmasını sağlayan özellikler de eklenmiştir.

Bahsedildiği üzere şirket hazırlanan karar destek sistemini hem operasyonel hem de stratejik kararlar verirken kullanabilir. Ancak gözle görülebilir bir iyileşme gözlemlenmesi için ilk etapta şirketin depo içerisindeki ürün dizimini karar destek sisteminin önerdiği gibi düzenlemesi tavsiye edilmiştir. Bu bağlamda, DHL öncelikle bu projede kullanılmak üzere verilerini sunduğu depoda, karar destek sisteminin önerdiği ürün dizimine geçme kararı almıştır. Bu işlem için gerekli olan ürün kategorileri, depo içindeki lokasyonların atandığı kategoriler ve son olarak ürünlerin eski ve yeni yerlerini içeren transfer raporu şirkete sunulacaktır. Mayıs 2019'da bütün ürünlerin depo içi adreslemeleri tekrar yapılacaktır ve o noktadan itibaren adreslemeler karar destek sisteminin önerdiği şekilde yapılmaya başlanacaktır. Ardından DHL haftalık performans raporları oluşturacak ve bu raporlar sayesinde depodaki adreslemelerin performansları ölçülecek, belirlenen amaç fonksiyonundaki gelişme gözlemlenecektir. Son olarak, DHL her çeyrekte ürünlerin skorlarının hesaplanmasını, ürün kategorizasyonunu ve lokasyonların kategorilere ayrılmasını tekrarlama kararı almıştır.

5. Projenin Şirkete Katkıları ve Sonuç

Önerilen karar destek sistemi DHL tarafından uygulandıktan sonra, nitelikli işgücünün manuel hesaplamalar için harcadığı zaman önemli ölçüde

azalacaktır. Ayrıca, sistem insan faktörünü ortadan kaldırdığı ve otomatik bilgi işlem araçlarına dayandığı için hesaplama hatalarının azalması beklenmektedir.

Daha önce, şirket her müşterisi için gerekli depolama alanını manuel olarak hesapladığından bu işlem fazla kalifiye işgücü gerektiriyordu. Önerilen sistemdeki alan hesaplama aracı kullanıcı dostu bir arayüze sahip olduğundan, kalifiye iş gücüne olan ihtiyaç azalacaktır. Ayrıca, tasarım modülünün potansiyel bir müşteriye teklif verme sürecine hazırlık süresini kısaltması beklenmektedir. Mevcut hazırlık süresi DHL için yaklaşık 2 haftadır, ancak önerilen karar destek sistemi kullanılarak bu sonuçlar saatler içerisinde alınabilmektedir. Örneğin, proje boyunca ele alınan veriler için bu sonuçlar bir saatten kısa sürede alınmaktadır ve bu sürenin çoğunluğunu OpenSolver uzantısında matematiksel model çözülmesi oluşturmaktadır. Her ne kadar aynı büyüklükteki problemler için CPLEX'in hesaplama süresi çok daha kısa olsa da, DHL açısından süreyi 2 haftadan 1 saate düşürdüğü için sunulan karar destek sistemi geçerli bir çözüm yöntemidir.

Ayrıca, önerilen çözümdeki yönetim modülü sayesinde DHL, depolarındaki esnekliği artırabilir. Örneğin, SKU'ların doğru adreslenmesiyle taşıma işlemlerinin maliyetlerinde ciddi azalmalar sağlanacaktır. DHL'in mevcut depo yerleşim planında ürün adresleme için hesaplanan amaç değeri, önerilen modeldeki amaç değeri ile karşılaştırıldığında, önerilen modelin amaç değerini %20 oranında iyileştirdiği görülmektedir.

Son olarak, proje sürecini ve önerilen çözümleri barındıran bir yayının DHL Supply Chain, Ar-Ge departmanı bünyesinde çıkarılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Accorsi, R., Manzini, R., Maranesi, F., 2014. "A decision-support system for the design and management of warehousing systems", *Computers in Industry*, 65, 175-186.
- Bulinski, J., Waszkiewicz, C., Buraczewski, P., 2013. "Utilization of ABC/XYZ analysis in stock planning in enterprise", *Agricultural and Forest Engineering*, 89-96.
- F. Guerriero, R. Musmanno, O. Pisacane, F. Rende. 2013. "A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints", *Applied Mathematical Modelling* 37 (6), 4385–4398.
- Ghiani, S., Laporte, G., Musmanno, R. 2004. "Introduction to Logistics Systems Planning and Control", Wiley, England.
- Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J., Schuur, P. C. 2005. "Mathematical model for warehouse design and product allocation", *International Journal of Production Research*, 43(2), 327-338.
- L. Thomas, and S.S. Jayakrishnan, "Development and Evaluation of Novel

Inventory Management Software for Community Pharmacy Practice", *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, vol. 2(4), pp. 765- 776, Apr. 2014.

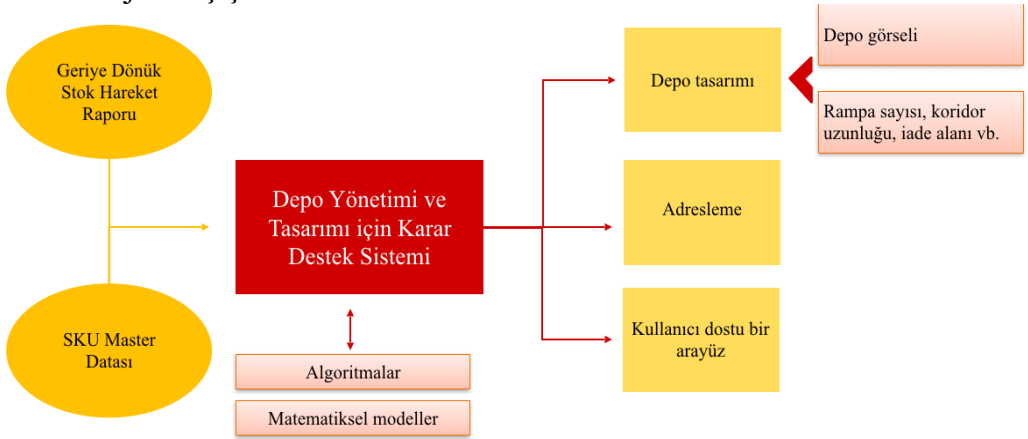
Nehzati, T., Rashidi-Bajgan, H., Ismail, N., 2011. "Development of a decision support system using Tabu Search algorithm for the warehouse layout problem", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 28(4), 281-297.

P.S. Vaisakh, J. Dileepal and V. Unni, "Inventory Management of Spare Parts by Combined FSN and VED (CFSNVED) Analysis", *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 2(7), pp. 303-309, Jan. 2013.

V.R. Giriya, and M.S. Bhat, "Multi Unit Selective Inventory Control- A Three Dimensional Approach (MUSIC -3D)," *CVR Journal of Science and Technology*, vol. 5, pp. 98-104, Dec. 2013.

EKLER

Ek 1: Proje Akış Şeması



Ek 2: Matematiksel Model 1

Kümeler:

I : Modüller kümesi

J : Katlar kümesi

K : Ürün kategorileri kümesi

Parametreler:

n_k : k kategorisindeki ürün sayısı, $k \in K$

h_k : k kategorisinin yüksekliği, $k \in K$

d_{ij} : modül 4'e bölündüğünde modül i ve kat j adresine olan uzaklık, $i \in I, j \in J$

d'_{ij} : modül 5'e bölündüğünde modül i ve kat j adresine olan uzaklık, $i \in I, j \in J$

s_k : k ürün kategorisinin skoru, $k \in K$

l : 4'e bölünmüş modüllerdeki hücre yüksekliği

l' : 5'e bölünmüş modüllerdeki hücre yüksekliği

Karar Değişkenleri:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } k \text{ ürün tipi 4'e bölünmüş bir } i \text{ modülünün } j \text{ katına atandıysa} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$x'_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } k \text{ ürün tipi 5'e bölünmüş bir } i \text{ modülünün } j \text{ katına atandıysa} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer modül } i \text{ 5 kate bölündüyse} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad \forall i \in I$$

Matematiksel Model:

$$\text{enazla} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} s_k (d_{ij} x_{ijk} + d'_{ij} x'_{ijk}) \quad (1)$$

$$\text{oyleki} \quad h_k x_{ijk} \leq l \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (2)$$

$$h_k x'_{ijk} \leq l' \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (x_{ijk} + x'_{ijk}) = n_k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} (x_{ijk} + x'_{ijk}) \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 4(1 - y_i) \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x'_{ijk} \leq 5y_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{i5k} = 0 \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (9)$$

$$x'_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (10)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (11)$$

Ek 3: Matematiksel Model 2 Yerine Kullanılacak Atama Algoritmasının Matematiksel İspatı

$s_i \geq s_{i+1}$ ve $d_i \leq d_{i+1}$ biliniyor.

Bu durumda çözüm şu şekilde olmalıdır:

$$\text{sonuç} = d_1s_1 + d_2s_2 + \dots + d_k s_k + d_{k+1}s_{k+1} + \dots + d_n s_n$$

Şimdi aşağıdaki değer *çözüm*'den daha küçük olduğunu varsayalım.

$$\text{yeniSonuç} = d_1s_1 + d_2s_2 + \dots + d_k s_{k+1} + d_{k+1}s_k + \dots + d_n s_n$$

Varsayım: $\text{sonuç} \geq \text{yeniSonuç}$

$$d_k s_k + d_{k+1}s_{k+1} \geq d_k s_{k+1} + d_{k+1}s_k$$

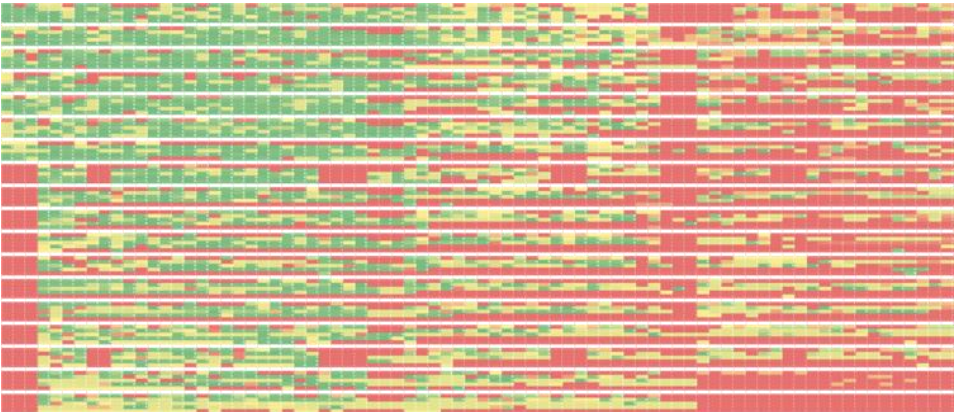
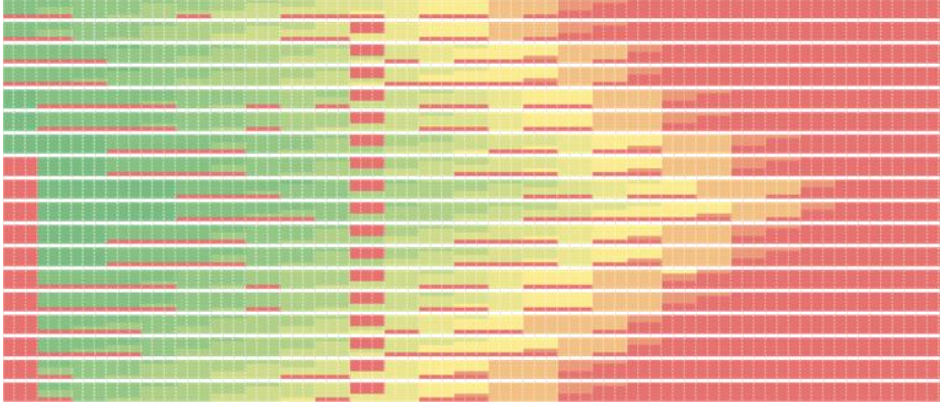
$$d_{k+1}s_{k+1} - d_k s_{k+1} \geq d_{k+1}s_k - d_k s_k$$

$$s_{k+1}(d_{k+1} - d_k) \geq s_k(d_{k+1} - d_k)$$

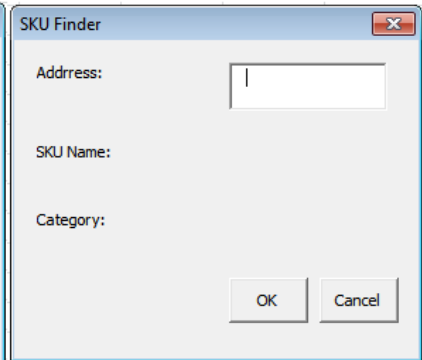
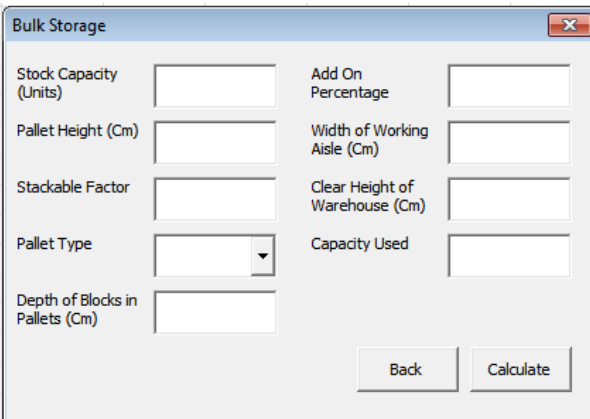
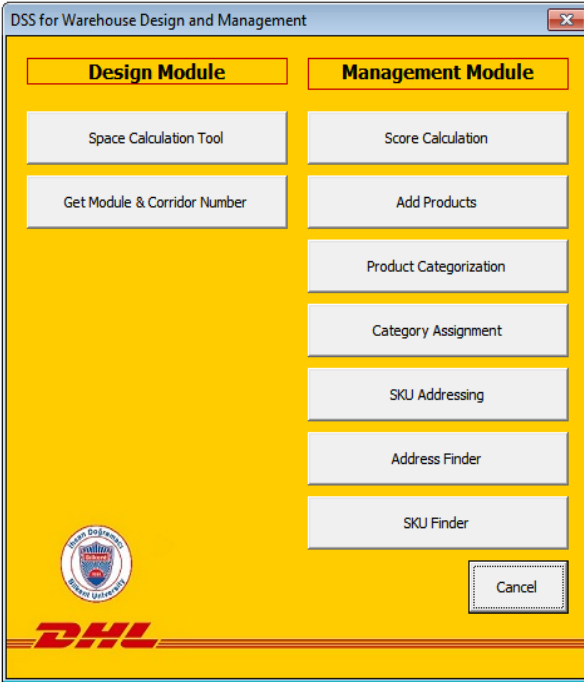
$(d_{k+1} - d_k) \geq 0$ bağıntısı bilindiğinden, varsayım çelişkilidir.

Bu yüzden, *çözüm* modelimiz için olabilecek en küçük sonucu vermektedir.

Ek 4: Önerilen Depo Yerleşimi ve Güncel Depo Yerleşimi



Ek 5: Karar Destek Sisteminden Kesitler



Taktiksel Rota Planlama Karar Destek Sistemi Tasarımı

DHL Tedarik Zinciri



Proje Ekibi

Beste Akbaş, Ahmet Taha Aydemir, Merve Doğanbaş, Muhammed Buğra Ertuğrul, Zeynep Hüma Kaplan, Arda Namlı, Serkan Turhan

Şirket Danışmanı

Serkan Kabalı
Çözüm Tasarımı Müdürü

Akademik Danışman

Prof. Dr. Bahar Yetiş Kara
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projenin amacı, DHL için taktiksel rota planlama sürecine bütünsel bakış açısı getirerek taşıma maliyetlerini iyileştirmek, planlama sürecini hızlandırarak operasyonel verimlilik sağlayacak bir karar destek sistemi oluşturmaktır. Mevcut sistemde maliyet analizlerinin her bir sipariş için münferit gerçekleştirilmesi ve bütünsel bakış açısının eksikliği maliyet etkin sonuçların elde edilmesinde aksaklıklara sebep olabilmektedir. Proje kapsamında yöneylem araştırması araçları kullanılarak toplam taşıma maliyetlerini en küçükmeyi amaçlayan matematiksel model geliştirilmiştir. Problem için geliştirilen sezgisel yöntem, birlikte çalışan üç genetik algoritmadan oluşmakta ve her bir algortmada siparişlerin sevkiyat metodunu belirlemek üzere kümeleme işlemleri yapılmaktadır. Geçmiş veriler üzerinden sezgisel model çalıştırılmış ve elde edilen çözümler şirket tarafından doğrulanmıştır ve daha maliyet avantajlı çözümler elde edildiği görülmüştür. Sezgisel model, kullanıcı dostu arayüz tasarımına entegre edilerek karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi, Çaprazlama Merkezi Operasyonları, Milkrun, Lojistik

1. Şirket Tanıtımı

DHL, 1969 yılında Adrian Dalsey, Larry Hillblom ve Robert Lynn tarafından San Francisco’da kurulmuştur. Dünya çapında 220 ülke ve bölgede 500.000 çalışanı aşan işgücü ile faaliyet göstermekte olan uluslararası bir lojistik şirkettir. DHL Tedarik Zinciri, sözleşmeli lojistikte küresel pazarın lideridir ve depolama, ulaşım yönetimi, katma değerli hizmetler, kurumsal bilgi, iletişim yönetimi çözümleri sunmaktadır. DHL Tedarik Zinciri özellikle sağlık, tekstil, otomotiv, perakende, teknoloji ve tüketici sektörlerinde lojistik operasyonlarını yürütmektedir.

2. Problem Tanımı ve Kapsamı

DHL, müşterilerinin Avrupa’dan sevkiyatı yapılacak siparişlerinin rota planlamasını ve siparişlerin konsolidasyonu için farklı bölgelerde bulunan çaprazlama merkezi operasyonlarını yönetmektedir. Proje kapsamında DHL’in birlikte çalıştığı bir otomotiv şirketinin İtalya’daki 80 tedarikçisinin siparişleri ve İtalya’da bulunan çaprazlama merkezi temel alınarak taktiksel rota planlama karar destek sistemi oluşturulmuştur. Ancak, karar destek sistemi Avrupa’da yer alan diğer çaprazlama merkezleri operasyonlarında ve rota planlama sürecinde de kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Mevcut sistemde, her bir siparişin sevkiyatı münferit değerlendirilerek her sipariş için uygun sevkiyat metodu belirlenmektedir. Her sipariş çaprazlama merkezinde konsolidasyon işlemi yapılarak ya da konsolide edilmeden direkt olarak müşteriye gönderilmektedir. Fakat mevcut sistemdeki münferit değerlendirme sonucunda yapılan her bir sevkiyat seçiminin diğer sevkiyatlar üzerindeki maliyet etkisi göz ardı edilmektedir. Sevkiyatların maliyet analizi de yine sevkiyatların bireysel ele alınmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak mevcut sistemdeki bütünsel bakış açısı eksikliği, maliyet etkin rotalama planlarının elde edilmesinde aksaklıklara sebep olabilmektedir. Aynı zamanda karar verme süreci tecrübeye dayalı ilerlediği için standart bir yöntem bulunmamaktadır.

Siparişler, çaprazlama merkezi aracılığıyla veya direkt olarak müşteriye gönderilebilmekte ve gönderim sırasında Milkrun veya üçüncü parti lojistik firmaları aracılığıyla sevkiyat gerçekleştirilmektedir. Bu proje kapsamında sevkiyat metodlarına özel bir terminoloji geliştirilmiştir. Üçüncü parti taşıma şirketleri aracılığıyla direkt olarak müşteriye ya da çaprazlama merkezine gönderilen siparişlerin sevkiyat metodu S-3PL, çaprazlama merkezinde konsolide edilecek siparişlerin sevkiyat metodu S-CD, aynı araç ile iki veya daha fazla tedarikçiden siparişlerin toplanarak müşteriye ya da çaprazlama merkezine gönderildiği sevkiyat metodu ise Milkrun olarak tanımlanmıştır.

3. Sistem Tasarımı

3.1 Matematiksel Model

Araç rotalama problemi, Şekil 1’de gösterildiği üzere birbirine entegre iki temel karar üzerinden ele alınmıştır. İlk karar, siparişlerin müşteriye gönderilmesinde kullanılacak S-3PL, Milkrun, S-CD metotlarından hangisinin seçileceğidir. İkinci karar ise çaprazlama merkezine uğraması planlanan siparişlerin merkeze S-3PL ya da Milkrun metotlarından biri ile gönderilmesine karar vermektir.



Şekil 1. DHL Sevkiyat Metotları

Matematiksel model, parametre olarak tedarikçiler arası uzaklıkları, siparişin boyutu ve ağırlığını, milkrun, sipariş toplama ve tam dolu araç maliyetlerini ve araç doluluk katsayılarını kullanmaktadır. Tedarikçiler arası uzaklıklar, şirket tarafından temin edilen tedarikçi koordinatları ile Google Maps üzerinden Java kullanılarak hesaplanmıştır. Modelin amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetlerinden oluşmaktadır ve matematiksel model amaç fonksiyonunu en aza indirmek üzere kurulmuştur. Milkrun araçlarında dur-kalk maliyetleri, S-3PL maliyetleri ve tam dolu araç ücretlerinin toplamı amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Matematiksel yöntem kısıtları kapasite kısıtı, sevkiyat yöntemini belirleme kısıtı, Milkrun rotalama kısıtı ve alt tur eleme kısıtı olmak üzere dört ana kategoriden oluşmaktadır. Alt tur eleme kısıtlarını oluştururken Miller-Tucker-Zemlin modelinden (Miller vd., 1960), Milkrun rotalama kısıtlarını oluştururken ise Hosseini vd. (2014) modelinden yararlanılmıştır. Belirli bir günde rotalaması yapılacak siparişlerin teslim alınacağı tedarikçiler, hacimleri, ağırlıkları ve boyutları matematiksel modele girildiğinde her bir siparişin sevkiyat metodu ve hangi araçla taşınacağı, milkrun rota planları, araçlardaki toplam kapasite kullanımı ve planın toplam maliyeti çıktı olarak alınabilmektedir.

DHL tarafından gönderilen ve 03.04.2018-26.10.2018 tarihlerini kapsayan veriler, matematiksel model kullanılarak CPLEX ile çözdürülmüştür

ve elde edilen sonuçlar şirketle paylaşılarak şirket tarafından sonuçların uygulanabilirliği doğrulanmıştır.

3.2 Sezgisel Yöntem

Matematiksel model, IBM ILOG CPLEX kullanılarak çözdürülmüştür. Ancak CPLEX kalıcı lisansı, şirkete ek bir maliyet oluşturacağından taktiksel rota planlaması için sezgisel modelin geliştirilmesi kararlaştırılmıştır. Bu doğrultuda sonuç elde edebilmek için Tabu Araması, En Yakın Komşu Algoritması ve Genetik Algoritma kullanılarak sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Tabu Araması, En Yakın Komşu Algoritması ve Genetik Algoritma en iyi sonuçtan sapma oranı ve problemin yapısına uygunluk bakımından karşılaştırılarak en uygun yöntem değerlendirmeye alınmıştır. Genetik Algoritmanın doğrusal olmayan, çok değişkenli, zor problemlerin çözümü için geliştirilmiş, popülasyon temelli sezgisel bir yöntem olması sebebiyle problemin yapısına uygun olduğu gözlemlenmiştir (Kuzu vd., 2014). Genetik Algoritma kullanılarak oluşturulan sezgisel modelin en iyi sonuçtan sapma oranının %3,07 olması ve kümeleme işlemi için elverişli olması sebebiyle sezgisel modelde Genetik Algoritma tercih edilmiştir.

Sezgisel yöntem birlikte çalışan üç genetik algorithmadan oluşmaktadır. Ana Kümeleme Genetik Algoritması günlük siparişleri, müşteriye sevkiyatların çaprazlama merkezine uğrayarak ya da merkeze uğramadan gerçekleşme durumuna göre kümeler. Bu algoritmanın çıktıları Sevkiyat Tipi Kümeleme Algoritması'nda girdi olarak kullanılır. Bu algoritma genleri her bir sınıf için Milkrun veya S-3PL olacak şekilde sınıflandırır ve milkrun kümesine atanan siparişlerin hangi araçlarda taşınacağını belirler. Rotalama Genetik Algoritması ise önceki algorithmada belirlenen milkrun yapacak araçların rotalarını saptar. Sezgisel modeli oluşturan üç genetik algorithma gerçekleştirilen kümeleme işlemleri Ek 1'de belirtilmiştir. Sezgisel model, her bir siparişin sisteme yalnızca bir kere dâhil olacağı ve hiçbir siparişin atlanmayacağı varsayımları ile çalışmaktadır.

Sezgisel yöntemde kullanılan genetik algorithmlar Tam Sayı Dizisi kodlaması kullanılarak kodlanmıştır. Genetik algorithmlar çalışmaya başladığında, önce N sayıda kromozom içeren tesadüfi başlangıç popülasyonu oluşturulur. Popülasyondaki kromozomlar mümkün olan sevkiyat planlarını temsil ederken kromozomu oluşturan her bir gen belirli bir siparişin hangi metotla taşınacağı bilgisini içermektedir. Popülasyondaki her bir kromozomun uygunluk puanı hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu bir rotalama planının toplam maliyetini hesaplamaktadır. Uygunluk puanına göre bir sonraki jenerasyonu oluşturacak ebeveyn ve hayatta kalanlar seçilir. Hayatta kalanlar bir sonraki popülasyona olduğu gibi aktarılırken ebeveyn olarak seçilenler, kendi aralarında çaprazlama ve mutasyon gerçekleştirdikten sonra gelecek jenerasyona aktarılır. Oluşturulan yeni popülasyonun uygunluk puanı hesaplanır ve sonlandırma

şartları sağlanana kadar yukarıda bahsedilen aşamalar tekrar edilir. Algoritma sonlandırıldığında, bulunan en düşük uygunluk puanına (maliyete) sahip çözüm çıktı olarak sunulur.

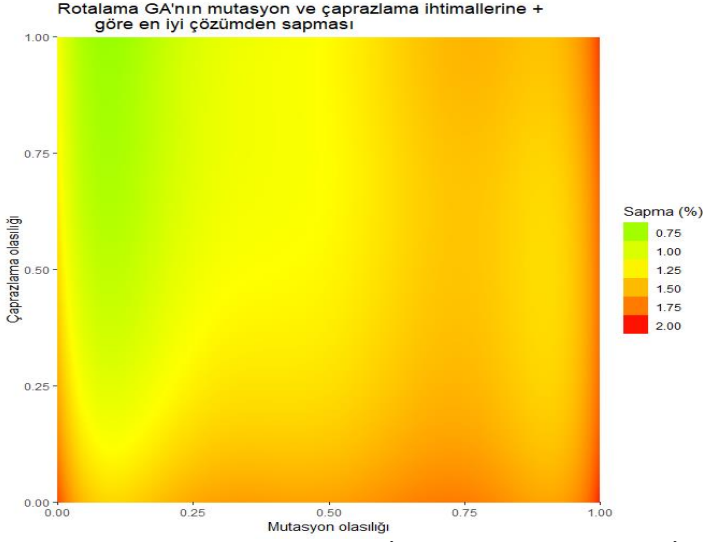
DHL tarafında yaşanabilecek değişikliklere uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanan sezgisel yöntem, Java kullanılarak kodlanmış ve kodlama yapılırken Genetics açık kaynak kütüphanesinden faydalanılmıştır.

3.2.1. Hiper Parametre Eniyilemesi

Sezgisel yöntemin işlemci zamanı ve matematiksel yöntem çözümünden sapma oranı genetik algoritma parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Ana Kümeleme Algoritması'nda iterasyon sayısı zaman kısıtına tabi olsa da Sevkiyat Türü Genetik Algoritması (STGA) ve Rotalama Genetik Algoritması (RGA) parametreleri bu süre içinde oluşturulabilecek jenerasyon sayısı ve değerlendirilebilecek çözüm sayısını önemli ölçüde etkiler. Bu sebeple STGA ve RGA parametrelerinin eniyilenmesi gerekli görülmüştür. Çaprazlama ve mutasyon oranları, iterasyon limiti ve popülasyon büyüklüğü sabit tutularak yeni bir genetik algoritma yardımıyla matematiksel yöntem çözümünden sapma oranını en aza indirmeyi amaçlayacak şekilde iyileştirilmiştir. Bu genetik algoritma 0-1 arasında değerler alabilen genleri barındıran kromozomlardan oluşmaktadır. İterasyonlar sırasında sadece Gauss mutasyon fonksiyonu kullanılmıştır. DHL tarafından temin edilen geçmiş veriler arasından matematiksel model ile en iyi sonucun bulunabildiği rastgele 10 gün seçilmiş ve seçilen her gün için sezgisel yöntem 30 defa çalıştırılmıştır. Uygunluk puanı, çözümlerin varyasyonu ve en iyi sonuçtan ortalama sapma oranının iki katı toplanarak hesaplanmıştır. Buradaki amaç, sapma oranını ve varyasyonu en aza indirgeyecek parametreleri elde etmektir. Hiper parametre eniyilemesi sonucunda Milkrun Rotalama Genetik Algoritmasının en iyi sonuçtan uzaklığı %1,5'ten %0,7'ye düşürülmüştür. Rotalama Genetik Algoritmasının mutasyon ve çaprazlama ihtimallerine göre en iyi çözümden sapsması Şekil 2'deki gibidir.

3.2.2. Dağıtılmış İşlem

Sezgisel algoritmaların doğası gereği, algoritmanın çıktısının en iyi sonuca yakınlığı bulduğu çözüm sayısına, sezgisel yöntemin çalıştırılma süresine ve bilgisayarın performansına bağlıdır. Bu nedenle, proje ekibi tarafından dağıtılmış işlem özelliği kodlanmıştır. Dağıtılmış işlem sayesinde aynı ağ üzerinde bulunan farklı bilgisayarlarda çalıştırılan programlar, Java network kütüphanesi üzerinden iletişim kurulabilmektedir. İşlemci süresinin doğrusal olarak azaltılarak algoritmaya zaman kazandırılması ve bu sayede daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla karar destek sistemine dağıtılmış işlemin entegrasyonu uygun görülmüştür. Güvenlik sebebiyle bilgisayarlar arası iletişim, internete kapalı, sadece yerel ağ üzerinde iletişim kuracak şekilde Java şifreleme arayüzü kullanılarak Amerikan hükümeti standardı olan Gelişmiş Şifreleme Standardı (AES) ile şifrelenmiştir (FIPS, 2001).



Şekil 2. RGA'nın Mutasyon & Çaprazlama İhtimallerine Göre En İyi Çözümünden Sapması

4. Doğrulama

Sezgisel modelin doğrulanması kapsamında sezgisel model kullanılarak elde edilen rota planları ile şirketin geçmişte uyguladığı planlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla şirket tarafından temin edilen geçmiş rota planları üzerinden sipariş sayıları farklı olacak şekilde 10 farklı tarih seçilmiştir. Seçilen tarihler temel alınarak sezgisel model yardımıyla yeni rota planları oluşturulmuş ve bu planların maliyet açısından şirketin önceden yapmış olduğu rota planlarına göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Her bir sipariş için model tarafından belirlenen sevkiyat metodunu ve her aracın izleyeceği rotayı içeren yeni planların gerçek hayata uygunluğunu doğrulamak amacıyla sonuçlar şirketle paylaşılmıştır. Paylaşılan sonuçlar Ek 2'de, şirketin sonuçlarına göre elde edilen iyileştirme oranı ise Ek 3'teki gibidir. Sonuç olarak önerilen rota planlarının uygulanabilir olduğu DHL tarafından teyit edilmiştir.

5. Projenin Katkıları ve Uygulama Sonuçları

Projenin katkıları, yöneylem araştırması yaklaşımlarını kullanarak taktiksel rota planlama sürecine bütünsel bakış açısı getirmek, planlama sürecini hızlandırmak, bireysel tecrübeye dayalı olan karar verme sürecini sürdürülebilir ve sistematik hale getirmektir. Böylelikle operasyonel verimlilik artırılarak zaman tasarrufu sağlanacak ve siparişlerin toplam taşıma maliyeti azaltılacaktır.

5.1. Karar Destek Sistemi Arayüzü

Karar destek sistemi, Java'da kodlanan kullanıcı dostu arayüze sezgisel modelin entegre edilmesi ile oluşturulmuştur. Kullanıcı arayüzü, kullanıcıların verileri kolay bir şekilde sisteme ekleyebilmelerine, sonuçların analizini yapabilmelerine ve rota çıktılarının raporlarına farklı dosya formatlarında

erişebilmelerine elverişli olarak tasarlanmıştır. Sistem arayüzü genel hatlarıyla Ek 4’te gösterildiği gibidir. İlk sekmede, model sisteme eklenen veriler üzerinden çalıştırıldığında elde edilen rotalama planı harita üzerinden kullanıcılara görsel olarak sunulmaktadır. Arayüzün “Data” sekmesinde ise kullanıcılar, siparişlere ait Excel dosyalarını sisteme ekleyebilir, gerekli durumlarda da tekrar Excel dosyası üzerinde düzenleme yapmalarına gerek kalmadan istenen değişimleri direkt olarak arayüz üzerinden yapabilirler. Ayrıca Ek 5’te de gösterildiği üzere kullanıcılar, modelde kullanılan taşıma birim ücreti gibi parametreleri bu sekmeden değiştirebilmektedir. Rotalama planı yapılırken tedarikçilerin ve temel alınan çaprazlama merkezlerinin bulunduğu ülkeler doğrultusunda sistemin tabi olduğu kısıtlamalar değişebilmektedir. Bu noktada kullanıcılar arayüzde yer alan “Solve” sekmesinden rotalama kısıtlarını değiştirebilir ve arka planda çalışan modelin çalışma süresi ile iterasyon limitini Ek 6’da gösterildiği gibi ayarlayabilirler. Arayüzün operasyonel işlemlere katkı sağlayacak bu özelliklerinin yanı sıra, DHL’in uluslararası bir firma olması sebebiyle arayüze dil seçeneği gibi özellikler de getirilmiştir. Arayüz, hâlihazırda İngilizce, Almanca, Türkçe, İtalyanca ve Çince dillerini desteklemektedir.

Karar destek sistemi arayüzü şirketle paylaşılmış olup şirketin arayüz ile ilgili geri bildirimleri sonucu gerekli eklemeler yapıldıktan sonra sistem şirkete yeniden teslim edildi. Ayrıca, kullanım kılavuzu hazırlanarak kullanıcıların sisteme adaptasyonu için sistemin çalışma prosedürü bütün aşamalarıyla kılavuzda belirtilecektir.

5.1. Uygulama Sonuçları

Genetik algoritma kullanılarak kurulan sezgisel model ile matematiksel model çözümleri altı aylık sürece ait 116 veri üzerinden karşılaştırılmış ve analizler sonucunda sezgisel yöntem çözümlerinin en iyi çözümden ortalama %3,07 saptığı görülmüştür. Şirket tarafından sağlanan geçmiş veriler üzerinden yapılan rota planları, şirket tarafından uygulanan rota planlarıyla karşılaştırıldığında toplam maliyet üzerinden %9,69 oranında bir iyileştirme yapıldığı görülmüştür. Elde edilen rotalama planları şirkete doğrulatılmış olup güncel veriler kullanılarak elde edilen rotalama planları şirketle paylaşılmaya devam edilmektedir. Sezgisel model, geçmiş verilerin %77,59’unda DHL’in elde ettiği sonuçlardan daha az maliyetli rotalama sonuçları bulmuştur. Verilerin %22,41’inde daha az maliyet elde edilememesinin sebebi, bazı günlerde sevkiyatı yapılan sipariş sayısının düşük olması ve kapasite kısıtlarının şirket tarafından esnetilmesi olarak tespit edilmiştir.

Sezgisel model sonuçları, 6 Nisan 2019 itibarıyla şirketin gönderdiği haftalık veriler üzerinden uygulanmaya başlamıştır. Model, İtalya çaprazlama merkezinin temel alındığı otomotiv şirketinin siparişlerinin yanı sıra Almanya çaprazlama merkezinin temel alındığı bir başka otomotiv şirketinin

siparişlerinin rota planlamasında da kullanılmaya başlanmıştır. Sezgisel modelin kullanımı sonucunda şirket, hâlihazırda uyguladığı Milkrun rotalarının yanında yeni milkrun rota fırsatlarını değerlendirme imkânı bulmuştur. Uygulamanın ilk haftası itibariyle uygulanan rotaların değerlendirmesi yapıldığında bir araç Uygulamanın ilk haftası itibariyle uygulanan rotaların değerlendirmesi yapıldığında bir araç başına düşen maliyet iyileştirmesinin %4,98 oranında olduğu şirket tarafından bildirilmiştir.

KAYNAKÇA

Federal Information Processing Standards (AES). 2001,

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf>

Hosseini, Seyed D., Mohsen Akbarpour Shirazi, ve Behrooz Karimi. “Cross-Docking and Milk Run Logistics in a Consolidation Network: A Hybrid of Harmony Search and Simulated Annealing Approach.” *Journal of Manufacturing Systems*, 33.4 (2014): 567-577.

Kuzu, Sultan, vd. “Gezgin Satıcı Problemlerinin Metasezgiseller ile Çözümü.” *Istanbul University Journal of the School of Business*, 43.1 (2014): 1-27.

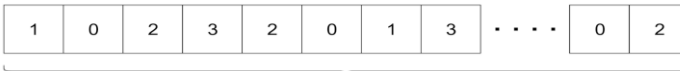
Miller, Charles E., Albert W. Tucker, ve R.A. Zemlin. “Integer Programming Formulations and Traveling Salesman Problems.” *Journal of the Association for Computing Machinery*, 7 (1960): 326-329.

EKLER

Ek 1 – Sezgisel Model Aşamaları

Solution Representation of Main Clustering Genetic Algorithm

Genes can take any class value in $[0, k]$ (k is the nb. of crossdock centers)

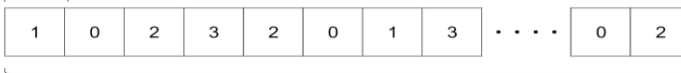


Chromosome length of N , $N = \#$ of orders



Solution Representation of Shipment Option Clustering Genetic Algorithm

Genes can take any value in $[1, m]$ (m is the minimum nb. of trucks required)



Chromosome length of N_1 , $N_1 = \#$ of inputs from first algorithm



Solution Representation of Routing Genetic Algorithms

Permutation genes: each possible value exists in exactly one gene, no repetitions



Chromosome length of N_2 , $N_2 = \#$ of inputs from second algorithm

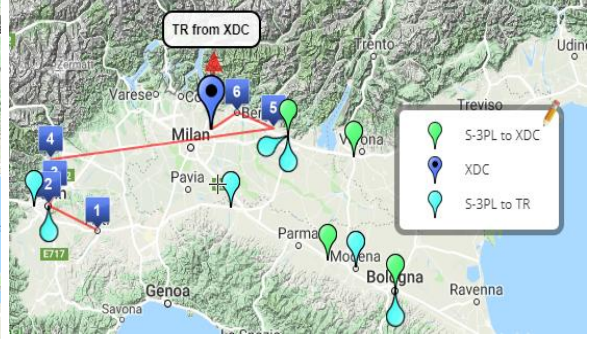
Ek 2 – Örnek Rota Planları

Date	Directly to TR	Directly to XDC	Milkrun to XDC	XDC to TR	Milkrun to TR
04.05.2018	400023 400027 400028	400090 DP90000030 400022	Truck 1: 400579 400012 400338 400333 400076	Truck 1: 400090 DP90000030 400022 400579 400012 400338 400333 400076	Truck 1: 400415 400422 400331 400383 400428 400092
30.05.2018	400028 400330	400079 400229 400023 400069	Truck 1: 400076 400274 400021 400383 400014 400015 400316 400294 400535 400276	Truck 1: 400079 400229 400023 400069 400076 400274 400021 400383 400014 400015 400316 400294 400535 400276	-
01.06.2018	400078 400324	400053	Truck 1: 400041 400090 400335 400325 400231 400088	Truck 1: 400053 400041 400090 400335 400325 400231 400088	Truck 1: 400338 400039 400012 400428
03.09.2018	400051 400028	-	-	-	Truck 1: 400127 DP90000030
19.09.2018	400329 400330 400078 400022 400028 400709 400008 400276	400051 400115 400415 400040 400306	Truck 1: 400383 400053 400423 400550 400309 400098	Truck 1: 400051 400115 400415 400040 400306 400383 400053 400423 400550 400309 400098	-
16.10.2018	-	400231 400076 400276	Truck 1: 400383 400051 400115	Truck 1: 400231 400076 400276 400383 400051 400115	-

Ek 3 – İyileştirme Oranları

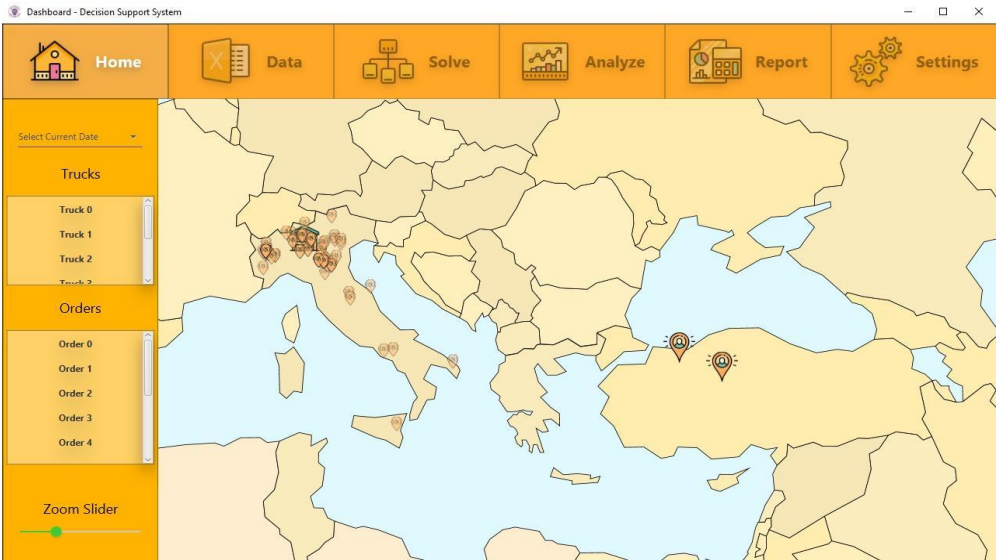


01.06.2018 iyileştirme oranı: %21,2



19.09.2018 iyileştirme oranı: %13,4

Ek 4 – Karar Destek Sistemi Arayüz Tasarımı



Üretim Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarımı

Eczacıbaşı Artema



Proje Ekibi

Burhan Bahçecioglu, Burak Çetintaş, Süleyman Erim,
Özge Koç, Hatice Poyraz, Zübeyde Ebru Torun

Şirket Danışmanı

Ekin Çırakman

Üretim Planlama ve Kontrol Uzmanı

Akademik Danışman

Prof. Dr. Mehmet Selim Aktürk

Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Eczacıbaşı şirketinin Artema fabrikasında, üretim planlama işlemi manuel olarak yapılmakta ve bu durum, siparişlerin teslim sürelerini, üretim istasyonları arası stok seviyelerini ve üretim sürelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu projede, üretim çizelgeleme karar destek sistemi ile üretim planlama sürecinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Projenin amacı, sipariş toplam üretim sürelerini en aza indirgeyerek servis seviyesini artırmak olarak belirtilmiştir. Üretim planlama sürecinin, kısıtları, sorunları ve varsayımları mevcut sistem analizleri ile belirlenmiştir. Edinilen bilgiler ile sipariş toplam üretim süresini en küçükleyecek algoritmalar, üç ayrı üretim istasyonu için geliştirilmiştir. Algoritmalar, Python programlama dilinde çalıştırılmış ve algoritmaların şirket verileri üzerinden testleri yapılmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi ile, haftalık olarak makinelerin kullanımları ve siparişlerin üretim zamanları kullanıcı arayüzleri ile görülebilmekte ve ilgili raporlar oluşturulabilmektedir.

Anahtar Kelimeler Çizelgeleme, Karar Destek Sistemi, Algoritma, Üretim Planlama

1. Şirket Tanıtımı

Dr. Nejat F. Eczacıbaşı tarafından 1942’de temelleri atılan Eczacıbaşı Topluluğu, yapı ürünleri, tüketim ürünleri ve sağlık alanlarında, ulusal ve uluslararası pazarlara yönelik olarak faaliyet gösteren, Türkiye’nin önde gelen sanayi topluluklarından biridir [1].

Vitra, Artema, İntema, Villeroy&Boch, Burgbad ve Engers markalarıyla hizmet veren Eczacıbaşı Yapı Ürünleri Grubu, sektöründeki en geniş ürün yelpazesine ve üretim kapasitesine sahiptir. 60 yıllık deneyimiyle, banyo ve karo ürünleri toplamında Türkiye’de pazar liderliğini elinde bulundurmaktadır (2).

Artema, 1979 yılında Eczacıbaşı Yapı Ürünleri Grubu markası olarak kurulmuştur. Fabrikası, Bilecik’in Bozüyük ilçesinde bulunmaktadır. 1983 yılında Artema, ürün yelpazesine sıhhi tesisat armatürleri eklemiştir. Artema son zamanlarda banyo armatürleri, mutfak armatürleri, duş sistemleri ve banyo aksesuarları gibi dört ürün türü üretmektedir. Fabrika 3 milyon armatür üretim kapasitesine sahiptir. Artema, ürünlerini 5 kıtada 50'den fazla ülkeye Vitra adı altında ihraç etmektedir.

2. Mevcut Sistem Analizi ve Proje Tanımı

2.1. Mevcut Sistem Analizi

Mevcut üretim sistemi, planlama sistemi ve üretim sistemi olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Üretim sistemlerinde, robotlu ve manuel makineler bulunmaktadır. Bu proje, sadece gövde parçası üretim sistemini ve bu sistemin üretim planlarını içermektedir. Gövde parçası üretim sistemi, maça, döküm, kumlama, kesim, mekanik, zımpara-polisaj ve kaplama istasyonlarından oluşmaktadır. Üretim istasyonları ve makine adetleri Ek-1’de verilmiştir. Gövde parçası üretiminin planlama süreci, deneyimli kişilerin, kişisel bilgileri ile manuel olarak yönetilmektedir. Şirket, mevcut sistemde döküm ve mekanik istasyonları için üretim planlaması yapmaktadır. Bu istasyonlar, haftalık planlanmakta ve günlük olarak tekrar gözden geçirilmektedir. Gövde parçasının üretiminden sonra, montaj istasyonunda diğer bileşenlerle birleştirilmektedir. Montaj istasyonu, günlük olarak planlanmaktadır. Her ürün kodunun, her istasyonda farklı bir karşılığı vardır. Bu sayede, planlama departmanı hangi ürünün hangi istasyonda olduğunun takibini yapabilmektedirler.

Şirket için servis seviyesi önemli bir performans ölçüsüdür. Şirket, servis seviyesini zamanında servis seviyesi (On Time in Full) ile belirlemektedir. Teslim tarihinin, teorik teslim tarihinden önce olması, şirketin bu sipariş için yüzde yüz servis seviyesi elde ettiğini, aksi takdirde yüzde sıfır olduğunu gösterir. Teorik teslim tarihi, teslim tarihinden 28 gün sonradır. Şirketin güncel zamanında servis seviyesi 28 gün teorik teslim tarihi ile % 92’dir. Fakat, teorik teslim tarihi 14 gün hesaplandığında zamanında servis seviyesi % 82’dir.

Ayrıca, bir siparişin üretim süresi de şirketin önemseydiği bir performans ölçüsüdür. Bununla birlikte, istasyonlar arası stok miktarları da azaltılmaya çalışılmaktadır. Şirket, deneme amacıyla döküm ve mekanik istasyonları dışındaki istasyonları da planlamaya başlamış ve istasyonlar arası stok miktarı ile birlikte sipariş üretim süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Fakat, bu planlamalar MS Excel üzerinden manuel olarak yapıldığı için ana üretim planlaması yaklaşık olarak 4 saat sürmektedir.

2.2. Proje Tanımı

Bu projede, üretim planlama sürecini iyileştirmek amaçlanmıştır. Çizelgeleme algoritması, bir karar destek sistemi tasarımı ile üretim planlamasında manuel işleri azaltacaktır. Sistemin detaylı analizlerinden sonra, gövde üretiminin darboğazlarının döküm, mekanik ve zımpara-polisaj olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu üç istasyona odaklanılmıştır. Farklı girdi ve çıktılara sahip olan döküm, mekanik ve zımpara-polisaj istasyonlarının senkronize edilmesi için, toplam üretim süresini en aza indireyecek üç çizelgeleme algoritmasına ihtiyaç vardır.

Projenin amacı, bir siparişin üretim süresini en aza indirmektir. Siparişlerin teorik teslim tarihi 14 gün olarak hesaplandığında, servis seviyelerini artırmak projenin hedeflerinden biridir. Algoritmaların aynı zamanda, geciken sipariş miktarını ve üretim istasyonları arası stok seviyesini artırmaması şirket için önemlidir. Servis seviyesi, planlamanın manuel olarak yapılması nedeni ile oluşan zaman kayıplarının azalması ile de artırılmıştır. Döküm, mekanik ve zımpara-polisaj istasyonlarında sezgisel algoritma yöntemleri kullanılarak bir çizelgeleme algoritması geliştirilmiştir.

3. Kaynak Taraması

Problem tanımı doğrultusunda literatürdeki birçok makale araştırılmış ve bilinen çizelgeleme sezgisel algoritmaların, problem tanımları incelenmiştir. Bu sezgisel algoritmaların çoğu permütasyon programlarının geliştirilmesine ve tüm işlerin toplam tamamlanma zamanının performans ölçütü olarak kullanılmasına odaklanır (Onwubolu,2006). Esnek akış tipi atölyelerdeki çizelgeleme problemleri NP-zordur (Lenstra,1977). Bu problemi çözmek için Salvador dal sınır algoritmasını önermiştir ve Kochlar and Morris kurulum süreleri, makine durma süreleri ve hattın mevcut ve sonraki durumu gibi kısıtları dikkate alarak dal sınır algoritmasını geliştirmiştir (Brah,1991). Ayrıca, bu problemi çözmek için benzetilmiş tavlama (Kirkpatrick ve diğerleri, 1983), genetik algoritma (Goldberg, 1989), tabu araması (Glover, 1989) ve karınca kolonisi optimizasyonu (Dorigo, 2000) kullanılmıştır. Problem temsili için Roy ve Sussmann ayrık grafik gösterimini önermiş ama, daha sonra çoğunlukla Gantt çizelgeleri kullanılmıştır. (Błażewicz, 1996).

4. Sistem Tasarımı

Döküm, mekanik ve zımpara-polisaj istasyonları için, farklı sistem girdileri ve çıktıları değerlendirilerek üç ayrı algoritma oluşturulmuştur. Algoritmaların amaç fonksiyonu, toplam üretim süresini en aza indirmektir. Bu algoritmalar, birleştirildikten sonra Python programlama dilinde çalıştırılmıştır.

4.1 Döküm İstasyonu Model Tanımı

Döküm istasyonunun iki farklı girdi dosyası bulunmaktadır. Bunlardan birisi kullanıcının günlük planlama yaparken girmesi gereken ürün kodları, sipariş kodları, üretim adetleri, ürünlerin gövde üretiminden çıkması gereken termin tarihleri, her bir makinenin çalıştığı vardiyalar, vardiya içinde çalışanların dinlenme süreleri ve deneme vardiyalarının belirtildiği kullanıcı girdisi; diğeri ise kullanıcının günlük planlamada müdahale etmediği, sadece yeni ürün çeşidi eklendiği zaman ürünün kodunun, makine çeşitlerinde işlem sürelerinin, ürünün kalıp kodunun ve kalıp adedinin girildiği sabit bir dosyadır. Döküm istasyonu algoritması Şekil 1'de gösterilmektedir.

Algoritma 1

Girdiler: Kullanıcıdan gelen veriler

- *L* çözümlenmeyen işlerin listesi olsun.
- 1. Tüm işleri öncelikle termin süresine sonrasında ise adetlerine göre küçükten büyüğe sırala.
- 2. Sıralanan işleri *L* listesine ata.
- 3. *Her gün için*
- 4. *Her vardiya için;*
- 5. Bekleme süresi en fazla olan ve açık olan makineyi seç|
- 6. Seçilen makinedeki kalıbı kontrol et.
- 7. Boyut(*L*) - 0 olana kadar;
- 8. *Eğer* Makineye takılı kalıbı kullanan bir ürün kodu işlenecek ise;
- 9. Bu işi birinci işlenecek ürün olarak seç.
- 10. *Ya da*
- 11. Makinede işlenebilen ve yeterli sayıda kalıbı bulunan ürünü birinci işlenecek ürün olarak seç.
- 12. *Eğer* Seçilen makine deneme vardiyasında ise veya tek kafalı çalışan bir makine ise:
- 13. Seçilen birinci ürün ile devam et.
- 14. *Ya da*
- 15. Makinede işlenebilen, mevcutta kalıbı bulunan ve işlem süresi birinci ürüne en yakın olan ürünü ikinci ürün olarak seç.
- 16. *Eğer* iki ürün seçildiyse:
- 17. İşlem süresi en uzun ve üretim adeti en az olanı seç.
- 18. *Eğer*
- 19. İşlem süresinin üretim adeti ile çarpımının makine süresine eklenmesi vardiya bitimini geçiyorsa:
- 20. Kalan ürünleri bir sonraki vardiyaya ata.
- 21. *Ya da*
- 22. Tüm adetleri mevcut vardiyaya ata.
- 23. *Eğer* tek ürün seçildiyse:
- 24. *Eğer*
- 25. İşlem süresinin üretim adeti ile çarpımının makine süresine eklenmesi vardiya bitimini geçiyorsa:
- 26. Kalan ürünleri bir sonraki vardiyaya ata.
- 27. *Ya da*
- 28. Tüm adetleri mevcut vardiyaya ata.
- 29. Makine süresini dökümün yapıldığı son ürünün bitiş zamanına eşitle.
- 30. *Geri dön*

Çıktılar: Çalıştırılan makineler için girilen bütün ürün çeşitlerinin makinelere hangi sırayla atanacağı, adetleri, işleme başlama ve bitirme süreleri, termin süresinden ne kadar önce veya sonra üretilebileceği, OTIF yüzdesi, mekanik istasyonuna ortalama teslim süresi, Gantt şeması.

Şekil 1. Döküm İstasyonu Algoritması

Algoritma tasarlanırken aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Çift kafalı makinelerde yapılan deneme dökümlerinde, kullanıcı girdisi olarak alınan ürünlerin işlem süresi deneme dökümü yapılmayan kafa için kabul edilmektedir.
- Dökümüne başlanan ürünlerin mekanik istasyonuna varış süresi sabit olarak kabul edilmektedir.

4.2 Mekanik İstasyonu Model Tanımı

Mekanik istasyonu temel olarak üç farklı girdi dosyasından beslenmektedir. Bunlardan biri döküm istasyonunun algoritmasının çıktısı olan ve ürün kodları, sipariş kodları, üretim adetleri ve mekanik istasyonuna dakika cinsinden geliş zamanlarını içeren dosyadır. Bir diğeri ise kullanıcının çizelgeleme karar destek sistemini çalıştırmak için girdiği veri tablosudur. Bu tabloda her istasyonda üretilmesi gereken ürün kodları ve adetleri, sipariş numaraları, bir haftadaki her vardiya için makine uygunluğu tablosu, bazı makinelerde önceliği olan işlerin maksimum bekleme süresi ve mola zamanı bilgisi yer almaktadır. Son olarak kullanıcının günlük olarak müdahale etmeyeceği, sadece yeni bir ürün kodu eklenmesi durumunda değişim yapmaya ihtiyaç duyulacak dosyadan kurulum süreleri, ürün kodlarının makinelerde işlenme süreleri ve varsa makine-ürün önceliği olan ürünlerin liste bilgileri algoritma tarafından kullanılmaktadır. Mekanik istasyonu algoritması Şekil 2’de gösterilmektedir.

Algoritma 2

Girdiler: Döküm istasyonundan gelen veriler, kullanıcıdan gelen veriler

- *L* çizelgenemeyen işlerin listesi olsun.
- 1. Döküm istasyonundan gelen veriler ile kullanıcıdan gelen verileri birleştir.
- 2. Tüm işleri istasyona geliş süresi, termin günü ve adetine göre sırala.
- 3. Sıralanan işleri *L* listesine ata.
- 4. *Eğer* kullanıcı kurulum sayısını küçültmek isterse;
- 5. Sipariş kodları ile ürün kodları aynı olan ürünler için üretim adetlerini topla.
- 6. Sipariş kodu ve ürün koduna göre yenilenen tüm siparişleri *L* listesinden sil.
- 7. *Ya da*
- 8. Döküm istasyonundan gelen adetleri kullan.
- 9. *Her gün için;*
- 10. *Her vardiya için;*
- 11. Açık makineleri belirle.
- 12. *Boyut(L) = 0 olana kadar;*
- 13. *Eğer* sıradaki işin ürün kodu için öncelikli makine tanımlı ise;
- 14. Maksimum bekleme girdisini göz önünde bulundurarak öncelikli makineye ata.
- 15. *Ya da*
- 16. İşleri makinenin boş kalma süresine ve makinede işlenebilme durumuna göre ata.
- 17. *Geri dön*

Çıktılar: Tüm makineler için tüm işlerin tamamlanma zamanı ve adetleri, toplam kurulum sayısı, kullanım yüzdeleri, geç kalmış toplam iş sayısı, bir hafta içerisinde çizelgenemeyen işlerin listesi, servis seviyesi yüzdesi, mekanik istasyonuna gelen işlerin işlenene kadar geçen ortalama süre, ortalama teslim süresi, Gantt şeması.

Şekil 2. Mekanik İstasyonu Algoritması

Algoritma tasarlanırken aşağıdaki varsayım dikkate alınmıştır:

- Eğer bir iş bir makinede işlenmeye başlanmış ise makine kapanmadığı takdirde iş bitene kadar o makinede işlenmeye devam etmektedir.

4.3 Zımpara-Polisaj İstasyonu Model Tanımı

Zımpara-polisaj istasyonu, üç farklı ürün kodu girdisi almaktadır. Bunlar, mekanik istasyonundan işlenerek gelen ürünlerin kodları, mekanik istasyonuna uğramayan ürünlerin kodları ve başka bir istasyona uğramadan zımpara-polisaj istasyonuna gelen ürünlerin kodlarıdır. Bu ürün kodları için makinelere uygunluk durumları tablosu, işlenme süreleri, kurulum süreleri de girdi olarak algoritmada kullanılmaktadır. Ürün kodları dışında, sipariş kodları, üretim adetleri ve zımpara-polisaj istasyonuna dakika cinsinden geliş zamanları da algoritmada kullanılmaktadır. Zımpara-polisaj istasyonu algoritması Şekil 3'te gösterilmektedir.

Algoritma 3

Girdiler: Mekanik istasyonundan gelen veriler, kullanıcıdan gelen veriler

- *L* çizelgelenmeyen işlerin listesi olsun.
- 1. Döküm istasyonundan gelen veriler ile kullanıcıdan gelen verileri birleştir.
- 2. Tüm işleri istasyona geliş süresine göre küçükten büyüğe sırala..
- 3. Sıralanan işleri *L* listesine ata.
- 4. **Her gün için**
- 5. **Her vardiya için;**
- 6. Açık olan makineleri belirle.
- 7. Boyut(*L*) = 0 **olana kadar;**
- 8. **Eğer** işin gelme süresi vardiya süresi içerisindeyse;
- 9. Geliş zamanına göre vardiyaya sırasıyla ata.
- 10. **Ya da**
- 11. Geliş zamanı en büyük olan işi bir sonraki vardiyaya at.
- 12. **Eğer** SHL makinesi ve manuel tezgahlar açık ve bir önceki vardiyada aynı ürün üretildiyse;
- 13. Minimum bekleme süresi olan makineye ata.
- 14. **Ya da**
- 15. Ürünün kurulum süresinin en küçük olduğu makineye ata.
- 16. **Eğer** Manuel tezgahlar açık değilse;
- 17. İşleri bir sonraki vardiyaya ata.
- 18. İşlenmeye başlama süresini bir sonraki vardiyanın başlangıç süresi olarak güncelle.
- 19. **Eğer** SHL makinesi açık değilse ve makinedeki işin bitiş süresi, manuel tezgahında işlenme süresi bir vardiyanın toplamından büyükse;
- 20. Makinedeki işin bitiş süresinden daha uzun olan sahte bir iş ata.
- 21. **Ya da**
- 22. SHL makinesi açık olana kadar bekle.
- 23. Vardiya sonunda işlerin bitme durumlarını kontrol et.
- 24. **Eğer** Vardiya sonunda yarım kalan bir iş varsa veya makineler mevcut vardiya için meşgul ise;
- 25. İş bir sonraki vardiyaya ata
- 26. İşlenmeye başlama süresini bir sonraki vardiyanın başlangıç süresi olarak güncelle.
- 27. **Geri dön**

Çıktılar: Tüm makineler için tüm işlerin tamamlanma zamanı ve adetleri, geç kalmış toplam iş sayısı, bir hafta içerisinde çizelgelenemeyen işlerin listesi, servis seviyesi yüzdesi, zımpara-polisaj istasyonuna gelen işlerin işlenene kadar geçen ortalama süre, ortalama teslim süresi, Gantt şeması.

Şekil 3. Zımpara-Polisaj İstasyonu Algoritması

Algoritma tasarlanırken aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Ürünlerin, mekanik istasyonundan, zımpara-polisaj istasyonuna geliş süreleri sabit olarak kabul edilmektedir.
- Ürünlerin yüzey konusunda kalite problemi varsa, zımpara-polisaj istasyonunda tekrar işlenebilir. Ancak, bunlar tekrar sipariş listesine dahil edilmemektedir.

5. Geliştirilen Sistemin Başarısı

5.1 Uygulama Planı

Entegrasyon sürecinde, şirkete yeni bir maliyet oluşturmamak adına, açık kaynak kodlu ücretsiz hizmet veren yazılımlar tercih edilmiştir. Algoritmalar için, Python programa dilinde kodlar yazılmıştır. Ücretsiz olmasının yanı sıra, kullanışlı olması, çizelgeleme için fonksiyonlarının olması bu tercihin altında yatan önemli bir etken olmuştur. Bütün istasyonlar için; sipariş numarası, ürün kodu, sipariş miktarı, son teslim tarihi ve makine bilgisi gibi kullanıcı girdileri MS Excel üzerinden alınır. Kullanıcı girdileri için örnek sayfa Ek 2’de verilmektedir. Algoritma, şirketin hem MS Excel üzerinden planlama detaylarını görebileceği hem de Gantt şeması üzerinden ürünün hangi istasyonda ve makinede, kaç adet üretildiğini görebileceği çıktılar vermektedir. Algoritmadan elde edilen örnek çıktılar Ek 3’te verilmektedir. Farklı girdileri ve çıktıları olan bu üç algoritmanın, kodun içerisinde birleştirilmiş olması da şirkete kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, önerilen sistem kullanıcı dostu olmasıyla beraber şirkete hiçbir ek maliyet yaratmamaktadır. Hazırlanan mevcut karar destek sistemi, Haziran ayından itibaren Bozüyük içerisinde bulunan Artema fabrikasında uygulanacaktır.

5.2 Şirkete Sağlanan Katkılar

Önerilen sistem, şirketin üretim planlama süreçlerinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Manuel olarak yapılan gövde üretim planlama işleminin, karar destek sistemi ile yapılmaya başlanması ile planlama işlemi bir dakikadan daha az sürede sonuç vermektedir. Buna bağlı olarak, planlama departmanı üretim içindeki değişikliklere ve sorunlara hızlı bir şekilde yanıt verebilecektir.

Döküm istasyonu algoritmasındaki çift kafalı makinelerin çizelgelemesi, kafalara işlenme sürelerine göre iki farklı ürün yerleştirilmesini ciddi ölçüde iyileştirmiştir. Bu durum da, toplam üretim süresini düşürmektedir.

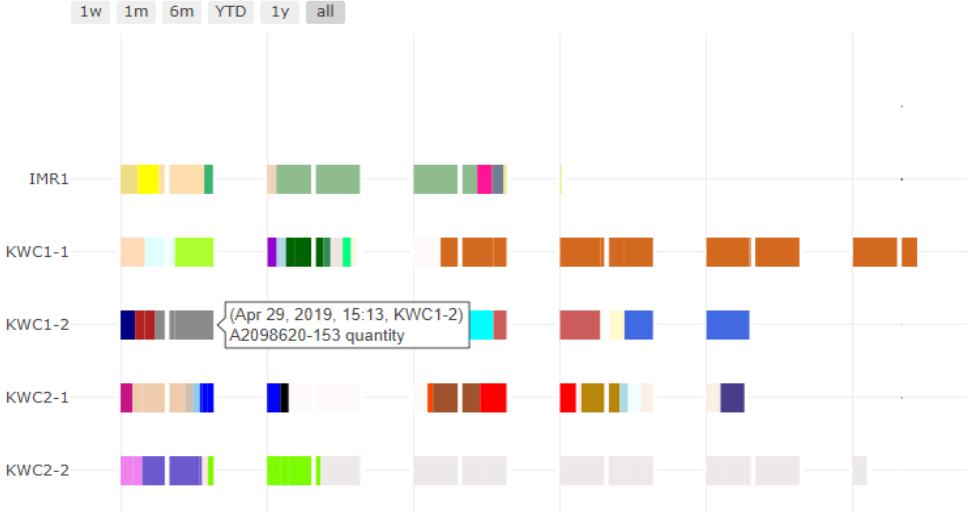
Mekanik istasyonu algoritmasında, kurulum sayısını küçültme seçeneği ve ürünlere öncelikli makine atamasındaki bekleme süresi kullanıcı tarafından girilmektedir. Kullanıcı, bu sayede farklı senaryolar için performans ölçütlerinin değişimini hızlı bir şekilde görebilmektedir.

Daha önce planlanmayan zımpara-polisaj istasyonunun algoritması sayesinde, şirket, kapasiteyi daha verimli kullanmak için gerekli olan makine

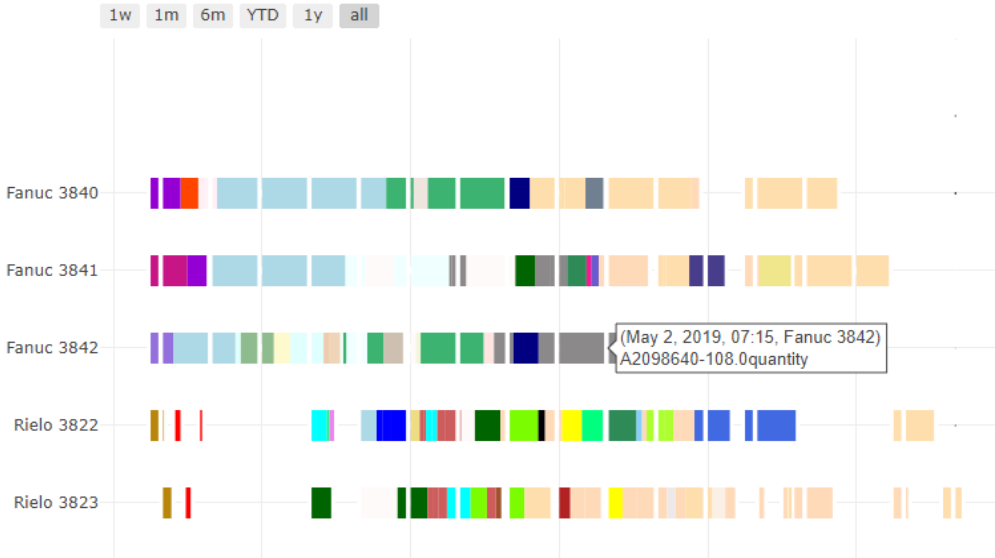
sayısını tespit edebileceğinden, istasyonun önündeki ara stoğu azaltabilmektedir.

6. Sonuç

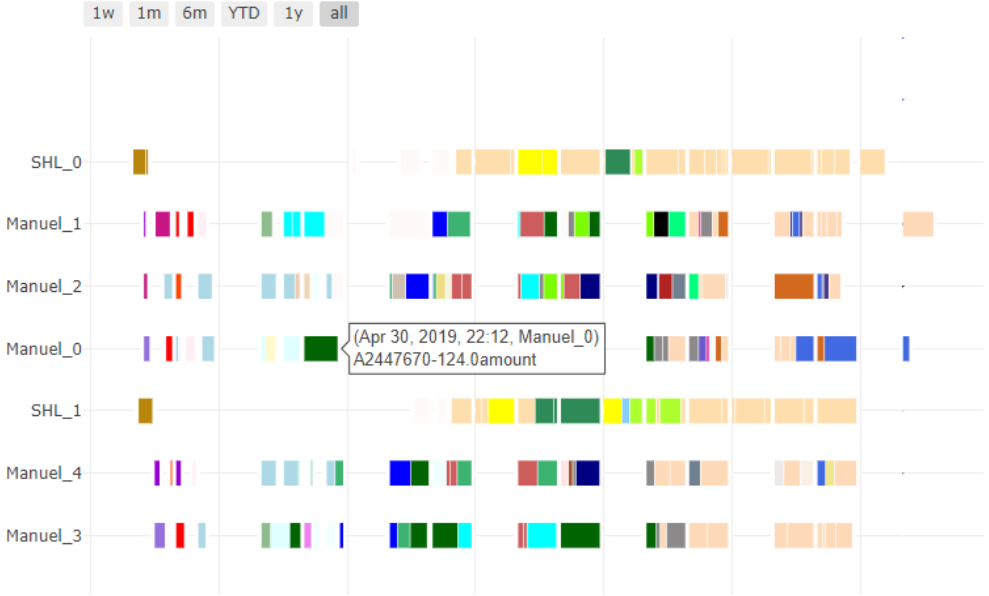
05.04.2019-12.04.2019 tarihleri arası üretim planı, algoritmada denenmiş ve çıktıları alınmıştır. Bu sayede, önerilen sistem ve şirketin sonuçları karşılaştırılmıştır. Algoritmanın çıktısı olan ve şirkete ürünün hangi istasyonda ve makinede, ne zaman ve kaç adet üretildiğini gösteren Gantt şemaları sırasıyla,döküm istasyonu için Şekil 4’de, mekanik istasyonu için Şekil 5’te ve zımpara-polisaj istasyonu için Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 4. Döküm istasyonu için Gantt şeması



Şekil 5. Mekanik istasyonu için Gantt şeması



Şekil 6. Zımpara-Polisaj istasyonu için Gantt şeması

Çizelgeleme algoritması için servis seviyesi ve sistemde harcanan toplam zaman sayıları performans ölçütü olarak dikkate alınmıştır. Zamanında servis seviyesi, gecikmiş işlerin toplamının, toplam iş miktarına bölümü ile bulunmuştur. Sistemin başarısı, yapılan iyileştirmeler sonucunda ortaya çıkan yeni darboğaz istasyonu üzerinden hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Mevcut Sistem ve algoritma karşılaştırması

DARBOĞAZ İSTASYONU	Eski Sistem	Yeni Sistem
Sistemde harcanan zaman	1.34 gün	0.75 gün
Zamanında Servis Seviyesi	82%	87%

Tabloda görüldüğü üzere algoritmalar sayesinde, sistemde harcanan zaman ölçüldüğünde %44 ve zamanında servis seviyesi bakımından %5 iyileştirme gözlenmiştir.

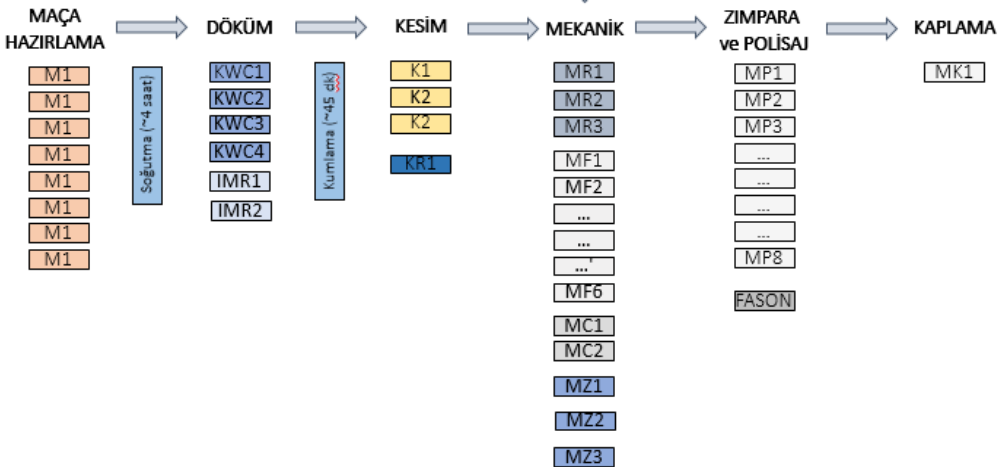
KAYNAKÇA

1. Dream-box.tv. “Topluluk Profili.” *Eczacıbaşı | Eczacıbaşı Topluluğu | Topluluk Profili*, Web.
2. “Eczacıbaşı Yapı Ürünleri Grubu.” *Artema /Hakkımızda*, Web.

3. Onwubolu, Godfrey, and Donald Davendra. "Scheduling flow shops using differential evolution algorithm." *European Journal of Operational Research* 171.2 (2006): 674-692.
4. Lenstra, Jan Karel, AHG Rinnooy Kan, and Peter Brucker. "Complexity of machine scheduling problems." *Annals of Discrete Mathematics*. Vol. 1. Elsevier, 1977. 343-362.
5. Brah, Shaukat A., and John L. Hunsucker. "Branch and bound algorithm for the flow shop with multiple processors." *European Journal of Operational Research* 51.1 (1991): 88-99.
6. Kirkpatrick, Scott, C. Daniel Gelatt, and Mario P. Vecchi. "Optimization by simulated annealing." *science* 220.4598 (1983): 671-680.
7. Goldberg, David E. and Je Rey Horn, Nicholas Nafpliotis. "A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization." *Proceedings of the first IEEE conference on evolutionary computation, IEEE world congress on computational intelligence*. Vol. 1. 1994.
8. Glover, Fred. "Tabu search—part I." *ORSA Journal on Computing* 1.3 (1989): 190-206.
9. Gambardella, Luca Maria, and Marco Dorigo. "An ant colony system hybridized with a new local search for the sequential ordering problem." *INFORMS Journal on Computing* 12.3 (2000): 237-255.
10. Błażewicz, Jacek, Wolfgang Domschke, and Erwin Pesch. "The job shop scheduling problem: Conventional and new solution techniques." *European Journal of Operational Research* 93.1 (1996): 1-33.

EKLER

Ek 1. Üretim İstasyonları ve Makine Adetleri



Ek 2. Örnek Kullanıcı Girdisi

MachineID	KWC1	KWC2	KWC3	KWC4	IMR1	IMR2
Working or Not	1	1	0	0	1	0
Day1 - Shift 1	1	1	0	0	1	0
Day1 - Shift 2	DNSP	1	0	0	1	0
Day1 - Shift 3	0	0	0	0	0	0
Day2 - Shift 1	1	1	0	0	1	0
Day2 - Shift 2	1	1	0	0	1	0
Day2 - Shift 3	0	0	0	0	0	0
Day3 - Shift 1	1	1	0	0	1	0
Day3 - Shift 2	1	1	0	0	1	0
Day3 - Shift 3	0	0	0	0	0	0
Day4 - Shift 1	1	1	0	0	1	0
Day4 - Shift 2	1	1	0	0	1	0
Day4 - Shift 3	0	0	0	0	0	0
Day5 - Shift 1	DNSP	1	0	0	1	0
Day5 - Shift 2	1	1	0	0	1	0
Day5 - Shift 3	0	0	0	0	0	0
Day6 - Shift 1	1	1	0	0	1	0
Day6 - Shift 2	1	1	0	0	1	0
Day6 - Shift 3	0	0	0	0	0	0
Day7 - Shift 1	1	1	0	0	1	0
Day7 - Shift 2	1	1	0	0	1	0
Day7 - Shift 3	0	0	0	0	0	0

	A	B	C	D
1	OrderID	ProductID	Quantity	DueDate
2	60*****	A20*****	250	2
3	60*****	A20*****	700	2
4	60*****	A20*****	50	2
5	60*****	A20*****	300	4
6	60*****	A21*****	200	4
7	60*****	A21*****	200	4
8	60*****	A21*****	24	5
9	60*****	A21*****	89	5
10	60*****	A21*****	24	5
11	60*****	A22*****	200	5
12	60*****	A22*****	50	5
13	60*****	A22*****	100	5
14	60*****	A22*****	24	2
15	60*****	A22*****	350	2

Ek 3. Örnek Döküm İstasyonu Çıktısı

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		OrderID	ProductID	Quantity	DueDate	StartTime	FinishTime	MachineID	Lateness
2	0	600****	A25*****	103	3	0	169	IMR1	-8
3	1	600****	A25*****	40	3	0	142	KWC1-1	-8
4	2	600****	A25*****	40	5	0	142	KWC1-2	-14
5	3	600****	A25*****	50	3	0	118	KWC2-1	-8
6	4	600****	A25*****	50	7	0	118	KWC2-2	-20
7	5	600****	A25*****	50	3	118	213	KWC2-1	-8
8	6	600****	A25*****	50	7	118	213	KWC2-2	-20
9	7	600****	A25*****	30	3	142	239	KWC1-1	-8
10	8	600****	A25*****	30	3	142	239	KWC1-2	-8
11	9	600****	A25*****	100	4	169	379	IMR1	-11
12	10	600****	A25*****	139	3	213	434	KWC2-1	-8
13	11	600****	A25*****	139	6	213	434	KWC2-2	-17
14	12	600****	A25*****	35	6	239	341	KWC1-1	-17
15	13	600****	A25*****	35	3	239	341	KWC1-2	-8
16	14	600****	A25*****	31	6	341	434	KWC1-1	-17
17	15	600****	A25*****	31	7	341	434	KWC1-2	-20
18	16	600****	A25*****	20	4	379	434	IMR1	-11
19	17	600****	A25*****	195	4	480	822	IMR1	-10
20	18	600****	A25*****	23	6	480	534	KWC1-1	-16
21	19	600****	A25*****	23	7	480	534	KWC1-2	-19
22	20	600****	A25*****	111	3	480	641	KWC2-1	-7
23	21	600****	A25*****	111	6	480	641	KWC2-2	-16

Ek 4. Örnek Mekanik İstasyonu Çıktısı

	OrderID	ProductID	Quantity	DueDate	t	StartTime	CompletionTime	Lateness	Tardiness	Preferred	Machine
0	600*****	A25*****	9	4320	360	360	435	-2,7	0		Fanuc 3840
1	600*****	A25*****	40	7200	360	649,8	822,3	-4,4	0		Fanuc 3840
2	600*****	A25*****	31	4320	360	480	649,8	-2,5	0		Fanuc 3840
3	600*****	A25*****	9	4320	360	360	435	-2,7	0		Fanuc 3841
4	600*****	A25*****	41	4320	360	480	716,5	-2,5	0		Fanuc 3841
5	600*****	A25*****	36	4320	360	360	435	-2,7	0		Fanuc 3842
6	600*****	A25*****	67	4320	360	480	578,5	-2,6	0		Fanuc 3842
7	600*****	A25*****	44	10080	360	360	435	-6,7	0	3842/3843	Rielo 3822
8	600*****	A25*****	6	10080	360	480	487,1	-6,7	0	3842/3843	Rielo 3822
9	600*****	A25*****	29	4320	477,8	578,5	915	-2,4	0		Fanuc 3842
10	600*****	A25*****	21	4320	477,8	960	1182,2	-2,2	0		Fanuc 3842
11	600*****	A25*****	50	10080	477,8	480	561,1	-6,6	0	3842/3843	Rielo 3823
12	600*****	A25*****	30	4320	502,3	822,3	897,1	-2,4	0		Fanuc 3840
13	600*****	A25*****	30	4320	502,3	716,5	902,9	-2,4	0		Fanuc 3841
14	600*****	A25*****	55	5760	529,4	1230,4	1395	-3	0		Fanuc 3842
15	600*****	A25*****	45	5760	529,4	1440	1555,1	-2,9	0		Fanuc 3842
16	600*****	A25*****	34	4320	572,8	1004	1395	-2	0		Fanuc 3840
17	600*****	A25*****	51	8640	572,8	3043,8	3315	-3,7	0		Fanuc 3840
18	600*****	A25*****	41	4320	572,8	1440	1875	-1,7	0		Fanuc 3840
19	600*****	A25*****	41	4320	572,8	1920	2355	-1,4	0		Fanuc 3840
20	600*****	A25*****	23	4320	572,8	2400	2643,3	-1,2	0		Fanuc 3840
21	600*****	A25*****	88	8640	572,8	3360	3789,7	-3,4	0		Fanuc 3840

◀ ▶ **Scheduled** | SummaryStatistics | Backlogs | Statistics | Fanuc 3838 | Fanuc 3839 | Fanuc 3840 ... (+)

Ek 5. Örnek Zımpara-Polisaj İstasyonu Çıktısı

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	OrderID	ProductID	Quantity	DueDate	tarrival	StartTime	FinishTime	MachineID	Lateness	Tardiness	shift_bilg	
2	0	600***	A24***	44	10080	420	480	614 SHL_0	-20		0 Shift 2	
3	1	600***	A24***	9	4320	600	600	615 Manuel_1	-8		0 Shift 2	
4	2	600***	A24***	9	4320	600	600	634 Manuel_2	-8		0 Shift 2	
5	3	600***	A24***	6	10080	540	624	643 SHL_0	-20		0 Shift 2	
6	4	600***	A24***	36	4320	600	600	661 Manuel_0	-8		0 Shift 2	
7	5	600***	A24***	50	10080	540	540	693 SHL_1	-20		0 Shift 2	
8	6	600***	A24***	31	4320	720	720	773 Manuel_4	-8		0 Shift 2	
9	7	600***	A24***	67	4320	720	720	833 Manuel_3	-8		0 Shift 2	
10	8	600***	A24***	41	4320	720	730	889 Manuel_1	-8		0 Shift 2	
11	9	600***	A24***	24	8640	838	848	915 Manuel_0	-17		0 Shift 2	
12	10	600***	A24***	9	7200	889	899	915 Manuel_4	-14		0 Shift 2	
13	11	600***	A24***	23	4320	818	828	915 Manuel_2	-8		0 Shift 2	
14	12	600***	A24***	6	4320	818	960	983 Manuel_0	-7		0 Shift 3	
15	13	600***	A24***	11	8640	838	960	991 Manuel_1	-16		0 Shift 3	
16	14	600***	A24***	30	4320	956	961	1013 Manuel_4	-7		0 Shift 3	
17	15	600***	A24***	31	7200	889	960	1016 Manuel_2	-13		0 Shift 3	
18	16	600***	A24***	31	8640	941	961	1048 Manuel_3	-16		0 Shift 3	
19	17	600***	A24***	23	8640	1080	1090	1155 Manuel_1	-16		0 Shift 3	
20	18	600***	A24***	30	4320	1062	1072	1170 Manuel_0	-7		0 Shift 3	
21	19	600***	A24***	10	4320	1137	1147	1179 Manuel_4	-7		0 Shift 3	
22	20	600***	A24***	21	4320	1200	1210	1291 Manuel_3	-7		0 Shift 3	
23	21	600***	A24***	25	4320	1200	1210	1291 Manuel_1	-7		0 Shift 3	

◀ ▶ **Output** | Stats | Excess_oneweek | (+)

Milkrun Operasyonları için Araç Rotalama Sisteminin Geliştirilmesi

Erkunt Traktör A.Ş.



Proje Ekibi

Ekin Cengiz, Alperen Çakır, Eren Güler, İrem Eser,
Osman Berkay Kırık, Mehmet Can Yılmaz

Şirket Danışmanı

Mustafa Akkuş
Lojistik Mühendisi

Akademik Danışman

Prof. Dr. Oya Karışan
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Erkunt Traktör şirketinde tedarikçilerden temin edilecek parçalar için haftalık Milkrun operasyonları gerçekleştirilmektedir. Fakat araçların haftalık rotalamaları sezgisel olarak planlanmaktadır. Şirket, iki kamyon ve bir tırdan oluşan Milkrun araçları için en iyi rotalara sahip olmadığından fazladan katedilen mesafe, tur sayıları ve araçların operasyon maliyeti göz ardı edilmektedir. Bu projenin amacı araçların haftalık rotalarının eniyilemesini yaparak operasyon maliyetlerini en aza indireyecek bir model geliştirmektir. Bu bağlamda tedarikçiler arası mesafeler ve araçlar için birim operasyon maliyetleri hesaplanmıştır. Araçların uğraması gereken tedarikçiler ve rotaları literatürdeki araç rotalama matematiksel modelleri yardımı ile belirlenmiştir. Tedarikçi listesi ve tedarikçilerden temin edilecek parça miktarları oluşturduğumuz arayüz üzerinden girdi olarak alınıp geliştirdiğimiz model ile araçların minimum maliyetteki rotaları elde edilmektedir.

Anahtar Sözcükler : Milkrun, Heterojen kapasiteli araç rotalama problemi

1. Şirket Tanımı

2003 yılında üretime başlayan Erkunt Traktör, Türkiye'nin ilk yerli traktör üreticisidir. Kurulumunda yalnızca Türk yatırımcı ve mühendislere yer veren Erkunt Traktör, 6 yıl gibi kısa bir sürede Türkiye'nin en büyük üçüncü traktör firması olmayı başarmıştır. Geniş bir ürün yelpazesine sahip olan Erkunt Traktör, 84 farklı traktör modeli üretmektedir. Traktör modellerinin yanında 4 farklı biçerdöver modeli de üretmektedir. Uluslararası satışlarında Armatrac ismini kullanarak 17 farklı ülkeye satış yapmaktadır. Şirket 2017 yılında Mahindra & Mahindra isimli Hindistan merkezli şirkete satılmıştır.

2. Proje Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Proje Tanımı

Erkunt Traktör, mevcut işleyişinde haftalık milkrun rotalamalarını tecrübeye dayalı yöntemlerle belirlemekte ve optimizasyon temelli bir rotalama karar destek sistemi kullanmamaktadır. Erkunt Traktör şirket danışmanları bu eksikliğin, rotalama operasyonlarında maliyeti yükselttiği ve kaynak kullanımında verimliliği düşürdüğünü belirtmiştir. Bu projenin ana hedefi, endüstri mühendisliğinin bize sunmuş olduğu araç ve yöntemleri kullanarak, şirketin haftalık olarak gerçekleştirmiş olduğu milkrun seferlerinde optimizasyon temelli bir araç rotalama sistemi oluşturmaktır. Bu proje neticesinde şirketin milkrun rotalamaları üzerinde kontrol sahibi olması ve dolaylı olarak haftalık araç seferlerinin operasyon maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

2.2. Mevcut Sistem Analizi

Erkunt Traktör'ün ürün yelpazesi traktör, biçerdöver ve diğer traktör üreticilerine satılmakta olan hidrolik parçalardan oluşmaktadır. Şirket mevcut durumda "stok için üretim" (Make-To-Stock), "sipariş üzerine yapma" (Make-To-Order) ve Kanban sistemlerinden faydalanmaktadır. Tüm üretim süreci, müşteri siparişinden sonra başlamakta, böylece kontrol dışı uzun süreli stoklardan kaçınılmaktadır. Traktörlerin montajı esnasında bir adet üretim hattı kullanılmakta ve bir ürünün hatta bulunma süresi bir ila bir buçuk gün arasında değişmektedir.

Şirket tesislerinde herhangi bir parça üretimi yoktur, sadece montaj işlemi yapılmaktadır. Montaj için gerekli olan tüm parçalar tedarikçiler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu süreç esnasında şirket MRP programını ve tedarikçilerle iletişimi sağlamak için Erkunt Portal'ı kullanmaktadır. Mevcut sistemde MRP programı pazartesi, çarşamba ve cuma günleri olmak üzere haftada üç kez çalıştırılmaktadır. Elde edilen MRP sonuçlarına göre üretim planlaması oluşturulmakta ve gerekli parçalar üretim ağacından tespit edilmektedir. Tespit edilen parçalara göre, lojistik bölümü tarafından araçların rotalaması oluşturulmaktadır.

Erkunt Traktör mevcut durumda bir tır ve iki kamyon olmak üzere üç araçtan faydalanmaktadır. Haftalık planlamalarda çoğu zaman rotalama değişmediği için, araçlar sipariş miktarından bağımsız olarak her şehir için belirli rotayı kullanmaktadır. Buna ek olarak, mevcut planlamada araçlar yalnızca tek bir şehri ziyaret etmektedir ve tek bir rotada birden fazla şehirden tedarikçiyi ziyaret etmemektedir. Tedarikçi ziyaret sürecinde kullanılan araçların her biri tek bir sürücü üzerine kayıtlıdır ve sadece yetkilendirilmiş sürücü aracı kullanabilir. Yasal düzenlemelerden dolayı sürücü gün içinde yalnızca sekiz saat araç kullanabilir ve ertesi gün yeniden iş başı yapamaz.

Kullanılan araçların yükseklik ve genişliği Avrupa standartlarındadır ve sabittir. Bu nedenle taşınan yükler sadece uzunluk belirten ladametre cinsinden ölçülür. Tır 13.2 ladametre, kamyonlar ise 7.2 ladametre kapasiteye sahiptir. Araçların taşıma maliyeti taşıdıkları yük miktarından bağımsızdır ve kilometre başına maliyet çarpanı kullanılarak hesaplanır. Tır için maliyet çarpanı 0.40, her kamyon için maliyet çarpanı 0.28'dir.

2.3. Belirti ve Şikayetler

Erkunt Traktör milkrun seferlerinde mevcut envanterinde bulunan, iki kamyon ve bir tır olmak üzere, iki tip araç kullanmaktadır. Bu araçların kapasiteleri problemin başlıca kısıtını oluşturmaktadır. Sipariş miktarından bağımsız olarak şirket sistematik bir araç rotalamasına sahip olmadığı için, bazı haftalarda araçların boş dönmesine veya mevcut araçların yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Mevcut araçların yetersiz kaldığı durumlarda şirket kiralık araç kullanır ve bu durum ek maliyete yol açar. Kapasiteyi etkin bir şekilde kullanmamak şirket için maliyet artışına sebep olmaktadır.

3. İlgili Literatür

Projedeki sorunların daha iyi çözüme kavuşturulması amacıyla, çözüm sürecine başlamadan önce kaynak araştırması yapılmıştır. Temel sorun milkrun araçlarının rotalama eksikliğinden kaynaklandığı için öncelikle milkrun teriminin anlamı araştırılmıştır. Hosseini et al. (2014) milkrunu şu şekilde tanımlamaktadır: Milkrun ismi, geleneksel süt satışından gelmektedir. Sütçüler, müşterilerine dolu süt şişesini verdikten sonra boş süt şişelerini toplarlardı. Milkrun ismi sütçülerin bu toplama yönteminden ortaya çıkmıştır. Bir araçla birden fazla tedarikçiden parça toplanırken, satıcıya geri getirilmesi gereken parçaları aynı araçla tedarikçiye geri götürme işlemine milkrun adı verilir. Sütçülerin kullandığı bu sistemi bir çok endüstri kullanmaktadır. Üretiminde çok sayıda parça gereken ürünlerde, milkrun tedariki üreticiye oldukça kolaylık sağlamaktadır. Bu nedenle Erkunt Traktör de tedarik yöntemi olarak bu yöntemi seçmiştir. Ancak şirketin tedarikçilere yeniden parça göndermesi gerekmemesinden dolayı şirketin uyguladığı bu yöntem literatürdeki milkrun tanımından biraz farklıdır.

Araştırmalar sonucunda, şirket farklı tipte araçlar kullandığı ve her bir aracın kapasitesine göre yükleme yapılabileceği için, Erkunt Traktör'ün araç rotalamalarında karşılaştığı bu problemin heterojen kapasitif araç yönlendirme problemi ile çözülebileceği anlaşılmıştır. Choi ve Tcha (2007) bu problemi şu şekilde açıklamaktadır: farklı kapasitelerdeki birden fazla aracın daha önceden belirlenmiş bir rotayı takip ederek ve tüm tedarikçileri yalnızca bir kez ziyaret ederek rotadaki tüm tedarikçileri dolaşmasıdır. Rota aynı noktada başlayıp bitmelidir ve hiçbir aracın kapasitesi aşılmamalıdır. Problemin amacı maliyeti en aza indirecek rotayı bulmaktır.

4. İzlenen Yöntemler ve Uygulamalar

Model geliştirilmeden önce problem tanımına en uygun çözümler yöntemi belirlenmiştir. Bu bağlamda şirket milkrun operasyonları için kamyon ve tır olmak üzere iki çeşit araç kullandığından, heterojen kapasitif araç problemi üzerinden matematiksel model oluşturulması hedeflenmiştir. İlk olarak, geliştireceğimiz modelde kullanılmak üzere Erkunt Traktör'ün Türkiye'deki mevcut tedarikçilerinin aralarındaki mesafeyi içeren bir mesafe matrisi oluşturulmuştur. Mesafe matrisi Google API yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonrasında iki aşamalı çözümler yöntemi benimsenerek iki farklı matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller GAMS ve Excel üzerinden oluşturulup sırasıyla CPLEX ve OpenSolver araçları ile çözülmüştür.

4.1. Model Geliştirme

Problemdeki tedarikçi sayısı yüksek olduğu için iki aşamalı bir çözümler mantığını benimsemenin projemize en uygun seçenek olduğuna karar verilmiştir. Çözümler önerisi olarak iki farklı matematiksel model oluşturulmuş ve bu modellerin hedefleri iki başlık altında yürütölmüştür:

1. Minum tur sayısının hesaplanması
2. Minimum maliyet ile araç rotalaması

İlk olarak, yasal sürüş kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak, haftalık siparişlerin, en düşük kapasiteli milkrun aracı ile kaç turda toplanabileceğinin hesaplanmasına karar verilmiştir. Bu bağlamda, aracın rotalamasının en iyilemesi yapılarak, minimum tur sayısını amaç fonksiyonu alan bir model geliştirilmiştir. Bir tur, bir aracın toplamda 16 saat kesintisiz seyahat ettiği süre olarak varsayılmıştır. Bunun sebebi, yasal olarak bir sürücünün gün içinde sekiz saat araç kullanma limitinin olmasıdır. Bu varsayımdan çıkardığımız sonuca göre bir araç, kapasitesi farketmeksizin, şirketin haftalık toplam çalışma saatleri içerisinde bir haftada en fazla üç tur yapabilmektedir. Geliştirdiğimiz ilk modelde, en düşük kapasiteli araç ile yapılan en az tur sayısı hesaplanmaktadır. Bu sonuç, rotalamada kullanılması gereken en düşük kapasiteli araç sayısını ve yüksek kapasiteli araca ihtiyaç olup olmadığını göstermektedir. Bu yöntem,

araçların kaynak yönetimi hakkında fikir vermektedir. Model, sipariş büyüklüğü (ladametre cinsinden) ve aracın uğraması gereken tedarikçiler olmak üzere iki girdiye sahiptir. Aracın kapasitesi ve bir turun 16 saatten oluştuğu, gerekli kısıtların yanı sıra, modelde gösterilmiştir. Birinci model örnek haftaların verileri ile çözdürüldüğünde, o haftada gerekli olan en az tur sayısını bulmuş ve böylece üç turu geçen haftalarda, ilave milkrun araçlarına ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Birinci model Ek-1’te gösterilmektedir. Ancak bu model, maliyet analizi yapmamakta ve farklı araç tiplerini göz önünde bulundurmamaktadır. Şirketin, tarafımızdan beklentisi ise toplam maliyeti en aza indireyecek araç rotalama sisteminin geliştirilmesidir. Bu bağlamda, ilk modele yeni parametreler eklenmesine ve amaç fonksiyonunun değiştirilmesine karar verilmiştir. Araç tipi ve araçların birim maliyeti olarak iki yeni parametre eklenmiş ve minimum toplam maliyeti karar fonksiyonu alan ikinci bir model geliştirilmiştir. Bu matematiksel model ile şirkete minimum maliyetteki haftalık araç rotalamalarının verilmesi amaçlanmaktadır.

Kümeler

N: Düğüm kümesi = {0, ..., 80}

K: Araç kümesi = {1, ..., 3}

Parametreler

q_i : Tedarikçi için sipariş büyüklüğü $i \in N \setminus \{0\}$

$S_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \in N \setminus \{0\} \text{ tedarikçisi o hafta için sipariş tedarik edecekse} \\ 0 & \text{Bunun dışında} \end{cases}$

$Q_k = k$ aracının kapasitesi

$T = 16$ (bir turdaki maksimum seyahat süresi)

$f = 1/60$ (60km/saat bir aracın ortalama hızı)

$d_{ij} = i$ ve j arasındaki mesafe (km) ve $i, j \in N$

$u_k = k$ aracının birim maliyeti

Karar Değişkenleri

$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } k \text{ aracı } j \text{ düğümünü } i \text{ düğümünden sonra herhangi bir} \\ & \text{turda ziyaret ediyorsa } i, j \in N \text{ } k \in K \\ 0 & \text{Bunun dışında} \end{cases}$

$l_{ik} = k$ aracının i düğümünü ziyaret ettikten sonraki yükü, $i \in N \setminus \{0\}$

$t_{jk} = k$ aracının j düğümünü ziyaret ettikten sonraki seyahat süresi, $j \in N \setminus \{0\}$

Karar Fonksiyonu

Min $\sum_k \sum_i \sum_{j: j \neq i} x_{jik} d_{ij} u_k$

Kısıtlar

$$l_{jk} \geq l_{ik} + q_j - Q_k (1 - x_{ijk}) \quad i, j \in N, \quad i \neq j \text{ and } j \neq 0 \quad k \in K \quad (1)$$

$$l_{jk} \leq Q_k \quad \forall j \in N \setminus \{0\} \quad k \in K \quad (2)$$

$$t_{jk} \geq t_{ik} + f d_{ij} - T(1 - x_{ijk}) \quad i, j \in N \quad i \neq j \text{ and } j \neq 0 \quad k \in K \quad (3)$$

$$t_{jk} + f d_{j0} x_{j0k} \leq 16 \quad j \in N \setminus \{0\} \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0jk} = \sum_{i \in N \setminus \{0\}} x_{i0k} \quad k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j: j \neq i} x_{ijk} = \sum_{j: j \neq i} x_{jik} \quad i \in N \quad k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j: j \neq i} x_{ijk} = S_i \quad i \in N \setminus \{0\} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0jk} \leq 3 \quad k \in K \quad (8)$$

4.2. Kullanıcı Arayüzü

Geliştirmiş olduğumuz araç rotalama sistemi, Excel VBA üzerinden oluşturduğumuz kullanıcı dostu bir arayüz ile desteklenerek, şirketin daha kolay kullanabileceği bir hale dönüştürülmüştür. Arayüzün çalışma prensibi ise şu şekildedir:

Microsoft Excel’i açtıktan sonra “Login” seçeneğinden sistemin anasayfasına ulaşılmaktadır. Anasayfada, haftalık sipariş için tedarikçi listesi ve tedarikçilerden temin edilecek parça miktarları belirlendikten sonra, dosya kaydedilip geliştirdiğimiz modelde girdi olarak alınmaktadır. Anasayfada buna ek olarak haftalık siparişlerin kaydının tutulması ve geçmiş siparişlerin analizini yapmak üzere “Kayıt” ve “Analiz” alternatifleri mevcuttur. Ayrıca kullanıcı, model çalıştırıldıktan sonra araçların yapacağı turlara ve sırasıyla uğraması gereken tedarikçilere “Sonuç Okutma” aracı üzerinden erişebilmektedir. Arayüz tasarımı Ek-4’te gösterilmiştir.

5. Şirket Kazanımları ve Uygulama Planı

5.1 Şirket Kazanımları

Mevcut sistemde, araçların rotalamaları şirket bünyesindeki lojistik çalışanları tarafından yapılıp, optimizasyon temelli sistematik bir rotalamaya dayanmamaktadır. Şirket tarafından iletilen proje çerçevesinde, milkrun araçlarının minimum maliyetteki rotalamalarını oluşturabilen bir sistem geliştirilmesi talep edilmiştir. Bu bağlamda, lojistik çalışanlarının iş yükünü azaltmayı hedefleyen, zaman verimliliğini arttıran, şirketin herhangi bir maliyet ödemediği bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile arayüz üzerinden zaman kaybı olmaksızın haftalık araç rotalamaları için girdilerin hazırlanması ve OpenSolver üzerinden çözümlenen model ile sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

5.2 Uygulama Planı

Önerilen sistemin uygulanması üç aşamada olacaktır. Birinci aşamada, şirkette sanayi danışmanımız ile oluşturduğumuz matematiksel model test edilecektir. Şirketin onayı alındıktan sonra, modelin şirketin sağlayacağı daha geniş test verileri ile çalıştırılması ve mevcut sistem ile önerdiğimiz sistemin

karşılaştırılmasını daha geniş maliyet ve performans ölçeklerinde yapılması planlanmaktadır. Ardından ikinci aşama olan projenin uygulamaya konması, önerilen sistemin şirketin kendi sistemlerine entegre edilmesiyle başlayıp, ara yüz modelimizin şirket sistemine kurulumuyla gerçekleşecektir. Şirket, halihazırda kendi veri tabanlarında Microsoft Excel'i aktif olarak kullanmaktadır. Şu aşamada sunulmuş Excel arayüzü ile kodların, nasıl ve ne şekilde sisteme entegre edileceği konusunda, şirkete kullanım kolaylığı sağlaması için tasarlanmıştır. Üçüncü aşamada ise şirketten alınan geri dönüşler doğrultusunda, geliştirilen sistem üzerinde gerekli iyileştirmelerin yapılması planlanmaktadır.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Oluşturulan matematiksel model, GAMS ve Excel üzerinden çözümlü çıktılar alınmıştır. Bu süreçte, şirketin haftalık örnek rotaları üzerinde çalışılmıştır. Geliştirmiş olduğumuz araç rotalama sisteminden elde edilen sonuçlar, şirketin milkrun araçlarının rotalaması için kullanmış olduğu mevcut sistem ile karşılaştırılmıştır. Araç rotalarının eniyilenmesi yapılarak minimum maliyetteki araç rotaları belirlenmiştir. Haftalık örnek rotalarda, mevcut sistemde araçların toplam beş turda milkrun operasyonlarını tamamladığı gözlenirken, geliştirdiğimiz sistemde ise araçlar toplam dört turda milkrun operasyonunu tamamlamaktadır. Araçların mevcut sistemdeki ve geliştirilen sistemdeki rotaları Ek-2'teki harita üzerinde gösterilmiştir. Mevcut sistemde birinci kamyon Bursa'daki, ikinci kamyon ise İstanbul'daki tedarikçilerden temin edilecek parçaları toplamak için iki tur yaparken, tır ise Ankara içinde tek turda tedarikçilerden parçaları toplamaktadır. Geliştirilen sistemde ise birinci kamyon İstanbul ve Bursa'ya uğrayarak toplamda iki tur yaparken, ikinci kamyon ise Ankara içinde toplam iki tur yapmaktadır. Geliştirilen sistemde, çalıştığımız haftalık örnek rotalarda tırın kullanılmasına gerek kalmamıştır. Fakat, bu çok daha yoğun ve geniş ölçekteki operasyonlar için genel bir sonucu ifade etmemektedir. Elde edilen sonuç, toplam tur sayısının azaltılmasında ve kullanılan araç sayısında iyileştirmenin gerçekleştiğidir. Araç rotalamalarının eniyilenmesi yapılarak araçların katetmiş olduğu toplam mesafede ve toplam operasyon maliyetlerinde azalma gözlemlenmiştir. Kat edilen toplam mesafe mevcut sistemde 2350 km iken, geliştirilen sistemde 1987 km'dir. Toplam operasyon maliyeti mevcut sistemde 637,88 TL iken, geliştirilen sistemde 556,38 TL'dir. Üzerinde çalışmış olduğumuz haftalık örnek rotalarda araçların katetmiş olduğu toplam mesafede %15, operasyon maliyetlerinde ise yaklaşık %13 iyileştirme elde edilmiştir. Elde edilen iyileştirme sonuçları Ek-3'te sunulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Choi E., Tcha D. 2007. "A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem". Computers & Operations Research. 34(7). 2080-2095
- Hosseini D.H., Shirazi M.A., Karimi B. 2014. "Cross-docking and milk run logistics in a consolidation network: A hybrid of harmony search and simulated annealing approach". Journal of Manufacturing Systems. 33(4). 567-577.

EKLER

Ek-1. 1. Model

Kümeler

N: Düğüm kümesi = {0, ..., 80}

K: Araç kümesi = {1, ..., 3}

Parametreler

q_i : Tedarikçi için sipariş büyüklüğü $i \in N \setminus \{0\}$

$S_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \in N \setminus \{0\} \text{ tedarikçisi o hafta için sipariş tedarik edecekse} \\ 0 & \text{Bunun dışında} \end{cases}$

$Q = 7.2$ (Araç kapasitesi)

$T = 16$ (bir turdaki maksimum seyahat süresi)

$f = 1/60$ (60km/saat aracın ortalama hızı)

$d_{ij} = i$ ve j arasındaki mesafe (km) ve $i, j \in N$

Karar Değişkenleri

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer araç } j \text{ düğümünü } i \text{ düğümünden sonra herhangi bir} \\ & \text{turda ziyaret ediyorsa } i, j \in N \\ 0 & \text{Bunun dışında} \end{cases}$

$l_i =$ aracın i düğümünü ziyaret ettikten sonraki yükü, $i \in N \setminus \{0\}$

$t_j =$ aracın j düğümünü ziyaret ettikten sonraki seyahat süresi, $j \in N \setminus \{0\}$

$K =$ Toplam tur sayısı

Amaç Fonksiyonu

Min K

Kısıtlar

$$l_j \geq l_i + q_j - Q(1 - x_{ij}) \quad i, j \in N, \quad i \neq j \text{ and } j \neq 0 \quad (1)$$

$$l_j \leq Q \quad \forall j \in N \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$t_j \geq t_i + f d_{ij} - T(1 - x_{ij}) \quad i, j \in N \quad i \neq j \text{ and } j \neq 0 \quad (3)$$

$$t_j + f d_{j0} x_{j0} \leq 16 \quad j \in N \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0j} = K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{j0} = K \quad (6)$$

$$\sum_{j: j \neq i} x_{ij} = \sum_{j: j \neq i} x_{ji} \quad i \in N \quad (7)$$

$$\sum_{j: j \neq i} x_{ij} = S_i \quad i \in N \setminus \{0\} \quad (8)$$

Ek-2. Araçların Harita Üzerindeki Rotaları



Ek-3. Sonuçların Karşılaştırılması

Mevcut Sistem			
TIR	KAMYON 1	KAMYON 2	Toplam
Ankara	İstanbul	Bursa	
124 KM	1037 KM	1189 KM	2350 KM
49,60 TL	290,36 TL	333,92 TL	637,88 TL

Geliştirilen Sistem			
TIR	KAMYON 1	KAMYON 2	Toplam
	Ankara	İstanbul-Bursa	
0	146 KM	1841 KM	1987 KM
0	40,88 TL	515,48 TL	556,38 TL

Ek-4. Kullanıcı Arayüz Tasarımı



Yedek Parça Stok Analizi ve Planlaması

Erkunt Traktör A.Ş.



Proje Ekibi

Beste Akan, Ziyahan Alan, Nazım Cem Alkan, Furkan Kağan Ay,
Çağdaş Fatih Aydın, Mustafa Bilgin, Melike İrem İlter

Şirket Danışmanı

Burcu Barutçu
Yedek Parça Planlama
Uzman Mühendisi

Akademik Danışman

Prof. Dr. Oya Karaşan
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Erkunt Traktör Sanayii A.Ş. Yedek Parça Stok Analizi ve Planlanması projesi ile stok miktarlarının azaltılması amaçlanmıştır. Şirketten alınan veriler doğrultusunda, yedek parça stoklarının analizi sonrası parçalar, karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Her sınıfa özel stok politikaları ile birlikte sipariş miktarları özelleştirilmiştir ve depodaki stok miktarları azaltılmıştır. Bu iyileştirmeleri kullanılabilir kılmak için kullanıcı dostu bir arayüz oluşturulmuştur. Şirketin değişen satış dalgalanmalarına uygun hale getirilen kullanıcı dostu arayüz, şirketin sistemine yüklenmiştir. Sonuç olarak, doğru planlama ile depodaki stok miktarlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Stok Optimizasyonu, Kümeleme, Karar Destek Sistemi, Stok Politikaları, Emniyet Stoğu

1. Şirket Tanıtımı

Erkunt Traktör Sanayii A.Ş., 2003 yılında, tamamen yerli sermaye ile kurulmuştur. Kuruluşundan bir yıl sonrasında, ilk yerli tasarım traktörlerin üretimine başlanmıştır. Sonraki 6 yıl içinde, Erkunt Traktör büyüyerek piyasada üçüncü sıralamaya yükselmiş ve sektördeki en büyük firmalardan biri haline gelmiştir. Günümüzde, Türkiye'nin en büyük 500 sanayi kuruluşundan biridir. İhracat markası olan ArmaTrac'ı 17 farklı ülkeye ihraç etmektedir. Erkunt Traktör Sanayii A.Ş., Ankara Organize Sanayii Bölgesinde üretim yapmaktadır.

2. Sistem ile İlgili Bilgiler

2.1 Mevcut Sistem Analizi

Erkunt Traktör, yedek parça stoklarında yaklaşık 7000 çeşit yedek parça tutmaktadır ve bu parçaların sadece %63,63 değerindeki bir kısmı tedavülde olup geri kalanı ölü stok kategorisindedir. Son iki yıl içerisinde işlem görmemiş olan parçalar ölü stok olarak adlandırılmaktadır. Firma, stok miktarlarını parçanın hareket oranına bağlı olarak her hafta yenilemektedir. Bu süreçte, her bir parça için aynı stok politikasına göre sipariş miktar belirlenmesi yapılmaktadır. Bu politika, parçanın haftalık hareketi, tedarik süresi ve emniyet stok seviyesine göre belirlenmektedir. Parçaların haftalık satışına göre hesaplanmış olan haftalık hareketinin, tedarik süresi ile çarpımı, bu parçanın ortalama talep miktarını vermektedir ve emniyet stok seviyesi her parça için %5 olarak belirlenmiştir. Son olarak, ortalama satış sayısı ile emniyet stok katsayısı olan 0.05'in çarpımı ile bir parçanın sipariş edileceği miktar hesaplanmaktadır.

2.2 Projenin Kapsamı

Projede ele alınacak olan problem, her parça için aynı stok politikasına göre stok tutulması ve buna bağlı olarak gereğinden fazla ürün ile depodaki stok miktarının artmasıdır. Her parçanın kendine ait bir fiyatı, tedarik süresi ve talep değişkenliği vardır, ancak; mevcut sistemde bu farklılıklar hesaba katılmadan işlem yapılmaktadır. Ancak, emniyet stok miktarının her parça için sabit tutuluyor olması başta olmak üzere, bu farklılıklar stok miktarının gereğinden fazla artmasında rol oynamaktadır.

Bunun yanı sıra, mevcut sistemde stoktaki ürünler için bir sınıflandırma sistemi bulunmamaktadır. Hâlihazırda kullanılan yöntem ile beraber ürünlerin fiyatları ve talep değişkenliklerindeki farklılıklar hesaba katılmamaktadır. Stok yenilemeleri haftalık olarak yapıldığı için de stoktaki miktar eritilemeden yeni siparişler alınmaktadır.

Buna ek olarak, alt problem olarak değerlendirilen, seri numaralarının düzenlenmesini kapsayan bir problem daha mevcuttur. Firmanın sistemindeki parçalardan bir kısmı, aynı parça olmasına rağmen farklı seri numaralarıyla sisteme girilmiş ve bunun sonucunda da olandan daha fazla ürün miktarı ortaya çıkmıştır. Seri numarası farklı olan parçalar aslında aynı parça olsa dahi, sistemde ayırt edilememekte ve bu parçalar için her seri numarasına göre ayrı

ayrı parça siparişi verilmektedir. Bu karışıklık sebebi ile stok miktarları daha fazla artmaktadır.

2.3 Bugünkü Durum Analizi

2.3.1 Ana Kısıtlamalar

2.3.1.1 Satış Sonrası Bayi Desteği

Şirket satış sonrası müşteri memnuniyetini yüksek tutmak ve şirketin teknik destek yükümlülükleri nedeniyle; şirket, SKU'ların yedek parçalarını 10 yıl süreyle elinde bulundurmalıdır. Pazarın rekabetçi olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu tür bir destek şirketin pazar payını koruması açısından oldukça önemlidir. 10 yıl süreyle yedek parçayı stokta tutmak da şirkette stok birikmesine yol açmaktadır.

2.3.1.2 Tedarik Süresi

Şirket parçalarını farklı bölgelerdeki tedarikçilerden sağladığından dolayı parçaları istedikleri zaman elde edememektedir. Ürünü tedarik etmek için belirli bir süre beklemelidir. Bu durumda da fazladan stok tutarak bu durumu telafi etmeye çalışmaktadırlar.

2.3.2 Önemli Varsayımlar

Projenin ilerleyişini kolaylaştırmak ve projenin uygulanmasına ilişkin verilerin yeterli olmaması nedeniyle şirket çalışanları ve danışmanların önerileriyle aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

2.3.2.1 Sabit Teslimat Süresi

Stoktaki her bir ürünün teslim süresinin stokastik olmadığı varsayılmaktadır. Yani kümeleme yaparken, teslimat süresi değişkenliği değil teslimat süresi göz önünde bulundurulmuştur.

2.3.2.2 Sınırsız Depo Kapasitesi

Yapılan literatür araştırmasında görülebileceği üzere, depolama hacmindeki sınırlamalar stok optimizasyonu projelerinde son derece önemlidir. İstisnai olarak, Erkunt Traktör yedek parça deposunda depolama hacmi sınırlamaları göz önünde bulundurulmamıştır. Alandaki gözlemler ve şirket çalışanlarından alınan bilgilere göre sınırsız depolama kapasitesi varsayılmaktadır.

2.3.2.3 Tutma Maliyeti Varsayımı

Türk Lirası için günümüzde yıllık faiz oranı yüzde yirmi dördtür. Stok için harcanan maliyet, bankaya konulsa da yıllık yüzde yirmi dört faiz kazanılacaktı. Daha net olmak gerekirse, aylık yüzde ikilik faiz, ürünün aylık tutma maliyeti olarak varsayılmaktadır.

2.3.2.4 Sipariş maliyeti varsayımı

Her siparişte sipariş edilen ürünün maliyetinin yüzde ikisi sipariş maliyeti olarak varsayılmaktadır.

3. Sistem Tasarımı

3.1 Model Geliştirme

Şirketin her bir ürün için aynı güvenlik stok politikasını uygulamasından dolayı yedek parça stokunda aşırı bir artış belirlenmiştir. Bu durum şirketin teslimat sürelerini hesaba katmadan her ürüne yüzde beşlik güvenlik stoku tutmasından kaynaklanmaktadır. Projede güvenlik stok formülü ve tedarikçilerden gelen teslimat süreleri göz önünde bulundurularak her bir ürün için emniyet stok miktarları yeniden düzenlenmiştir.

Şirketin sisteminde aynı ürüne farklı seri numaraları atamasından dolayı yedek parça stoklarında istenmeyen ve gerekli olmayan bir artış gözlenmiştir. Projede bu sorun bir ara problem olarak irdelenip, Excel yardımıyla her ürün için tek bir seri numarası belirlenmiştir.

Şirket her bir ürünü aynı stok politikasıyla tuttuğundan, yedek parça stokunda istenmeyen bir artış gözlenmiştir. Aşırı stok artışının önüne geçmek için projede, ürünler benzer özellik taşımalarına göre kümelenecek ve üç küme elde edilmiştir. Talep değişkenliği yüksek ve maliyeti yüksek olanlara Lot For Lot politikası atanmış; düşük maliyetli ve düşük talep değişkenliği gösteren ürünler için Sabit Sipariş Miktarı (Fixed Order Quantity) politikası atanmış; çok düşük maliyetli ve talep değişkenliği yüksek olanlar için Silver Meal Sezgisel (Silver Meal Heuristic) politikası uygulanmıştır.

Düzenleme ve kümeleme işlemi yapıldıktan sonra şirkete sürekli bir kullanım ve kolaylık sağlaması açısından karar destek mekanizması oluşturulmuştur. Oluşturulan kullanıcı dostu arayüz sayesinde şirkete gelecekte vereceği sipariş miktarını belirlemede yön gösterilmiştir.

3.2 Model Doğrulama

Çözüm yaklaşımını doğrulamak için bir doğrulama modeli kullanılmıştır. Projenin başlangıcında envantere harcanan maliyet belirlenmiş ve her küme için toplam sipariş etme ve tutma maliyeti bulunmuştur. Bunun ardından, aynı işlem şirketin kullanılan envanter stok politikası için de uygulanmıştır. Yani her küme için 2018'de kullanılan toplam maliyet bulunmuş ve projenin sonuçlarıyla karşılaştırılıp elde edilen kar oranı belirlenmiştir.

3.3 Olası Senaryo Planı

Projede geri siparişe düşülen parçalara ayrı bir güvenlik stoku atanmıştır. Bu durum geri siparişe düşen ürünler için her tedarikçiye özel güvenlik stoku belirlenmesi ile çözülmüştür. Ancak, bütün bu uygulamalara rağmen geri sipariş sorunu çözülemez ise, bu ürünler için tedarik sürelerine bağlı olarak yeni güvenlik stokları atanacaktır.

Değişen sipariş miktarları, sipariş arasındaki devir süresi ve güvenli stoklar haftalardaki talep miktarlarına bağlı güncel olarak değişmektedir. İleride oluşabilecek talep değişiklikleri, ürünlerin sınıflarını etkilememektedir. Bu yüzden projenin genel durumunda radikal değişiklik yaşanmayacaktır.

4. Geliştirilen Sistemin Başarısı

4.1 Kuruluşun Beklentilerini Karşılama

Projenin ilk adımı olarak, aynı parçaları temsil eden farklı seri numaraları birleştirilmiştir. Çünkü, bu karışıklık talep ve sipariş miktarlarının birbirlerine eşit olmamasına neden olmaktadır. Aynı parçayı temsil eden farklı seri numaralarına sahip parçalar sağlıklı bir biçimde takip edilememekte ve buna bağlı gereksiz sipariş verilmesine sebep olmaktadır. Bu karışıklık bir alt problem olarak değerlendirilmiştir. Veriyle ilgili gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra toplam stok değerinin %3,6'lık değerindeki kısmının yanlış düzenlenmiş parçanın yeniden yapılandırıldığı tespit edilmiştir.

Şirketin sahip olduğu yedek parçalar sabit tedarik süreli ve maliyetli, fakat parçaların taleplerinin değişken olduğu gözlenmiştir. Projeden önce yedek parçaların hiçbiri için belirlenmiş bir sipariş politikası kümesi olmadığı gözlenmiştir. Bu yüzden, veriler organize edildikten sonra, parçaların tedarik süresi, maliyet ve talep değişkenliği özelliklerine göre kümeleme işlemi yapılmıştır. Bu sayede, şirketin parçalar üzerindeki kontrol mekanizması güçlendirilmeye ve mantıksal siparişler verme yetisi arttırılmaya çalışılmıştır. Her kümeye özelliklerine göre bir stok politikası atanmıştır. Şirket bu süreçten önce her parça için aynı stok politikasını uygulamakta ve bu stok politikası şirketin stokların fazladan yedek parça oluşmasına sebep olmaktadır. Bu işlemler sayesinde şirkette fazladan stok birikmesini engellenmiş ve bu sayede stok maliyetleri azaltılmaya çalışılmıştır.

Buna ek olarak, projede uygulanması gereken stok politikalarının toplam maliyeti ve şirketin şu anda uyguladığı stok politikası karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre şirketin yeni uygulanması gereken stok politikalarıyla stok maliyetinin düşürüldüğü tespit edilmiştir. Elde edilen kâr miktarları toplam stok maliyetinin yaklaşık %7,72'si olarak hesaplanmıştır.

Final aşaması olarak kullanım kolaylığı olan bir arayüz oluşturuldu. Bu arayüz yedek parçada bulunan her parça için, kullanıcıların sipariş edilmesi gereken stok miktarına ulaşmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, kullanıcılara parçaların stok politikası hakkında bilgi ve şirkete talep geldiğinde hangi parçadan ne kadar sipariş verilmesiyle ilgili bilgi de vermektedir. Bu sayede, şirket çalışanlarının gerekli bilgilere uygun bir biçimde ulaşması sağlanmaktadır.

4.2 Uygulama ve Mevcut Sisteme Uyarlama

Projenin geçerliliği onaylandıktan sonra uygulama planı tatbik edilmiştir. Bu aşamanın ilk adımı olarak arayüz oluşturulmuştur. Bu arayüz, şirketi yedek parçaların karakteristikleri, önerilen sipariş miktarları ve güvenlik stokları ile ilgili bilgilendirmektedir. Arayüz girdi olarak şirket tarafından sağlanan bir Excel belgesi almakta ve sonrasında çıktı olarak yedek parçaların özelliklerini

veren bir Excel belgesi vermektedir. Bu sayede, kullanıcı gelecekte verilecek sipariş ve güvenli stok miktarlarına karar verebilmektedir.

Kullanıcının gerekli bilgiyi alabilmesi için parçanın kodu ve bu parçaya ait talep miktarları sunulan Excel dosyasına girmesi beklenmektedir. Girilen ürünler ve talep miktarları, arayüz içinde kullanılan parça bilgi dosyası ile karşılaştırılmaktadır. Parça bilgi dosyası içinde, her parçanın stok politikaları, devir süreleri, sipariş maliyetleri, envanter maliyeti, tedarikçi şehirleri, tedarik süreleri ve talep miktarlarındaki standart sapmaları bulunmaktadır. Parçalara ait bütün bu bilgiler göz önünde bulundurularak, kullanıcıdan alınan talep miktarları ile hesaplamalar yapılmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda, kullanıcıya yeni bir Excel dosyasında, girilen her parçanın stok politikası, önerilen sipariş miktarı, devir süresi ve güvenli stok miktarı sunulmaktadır. Bu sayede şirket, önerilen sipariş miktarları ve güvenli stok seviyeleri sayesinde %13'e varan iyileştirme oranına kavuşmaktadır.

Arayüze girdi olarak kullanılan veri şirket danışmanına detaylıca anlatılmıştır. İçerik olarak, proje grubunun sipariş miktarını nasıl hesapladığı, taşıma maliyetinin ve sipariş maliyetinin nasıl varsayıldığı anlatılan bilgiler içinde yer almaktadır. Örnek olarak taşıma maliyetinin hesaplanması için bankaların aylık faizi kullanılmıştır. Şirkete gerekli açıklamalar yapıldıktan sonra, gerekli güncellemelerin nasıl yapılacağı hakkında da bilgi verilmiştir. Hareket hızı (satış hızı), haftadan haftaya değişme özelliği göstermektedir, bu yüzden, şirket danışmanı girdi olarak kullanılan Excel dosyasını her hafta güncellemek zorundadır. Bu güncellemeden sonra, geriye kalan bilgileri ise arayüz otomatik olarak yenilemektedir.

Doğrulama modelinden elde edilen sonuçlar Ek 1, Ek 2, Ek 3'te verilmiştir. Spesifik olarak, her küme için projenin sonuçlarıyla şu anda kullanılan envanter politikasının sonuçları gösterilmiştir. Projenin sonucunda her üç kümenin de stok maliyetinde ciddi düşüşler sağlanmıştır. Ancak projenin uygulanmasıyla birlikte bazı parçalar talebi sağlayamamaktadır, bu yüzden bu parçalar özelinde şirketin geri sipariş vermesi gerekmektedir. Bu parçaların stok politikası veya güvenlik stok seviyesi değiştirilerek herhangi bir başka politika uygulanarak revize edilmelidir.

KAYNAKÇA

Schmidt, Matthias, et al. "Simulation Based Comparison of Safety-Stock Calculation Methods"

Jacobs, F. Robert, et al. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. McGraw Hill Higher Education, 2011.

Ramanathan, Ramakrishnan. "ABC Inventory Classification with

Multiple-Criteria Using Weighted Linear Optimization.”
Computers & Operations Research, vol. 33, no. 3, 2006, pp.
695–700.

Flores, Benito E., and D. Clay Whybark. “Multiple Criteria ABC
Analysis.” International Journal of Operations & Production
Management, vol. 6, no. 3, 1986, pp. 38–46.

Williams, T. M. “Stock Control with Sporadic and Slow-Moving
Demand.” The Journal of the Operational Research Society, vol.
35, no. 10, 1984, p. 939.

Jain, Anil K. “Data Clustering: 50 Years beyond K-Means.” Pattern
Recognition Letters, vol. 31, no. 8, 2010, pp. 651–666.

Williams, T. M. “Stock Control with Sporadic and Slow-Moving
Demand.” The Journal of the Operational Research Society, vol.
35, no. 10, 1984, p. 939.

Schmidt, Matthias, et al. “Simulation Based Comparison of Safety-
Stock Calculation Methods.” CIRP Annals, vol. 61, no. 1, 2012,
pp. 403–406

EKLER

EK 1. Lot For Lot Politikası Doğrulama Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

Name	Price	Lead Time	Demand Variance	Order Should Be	Company's Order	Expected Cost	Company's Cost	
T01611	19115,98959	60	0,118778281		2	38231,97917	38231,97917	
Y03232	15427,55445	0	0,037707391		1	15427,55445	30855,1089	
ED0244	8943,68475	55	0,037707391		1	8943,68475	8943,68475	
Y03229	8841,413735	0	0,037707391		1	8841,413735	8841,413735	
Y03309	5381,4992	0	0,037707391		1	5381,4992	5381,4992	
Y03245	5219,12083	30	0,037707391		1	5219,12083	5219,12083	
Y03256	4143,46471	0	0,019230769		1	4143,46471	8286,92942	
Y03257	2010,900815	0	0,037707391		1	2010,900815	2010,900815	
	106419	779,1805	23	4,190045249	4	6	3116,722	4675,083
Y04032	532	25	1,25		1	1	532	532
Y03054	531,22993	0	0,60331825		1	1	531,22993	531,22993
YH0014	529,057375	55	0,019230769		1	1	529,057375	529,057375
Y00821	526,2411	0	0,524886878		1	1	526,2411	526,2411
	103137	522,69	22	2,381221719	2	2	1045,38	1045,38
4113K005	520,5221	25	0,037707391		1	1	520,5221	520,5221
	100832	519,6044	12	1,233785822	1	1	519,6044	519,6044
					SUM		542154,6538	621962,3831
					Improvement		12,83%	

EK 2. Sabit Sipariş Miktarı (Fixed Order Quantity) Politikası Doğrulama Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

Name	Price	Lead Time	Demand Variance	Order Should Be	Cycle Time	Company's Order	Expected Cost	Company's Cost	
Y00704	292,007485	55	0,173076923		3	5	3	876,022455	876,022455
Y00808	1,850695	55	0,825037707		6	3	6	11,10417	11,10417
103212	1,7955	0	0,825037707		6	3	6	10,773	10,773
Y00803	71,61385	18	0,836726998		6	2	6	429,6831	429,6831
105517	17,2102	17	0,836726998		6	2	6	103,2612	103,2612
100573	44,023	14	0,847662142		6	2	6	264,138	264,138
Y00783	17,782765	55	0,847662142		6	2	6	106,69659	106,69659
Y02289	47,2283	80	0,851809955		6	3	6	283,3698	283,3698
108597	25,2966	15	1,945701357		6	2	6	151,7796	151,7796
E060016836161	6,1845	12	1,984917044		6	2	6	37,107	37,107
Y02076	4,98883	18	1,984917044		6	2	6	29,93298	29,93298
Y03314	4,9343	80	1,984917044		6	2	6	29,6058	29,6058
Y00574	3,70139	55	1,984917044		6	2	6	22,20834	22,20834
100332	3,54312	12	1,984917044		6	2	6	21,25872	21,25872
Y02247	1,4098	80	1,984917044		6	2	7	8,4588	9,8686
100525	1,3034	15	1,984917044		6	2	6	7,8204	7,8204
E060055742711	12,4355	17	1,995098039		7	2	6	87,0485	74,613
							SUM	550263,8165	628248,1189
							Improvement	12,41%	

EK 3. Silver Meal Sezgisel (Silver Meal Heuristic) Politikası Doğrulama Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

Name	Price	Lead Time	Demand Variance	Stock Should Be	Y	Company's Stock	Expected Cost	Company's Cost	
E060017744471	0,040964	12	39,41025641		45	45	1,83191008	1,84338	
2799021502	108,62775	8	39,65723982		48	48	5214,132	5214,132	
E080012334691	5,32	28	40,32390649		16	23	82,992	122,36	
100212	0,34846	15	40,8612368		55	55	19,2071152	19,1653	
Y02873	163,34395	0	42,74057315		59	59	9683,029356	9637,29305	
108365	20,8012	8	43,6994721		12	16	259,598976	332,8192	
S01262	0,681359	19	46,02413273		16	18	10,6292004	12,26462	
S00141	2,244774	12	46,0346908		16	17	35,0184744	38,161158	
E060017320211	0,72219	15	46,15535445		2	2	1,5021552	1,44438	
S01255	0,266532	12	48,03921569		19	20	4,98947904	5,33064	
Y00473	5,31069	0	48,07692308		56	56	298,2483504	297,39864	
S00236	1,456616	12	48,07692308		61	61	89,37795776	88,853576	
Y01150	1,44837	55	48,07692308		161	163	233,477244	236,08431	
E060014114901	0,635208	12	48,07692308		31	31	19,8184896	19,691448	
S00208	0,330106	12	48,07692308		45	45	14,76234032	14,85477	
S00143	0,125153	12	48,07692308		35	35	4,42541008	4,380355	
E060014100171	2,409561	19	48,23378582		53	54	127,8031154	130,116294	
103449	1,901767	20	15,08295626		11	11	21,75621448	20,919437	
109133	15,03432	12	229,8054299		106	106	1594,840666	1593,63792	
							SUM	2656327,611	2873561,096
							Improvement	7,56%	

Müşteriye Özel Promosyon Stratejisi Belirlemeye Yönelik Etkin Karar Destek Modeli Tasarımı

ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

Alper Demirciođlu, Havva Būşra Dişli, Seyit Emre Düzoylum,
Deniz İrem Karazeybek, İlhan Cem Mirzaoğlu, Efe Sertkaya, Başak Ulutaş

Şirket Danışmanı

İrem Erdem
Süreç Analisti

Akademik Danışman

Prof. Dr. Nesim Erkip
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Eti'nin geleneksel satış kanalında ağırlıklı olarak Türkiye'deki bakkal, tekeli, şarküteri, benzin istasyonu ve büfeler bulunmaktadır. Sıcak satış sürecinde önceden belirlenmiş promosyon teklifleri anlık olarak müşterilere sunulur. Eti bu süreci yürütürken promosyonlara karar vermek için sezgisel bir yöntem izlemektedir. Bu projenin amacı mevcut durumdaki promosyon belirleme sürecinin daha etkili bir şekilde yönetilmesidir. Bu amaç doğrultusunda Müşteri Özel Promosyon (MÖP) adı verilen sistemin müşteriye özel olarak etkili ve verimli bir karar destek sistemine dönüştürülmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu karar destek sistemi sistematik ve matematiksel metotlar aracılığıyla analiz yaparak anlaşılır bir arayüzle promosyonların belirlenmesini kolaylaştırır

Anahtar Kelimeler Sıcak satış, geleneksel kanal, promosyon, müşteriye özel

1. Şirket Tanıtımı

ETİ Bisküvi Fabrikası, 1961 yılında Firuz Kanatlı tarafından Eskişehir’de kurulmuştur. Şirket ilk yıllarında sadece bisküvi üretimi yaparken 1972 yılında ürün yelpazesini büyük çapta genişletmiş ve bugünkü ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. adını almıştır. Kuruluşundan bu yana çıkardığı yenilikçi ürünlerle ilklere imza atarak tüketicilerini mutlu etmeyi başaran ETİ; bugün 50 marka ve sunduğu 200’den fazla ürünle bir gıda devi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yedi modern fabrikasıyla yaklaşık 8000 kişiye istihdam sağlayan şirket; kraker, gofret, kek gibi ürünlerde pazar lideri konumundadır. 220.000’den fazla satış noktasında faaliyet gösteren şirket, beş kıtada 40 ülkeye yaptığı ihracatla da ülkemizi dünyada başarıyla temsil etmektedir. İstanbul Sanayi Odası’nın (2017) hazırladığı listeye göre Türkiye’nin en büyük 34. şirketi olan ETİ, kurucusu Firuz Kanatlı’nın çizdiği yolda ilerlemeye devam etmektedir.

2. Proje Kapsamı, Sistem Analizi ve Hedeflenen Çıktılar

2.1. Proje Tanımı ve Kapsamı

ETİ’nin geleneksel satış kanalında ağırlıklı olarak bakkal, tekel, şarküteri, benzin istasyonu ve büfeler bulunmaktadır. ETİ satış sürecini sıcak satış ve soğuk satış olmak üzere iki farklı şekilde yürütmektedir. Geleneksel satış kanalında çoğunlukla sıcak satış süreci uygulanmaktadır. Sıcak satışta faturalandırma ve teslimat satışın yapıldığı noktada gerçekleşir. Bu süreçte satış temsilcisi, dağıtım aracı ile rotasında bulunan müşterileri ziyaret ederek sipariş, ürün teslimatı ve tahsilat işlemlerini tamamlar. Sipariş alınıp satış yapılması sırasında satış temsilcisi belirli ürünlerde satış miktarını arttırmak için önceden belirlenmiş promosyon tekliflerini anlık olarak müşteriye sunmaktadır. ETİ bu süreci yürütürken promosyonlara karar vermek için sezgisel bir yöntem izlemektedir.

Bu projenin amacı mevcut durumdaki promosyon belirleme sürecinin daha etkili bir şekilde yönetilmesidir. Bu amaç doğrultusunda Müşteri Özel Promosyon (MÖP) adı verilen sistemin müşteriye özel olarak etkili ve verimli bir karar destek sistemine dönüştürülmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu sistem, *Bölüm 3*’te açıklanacak olan sistematik ve matematiksel metotlar aracılığıyla analiz yaparak promosyonların uygulanmasını kolaylaştırır. Etkili ve verimli promosyonlar; beklenen satış artışı, ürün çeşitliliği ve bulunurluğun artmasını sağlayan promosyonlar olarak tanımlanmış olup MÖP yapısıyla ilgili geliştirmeler bunları hedef alarak yapılmıştır. Bulunurluk, bir ürünün fiziksel olarak satış noktalarında bulunur olması anlamına gelmektedir. Bu proje kapsamında sayısal tanımı son üç ay içerisinde müşteri tarafından satın alınıp alınmaması ile ölçülür. Proje sürecinde Diyarbakır bölgesindeki 1514 geleneksel kanal noktası üzerinde çalışılmış olup projenin kapsamı tüm Türkiye’deki geleneksel satış noktalarından oluşmaktadır.

2.2. Sistem Analizi

ETİ'nin günümüzde kullandığı promosyon sistemi önceden belirlenmiş şablonlar üzerinden indirimler ve/veya ücretsiz ürünler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Genellikle %10 değerine yakın indirimler veya benzer indirim yüzdelerine yakın alınan miktarla orantılı ücretsiz ürün teklifleri, müşterilere sunulmaktadır. Yakın zamana kadar şirket çalışanları tarafından sezgisel olarak oluşturulan promosyon stratejileri, sisteme veri olarak geri dönüt vermektedir. Bu geri dönütlerin incelenmesi sonucunda, şirket çalışanları belli müşterilerin belli promosyonlara diğer müşterilere kıyasla daha yüksek ya da düşük tepki vermekte olduklarını gözlemlemiştir. Bu özel tepkilere dayanarak, Müşteriye Özel Promosyon (MÖP) fikri ortaya çıkarılmıştır. ETİ, promosyon sistemlerini sistematik ve matematiksel analizlere dayalı bir şekilde yürütmeyi amaçlayarak, bu yönde bir karar destek sistemi arayışı içerisindeydi.

2.3. Hedeflenen Çıktılar

Proje sonucunda hedeflenen çıktı etkili ve verimli bir karar destek sistemidir. Bu doğrultuda karar destek sistemi öncelikle haftalık veya aylık satış verisini otomatik olarak alıp gerekli analiz süreçlerini tamamladıktan sonra güncel promosyon önerileri oluşturup uygun görülen promosyonları listeler.

3. Çözüm Metodolojisi ve Veri Analizi

Bu bölümde projenin ana problemini çözme amaçlı kullanılan çözüm metodolojisi anlatılmış olup, bu metodolojinin verilerle örtüşme biçiminden bahsedilmiştir.

3.1. Müşterilerin Kümelenebilmesi

Müşterilerin farklı özelliklerinin tespit edilip, her müşteriye özel bir promosyon tasarlanması için müşterilerin bazı özelliklerine göre kümelenebilmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşıma şirketin önceden uyguladığı metodolojiden yola çıkılarak karar verilmiştir.

3.1.1. Kümeleme Uzayının Oluşturulması

Müşterilerin satın alma alışkanlıklarına göre kümelenebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken ilk adım kümeleme uzayının oluşturulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan kümeleme uzayının boyutları iki temel kategori içerisinde yer almaktadır. Bu kategoriler, satın alım temelli boyutlar ve konum temelli boyutlardır.

Satın alım temelli boyutlar, ETİ tarafından sağlanan ve tüm müşterilerde yüz iki haftalık bir süreci kapsayan haftalık bazda satış verisi kullanılarak oluşturulmuştur. İlgili boyutların örneklerinden bazıları satın alma frekansı ve satın alınan ürün çeşitliliğidir.

Konum temelli boyutların kullanılmasının arkasındaki temel görüş, müşterilerin konumlarının sosyal ve ekonomik özelliklerinin satın alma

alışkanlıkları üzerinde önemli bir etkisi olmasıdır. Bu sebeple konum temelli boyutlar kullanılarak müşterilerin konumlarının ilgili özelliklerinin tahmin edilmesi ve bu özellikler ile satın alma alışkanlıkları arasında ilişkiler gözlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan konum temelli boyutlar iki farklı kategoride gruplanmıştır. Bunlardan ilki, müşterilerin koordinat bilgileri kullanılarak, müşterilerin konumlarının etrafındaki belirli yerlere olan uzaklıklarına bağlı olarak bir skor atanması olarak gerçekleştirilmesidir. Bu kategoride sınıflanmış kümeleme boyutlarının bir örneği müşterilerin etraflarındaki okullara yakınlık skorlarıdır.

Müşterilere ilgili skorların atılmasında göz önünde bulundurulmuş önemli bir faktör bu sürecin sürekli bir fonksiyon kullanılarak yapılmasıdır. Skor atama sürecinde gerçekleşebilecek olası bir ayrıklaşma kümeleme uzayının yapısını bozabilme ve bununla birlikte kümeleme analizleri için bir sorun teşkil etme olasılığını ortaya çıkarmaktadır. Bu olasılığını ortadan kaldırmak amacıyla skor atama sürecinde matematiksel analizlerde sıkça kullanılan Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon müşterilerin ilgili konuma olan uzaklığı dışında, bir hedef uzaklık ve hız katsayısını girdi olarak müşterilere sürekli bir formda skor atanmasını sağlamaktadır. Sigmoid fonksiyonu ile ilgili detaylı bilgi Ek 1’de bulunabilir.

Konum temelli boyutların ikinci kategorisi ise görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak, müşterilerin konumlarının ilgili özelliklerini yansıtabilecek görseller kullanılarak müşterilere skor atanması olarak gerçekleştirilmektedir. İlgili görseller belirli konumlarda gerçekleşen faaliyetlerin açıklandığı sıcaklık haritaları olarak kararlaştırılmıştır. Sıcaklık haritaları görüntü işleme teknikleri kullanılarak matematiksel olarak incelendikten sonra, karşılık gelen koordinatlara haritanın özelliklerine bağlı olarak skor atamaları gerçekleştirilmektedir. Son aşama olarak müşterilerin harita üzerinde karşılık geldikleri koordinatlar üzerine atanması sonucu, müşterilere ilgili boyut için skorları atanmaktadır.

Kümeleme uzayının oluşturulmasındaki son adım ise kullanılması planlanan boyutların önemlerinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, kümeleme analizlerinde sıkça kullanılan Temel Bileşen Analizinden yararlanılmıştır (Hastie vd. 2008 534-550).

3.1.2. Kümeleme Metodu

Kümeleme uzayı oluşturulduktan sonra sıradaki işlem kümeleme prosedürünün gerçekleştirilmesidir. Bu prosedürün gerçekleştirilebilmesi adına süreçte kullanılacak metotlara, gerekli analizlerin gerçekleştirilmesi ve incelenmesi sonucunda karar verilmiştir.

Kullanılan metodun ilk bileşeni kümeleme uzayının ölçeklenmesidir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, kümeleme uzayında kullanılan boyutların oturtulabileceği en uygun dağılımın tekdüze dağılım olduğuna

karar verilmiştir. Bu sebeple kümeleme uzayının her boyutu kendi açıklığına bağlı olarak tekdüze dağılıma uygun olarak ölçeklenmiştir.

Müşteri miktarı ve kullanılan boyut sayısı göz önünde bulundurularak, problemin büyüklüğü incelenmiş olup, bu incelemeler sonucunda kümeleme algoritması olarak literatürde sıkça kullanılan K-ortalamlar algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. K-ortalamlar kümeleme algoritması, oluşturulan kümeler içerisinde kümenin ortalama değerine olan uzaklıklar toplamını en küçükleme prensibine sahiptir (Hastie vd. 2008 509). Bu algoritmanın en önemli noktalarından bir tanesi en iyi küme sayısını temsil eden K sayısını bir girdi olarak almasıdır. Bu sebeple, kümeleme uzayı için kullanılması gereken en iyi küme sayısının istatistiksel yöntemler kullanılarak önceden hesaplanması gerekmektedir.

En iyi küme sayısının bulunması için Tibshirani vd. (2001) tarafından önerilen Aralık İstatistiği (Gap Statistic) yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak ortaya çıkan sonuçlar *Bölüm 4*'te anlatılacaktır.

3.2. Fırsat Belirleme Süreci

Fırsat belirleme sürecinin başlangıcında fırsat konseptinin belirlenmiş ve niteleyici özelliklerinin açıkça belirtilmiş olması gerekmektedir. Fırsat nitel olarak, *Bölüm 2.1*'de belirtilmiş amaçlar doğrultusunda müşteride görülen gelişme potansiyeli olarak tanımlanmıştır. Fırsatın daha detaylı ve nicel tanımı *Bölüm 3.2.1*'de yapılacaktır.

3.2.1. İstatistiksel Proses Kontrolü

İstatistiksel proses kontrolü (İPK) kontrol dışı noktaların ortalamadan sapma miktarına göre tespit edilmesidir (Montgomery 2009). Projemizde bu noktaların tespiti bizim için değişkenliğe uyum sağlayabilen bir fırsat tanımlanmasına yardımcı olmuştur. Bu fırsat tanımının değişkenliğe uyum sağlayabilmesi, her müşteri kümesi içerisinde müşterilerin farklı yönlerden kontrol içi veya kontrol dışı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple bir fırsat, kontrol dışı olarak tanımlanan noktalar olarak görülmüştür. Bu fırsat tanımında bazı ürünler şirketten alınan bilgilere göre bir araya getirilmiş ve kontrol dışı noktalar bu bir araya getirme işlemi sonucu oluşan toplam satışlar üzerinden tespit edilmiştir. Bu bir araya getirme işlemi tedavüle giren ve çıkan ürünlerin etkisini ürünlerin ait olduğu gruplara mal ederek ürün giriş çıkışlarından kaynaklı değişiklikleri dengelemek adına yapılmıştır. Yani bu sürecin sonucunda fırsat, müşteri-ürün grubu ikilileri olarak tanımlanmaktadır. Sonraki süreçlerde bu müşteri-ürün grubu ikilileri müşteri-ürün ikililerine dönüştürülmektedir. Bu noktaların belirlenme sürecini anlatan matematiksel model için bkz. Ek 2.

3.3. Promosyon Önerileri

İPK analizi sonucu, belirlenen fırsatlar, tarafından belirlendikleri ürün grubundaki ürünlere dağıtılır. Yani, müşteri-ürün grubu ikilileri tarafından

tanımlanmış her fırsat için promosyonlar oluşturulur. Ardından, fırsatlar tarafından oluşturulmuş tüm promosyonların fiyat esnekliği fonksiyonlarının istatistiksel anlamlılıklarına göre müşteri-ürün ikilileri seçilir ve promosyonlar tanımlanır.

3.3.1. Fiyat esnekliği

Fiyat esnekliğinin tanımı detaylı bir şekilde Ek 3'te bulunabilir. Fiyat esnekliği analizi, müşterilerin her üründeki satışının fiyat değişikliklerine karşı davranışının incelenmesi için yapılır. Daha detaylı bir biçimde, bir birim fiyat değişimi için talebin değişimini bulmaya yarar. Fiyat esnekliği analizi yapılırken fiyat-tepki fonksiyonları doğrusal kabul edilmiştir. Bu kabul bu fonksiyonların tahminlenmesinin mümkün olması için yapılmıştır. İdeal durumda bu fonksiyonlar ters üstel biçiminde olmalıdır. Bu fiyat-tepki fonksiyonları yapılan iskonto sonucu beklenen getiriye hesaplamada doğrudan kullanılmaktadır. Aynı zamanda risk hesaplamalarında da bu fonksiyonlar kullanılmıştır.

Fiyat esnekliği hesaplamalarında her bir müşteri ve her bir ürün için veri yeterliliğine göre farklı metotlar kullanılmıştır.

- Öncelikle belirli bir müşteri için belirli bir ürüne ait yeterli veri olup olmadığı kontrol edilir.
- Eğer belirli bir ürün için yeterli veri varsa, fiyat esnekliği bu veriler kullanılarak hesaplanır.
- Eğer bu ürün için yeterli veri bulunmuyorsa, bu ürünle aynı grupta ve fiyatları benzer ürünlerin verileri bir araya getirilerek fiyat esnekliği hesaplanır.
- Eğer bu ürünün kendi grubunda bulunan diğer benzer ürünler için de yeterli veri yoksa, fiyat esnekliği bu ürün grubundaki tüm ürünlerin verileri bir araya getirilerek hesaplanır.
- Son olarak eğer bu ürünün kendi grubundaki benzer ürünlerde hiç veri yoksa, bu ürün için fiyat esnekliği hesaplaması, başta bahsi geçen müşterinin ait olduğu kümenin bu ürüne ait verileri kullanılarak yapılır.

3.3.2. Getiri ve Risk Hesaplanması

Getiri hesaplaması tahmin edilen fiyat-tepki fonksiyonlarından elde edilen getiri değerleri ve karşılık gelen fiyatlarının çarpımıyla yapılır. Bu getiri hesaplaması her müşteri ürün ikilisi için önceki verilere bakılarak tahmin edilen fonksiyona bağlı olarak yapıldığı için beklenen getiri hesaplamasıdır.

Promosyonların risklerinin tanımlanması için, elde edilen müşteri grubunun varyansı, ortalama değeri ve fiyat-tepki fonksiyonu için kullanılan verilerin özellikleri kullanılmıştır. Promosyon riskleri, getiri ile aynı birimde olup getiri için bir güven aralığı oluşturulması ve promosyonların karşılaştırılması amacı ile oluşturulmuştur. Aynı zamanda veri eksikliğinden

kaynaklı hesaplama hatalarını, risk hesaplamalarına dahil etmek amaçlı bir düzeltme faktörü kullanılmıştır. Detaylı bilgi için bkz. Ek 4.

4. Uygulama

4.1. Kümeleme sonuçları

Kümeleme uzayı oluşturulurken, yapılan incelemeler ve analizler sonucunda toplamda 18 adet satın alım temelli boyut ve iki kategoride toplamda 5 konum temelli boyut, kümeleme uzayı için uygun görülmüştür.

Kümeleme uzayı oluşturulurken kullanılan Temel Bileşen Analizi sonucunda, kullanılması planlanan boyutların lineer kombinasyonlarından oluşan yeni boyutların en iyi ikisi, veride bulunan değişkenliğin %36,8 ve %18,3'ünü açıklamaktadır. Temel Bileşen Analizinin sonuçları incelendiğinde kullanılması planlanan boyutların tamamının analizler için yeterli öneme sahip olduğuna karar verilmiştir. Gerekli tüm incelemeler sonucunda kümeleme uzayının yapısı kesinleştirilmiştir ve toplamda yirmi dört adet boyut kullanılmıştır.

Kümeleme uzayı oluşturulmasının ardından Aralık İstatistiği yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonucunda ölçeklenmiş kümeleme uzayı için en iyi küme sayısının 8 olduğuna karar verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda K-ortalama kümeleme algoritması 8 küme oluşturulması için kullanılmıştır. Yapılan tüm analizler sonucunda bin beş yüz on dört müşteri, benzer alım alışkanlıklarına göre kümelenmeleri amacıyla, satın alma ve konum temelli faktörler kullanılarak toplamda 8 kümeye ayrılmıştır.

4.2. Promosyon Çıktıları

Yapılan analizler sonucunda Diyarbakır bölgesindeki müşterilerin yaklaşık %12'si Wanted, %12'si Karam, %11'i ETİ Çikolata, %11'i Canga, %14'ü Petito ve %14'ü Maximus ürün grubunda fırsat olarak belirlenmiştir.

Belirlenen fırsatlar sonucunda müşterilerin fiyat esnekliği fonksiyonundan belirtilen yüzdeye indirim yapılması sonucu promosyonların getiri ve risk değerleri Başlık 3.3'te detaylıca anlatılmış olan yöntemle hesaplanmıştır. Bu promosyonlar, karar vermeye destek amaçlı *getiri/risk* değerlerine göre sıralanabilir. Örnek tablolar Ek 5 ve Ek 6'da görülebilir.

4.3. Diğer Yapılabilecekler

Bu proje, fırsat belirleme ve promosyon önerme sürecinde ağırlıklı olarak satış verilerini kullanmıştır, fakat aynı analizler frekans ve çeşitlilik bazında da küçük değişiklikler yapılarak uygulanabilir.

5. Gerçekleme ve Beklenen Faydalar

5.1. Gerçekleme

ETİ, mevcut durumdaki promosyon belirleme sisteminde kullandığı yöntemler ile Diyarbakır bölgesindeki müşterileri 7 ayrı kümeye ayırmıştır. Yukarıda yapılan analizler kapsamında belirlenen 8 kümenin, var olan 7 küme ile karşılaştırılması sonucu kümeler arası benzerlikler olduğu ortaya çıkmıştır ve bu benzerliklerin yüzde olarak ifade edilişi her bir küme için Ek 7 ve Ek 8'de

gösterilmiştir.

Ayrıca, belirlenen 8 kümenin önceden var olan 7 küme ile coğrafi veriler göz önünde bulundurulduğunda konum bazlı olarak da anlamlı kesişimleri ve ayrılıkları olduğu gözlenmiştir. Örneğin, kümeleme sonucunda şehir içi ve şehir dışında olan müşterilerin farklı kümelere atanma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Bu kümeleme sonucunda elde edilen promosyonlar, ETİ tarafından da uygulanmaya uygun görülmüştür.

5.2. Faydalar

Şirket, önerilen promosyonları, 2 farklı ürün kategorisinde Nisan ayının 15. gününden itibaren Nisan ayının sonuna kadar Diyarbakır bölgesindeki belirtilen müşterilere uygulamıştır.

Birinci ürün kategorisinde 1514 müşteri içerisinde 193 müşteriye promosyon önerilmesine karar verilmiştir. Bu müşterilerin 133 tanesi promosyon uygulanmıştır. Promosyon sonuçları incelendiğinde promosyon verilmeyen müşterilerde satışlar %33 düşerken promosyon uygulanan müşterilerin satışları %559 artmıştır. Buna ek olarak, bir önceki ay ilgili üründe satın alma işlemi gerçekleştiren müşteriler özelinde inceleme yapıldığında, promosyon uygulanmayan müşterilerin satışları %60 düşüş yaşarken promosyon uygulanan müşterilerin satışları %236 artmıştır. İlgili promosyonun getiri ve maliyet değerleri incelendiğinde *getiri/maliyet* oranının 12.6 olduğu görülmüştür.

İkinci ürün kategorisinde 1514 müşteri içerisinde 185 müşteriye promosyon önerilmesine karar verilmiştir. Bu müşterilerin 102 tanesine promosyon uygulanmıştır. Promosyon sonuçları incelendiğinde promosyon verilmeyen müşterilerde satışlar %55 artarken promosyon uygulamasını kabul eden müşterilerde satış %283 artmıştır. Buna ek olarak, bir önceki ay ilgili üründe satın alma işlemi gerçekleştiren müşteriler özelinde inceleme yapıldığında, promosyon uygulanmayan müşterilerin satışları %64 düşüş yaşarken promosyon uygulanan müşterilerin satışları %212 artmıştır. İlgili promosyonun getiri ve maliyet değerleri incelendiğinde *getiri/maliyet* oranının 6.65 olduğu görülmüştür.

5.3. Arayüz

Projenin uygulanabilirliğinin sağlanması ve şirketin en kolay şekilde karar destek sisteminden yararlanabilmesi için R programlama dilinin Shiny uygulaması kullanılarak ETİ ile belirlenen parametrelerin seçilebileceği, kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmıştır. Kullanıcı arayüzü, müşteri ve satış verilerini kullanıcı tarafından seçilen yerden alır, kullanıcı tarafından belirtilen parametrelere göre kümeleme ve promosyon önerme işlemlerini yapar ve kullanıcının kolaylıkla anlayabileceği şekilde sunar. Arayüz görseli Ek 9'da sunulmuştur.

KAYNAKÇA

- Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. (2008). *The Elements of Statistical Learning*. 2nd ed.
- McCormick, Robert E. Managerial Economics. Prentice Hall, 1993, Ch. 4. Estimating Demand Functions.
- Montgomery, Douglas C. "Methods and Philosophy of Statistical Process Control." Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley&Sons, Inc., 2009, pp. 177–213.
- Tibshirani, R., Walther, G. and Hastie, T. (2001). Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 63(2), pp.411-423.

EKLER

Ek 1: Sigmoid Fonksiyonu Kullanımı

Müşteri lokasyonları kümesi I ve belirtilen hedef lokasyonlarının kümesi J olsun. $D = I \times J$ Müşteri lokasyonu-hedef lokasyonu ikililerinin kümesi olsun. g fonksiyonunu aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz.

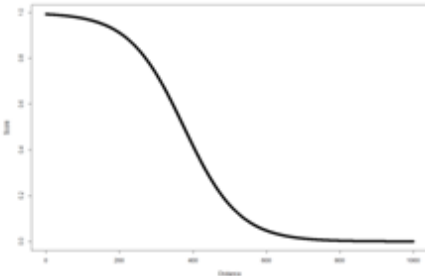
$$g : D \rightarrow R$$
$$g(d) = \sqrt{(d_{1x} - d_{2x})^2(12321) + (d_{1y} - d_{2y})^2(7849.96)}$$

Müşteri ve hedef lokasyonları arası uzaklık metre cinsinden tanımlanmıştır. Ardından sigmoid fonksiyonunu şu şekilde tanımlayabiliriz.

$$f : g(D) \rightarrow (0,1)$$

$$f(g(d)) = -\left(\frac{1}{e^{\frac{-r(g(d)-\theta)}{\theta}} + 1}\right) + 1$$

Fonksiyonda r parametresi fonksiyonun süratliliğini belirtir, başka bir deyişle fonksiyonun eğiminin değişim hızını belirtir. θ parametresi hedef uzaklığı belirtir başka bir deyişle fonksiyonun eğiminin değişiminin en büyük olduğu noktayı belirtir. Farklı boyutlar için r ve θ değerleri değişebilir, hedefin ve boyutun özelliklerine göre farklı r ve θ değerleri kullanılabilir.



Şekil: $f(g(d))$ 'nin $r = 5$ ve $\theta = 400$ için grafiği

Şekilde görülebileceği üzere, f fonksiyonu θ 'dan sonra 0'a hızla yaklaşır. Bu şekilde her müşteri i 'ye herhangi bir boyut için şu şekilde tanımlanabilir:

$$\text{Müşteri } i \text{ 'nin toplam skoru} := \sum_{x \in I \times J} f(g(x))$$

Ek 2: Fırsat Tanımı Modeli

I müşteri kümesi, J müşteri kümelerinin kümesi, P ürünlerin kümesi ve K de ürün kümelerinin kümesi olsun. Bu tanımlarla,

$$\begin{aligned} C_j &: \text{Müşteri Kümesi } j \\ C_j &:= \{i \in I : i \in j, j \in J\} \\ P_k &: \text{product cluster } k \\ P_k &:= \{p \in P : p \in k, k \in K\} \end{aligned}$$

Tanımlar:

$x(i, j, p, k)$: Değeri müşteri, müşteri kümesi, ürün, ürün grubu tarafından belirlenen satış örneği.

$$\begin{aligned} \mu_{jk} &:= \sum_{\forall i \in j, \forall p \in k} \frac{x(i, j, p, k)}{|k||j|} & , \forall (j, k) \in J \times K \\ \mu_{ik} &:= \sum_{\forall p \in k} \frac{x(i, j, p, k)}{|k|} & , \forall (j, k) \in J \times K \\ \sigma_{jk}^2 &:= \sum_{\forall i \in j, \forall p \in k} \frac{(x(i, j, p, k) - \mu_{ik})^2}{|k||j| - 1} & , \forall (j, k) \in J \times K \end{aligned}$$

Fırsatlar şu şekilde tanımlanabilir:

$$O_k(\kappa) := \{i \in j \text{ s.t. } |\mu_{jk} - \mu_{ik}| \geq \kappa \sigma_{jk}\}$$

$O_k(\kappa)$: Ürün grubu k için hassasiyet parametresi κ 'ya bağlı olarak değişen fırsat olarak tanımlanan müşteri kümesi.

Fırsatlar şu şekilde genelleştirilebilir:

$$O_k(\kappa_k, k \in K) := \{i \in j \text{ s.t. } |\mu_{jk} - \mu_{ik}| \geq \kappa_k \sigma_{jk} \forall k \in K\}$$

Ek 3: Fiyat Tepki Fonksiyonu Tahminlenmesi

p_i : zaman i 'deki fiyat

$d(p_i)$: fiyat p_i 'ye karşılık gelen talep

$$\begin{aligned} \Delta P(p_i, p_{i+1}) &:= \frac{p_i - p_{i+1}}{p_i} \times 100 \\ \Delta D(p_i, p_{i+1}) &:= \frac{d(p_i) - d(p_{i+1})}{d(p_i)} \times 100 \\ \varepsilon_{\Delta P} &:= -\frac{\Delta D(p_i, p_{i+1})}{\Delta P(p_i, p_{i+1})} \end{aligned}$$

$p_i \geq p_{i+1}$ koşulunu sağlayan fiyat noktaları için, Fiyat-tepki fonksiyonunun tahmin edilmesi için bu değişim noktaları istatistiksel modele girdi olarak kullanılabilir.

Ek 4: Risk Faktörü

$$\alpha_{mp}(\lambda) := \frac{\sigma_{k(m),i(p)}}{\mu_{k(m),i(p)}} \mathbb{E}[R_{mp}(\lambda)] g(I_{mp})$$

λ : indirim oranı

$R_{mp}(\lambda)$: müşteri $m \in M$ için ürün $p \in P$ 'de λ indirim yüzdesiyle getiri

$\sigma_{k(m),i(p)}$: müşteri kümesi k ve ürün grubu i 'nin standart sapması

$\mu_{k(m),i(p)}$: müşteri kümesi k ve ürün grubu i 'nin ortalaması

$g(I_{mp})$: fiyat-tepki fonksiyonu tahminlenmesi için düzeltme faktörü

$g: \mathbb{Z}_+ \cup \{-222, -333, -444, -555\} \rightarrow \mathbb{R}$

I_{mp} : müşteri $m \in M$ ve ürün $p \in P$ 'nin fiyat tepkisinin tahminlenme tipi

Ek 5: Müşteri-ürün promosyon önerileri

Müşteri ID	Küme ID	Ürün ID	Ürün Grubu	Return	Risk
xxxxxxxxx	3	yyyyyyyyy	Canga	4,22	12,80
xxxxxxxxx	3	yyyyyyyyy	Canga	3,84	11,66
xxxxxxxxx	3	yyyyyyyyy	Canga	25,69	77,92
xxxxxxxxx	3	yyyyyyyyy	Canga	27,93	84,73
xxxxxxxxx	8	yyyyyyyyy	Wanted	8,77	13,69
xxxxxxxxx	8	yyyyyyyyy	Wanted	10,05	15,69
xxxxxxxxx	8	yyyyyyyyy	Wanted	20,15	31,47
xxxxxxxxx	8	yyyyyyyyy	Wanted	284,69	444,67
xxxxxxxxx	8	yyyyyyyyy	Wanted	223,41	348,95
xxxxxxxxx	8	yyyyyyyyy	Wanted	5,10	7,96

Ek 6: Risk ve getiriye bağlı promosyon önerileri sıralaması

Ürün Kodu	Kategori	Risk	Getiri (TL)	Promosyon Yapılan Müşteri Sayısı	Getiri/Risk
xxxxxxx	4	22,15	100,58	181	4,54
xxxxxxx	4	60,48	242,27	193	4,01
xxxxxxx	4	60,48	242,27	193	4,01
xxxxxxx	1	148,37	490,13	188	3,30
xxxxxxx	1	166,63	537,39	184	3,23
xxxxxxx	3	90,13	273,25	152	3,03
xxxxxxx	4	151,88	407,67	218	2,68
xxxxxxx	1	281,39	742,90	174	2,64
xxxxxxx	1	136,02	355,25	175	2,61
xxxxxxx	1	136,02	355,25	175	2,61

Ek 7: Eti kümelemesine göre müşterilerin yeni oluşturulan kümelere sayı ve yüzde olarak dağılımları

MÜŞTERİ YÜZDESİ	1	2	3	4	5	6	7	8	VALİDASYON
1	7,8	33,2	53	2,3	0	0,9	0,5	2,3	100
2	39,2	27,2	12,9	9,2	1,4	2,8	0,0	7,4	100
3	34,6	13,8	0	24,4	7,4	2,3	0,5	17,1	100
4	20,7	1,4	0	41,9	19,4	0,9	1,8	13,8	100
5	8,9	0,9	0	34,6	37,9	0,9	4,7	12,1	100
6	1,4	0	0	37,6	37,6	0,9	13,3	9,2	100
7	0	0	0	31,8	27,6	0,5	35	5,1	100

Ek 8: Yeni oluşturulan kümelere göre müşterilerin Eti tarafından oluşturulan kümelere sayı ve yüzde olarak dağılımları

MÜŞTERİ YÜZDESİ	1	2	3	4	5	6	7	VALİDASYON
1	2,4	24,1	31,9	25,5	13,5	2,6	0	100
2	23,8	39,1	29,8	4	3,3	0	0	100
3	67,3	32,7	0	0	0	0	0	100
4	0,3	2,1	8,3	19,1	19,4	25,8	25	100
5	0	0,4	3,1	11	26,4	32,1	27	100
6	3	18,2	22,7	12,1	15,2	18,2	10,6	100
7	0,1	0	0,4	2,1	6,5	22,6	68,3	100
8	0,8	5,4	18,7	20,2	21,8	20,2	12,9	100

Ek 9: Kullanıcı Arayüzü

Müşteriye Özel Promosyon

Analizi Yeni Satış ve Müşteri Verileriyle Yeniden Başlat

Hızlı Etil

Müşteri Verilerini Gözet

Browse:

Satış Verilerini Gözet

Browse:

Seçenekleri Gerçekleştir

En İyi Küme Sayısını Manuel Olarak Seç

Hızlı Etil

En İyi Küme Sayısı:

Kümeleme İşlemi Gerçekleştir

İncelenecek Periyotun Uzunluğu:

Fırsat Hassasiyet Parametresi:

Fırsat Saptama İşlemi Gerçekleştir

İstenilen Minimum Dönüş:

İstenilen Maksimum Risk:

Promosyonları Listele

Kümeleme Gözetim | Promosyon Adıyan | Promosyon Listele

Ekol: 10 | entries

Urun.Kodu	Kategori	Risk_Product	Return	Promosyon Yapılan Müşteri Sayısı	
20	1777200	2	506.074447426407	660.275050265871	114
3	1777500	1	1185.98048018454	1531.32102156336	150
49	1790800	4	616.58217737061	1719.25728023275	208
23	1781600	2	96.2098441720982	207.85134064051	114
24	1781700	2	387.75436845478	526.65110678725	114
4	1781900	1	213.656911502976	446.85140620279	150
50	1782200	4	79.179566021108	435.302883760238	208
25	1782700	2	96.2098441720982	207.85134064051	114
28	1783000	2	96.2098441720982	207.85134064051	114
59	1784200	5	5090.8395290146	3996.67975126283	134

Showing 11 to 20 of 40 entries

Previous 1 2 3 4 Next

Günlük Talep Tahmin ve Güvenlik Stoğunun Belirlenmesi

ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

Tuğba Denктаş, Türker Güçlütürk, Orhan Gülhat, Selen Kürkçüoğlu,
Ayca Şahin, Merve Serra Şen, İsmail Burak Taş

Şirket Danışmanları

Yunus Şahin
Satış Sistemleri ve
İş Geliştirme Analisti

Akademik Danışman

Prof. Dr. Nesim Erkip
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Projenin amacı farklı distribütör ve depo profillerine bağlı olarak talep tahmini yapan ve güvenlik stoğu miktarını belirlemek üzere talep tahmininin standart sapmasına farklı yöntemler uygulayarak hesaplayan bir sistem geliştirmektir. Kümelenmiş ürünleri günlük bazda talep tahminine dönüştüren, yeni ve kaldırılmış ürünlere tepki veren, sübjektif değerlendirmeye açık bir kontrol mekanizmasına sahip olan ve güncellenebilen bir talep tahmin sistemi oluşturulmuştur. Uygun talep tahmin metodunu ve güvenlik stoğu miktarını distribütör, kanal, ürün ve korelasyon özelinde en az hata payını hesaplayan bir sistem geliştirilmiştir. Farklı kullanıcılar için farklı bir şekilde detaylandırılmış fonksiyonlara sahip olan bir sistem ve analiz ile adımları raporlayan bir dokümantasyon oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Günlük satış tahmini, güvenlik stoğu, talep tahmin modelleri

1.Şirket Sistem Tanımı

1.1 Şirket Hakkında Özet Bilgi

ETİ Gıda Sanayi A.Ş gıda sektöründe Türkiye'nin öncü şirketlerinden biridir. ETİ'nin ürünleri arasında bisküvi, kraker, çikolata, kek gibi pek çok ürün yer almaktadır. ETİ Gıda Sanayi A.Ş 1961 yılında Firuz Kanatlı tarafından kurulmuştur. ETİ ilk fabrikasını 1962 yılında yirmi iki çalışan ve günlük üç ton üretim kapasitesi ile Eskişehir'de açmıştır. Günümüzde ETİ'nin beşi Eskişehir'de, biri Konya'da, biri Bilecik'te ve biri Romanya'da olmak üzere toplam sekiz fabrikası ve altı bin iki yüz elli yedi çalışanı bulunmaktadır. Fortune dergisinin 2017 yılının verilerini baz alarak oluşturduğu listeye göre, ETİ yıllık 3,169,705,374 TL net satış ile Türkiye'nin en büyük 71. şirkettir.

1.2 Üretim ve Dağıtım Sistemi

ETİ ürünlerini Eskişehir'de bulunan beş ana fabrikada üretilmektedir. Fabrikalarda üretilen ve satışa hazır durumda olan ürünler Eskişehir'de bulunan ana lojistik merkezinde toplanır. Ayrıca bu ana lojistik merkezi dışında Türkiye'nin çeşitli yerlerinde bulunan yirmi lojistik merkezi daha bulunmaktadır. Ürünler bu lojistik merkezlerine ana lojistik merkezinden dağıtılmaktadır. Distribütör ve depolar da ürünleri bu lojistik merkezlerden tedarik etmekte ve farklı kanallara satış yapmaktadır. Dağıtım şeması Ek 1'de görülmektedir. Distribütörler geleneksel kanala, depolar ise modern kanala satış gerçekleştirmektedir. Bu kanallara satış iki farklı tipte yapılır: Sıcak satış ve soğuk satış. Sıcak satışta satış temsilcisi satış noktasına gider, siparişi alır, teslimat ve fatura kesimi anlık yapılır. Soğuk satışta ise satış temsilcisi satış noktasına gider, siparişi alır ve bu siparişi distribütör/depoya iletir. Distribütör/deponun stok seviyesine göre siparişin teslimatı ve fatura kesimi 1-2 gün içinde gerçekleştirilir.

1.3 Sistem Analizi

Mevcut sistemde ETİ, talep tahminini tüm distribütör ve depoların toplamı için ürün bazında yapmaktadır. Tüm ürünler için bu talep tahmini Holt-Winter's Multiplicative metoduyla hesaplanmakta ve metottaki seviye, sezonsallık ve eğilim parametreleri 0.1 ve sabit kabul edilmektedir. Ardından ürün bazında hesaplanan bu tahminler distribütör ve depoların hedeflerine bölünmekte ve distribütör/depoların ürün bazında aylık talep tahmini hesaplanmaktadır. Bu aylık talep tahmini o ay içindeki hafta sayısına bölünerek haftalık talep tahmini, haftalık talep tahmini ise o haftadaki iş günü sayısına bölünerek günlük talep tahmini hesaplanmaktadır. Gerçek satış verileri ve tahmini satış verileri arasındaki sapma kullanılarak güvenlik stoğu belirlenmektedir.

1.3.1 Veri Analizi

Proje başlangıcında öncelikle çeşitli analizler yapıldı. İlk olarak yapılan ABC analizi sonucunda ve endüstriyel danışmanların onayıyla önemli

distribütör ve depolar belirlendi ve sistemin bu distribütör ve depolar üzerine kurulmasına karar verildi. ABC analizi ve analizin yorumlaması Ek 2’de mevcuttur.

Yapılan analizler sonucunda distribütörlerin ve depoların farklı özelliklere, her distribütör/depo kanal ve ürünün satış verilerinin farklı düzenlere sahip olduğu gözlemlendi. Bu yüzden distribütör/depo, kanal, ürün bazında talep tahmini yapmaya karar verildi.

Tüm ürünler için distribütör ve kanal bazında otokorelasyon ve ayrıştırma analizi gerçekleştirildi. Bu analizlerin sonucunda satış verilerinin sezonsallık ve azalan eğilim gösterdikleri tespit edildi. Bu analizlerin ışığında talep tahmini için sezonsallık ve eğilim içeren metotlar belirlendi. Ayrıca sezonsallık içermeyen veya otokorelasyon analizinin sonucu güvenilir çıkmayan ürünler için sisteme sezonsallık içermeyen metotlar da eklendi. Bir otokorelasyon analiz örneği ve bu analizin yorumlanması Ek 3’de mevcuttur.

Analizleri sonucunda ürünlere, kanallara ve distribütör/depolarına göre satışların yoğunlaştığı haftaların ve günlerin değişkenlik gösterdiği tespit edildi. Aylık talep tahmini sonuçları için haftaya ve günlere kırılım metodu geliştirildi. Yukarıda bahsedilen metotların belirlenmesi ve kırılım yöntemi *Bölüm 2. Çözüm Yaklaşımı*’nda detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

1.3.2 Problem Tanımı

ETİ, talep tahminini tüm ürünler için aynı metodu ve aynı parametreleri kullanarak ürün bazında tüm distribütör/depo toplamı olarak yapmaktadır. Bu tahmin sonucunu distribütör ve depoların hedeflerine bölerek her distribütör/depo için ürün bazında aylık talep tahminlerini hesaplanmaktadır. Veri analizi kısmında da bahsedildiği gibi satış verileri distribütör/depo, kanal ve ürüne göre farklı düzenler gösterebilmektedir. Bu farklı düzenleri yakalayabilmek için distribütör/depo, kanal ve ürün bazında talep tahmini yapmak, daha doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Ayrıca, satış verileri distribütör/depo, kanal ve ürün bazında incelendiğinde ayın haftalarına göre ve haftanın günlerine göre farklı dağılımlar gösterebilmektedir. Bu farklı dağılımları yakalayabilmek için farklı bir haftalık ve günlük kırılım metodu geliştirmek, aylık talep tahmin sonuçlarının günlük sonuçlara daha doğru bir şekilde indirgenmesine olanak sağlayacaktır.

1.3.3 Projenin Amacı

Bu projenin amacı, farklı distribütör profilleri için ürün bazında günlük talep tahmini yapan, ürün eklenmesi ve çıkarılması durumuna cevap verebilen, kontrol mekanizmasına sahip ve buna göre subjektif değerlendirmeye açık olan ve belirli aralıklarla kendini güncelleyen bir talep tahmin sistemi oluşturmaktır. Ayrıca talep tahmin sonuçlarına göre distribütör/depo ve ürün bazında güvenlik stok seviyesinin belirlenmesini sağlayan bir sistem oluşturmaktır.

2. Çözüm Yaklaşımı

Bu bölüm günlük talep tahmini için ve güvenlik stoğu seviyesinin belirlenmesi için çözüm yaklaşımımızdan, elde ettiğimiz sonuçlardan ve doğrulanmalarından oluşmaktadır.

2.1 Satış Tahmini için Çözüm Yaklaşımı

Projemizin başlangıç aşamasında sunacağımız çözümlerin tutarlı ve geçerli olması için bazı varsayımlarda bulunduk. Bu varsayımlar şu şekildedir:

- Her satış noktası sadece bir distribütör ya da depoya, her depo veya distribütör de sadece bir lojistik merkezine bağlıdır.
- Proje süreci boyunca dağıtım ağı değişmemektedir.
- Depolar soğuk satış tipiyle, distribütörler ise her iki satış tipiyle çalışmaktadır.

Bölüm 1.3.1 *Veri Analizi* bölümünde bahsedildiği üzere farklı karakteristik yapılar sahip iki depo ve üç distribütör önceliklendirilmiştir. Uyguladığımız çözümler de bu beş nokta üzerinden çikolata bar kategorisine ait on beş ürün için yapılmıştır. Talep tahmin metotları geliştirilmeden önce ürünler düzenli ürünler ve düzensiz ürünler olarak ikiye ayrılmıştır ve bu iki tür için farklı metotlar geliştirilmiştir. Düzenli ürünler üç seneye ait olan veride en az yirmi dört ay satışı bulunan ve satış yaptığı distribütör/deponun toplam satışlarının en az %1'ini oluşturan ürünlerdir. Düzensiz ürünler ise üç senelik olan veride yirmi dört aydan az satışı bulunan ve satış yaptığı distribütör/deponun toplam satışlarının %1'inden azını oluşturan ürünlerdir. Bölüm 1.3.1 *Veri Analizi* kısmında bahsedilen analizler sonucunda distribütör ve depolar da kendi içlerinde ve aynı zamanda distribütör/depoları ait kanalların da farklı yapılar sahip olduklarından her birine ayrı çözüm yaklaşımı sergilenmiştir. Verilen kararlar ve geliştirilen metotlar sonucunda farklı distribütör/depo profilleri için kanal ve ürün bazında günlük talep tahmini yapan, ürün eklenmesine veya çıkarılması durumuna cevap veren, kontrol mekanizmasına sahip ve buna göre subjektif değerlendirmeye açık olan; en iyi tahmin metodunu seçerek bir talep tahmini sistemi ve en düşük hata payıyla hesaplanan güvenlik stoğu belirleme sistemi oluşturulmuştur. Çözüm yaklaşımı için izlenen adımlar şu şekildedir:

- Uygulanacak tahmin metotlarının belirlenmesi ve uygulanması
- En iyi sonucu veren tahmin metotlarının seçilmesi
- Haftalık ve günlük kısımların yapılması
- Sistemin doğrulanması
- Güvenlik stoğu seviyesinin belirlenmesi

Veri analizleri için kullanılan R programı açık bir kaynak olduğu için aynı zamanda tahmin metotlarının geliştirilmesinde ve uygulanmasında da kullanılmıştır.

- Tahmin Metotları

Tahmin metotları için öncelikle 2015-2016-2017 yılları zaman serisine çevrilerek eğitim verisi olarak ele alındı, geçmiş verilerden yararlanıp, öğrenerek gelecek yıl olan 2018 yılını tahmin edildi. Gerçek satışlarla karşılaştırıp test edebilmek için 2018 yılı için yapılan tahminleri ise test verisi olarak aldık. Talep tahmini için on dört metot denenmektedir. Bu metotlardan biri 1.3 Sistem Analizi'nde bahsedildiği üzere ETİ'nin de kullandığı Holt-Winter's Multiplicative yöntemi ve diğeri ise Holt-Winter's Additive yöntemidir. Bu iki yöntem sezonsallığın ve trendi olduğu durumlarda bu etkileri talep tahminine yansıtabilen ve bu faktörlerin gözlemlendiği durumlarda talep tahmin için en çok seçilen yöntemler olmuşlardır. Kullanılan bir diğeri ise Rob Hyndman'ın R paketinde bulunan ETS olarak adlandırılan hata, eğilim ve sezonsallık faktörlerinin belli kombinasyonlarını içeren bir metottur. ETS metodunun kaynağı üstel düzeltme yöntemidir, hatanın çarpımsal veya toplamsal olmasına, eğilimin çarpımsal, toplamsal olmasına veya olmamasına ve sezonsallığın çarpımsal, toplamsal olmasına veya olmamasına göre üstel düzeltme yönteminin farklı çeşitlerini oluştururlar. ETS metodu sayesinde hata, eğilim ve sezonsallığın farklı kombinasyonlarını oluşturarak on tahmin yöntemi kullanıldı. ETS ve Holt-Winter's yöntemlerinden farklı olarak Rob Hyndman (2014) 'nın Forecasting:Principles&Practice kitabında belirttiği üzere Arima ve Arima modelinin sezonsallık faktörü içeren Sarima modeli kullanılmıştır. Serkan Taştan'ın ve Oğuz Kaynar'ın (2009) değindiği üzere Arima metodu seriyi oluşturan veriler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu varsayan ve bu doğrusal ilişkiyi modelleyebilen ve durağan olan veya çeşitli istatistiksel yöntemlerle durağan hale getirilen zaman serilerine başarıyla uygulanabilmektedir. Uygulanan talep tahmin metotları sonucunda elde edilen veri aylık bazdadır. Sistemde aylık bazda olan talep tahminleri bir ay sonrası, iki ay sonrası ve üç ay sonrası şeklinde hesaplanmaktadır. Bir örnekle, elimizde en son Aralık 2017 verisinin olduğunu varsayarsak Ocak 2018, Şubat 2018 ve Mart 2018 aylarının talep tahminlerini yapılmaktadır. Ocak 2018 ayının gerçek satış değerlerini elde ettikten sonra Şubat 2018, Mart 2018 ve Nisan 2018 için tekrar aylık bazda talep tahmini yapılmaktadır. Sistemimiz 2018 senesinin bütün ayları için bu şekilde bir talep tahmin yöntemi izlemektedir.

Bahsedilen talep tahmini yöntemi düzenli satışı olan ürünler için geçerlidir. Düzensiz satışı olan ürünler içinse uygulanan yöntemlere benzer özellik gösteren iki metodumuz bulunmaktadır. Ürünlerin özelliklerine göre bu metotlardan birisi seçilmektedir.

- En İyi Tahmin Metodunu Seçme

Yukarıda belirtilen 14 talep tahmini metodu 3 aylık periyodlar şeklinde aylık bazda uygulandıktan sonra 2018 yılının ayları için elde edilen tahminlerle 2018 yılının gerçek satışlarıyla karşılaştırılarak en az hatayı veren metot o distribütör, o kanal ve o ürün için en iyi tahmin metodu olarak seçilmiştir. En az

hatayı veren metodu bulmak üzerine olan çözüm yaklaşımımız için Ortalama Mutlak Sapma olarak adlandırılan aşağıda belirtilen yöntem kullanılmıştır:

$$OMS = \sum_i \frac{|tahmin(i) - gerçekteşen(i)|}{n} \times 100$$

2018 yılının tüm ayları için yapılan talep tahminleri ile gerçek satışlar arasındaki farkı alarak toplam veri noktası (n) sayısına bölerek elde edilen en küçük OMS değerine sahip tahmin metodu en iyi metod olarak seçilmektedir. En iyi seçilen metod kullanıcı ara yüzü sayesinde Ek 3'te de örnek tabloda görülebileceği gibi tabloya kaydedilerek gelecek tahminler için kullanılacak metod olarak belirlenmektedir.

- Haftalık ve Günlük Kırılımlar

Proje kapsamında istenilen son ürün distribütör ve depolar için günlük talep tahmini verisidir. Her bir kanal için yapılan ürünlerin tahmin değerleri ait oldukları distribütör/depo için toplanmaktadır ve bu sayede distribütörlerin veya depoların aylık talep tahmin değerleri elde edilmektedir. Bölüm 1.3.1 Veri Analizi'nde bahsedildiği üzere bir ayın içindeki haftaların farklı dağılımlara sahip olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle haftalık değerler için bu dağılımı doğru bir şekilde yansıtabilecek bir yöntem geliştirilmiştir. 2015, 2016 ve 2017 senelerinin ayrı bir şekilde her ayın birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftalarının her ay içinde dağılım değerlerini alarak tek üstel düzeltme yöntemi uygulanmıştır. Başlangıç değeri olarak Ocak 2015, Ocak 2016 ve Ocak 2017'nin ilk haftalarının Ocak ayı içindeki dağılım değerleri alınmıştır. Bir örnek olarak dağılımlar Ocak 2015'in ilk haftasındaki satışların Ocak 2015 ayı içindeki bütün satışlara oranı şeklinde hesaplanmıştır. Elde edilen her senenin Ocak ilk hafta değerlerinin ortalaması alınarak Ocak 2018 ilk haftası için bir değer elde edilmiştir. Sistemde başlangıç değeri ve Ocak 2018'in gerçek satışlarından elde edilen ilk haftanın dağılım değerleri üstel düzeltme yönteminde kullanılarak Şubat 2018'in ilk haftası için bir değer elde edilmektedir. Bu yöntem ile her ayın birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü haftalarının dağılım verileri elde edilmektedir. Burada kullanılan üstel düzeltme yöntemi şu şekildedir:

$$S_t = \alpha Z_{t-1} + (1-\alpha)S_{t-1}$$

S_t değeri gelecek dönemin tahminin, Z_{t-1} ise bir önceki dönemin gerçek değerini simgeler. Buradaki α değeri yukarıda bahsedilen en az OMS değerine göre optimize edilerek bulunmaktadır. Bu şekilde 2018 yılındaki her ayın her haftasının dağılımları tahmin edilerek aylık satışlar haftalık olarak kırılmaktadır. Analizler sonucu haftanın günleri arasında oldukça benzer bir dağılım olduğu gözlemlendiğinden dolayı günlük talep tahmini verisi elde etmek için haftanın her

gününe ait ortalama bir sabit değer elde edilmiştir ve haftalık tahmin değeri bu sabitlere göre günlük tahmin değerlerine çevrilecektir.

- Sistemin Doğrulanması

Bulduğumuz sonuçların değerlendirilmesi, yapılan tahminlerin Ağırlıklı Ortalama Mutlak Yüzde Hata değerinin kullanılması ve ETİ'nin Holt-Winter's Multiplicative metodunu kullanarak ($\alpha=0.1$, $\beta=0.1$, $\gamma=0.1$) yapmış olduğu tahminlerin Ağırlıklı OMYH değerinin kullanılmasıyla elde edilen doğruluk yüzdelerinin karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır. Örnek bir karşılaştırma Ek 5'te görülmektedir. Aynı zamanda ETİ'nin talep tahminlerinde sübjektif değişiklikler yaparak, gerçek satışlara daha yakın tahmin değerleri elde ettiği ve bu nedenle daha yüksek doğruluk değeri elde ettikleri bilinmektedir. Elde edilen tahmin değerlerimiz ile ETİ'nin sübjektif değişim yapılmış tahmin değerleri arasında da aynı şekilde Ağırlıklı OMYH değeri kullanılarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma Ek 6'te görülmektedir.

2.2 Güvenlik Stoğu Seviyesinin Belirlenmesi için Çözüm Yaklaşımı

ETİ talep tahminlerinde gerçekleşen sapmalardan dolayı bu değerlere bağlı olarak hesaplanan güvenlik stoğu seviyesinin belirlenmesinde sorun yaşamaktadır. Bu durum stokların yetersiz olmasına ve fazla stoğun tutulmasına sebebiyet vermektedir. Fazla stok tutmak şirketin stok maliyetini artırmakta, depolardaki alanı kısıtlamaktadır ve belli bir raf ömrü olan ürünlerine tazeliklerini kaybetmesine sebep açmaktadır. İyileştirilmiş talep tahminlerimiz sonucunda daha doğru bir şekilde güvenlik stoğu seviyesi belirlenmesi bazı metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlar sayesinde stoğun fazla veya yetersiz kalması durumunun çözülmesi amaçlanmıştır.

Proje kapsamında bizim sistemimiz ETİ'ye tahminlere bağlı olarak hesaplanan σ değerini daha iyi hesaplanmış bir şekilde vermektedir. σ değeri Ortalama Mutlak Sapma değerinin 1.25 ile çarpılması ile hesaplanır. Burada kullanılan OMS değerleri σ değeri hesaplanmadan önce üstel düzeltme yöntemi ile düzgün bir hale getirilir. Bu değer her ürün her distribütör veya her depo için aylık olarak hesaplanır ve güvenlik stoğu tutmak için belirtilen gün sayısına özel bir metot ile kırılımı yapılır. Nahmias ve Olsen (2015)'in bahsettiği bu metot için

$$\sigma = \sigma_{\text{aylık}} \sqrt{(\text{güvenlik stoğu gün sayısı}) / (\text{aydaki gün sayısı})}$$

formülü

kullanılmaktadır. Elde edilen σ değeri;

$$GS = k * \sigma * \sqrt{R + L/T}$$

formülünde güvenlik stoğu seviyesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Formüldeki k değeri ETİ'nin güvenlik stoğu değerlerinden yola çıkılarak elde

edilen bulunabilirlik oranını temsil etmektedir ve T ise bir aydaki iş günü sayısını temsil etmektedir. ETİ ise güvenlik stoğunu belirlemek için

$$GS(\text{günler}) = \sqrt{R+L} * \mu/\sigma * \text{Emniyet Faktörü (z)} + \text{Beklenen Araç Stok}$$

formülünü kullanmaktadır. Güvenlik stoğunun iyileştirilmesindeki oranı görmek için ETİ'nin kullandığı formül sayesinde edilen güvenlik stoğu değeri ile bizim belirlediğimiz formül sayesinde elde edilen güvenlik stoğu değeri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

3. Projenin Şirkete Faydaları ve Uygulama Planı

3.1 Projenin Şirkete Faydaları

Projenin amacı *Bölüm 2.1 Satış Tahmini için Çözüm Yaklaşımı* kısmında bahsedildiği gibi bir sistem oluşturmaktır. Bu amaçlar doğrultusunda, projenin hem talep tahmini hem de güvenlik stoğunu otomatik bulma açısından şirkete önemli bir faydası vardır. Farklı profillerdeki satış noktalarının özelliklerine göre en uygun sistemi aramak ve bu süreçte ürün-kanal özelindeki değerlendirmeleri dikkate almak müşterinin taleplerine daha kolay cevap verilmesini ve üretimi daha efektif bir şekilde düzenlemelerini sağlayacaktır. Aynı zamanda daha iyi talep tahmini yapılması, güvenlik stoğundaki verimi de dolaylı olarak arttıracaktır çünkü talepteki varyasyon azalacaktır. Talep tahmini ve güvenlik stoğu için Ek 6'da ve Ek 7'de belirtilen karşılaştırmalardan da sistemin, ETİ'nin yöntemine oranla daha iyi talep tahmini yaptığı ve güvenlik stoğu seviyesini daha iyi belirleyerek şirketin harcamalarını azaltmasında etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, şirketin stok dışı kalmaması, doğru zamanda doğru yerde talebi sağlaması, standart sapma değerlerinin doğrultusunda bir güvenlik stoğu oluşturulması şirketin itibarı ve müşteri ilişkileri açısından yararlı olacaktır. Sübjektif değerlendirmeye izin veren yapısı sayesinde ay sonu hesapları ve gerekli müdahaleler yapılabilecektir. Projenin uygulanması için kullanılan kullanıcı arayüzünde bulunan eklentiler, sınırlı erişimle beraber, belirli ya da istenilen periyotlarda metotların parametrelerini güncelleyebilecektir, bu da şirketin sonuçlarını doğrulamada etkili bir rol alacaktır.

3.2 Uygulama Planı

Projenin içerdiği birçok analiz ve talep tahminleri R programı kullanılarak yapılmıştır ancak projenin geneli için SQL, Excel ve R programları kullanılmaktadır. Bu nedenle uygulamayı geliştirmek ve projenin gerekli işlemlerini gerçekleştirebilmek için C# programı kullanılmıştır.

Öncelikle uygulama iki kısma ayrılmaktadır ve belirlenen kişiler tarafından kullanıcı isimleri ve şifreleriyle erişim sağlanmaktadır. İlk kısımda Ek 8'da görülebileceği üzere ana sayfada bulunan Geçmiş Veri butonuna tıklayarak distribütör, ürün, kanal detayında günlük, haftalık ve aylık olacak

şekilde SQL'den düzenlenmiş halde alınan gerçek satış miktarları görülmektedir ve gerektiğinde istenilen şekilde filtrelemeler yapılmakta ve ayrıca Excel'e Yazdır butonuna tıklanarak da bu veriler ETİ'nin aktif bir şekilde kullandığı Excel programına aktarılmaktadır (Ek 9). Ana sayfada bulunan diğer bir buton ise ETİ'nin kendi tahminleri için kullandığı Holt-Winter's metodunu kullanarak tahmin yapmaktadır. Yapılan tahminler sonucunda distribütör/depo, kanal, ürün bazında aylık talep tahmin değerleri, haftalık talep tahmin değerleri, günlük talep tahmin değerleri, tahmin değerlerinin ortalamaları, OMS değerleri, belirlenmiş güven aralığı değerleri ve tahminler sonucunda güvenlik stoğu seviyesi için hesaplanan σ değerleri bir tabloda verilmektedir. Talep Tahmin butonu ise daha öncesinde R programında distribütör/depo, kanal ve ürün bazında seçilen en iyi tahmin metotlarını kullanarak gelecek dönem için tahminler yapmaktadır. Elde edilen tahmin sonuçları Holt-Winter's metodu uygulanması sonucunda oluşturulan tablo gibi bir tabloya yazılmaktadır. Burada en iyi tahmin metodu olarak seçilmiş yöntemler ve en iyi parametre değerleri olarak seçilmiş değerler R programına iletilerek tahmin metotları uygulanmaktadır, daha sonrasında elde edilen değerler C# programına gönderilerek uygulamamızda yer almaktadır. Son olarak sistemin düzgün çalışabilmesi adına otomatik hale getirilmiş tahmin metotları uygulanırken hata değeri belirlenen güven aralığını aştığı zaman uygulama hata vermektedir. Bu durumu düzeltmek için ikinci kısımda bahsedilen metotlar uygulanmaktadır.

İkinci bölüm ilk bölümün içerdiği bütün fonksiyonları içermektedir ve ek olarak ikinci kısımda uygulamamızda belirlenmiş yetkili kullanıcı taraflarından daha detaylı işlemler yapılmaktadır. Yetkili kullanıcılar sisteme girdikten sonra onlara özel Tahmini Güncelle bölümü gösterilecektir. Bu kısımda tahminlerinde hataların arttığı gözlenen ürünlerin tahminleri baştan yapılarak o ürün için tekrar en iyi metot ve parametre seçimini yapılabilir. Ayrıca yeni bir ürün pazara girdiğinde o ürün için en iyi tahmin metodu ve parametreler seçilebilmektedir. Belirlenen en iyi metot ve parametreler arka planda çalışan veritabanına aktarılmaktadır ve bu bilgiler Talep Tahmin kısmı için tutulmaktadır. Bu kısımdaki yetkili kullanıcılar seçilen en iyi tahmin metotlarını görme veya değiştirme, tahmin metotlarının içeriğini görme, parametreleri görme veya değiştirme ve güvenlik stoğu seviyesi için belirlenen σ değerini değiştirme yetkilerine sahiptirler. Aynı zamanda istenildiği zaman subjektif değişim yapılmaktadır.

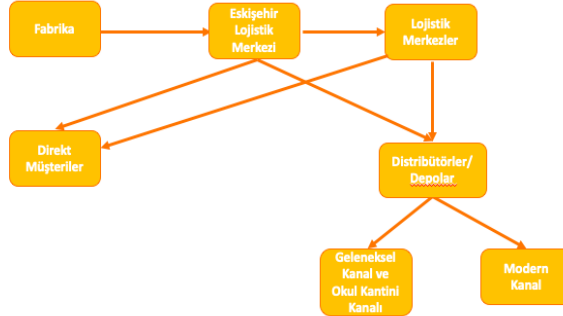
KAYNAKÇA

ETİ, 2016, Sayılarla ETİ Çalışanları, accessed at <https://www.etietieti.com/sayilarla-eti-calisanlari> as of November 17, 2018.

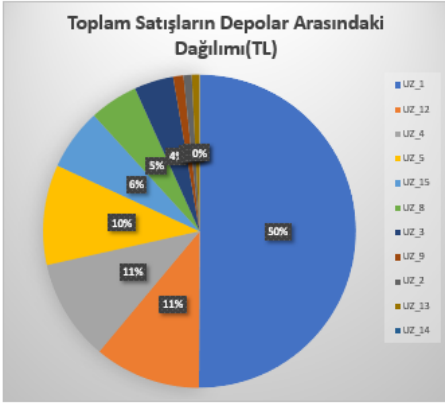
- Fortune, 2017, Fortune 500 - 2017, accessed at <http://www.fortuneturkey.com/fortune500> as of December 17, 2018.
- Fortune, 2018, Fortune 500 - 2018, accessed at <http://www.fortuneturkey.com/fortune500> as of November 17, 2018.
- Hyndman, Rob 2014. "Forecasting: Principles&Practice", Chapter 8, accessed at <https://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf> as of March 3, 2019.
- Hyndman, Rob 2019. "Forecasting Functions for Time Series and Linear Models", accessed at <https://www.rdocumentation.org/packages/forecast/versions/8.6> as of January 10, 2019.
- Nahmias, Steven and Olsen, Tava Lennon 2015. "Production and Operation Analysis", Waveland Press Inc., Chapter 2.9, accessed at <https://www.scribd.com/document/323238271/Production-and-Operations-Analysis-7th-Ed-Steven-Namias> as of December 19, 2018.
- Taştan, Serkan and Kaynar, Oğuz 2009. "Zaman Serileri Tahmininde Arima-Mlp Melez Modeli", Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Page 141, accessed at <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/29738> as of April 2,2019.

EKLER

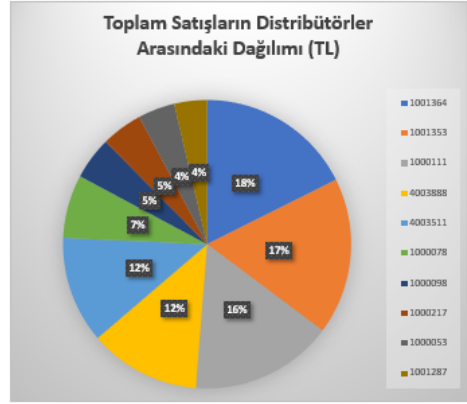
Ek 1. Dağıtım Şeması



Ek 2. ABC Analizi

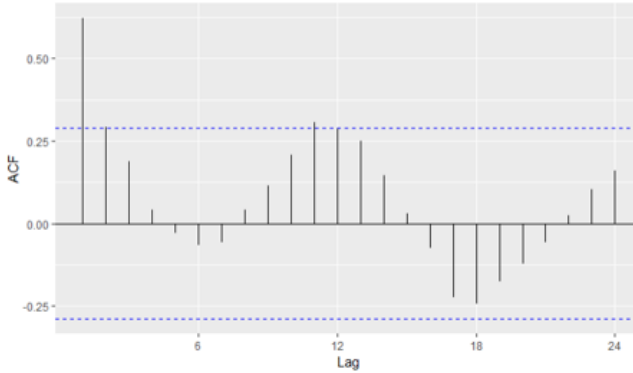


Veri uzunluğu: Ocak 2018 – Aralık 2018



Yaptığımız ABC analizi ve endüstriyel danışmanlarımızın bilgilendirmeleri sonucunda sistemimizi kurmak için depolardan UZ-1 ve UZ-4'ü distribütörlerden ise 4003888, 1000078 ve 1000053'i seçmişştir.

Ek 3. Otokorelasyon Analizi



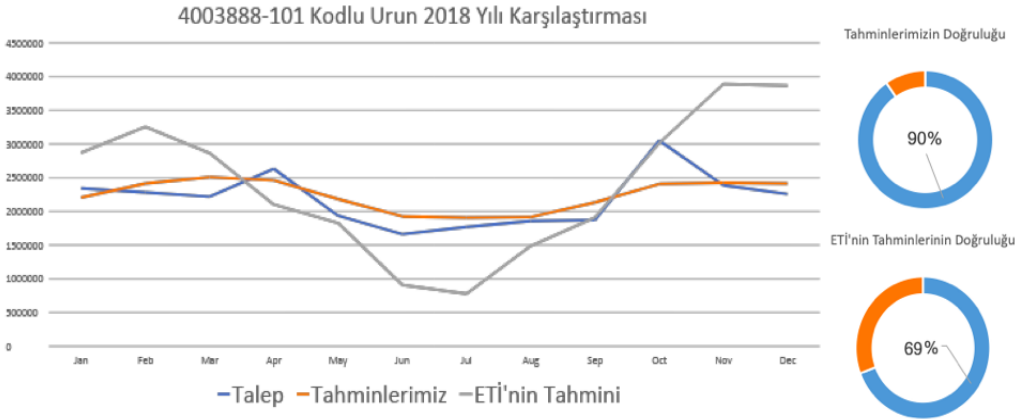
Yukarıdaki şekilde 100 kodlu ürün için 4003888 kodlu distribütörün 1. Kanalındaki satışlar baz alınarak yapılmış oto korelasyon analizi görülmektedir. Bu analiz 2015, 2016 ve 2017 satış verilerini kullanarak yapılmıştır. Oto korelasyon analizi sonucunda, 4003888 kodlu distribütörün 1. Kanalında 100 kodlu ürünün sezonsallığının 11-12 ay olduğunu tespit edilmiştir.

Ek 4. Seçilen En İyi Talep Tahmin Metotları Örnek Tablosu

Distribütör/Depo Kodu	Urunkodu	Kapsanan Kanal	Eksik Kanal	KapsananYuzde	Mean(KY) (Satış Ortalaması)	MAD(KY)	MAD/Mean(KY)
1000053	100	1-2-3-4		100	212977.17	92343.15	0.434
1000053	101	1-2-3-4		100	519121.08	127825.35	0.246
1000053	102	1-2-4		100	441452.67	134189.47	0.304
1000053	103	1-2-4	3	99	115680.67	40011.90	0.346
1000053	104	1-2-4		100	59944.50	22417.05	0.374
1000078	100	1-2-3-4		100	495545.67	142532.10	0.288
1000078	101	1-2-3-4		100	1053510.08	157521.08	0.150
1000078	102	1-2-3-4		100	782947.75	99324.36	0.127
1000078	103	1-2-3-4		100	354496.83	85983.06	0.243
1000078	104	1-2-4	3	92	123900.17	31573.17	0.255
4003888	100	1-2		100	918066.67	95459.20	0.104
4003888	101	1-2		100	2190090.00	203291.32	0.093
4003888	102	1-2		100	1324963.83	159165.72	0.120
4003888	103	1-2		100	416787.25	136855.92	0.328
4003888	104	1-2		100	253200.50	45155.27	0.178
UZ_1	100	5		100	770880.33	520760.48	0.676
UZ_1	101	5		100	1849380.00	456292.58	0.247
UZ_1	103	5		100	1273040.00	347583.46	0.273
UZ_4	100	6		100	37824.33	19180.11	0.507

Ek 5. Geliştirilen Yöntem ve ETİ'nin Kullandığı Yöntemin Doğruluk Karşılaştırması

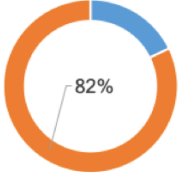
4003888 distribütörüne ait 101 kodlu ürünün 2015, 2016 ve 2017 yılındaki satış verileri kullanılarak Kanal 1 ve Kanal 2'de 2018 yılına ait aylık talep tahmini değerleri ile 2018 yılının gerçek satış verileri ile karşılaştırılmış sonucunda %90 oranında bir doğruluk payı elde edilerek, %21 oranında iyileştirme gözlenmektedir.



101-Kanal 1: Simple Exponential Smoothing 101-Kanal 2: Exponential Smoothing with Multiplicative Seasonality

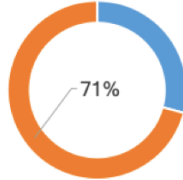
Ek 6. Geliştirilen Yöntem ve ETİ'nin Sübjektif Değerlendirme Yaptığı Tahminlerin Doğruluk Karşılaştırması

Tahminlerimizin Doğruluğu

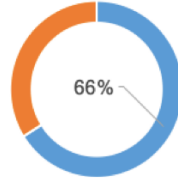


4003888-104 Kodlu Ürün

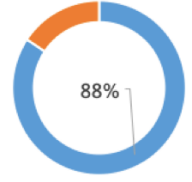
ETİ'nin Tahminlerinin Doğruluğu



ETİ'nin Tahminlerinin Doğruluğu

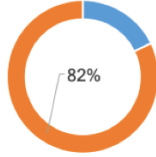


Tahminlerimizin Doğruluğu

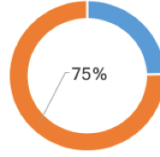


1000078-102 Kodlu Ürün

ETİ'nin Tahminlerinin Doğruluğu



Tahminlerimizin Doğruluğu



1000078-104 Kodlu Ürün

Ek 7. ETİ ve Geliştirilen Yöntem Arasındaki Güvenlik Stoğu Değeri Karşılaştırılması

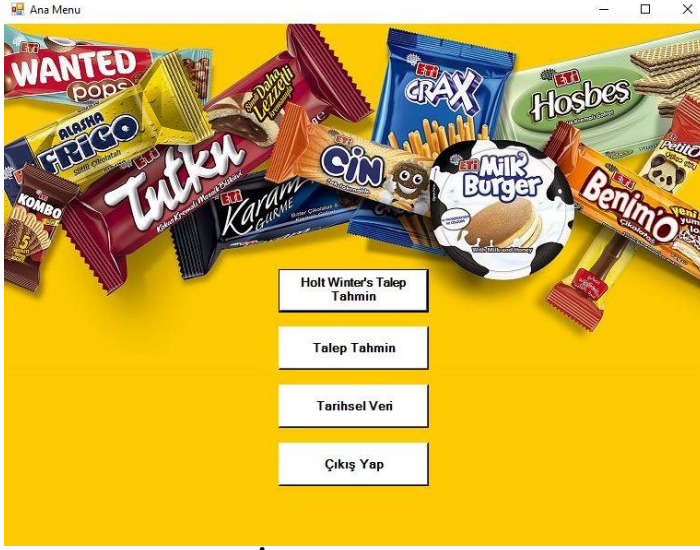
Ocak 2019 için alınan bir örnek küme üzerinden güvenlik stoğu değerleri hesaplanarak, iyileştirme oranı hesaplanmıştır.

Toplamda ETİ Güvenlik Stoğu Değeri: 6548934.311

Toplamda Sistemin Belirlediği Güvenlik Stoğu Değeri: 4421840.447

İyileştirme Oranı: 32.48%

Ek 8. – Uygulama Giriş Sayfası



Ek 9. – Uygulama İçerik Ekranı

Tarihsel Veri

Ürün Kodu : 100

Distribütör Kodu :

Grupla :

Başlangıç Tarihi : July 2018

Bitiş Tarihi : April 2019

Date	Kanal_Kodu	Distribütör_Kodu	Ürün_Kodu
2018-10-09	2	1001353	100
2018-10-09	2	1001364	100
2018-10-09	2	4003888	100
2018-10-09	3	1000078	100
2018-10-09	3	4003511	100
2018-10-10	1	1000053	100
2018-10-10	1	1000078	100
2018-10-10	1	1000098	100
2018-10-10	1	1000217	100
2018-10-10	1	1001287	100
2018-10-10	1	1001353	100
2018-10-10	1	1001364	100
2018-10-10	1	4003888	100
2018-10-10	2	1000053	100
2018-10-10	2	1000078	100
2018-10-10	2	1000098	100
2018-10-10	2	1000217	100
2018-10-10	2	1001287	100
2018-10-10	2	1001353	100
2018-10-10	2	1001364	100
2018-10-10	2	4003888	100
2018-10-10	7	UZ_13	100
2018-10-10	7	UZ_3	100
2018-10-11	1	1000053	100
2018-10-11	1	1000078	100
2018-10-11	1	1000098	100
2018-10-11	1	1000217	100
2018-10-11	1	1001287	100

Buttons: Datayı Getir, Excele Yazdır, Excel Dosyasının Adı: , Geri

Envanter Yönetim Sistemi için Tek Tuşla Karar Destek Aracı Tasarımı

Ford Otosan



Proje Ekibi

Göksu Büyükkahraman, Nisa İzgi Çelebi, Başak Dik,
Hanan İsmail, Beril Kunt, Simge Okur, Aydın Alp Yılmaz

Şirket Danışmanı

Bilal Şeker
Kıdemli Envanter Planlama Uzmanı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Özlem Çavuş İyigün
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Ford Otosan envanterinin yönetimi ve raporlanması Merkezi Planlama fonksiyonu tarafından gerçekleştirilir. Üst yönetim seviyesinde bu sürecin anahtar performans göstergesi “envanter gün” değeridir ve şirketin yıl sonu performansını belirleyen önemli göstergelerden bir tanesidir. Mevcut durumda araçların envanter gün değeri Excel dosyaları üzerinden manuel bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu proje ile tüm veri kaynakları ile tamamen entegre olan, günlük frekansla güncellenebilen, gelecek envanter gün değerlerini öngörüleylebilen, farklı araç envanter adet ve satış adet senaryolarına göre gerekli çıktılar alabilme yeteneğine sahip bir sistem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Envanter gün hesaplama, kullanıcı arayüzü, veri tabanı, öngörüleme, ARIMAX modeli.

1. Şirket Tanıtımı

Ford Otosan (Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.), Ford Motor Company ve Koç Holding'in eşit oranda hisse sahibi oldukları halka açık bir şirkettir. 1959'da kurulan Ford Otosan, 2018 yılı sonu itibariyle 455 bin ticari araç ve 75 bin adet motor ve 140 bin adet aktarma organı üretim kapasitesi sayesinde Ford Avrupa'nın en büyük ticari araç üretim merkezi konumundadır. Ford Otosan, Kocaeli (Gölcük ve Yeniköy Fabrikaları), Eskişehir (İnönü Fabrikası) ve İstanbul (Sancaktepe Ar-Ge Merkezi ve Yedek Parça Deposu) olmak üzere üç ana merkezde faaliyet göstermektedir.

2. Proje Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Mevcut Sistem Tanıtımı

Ford Otosan envanterinin yönetimi ve raporlanması Malzeme Planlama ve Lojistik (MP&L) Departmanı tarafından gerçekleştirilir. Üst yönetim seviyesinde bu sürecin anahtar performans göstergesi "envanter gün" değeridir ve şirketin yıl sonu performansını belirleyen önemli göstergelerden bir tanesidir. Mevcut durumda envanter gün değerleri her bir kategori ve araç modeli için Excel dosyaları üzerinden manuel bir şekilde hesaplanmaktadır. Araç modelleri Fiesta, Valencia, Focus, Mondeo, B-Max, C-Max, Ranger, S-Max, Galaxy, Kuga, Custom, Transit, Courier ve Cargo şeklindedir.

Gerçekleşen aylık envanter gün değerleri her $n+1$ 'inci ayın sonunda; n 'inci ayda gerçekleşen ay sonu envanter tutarının (€) $n+1$ 'inci ayda gerçekleşmiş günlük satış tutarına (€) bölünmesi ile hesaplanır. Bu işlem formülde gösterilmiştir.

$$\text{Araç Envanter Gün Değeri} = \frac{\text{(n). Ay Toplam Envanter Tutarı (€)}}{\text{(n+1). Ay Günlük Satış Tutarı (€)}}$$

Şekil 1. Envanter gün değerlerinin hesaplanması

Ford Otosan her bir model ve kategori için öngörülenmiş envanter gün hesabı da yapmaktadır. Bu hesaplama gelecek aylar için güncellenen satış öngörülerinin ve her ay sonundaki yeni envanter durumunun göz önünde bulundurarak oluşturulduğu bir işlemdir. Bu işlem her ay sonunda gelecek aylar için tekrar edilmektedir.

Sonuç olarak, envanter gün değerlerini hesaplama yöntemi hem gerçekleşen hem de öngörülen envanter günleri için aynıdır ve Euro cinsinden ay sonu envanter tutarının Euro cinsinden günlük satış tutarına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

2.2. Belirtiler ve Şikayetler

Mevcut sistemdeki belirtiler ve şikayetler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Zaman kaybına neden olan manuel hesaplamalar: Envanter gün hesabı için gereken veriler farklı Excel sayfalarında dağınık bir şekilde bulunmaktadır

ve manuel bir şekilde bir araya getirilmektedir. Bu da insani hataların oluşması riskine, zaman ve efor kaybına sebep olmaktadır.

- Anlaşılabilir olmayan bir sistem: Mevcut sürecin uzun ve karmaşık olması sebebiyle, mevcut sistem farklı departman çalışanları tarafından kolay bir şekilde anlaşılamamaktadır. Bundan dolayı kişiler sistem hakkında geri bildirim sağlayamamaktadır.
- Yetersiz otomasyon seviyesi: Tüm envanter gün hesaplamaları Excel dosyaları üzerinden yapılmaktadır ve bu dosyalar Ford Otosan'ın kullandığı mevcut işletme yönetim sistemi üzerinden paylaşılamamaktadır. Bu da kişiler arası bilgi paylaşımında kopukluklara sebep olmaktadır.
- Yetersiz Öngörüleme Metodu: Geçmiş verileri kullanan bir öngörüleme metodu kullanılmadığından gerçekleşen envanter gün değerleri ile öngörülen envanter gün değeri arasında yüksek sapmalara yol açabilmektedir.

2.3. Problem Tanımı

Temel iki problem bulunmaktadır. Bunlardan ilki mevcut sistemin manuel bir şekilde sürdürülmesidir. Bundan dolayı da hem yapılması gereken hesaplar zaman almakta hem de kullanıcı hatası riski oluşmaktadır. İkincisi ise şirketin envanter gün öngörülerini oluştururken sahip olduğu geçmişe dönük veriyi etkin olarak kullanamamasıdır.

2.4. Projenin Hedefleri

Bu proje ile tüm veri kaynakları ile tamamen entegre olan, günlük frekansta güncellenebilen, gelecek envanter gün değerlerini öngörüleylebilen, farklı araç envanter adedi ve satış adedi girdilerine (bunlar farklı senaryolar olarak bahsedilecektir) göre envanter gün değerlerinin çıktılarını alabilme yeteneğine sahip bir sistem geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefler üç ana maddede özetlenebilir;

Hedeflerin ilki envanter gün değerlerinin otomatik bir şekilde hesaplanması, kullanıcı hatalarının oluşma ihtimalinin azaltılması, envanter bilgi sisteminin yönetilmesi için gereken zaman ve çabanın azaltılmasıdır. Kısaca, kullanıcı dostu bir arayüz ile mevcut sürecin karmaşıklığını azaltacak ve diğer şirket çalışanlarının sistemi ve verileri rahat bir şekilde anlamalarını sağlayan bir araç oluşturmak hedeflenmektedir.

İkinci olarak, araçların gelecek envanter gün değerlerinin öngörülenmesi için geçmiş envanter adet verilerini, geçmiş satış adet verilerini ve öngörülenmiş satış adet verilerini kullanan çok değişkenli bir öngörüleme modeli kullanılması hedeflenmektedir. Bunun temel amacı öngörüleme tutarlılığını arttırmaktır.

Son olarak ise geliştirilen araca veri analizi yeteneği ve farklı araç envanter adet ve satış adet senaryolarına göre sonuç alabilme yeteneği katmak hedeflenmiştir.

2.5. Literatür Taraması

Kurulacak tek tuşlu karar destek aracı, kullanıcı arayüzü, veritabanı ve envanter gün değer öngörülemezliği olmak üzere üç ayaktan oluştuğu için, literatür taraması da bu üç yön üzerinden yürütülmüştür.

2.5.1. Kullanıcı Arayüzü

Şirket çalışanlarının kullanımını kolay bir yazılımla çalışma isteği sebebiyle kullanıcı arayüzü oluşturmak ve gerekli envanter kontrol aracını sağlamak için programlama dili Python olarak seçildi. Bu programlama dilinin projenin tüm hedefleri için uygunluğundan emin olmak adına detaylı bir literatür taraması yapıldı.

Python programlama dili son derece güçlü, esnek ve işlevsel bir dildir. Python ile belirli bir alanda yazılım geliştirmek isteyen bir programcı, çalışmak istediği alana uygun Python paketini ücretsiz olarak mevcut Python platformuna ekleyerek geliştirmek istediği projeye odaklanabilmekte ve daha az satırla, daha kolay bir şekilde hedefine ulaşabilmektedir. Özgül'e (2013) göre Python dilinin söz diziliminin basit olması sayesinde hem program yazmak, hem de başkası tarafından yazılmış bir programı okumak, başka dillere kıyasla daha kolaydır. Python dili kullanılarak yazılım geliştirilecek ortamlar ve yorumlayıcılar açık kaynak kodlu yazılımlardır. Bu nedenle sürekli geliştirilmekte ve ihtiyaca göre yeni paketler eklenebilmektedir. "Thinking in Java" ve "Thinking in C++" kitaplarının yazarı Bruce Eckel'e göre hiçbir dil Python kadar üretken değildir ve Python hariç dillerin programcıların işini kolaylaştırma gibi bir amacı yoktur (Venners, 2003). Ayrıca Python ile yazılan kodlar/projeler, platformdan bağımsız olarak; Windows, Linux, Unix ve Mac işletim sistemlerinde çalıştırılabilmektedir (Ayvaz vd., 2015). En önemlisi, Python, SQL programlarıyla uyumludur ve şirket verilerinin bir veritabanında depolanması gerektiğinden SQL programları ile uyumlu olması projenin bütünü açısından büyük önem taşımaktadır.

2.5.2. Veri Tabanı

Veri tabanı tasarımı için ise Momjian'a (2002) göre en gelişmiş ve açık kaynaklı veritabanı yönetim sistemlerinden biri olan PostgreSQL üzerine literatür taraması yapıldı. PostgreSQL ile şirketin geçmiş verileri tablolar içinde depolanabilmektedir ve bu geçmiş yıllara ait envanter adet bilgilerinin gösterilmesine ve analizine imkan sağlamaktadır. PostgreSQL açık kaynaklı bir yazılım olması ile tüm kullanıcıların eş zamanlı olarak; serbestçe veri tabanına erişimine, sistemdeki değişiklikleri kontrol etmesine ve gözlemlemesine olanak sağlar. (Douglas, 2003) Ayrıca, sistem birden fazla kullanıcı tarafından aynı anda güncellenebilir. Bu şirket çalışanlarının veri tabanına erişimine kolaylık sağlaması açısından proje hedefleri adına önemlidir.

2.5.3. Envanter Gün Değer Öngörüleme Modeli

Öngörüleme metoduna karar verme sürecinde çok değişkenli zaman serileri öngörüleme metotları üzerine literatür taraması gerçekleştirildi. Çok değişkenli zaman serileri öngörüleme metotları olarak ARIMAX, SARIMAX ve VARMAX gibi zaman serisi modelleri test edildi. Sonuçların değerlendirilmesi sonucunda ARIMAX modelinin kullanılması uygun görülmüştür. Daha sonra envanter gün öngörüleminin aynı kullanıcı arayüzü içerisinde yapılmasına olanak sağlayacak paketler üzerine bir literatür taraması yapıldı. Envanter gün öngörüleme modelinin kurularak veriler üzerinde test edilmesi için R istatistiksel analiz yazılımı için geliştirilen paketlerin kullanılması uygun bulundu.

Kaynar ve Taştan'a (2009) göre standart ARIMA modeli, yalnızca öngörülecek değişkeninin geçmiş değerlerine dayanarak öngörüler yapılmasına olanak sağlar ve bir değişkenin gelecekteki değerlerinin doğrusal olarak geçmiş değerlerine bağlı olduğunu varsayar. ARIMAX modeli ise ARIMA modelinin genişletilmiş bir versiyonudur ve dış kaynaklı değişkenleri de içerir. Bu model, durağan veya durağan olmayan, çok değişkenli, belli bir trende sahip, mevsimsel ve mevsimsel olmayan zaman serilerinin öngörülenmesinde kullanılır.

Mevsimsel olmayan ARIMAX modellerinin genel gösterimi $ARIMAX(p,d,q)$ şeklindedir. Burada p ve q sırasıyla otoregresif (AR) modelin ve hareketli ortalama (MA) modelinin derecesi, d ise fark alma derecesidir. Mevsimsel ARIMAX modelleri ise $ARIMAX(p,d,q)(P,D,Q)_m$ olarak gösterilir, burada m , her mevsimdeki periyot sayısını belirtir ve P, D, Q parametreleri sırasıyla otoregresif model derecesini, fark alma derecesini hareketli ortalama (MA) modelinin derecesini temsil eder (Peter ve Silvia, 2012). Bu parametreler sistem tarafından otomatik olarak seçildiğinde, buna otomatik yaklaşım denir; parametreler kullanıcı tarafından manuel olarak girildiğinde ise bu manuel yaklaşım olarak adlandırılır. Daha iyi öngörüler elde edilmesi adına, otomatik yaklaşım önerilmektedir. R istatistiksel yazılımındaki 'forecast' paketindeki 'auto.arima' fonksiyonu, verilerin niteliğine göre doğru parametreleri otomatik olarak seçer ve uygular.

3. Sistem Tasarımı

3.1. Veri Tabanı Tasarımı

MP&L Departmanı'ndan alınan veriler doğrultusunda veri tabanının kavramsal tasarımına öğeler, öznitelikler, temel kısıtlamalar ve katılım kısıtlamaları eklendi. Fiziksel tasarım aşamasında, şirketin fonksiyonel gereksinimleri göz önünde bulunduruldu; bu esnada verilerin tüm işlevsel bağımlılıklarının korunduğu bir veritabanının düzenlenmesi sağlandı. Mantıksal tasarımın resimlendiği öge-ilişki çizeneği Ek 1 de görülebilir. Bu çizenek,

araçlar ve onların alt kategorileri olan ithal edilen ‘*Import_vehicle*’ araçlar ve Türkiye’de üretilen ‘*Built_up*’ araçlar için tasarlanmıştır.

Öncelikle, ‘*Vehicle*’ adında, ‘*model_name*’, ‘*vehicle_cost*’ ve ‘*vehicle_year*’ olmak üzere sadece üç tane özneliği olan ana bir tablo oluşturuldu. ‘*model_name*’ her bir araca özgü olduğu için birincil anahtar olarak ‘*model_name*’ kullanıldı. IS-A ilişkisi kurularak araçlar ‘*import_vehicle*’ ve ‘*built-up*’ olarak iki kategoriye ayrıldı. ‘*model_name*’ ve ‘*vehicle_year*’ araç tablosunda süper anahtar kabul edilerek veritabanında yılın her ayında her bir araç için tek ve benzersiz bir kayıt saklanması sağlandı.

‘*Vehicle_data*’ adında ‘*model_name*’, ‘*record_year*’, ‘*record_month*’, ‘*inv_quantity*’, ‘*sold_quantity*’, ‘*actual_invdays*’, ‘*cum_invdays*’, ‘*company_sales_forecast*’, ‘*forecasted_inv_quantity*’ ve ‘*forecasted_invdays*’ özneliklerini içeren bir tablo oluşturuldu. Bu veriler, R ve Python üzerinden envanter gün değeri hesaplamak, gelecek envanter değeri öngörülecek ve ilgili grafikleri oluşturmak için kullanılmaktadır. ‘*record_month*’ ile birlikte ‘*model_name*’ bu tablonun süper anahtarını oluşturmaktadır. ‘*Vehicle*’ ve ‘*Vehicle_data*’ tabloları arasında tek bir ilişki kurularak bu iki üst tablo birbirlerine bağlandı. Her üst tablo veri girişinin herhangi bir fazlalığa izin vermeyecek şekilde doğru alt tablo hedefine atanmasına yardımcı olacak sorgular yazıldı.

‘*Scenario*’ ve ‘*Scenario_Data*’ olmak üzere daha önce de belirtilen senaryoları muhafaza etmek üzere ‘*Vehicle*’ ve ‘*Vehicle_data*’ tablolarına çok benzeyen iki tablo daha oluşturuldu. ‘*Scenario*’ tablosunda ‘*scenario_name*’, ‘*model_name*’ ve ‘*vehicle_cost*’ öznelikleri bulunurken ‘*scenario data*’ tablosunda ‘*scenario_name*’, ‘*vehicle_name*’, ‘*record_year*’, ‘*record_month*’, ‘*sold_quantity*’, ‘*inv_quantity*’, ‘*actual_invdays*’, ‘*cum_invdays*’ öznelikleri bulunmaktadır. Tıpkı ‘*Vehicle*’ tablosunda olduğu gibi ‘*Scenario*’ tablosuna da IS-A ilişkisi ile ‘*Import_vehicle*’ ve ‘*Built_up*’ tabloları bağlandı.

PostgreSQL’in Python ile uyumlu bir yazılım olması, hem PostgreSQL’de hem de Python’da çalıştırılabilen sorgular yazılmasına yardımcı oldu. Envanter gün değerini, kümülatif envanter gün değerini ve toplam envanter gün değerini hesaplamak üzere model ve kategori bazlı pek çok farklı fonksiyon yazıldı. Benzer işlevli fonksiyonlar senaryo tabloları için de yazıldı. Bunların yanı sıra verilerin veritabanında var olup olmadığını kontrol etmek ve eğer veritabanında yoklarsa bu verileri eklemek üzere gerekli fonksiyonlar yazıldı.

3.2. Envanter Gün Öngörülmesi

Literatür taramasında belirtildiği gibi çeşitli çok değişkenli zaman serisi öngörülme modelleri incelendi ve ARIMAX modeli seçildi. Ana hedef gelecek envanter gün değerlerini öngörülemedi, ancak ARIMAX modeli doğrudan envanter gün değerlerini öngörülecek için kullanılmadı. Bu model gelecek

envanter adet öngörülmesi için kullanıldı; elde edilen envanter adet öngörülmesi ve şirket tarafından verilen gelecek satış öngörülmesi ile gerekli matematiksel hesaplamalar yapılarak öngörülen envanter günleri hesaplandı.

Her araç tipi için iki farklı zaman serisi vardır; bunlardan ilki bağımlı değişken envanter adetleri, diğeri ise bağımsız dışsal değişken olan satış adetleridir. R'in '*auto.arima*' fonksiyonunu kullanarak verilere uyan en iyi ARIMAX modelini bulmadan önce, envanter adet ve satış adet değişkenleri arasında bir ilişki olduğunu kanıtlamak için Granger Nedensellik Testi uygulandı. Granger (1969) nedenselliğin belirlenmesi için zaman serisi veri tabanlı bir yaklaşım önermiştir. İki zaman serisi verisi, x ve y kümesi göz önüne alındığında, Granger nedenselliği, bir serinin diğeriindeki değişimi etkileyip etkilemeyeceğini belirlemeye çalışan bir yöntemdir. Test sonucunda, tüm araç tipleri için sıfır hipotezi reddedildi ve satış değişkeninin envanter değişkeninin bir nedeni olduğu sonucuna varıldı. Yani, gelecek satış adet öngörü değerleri gelecek envanter adet değerlerinin öngörülmesinde faydalıdır. Bundan sonra, *auto.arima* fonksiyonunda *xreg* argümanı için satış adetlerini bağımsız dışsal değişken olarak tanımlanır. *xreg*, '*auto.arima*' fonksiyonunun bir argümanıdır ve tanımlanması isteğe bağlıdır. Eğer tanımlanırsa, fonksiyon en iyi ARIMAX modelini döndürür.

Aşağıda, her araç tipi için her ayın sonunda, gelecek ayların envanter gün değerlerinin öngörülmesi için izlenen başlıca adımlar verilmiştir:

1. Geçmiş verilerin yüklenmesi: PostgreSQL ile oluşturulan veri tabanında depolanan tüm geçmiş envanter adet ve satış adetleri yüklenir. Veri tabanına her ay sonunda yeni veri girişi yapıldıkça, öngörülme modeli de en güncel veriyi alır.
2. "ts" objelerinin tanıtılması: Yüklenen tüm geçmiş envanter adet ve satış adetleri zaman serisi objesi ("ts" objesi) olarak tanıtılır.
3. Granger Nedensellik Testi'nin uygulanması: Satış adetlerinin, envanter adetlerinin öngörülmesinde etkili olup olmayacağı belirlenir.
4. '*auto.arima*' fonksiyonun kullanılması: *xreg* argümanı satış adetleri olarak tanımlanır ve en iyi ARIMAX modeli fit edilir.
5. Öngörülen satış adet değerlerinin yüklenmesi: PostgreSQL ile oluşturulan veri tabanında depolanan gelecek ayların satış adet öngörülmesi yüklenir. Bu değerler şirketin Satış Departmanı tarafından her ay sonu gelecek aylar için güncellenir ve öngörülme modeli de en güncel veriyi alır.
6. Gelecek envanter adet değerlerinin öngörülmesi: Fit edilen ARIMAX modeli ve öngörülen satış adetleri ile '*forecast*' fonksiyonu kullanılarak gelecek ayların envanter adet değerleri öngörülür.
7. Gelecek envanter gün değerlerinin hesaplanması: Son olarak, gelecek ayların envanter gün değerleri; ARIMAX ile öngörülen envanter adetleri ve şirket tarafından öngörülen satış adetleri kullanılarak hesaplanır.

8. Veri tabanının güncellenmesi: Öngörülen envanter adet ve gün değerleri veri tabanına aktarılır ve kullanıcının arayüz aracılığıyla öngörülen değerleri grafiksel bir şekilde görmesine olanak sağlar.

Bu öngörüleme süreci her ay sonunda, yılın kalan ayları için dinamik bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin, Aralık ayının sonunda gelecek yılın 12 ayının değerleri öngörülenebilirken, Mart ayının sonunda yılın kalan 9 ayının değerleri öngörülenmektedir.

3.3. Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

Proje kapsamında, gerçekleştirilmiş verileri, öngörüleme modeli sonuçlarını ve ek olarak farklı senaryolara ait verileri veri tabanına kaydedebilmek üzere kullanıcı dostu bir arayüz Python kullanılarak tasarlandı. Arayüzün karşılama penceresi Ek 2’de mevcuttur.

Bu arayüz, gösterilmek istenilen veriyi gerek grafikler üzerinde, gerek metin çıktısı olarak hazırlamakla beraber sonuçlarını başka belgelerde kullanmak üzere kaydetme imkanı da sağlamaktadır. Öncelikle, arayüz aracılığıyla veri tabanına veri kaydedebilmek için kullanıcı Excel formatında bir dosya yüklemelidir, bu girdi dosyasının detayları Ek 3’te bulunmaktadır. Girdi dosyası seçildikten sonra, kullanıcı arayüz üzerinden kaydetmek istediği veriye ait detayları (yıl, model ismi ve yılın hangi ayı) seçmektedir. Arayüzde bulunan model listesi seçili yıla göre dinamik olarak güncellenmektedir. Farklı senaryolara ait verileri kaydederken de aynı imkan ve esneklik kullanıcıya sunulmaktadır. Bu işlemlerin yapıldığı arayüz penceresinin ekran görüntüsü Ek 4’tedir.

Veri kaydetme işlemine ek olarak kullanıcı kayıtlı verileri görüntüleyebilmektedir. Bu aşamada kullanıcının herhangi bir girdi dosyası yüklemesine gerek yoktur, gösterilmek istenen veriler direkt olarak kaydedildiği veri tabanından alınarak arayüz içerisinde kullanıcıya sunulmak üzere işlenmektedir. Veri gösterme işlemi için kullanılan bu arayüz penceresi ve metin çıktısı Ek 5’te mevcuttur. Kullanıcıya, göstermek istediği veriye ait özellikleri seçmesi için yıl, model ve yılın ilgili ayı olarak üç parametre sunulmaktadır. İlgili parametreler seçildikten sonra kullanıcı metin belgesi formatında istediği veriyi görüntüleyebilmektedir.

Kayıtlı verilerle grafik üzerinde yapılacak işlemler ayrı bir pencere üzerinden yapılabilmektedir. Bu pencerede de daha önce bahsedilen üç parametre seçeneği kullanıcıya sunulmaktadır. Bu parametreleri seçtikten sonra kullanıcı istediği duruma ait sırasıyla şu verilerin grafiğini elde edebilir: envanter gün, kümülatif envanter gün, envanter adet ve satış adet. Bu grafikler oluşturulurken seçili aydan sonra yılın kalan ayları için gerekli veriler her ay sonunda dinamik olarak çalışan öngörüleme modelimiz sayesinde her ay aktif olarak güncellenmektedir. Ayrıca, söz konusu seçili veriye ek olarak, farklı durumları temsil eden iki farklı senaryo da grafiklere eklenebilmektedir.

Böylece, aynı anda üç farklı durumun grafik üzerinde izlenmesi ve karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu işlemlerin yapıldığı arayüz penceresi, öngörüleme modelimizin sonucu olan örnek bir öngörülen envanter gün grafiği ve farklı senaryoları kıyaslayan bir grafik Ek 6'da mevcuttur. Bu ek senaryolar ihtiyaç kalınmaması halinde "Senaryo Sil" sekmesi aracılığıyla hem ek senaryo listesinden hem de veri tabanından bir tuş ile eş zamanlı olarak silinebilmektedir.

Bunlara ek olarak, kullanıcı tecrübesini geliştirmek ve kolaylaştırmak amacıyla, arayüzde bulunan tüm pencerelerde arayüzün nasıl kullanılacağına dair yönergeleri, arayüzü çalıştırmak için gereken yazılımlar gibi açıklamaları içeren bir "Yardım" sekmesi bulunmaktadır.

4. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

4.1. Şirket Beklentilerinin Karşılanması ve Entegrasyon

Oluşturulan aracın, şirketin mevcut sistemin tamamına entegrasyonu sırasında yazılımsal anlamda bir engel gözlemlenmemiştir, ancak şirketin güvenlik politikası çerçevesinde üçüncü parti yazılımların şirketin Bilgi İşlem Departmanı tarafından incelenmesi gerekmektedir. Tam anlamıyla bir entegrasyon işlemi Bilgi İşlem Departmanı'nın inceleme süresine göre değişkenlik göstereceği için, önerilen aracın entegrasyonu MP&L Departmanı'nın sistemi ile sınırlandırılmıştır. Aracın bu sistemdeki uygulama sonuçları incelendiğinde şirketin proje sürecinin başında belirttiği hedeflerle uyumlu sonuçlar alınmıştır. Buna ek olarak, önerilen aracın şirket için herhangi bir maliyeti olmadığı göz önünde bulundurulduğunda, şirket beklentisinin tamamen karşılandığını gözlemlenmektedir.

4.2. Öngörülerin Doğrulanması

Oluşturulan öngörülerini doğrulamak adına güncellikleri sebebiyle 2019 yılının Ocak, Şubat ve Mart ayları göz önünde bulunduruldu. Her bir araç ve araç kategorisi için bu aylarda şirketin öngörülerinin gerçekleşen değerlerden sapması hesaplandı. Aynı işlem ARIMAX modeli kullanılarak oluşturulan öngörüler için de hesaplanıp, bu aylarda gerçekleşen değerlerden sapma değerleri bulundu. Şekil 2'de görüldüğü gibi her üç ayda da ARIMAX ile oluşturulan öngörüleme değerleri, şirket öngörülerine göre gerçekleşen değerlerden daha az sapmıştır. Üç ayın ortalamasında şirketin sapması 9.30 gün iken, ARIMAX öngörüleme metodu kullanıldığı durumda oluşan ortalama sapma 6.11 gün olmaktadır. Bu da genel anlamda %34 oranında daha az bir sapma yani daha doğru bir tahmin ortaya çıkarmaktadır.

Vehicle Models & Categories	DEVIATIONS FROM THE TARGET					
	JANUARY		FEBRUARY		MARCH	
	Company's Deviation	Bilkent's Deviation	Company's Deviation	Bilkent's Deviation	Company's Deviation	Bilkent's Deviation
Total Import Vehicles (Park+Pipe)	21.55	14.09	5.80	0.02	26.51	21.91
BU Local Vehicles	1.67	0.05	0.26	0.20	0.04	0.42
V362 & V363	0.35	2.75	0.98	1.16	0.12	0.74
B460	0.37	0.61	0.74	1.15	0.17	0.93
Cargo	5.30	7.40	30.00	22.02	12.08	5.16
Average Deviations	11.61	7.07	3.03	0.11	13.28	11.16

Company's Deviation	Bilkent's Deviation
9.30	6.11
Improvement:	34%

Şekil 2. Şirketin ve ARIMAX modelinin öngörülerinin üç ayda gerçekleşen değerlerden sapma miktarları

4.3. Sağlanan Katkılar

Oluşturulan aracın şirkete sunduğu çözümler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Otomatikleştirilmiş hesaplamalar: Envanter gün hesabı için gereken tüm veriler ortak bir veri tabanında bir araya getirilmiş ve kullanıcının arayüz aracılığı ile tek bir tuş ile envanter gün hesabı yapması sağlanmıştır. Böylece hesaplamalar sırasında oluşabilecek insan kaynaklı hatalar ortadan kaldırılarak, harcanan zaman ve efor azaltılmıştır.
- Anlaşılabilir bir sistem: Kullanıcı dostu bir arayüz ile hesaplama ücretinin karışıklığı ortadan kaldırılmıştır. Oluşturulan araç ile sistemin mevcut işleyişi hakkında hiçbir fikri olmayan bir çalışanın bile sistemi anlayıp, hakkında geri bildirim sağlamasına olanak sağlamıştır.
- Geliştirilmiş otomasyon seviyesi: Tasarlanan araç gösterilmek istenilen verileri gerek grafikler üzerinde, gerek metin çıktısı olarak başka belgelerde kullanılmak üzere kaydetme imkanı sağlamaktadır. Yani, sonuçlar farklı platformlarda kullanılmak üzere kayıt edilebilmektedir, bu da kişiler arası bilgi paylaşımını kolaylaştırmıştır.
- Öngörülerdeki hataların enazlanması: Geliştirilen öngörüleme modeli ile gelecek envanter gün değerleri otomatik bir şekilde belirli bir metoda dayanarak yapılabilmektedir. Bu şirketin envanter gün öngörü tutarlılığını arttırmıştır.
- Farklı senaryoların incelenmesi: Oluşturulan araç ile kullanıcının farklı envanter ve satış senaryoları tanımlamasına olanak sağlamıştır. Kullanıcının bu senaryolar doğrultusunda ortaya çıkacak farklı sonuçları grafikler üzerinden görsel olarak incelemesi sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

Ayvaz, Uğur, et al. "Python Dilinin Öznitelikleri, Programlama Eğitiminde ve Yazılım Dünyasındaki Yeri."

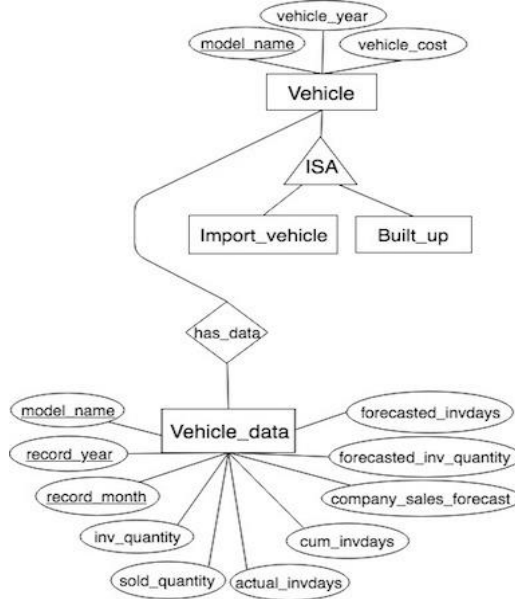
Douglas, Korry, and Susan Douglas. *PostgreSQL: a comprehensive guide to building, programming, and administering PostgreSQL databases.*

SAMS publishing, 2003.

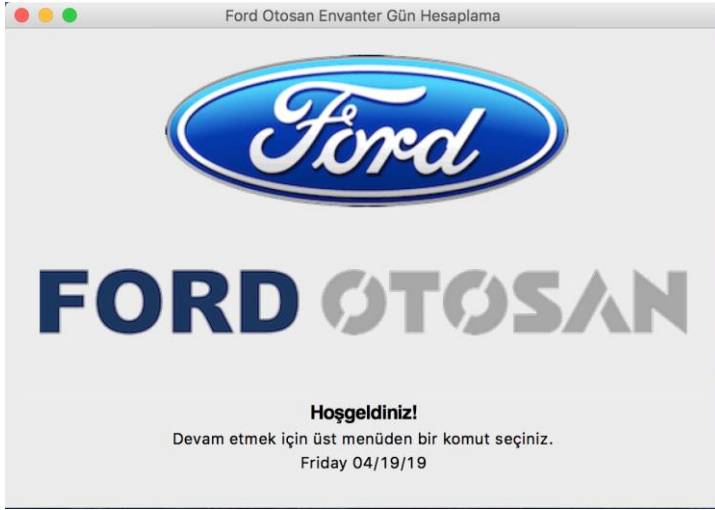
- Granger, C. W. J. "Investigating Causal Relationships by Econometric Models and Cross-Spectral Methods', *Econometrica*." (1969).
- Kaynar, Oğuz, and Serkan Taştan. "Zaman serileri tahmininde arima-mlp melez modeli." *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 23.3 (2009): 141-149.
- Momjian, Bruce. "PostgreSQL: introduction and concepts." Vol. 192. *New York: Addison-Wesley*. 2001.
- Özgül, Fırat. "Python Kılavuzu." (2013).
- Peter, Ďurka, and Pastoreková Silvia. "ARIMA vs. ARIMAX—which approach is better to analyze and forecast macroeconomic time series." *Proceedings of 30th International Conference Mathematical Methods in Economics*. Karviná, Czech Republic. 2012.
- Venners, Bill. "The making of Python." *Artima Developer* 1. (2003).

EKLER

Ek 1 - Öğe-İlişki Çizeneği



Ek 2 - Arayüz Karşılama Penceresi



Ek 3 - Excel Girdi Dosyası

AYLIK GERÇEKLEŞEN ENVANTER ADEDİ (BİRİM ARAÇ)												MAYIS					
	Ave. Hattın	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	
5362 Custom Export	5000	524	1192	2628	4181	4750	4023	3071	1858	446	303	27	5362 Custom Export	7137	6279	5657	818
5362 Custom Domestic	5000	297	297	293	181	213	200	200	142	148	507	443	5362 Custom Domestic	241	268	330	39
5363 Transit Export	5000	886	787	599	824	304	569	391	696	463	491	586	5363 Transit Export	4887	4819	8198	800
5363 Transit Domestic	5000	669	484	390	233	320	364	433	234	796	1140	1410	5363 Transit Domestic	669	1207	1762	154
5600 Courier Export	5000	170	143	120	102	167	168	158	102	163	128	95	5600 Courier Export	1475	1618	1341	174
5600 Courier Domestic	5000	368	369	479	782	316	676	460	310	369	710	391	5600 Courier Domestic	11517	1068	1291	26
555 Cargo Export	5000	48	28	19	43	80	109	108	141	155	200	273	555 Cargo Export	13	35	59	2
555 Cargo Domestic	5000	238	275	340	458	368	444	720	660	901	1268	1460	555 Cargo Domestic	348	489	564	54

Ek 4 - Yeni Veri Giriş Penceresi

Yeni Veri Girişi

Devam etmek için aşağıdaki menüden
bir tarih ve bir model seçiniz

2018
Mondeo
Ekim

Yenile
Veri Tabanına Kaydet

İlk sayfadaki senaryoları kaydetmek için aşağıdaki butona tıklayınız

Senaryoları Veri Tabanına Kaydet

Ek 5 - Veri Gösterme Penceresi ve Metin Çıktısı

Veri Gösterme

Devam etmek için aşağıdaki menüden
bir tarih ve bir model seçiniz

2018
Tüm Built-Up
Tümü

Yenile
Göster
Senaryo Grafikleri

Tüm Built-Up için Veri Geçmiş

Tarih: 1-2018
Envanter Tutarı (€):
Satış Tutarı (€):
Envanter Gün Değeri:
Kümülatif Envanter Gün Değeri:

Tarih: 2-2018
Envanter Tutarı (€):
Satış Tutarı (€):
Envanter Gün Değeri:
Kümülatif Envanter Gün Değeri:

Tarih: 3-2018
Envanter Tutarı (€):
Satış Tutarı (€):
Envanter Gün Değeri:
Kümülatif Envanter Gün Değeri:

Tarih: 4-2018
Envanter Tutarı (€):
Satış Tutarı (€):
Envanter Gün Değeri:
Kümülatif Envanter Gün Değeri:

Tarih: 5-2018
Envanter Tutarı (€):
Satış Tutarı (€):
Envanter Gün Değeri:
Kümülatif Envanter Gün Değeri:

Ek 6 - Grafik Oluşturma Penceresi ve Çeşitli Grafikler

Senaryo Grafikleri

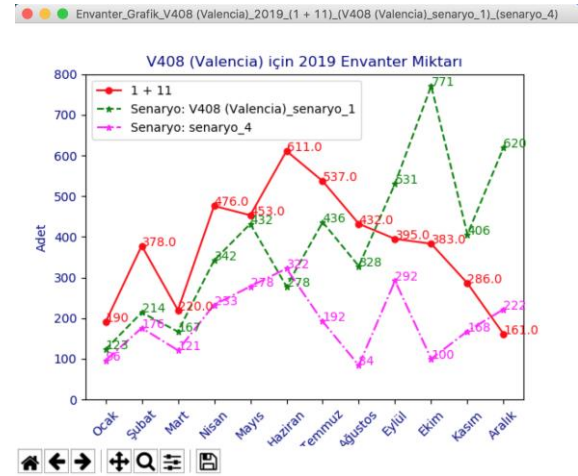
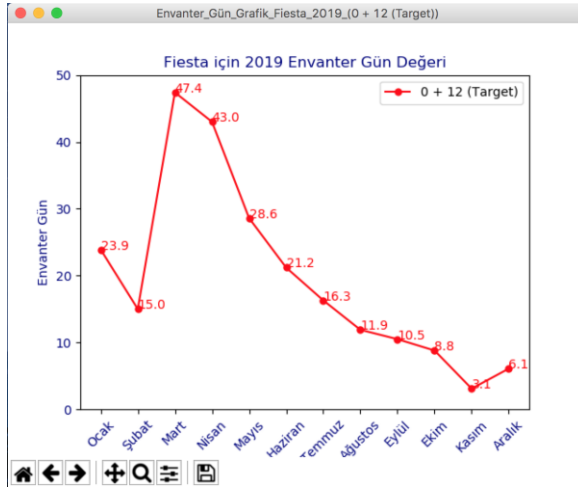
Devam etmek için aşağıdaki menüden
istediğiniz grafiğe ait bilgileri seçiniz

2019
Fiesta
0 + 12 (Target)

Ekleme istediğiniz senaryoyu aşağıdan seçiniz.

Yenile

Envanter Gün Grafiği Çiz
Kümülatif Envanter Gün Grafiği Çiz
Envanter Grafiği Çiz
Satış Grafiği Çiz



*Tablolardaki değerler ayın trendi gösterecek şekilde değiştirilmiştir.

Talep Tahmini ve Stok Eniyilemesi için Karar Destek Sistemi Tasarımı

GlaxoSmithKline Tüketici Sağlığı A.Ş.



Proje Ekibi

Deniz Barın, Bora Beyter, Pelin Gülleroğlu, Duygu Söylemez,
Ezgi Şahin, Zeynep Merve Topaktaş, Caner Türkseven

Şirket Danışmanı

Murat Yapıcı
Marmara Bölge Müdürü

Akademik Danışman

Doç. Dr. Alper Şen
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Projenin amacı GSK ve ona bağlı distribütör depolarında yoka düşme yaşanmasını ve gereğinden fazla envanter tutulmasını azaltmak için bir karar destek sistemi geliştirmektir. Sistemin ilk kısmı proje kapsamında belirlenen STB ve distribütörler için R yazılımı üzerinden çoklu regresyon çözümlemesi modelleri kurarak isabetli talep tahminleri oluşturur. R modellerinin çıktıları hedeflenen servis seviyesine ulaşılacak şekilde distribütör depolarında envanter seviyelerini eniyilemek için girdi olarak kullanılır. Karar destek sistemi Excel sayesinde dinamik ve kullanıcı dostu bir arayüzde çalışmaktadır. Bu sayede, sürdürülebilir bir envanter yönetimi sistemi geliştirilmiştir ve şirket tarafından benimsenmiştir. Sistem firma tarafından kullanılmaya başlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Stok eniyilemesi, talep tahminleme, envanter sistemleri.

1. Şirket Tanıtımı

GlaxoSmithKline (GSK) ilaç, aşı ve tüketici sağlığı ürünleri geliştiren ve üreten uluslararası bir firmadır. GSK'nın ilaç dalı genetik, bağışıklık sistemi ve gelişmiş ilaç teknolojisi ürünlerini içinde bulunduran geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Şirketin aşı alanında yılda iki milyar dozdan fazla satışının olduğu da bilinmektedir. GSK tüketici sağlığı dalında da birçok marka geliştirip satışa sunmaktadır. Üretilen ürünler ağız sağlığı, ağrı kesici, solunum çözümleri, beslenme / gastro-intestinal ve deri sağlığı kategorilerinden oluşmaktadır.

2. Mevcut Sistem Analizi

GSK Türkiye'nin proje kapsamında ilgilenilen kısmı olan tüketici sağlığı ve özelinde ağız bakım grubu, buldukları piyasaların liderleri olan Sensodyne, Parodontax ve Corega gibi ürünleri sunmaktadır. GSK tüketime sunduğu bu ürünlerin bir kısmını yerel olarak üretirken bir kısmını da yurtdışından ithal etmektedir. İthal ürünler Türkiye'ye genellikle deniz yoluyla ulaşmaktadır ve ağız bakım ürünlerinin teslim süresi 60 günü bulmaktadır. GSK Türkiye ürünlerini direkt ya da endirekt yolla satmaktadır. Direkt satışlar GSK Türkiye'nin deposundan herhangi bir aracı kurum olmadan perakendeciye yapılırken, endirekt satışlar distribütörleri aracı kurum olarak satışa dahil etmektedir. Eczanelere yapılan satış tüm satışların %51'ini oluştururken 20 distribütörle yürütülen endirekt satış tüm satışların %22'sini oluşturmaktadır. Bu proje distribütörler aracılığıyla gerçekleşen endirekt satışlar üzerine olup ağız bakım kategorisinde en çok satan 27 stok tutma birimini (STB) ele almaktadır. GSK distribütörlerini uzun dönemli iş ortakları olarak görmektedir. GSK çalışanlarının bir kısmı bu distribütörlerde GSK Türkiye adına, satışların incelenmesi için görevlendirilmiştir. Panorama isimli bir yazılım sayesinde GSK, distribütörlerin satış ve envanter bilgisine ulaşmaktadır. Bir başka deyişle, GSK Türkiye bu alt dalda Tedarikçi Yönetimli Envanter modelini takip etmektedir.

3. Problem Tanımı

An itibariyle GSK'da kullanılan sistemde 27 STB için tahminler, sayısal ve nitel metotların bir karışımı halinde yapılmaktadır. GSK satış departmanı önceden gerçekleşmiş satışların tümünün bilgisine sahiptir ve her ay bu bilgiyi güncellemektedir. Belli bir ay sayısındaki satışların ortalaması, spesifik bir STB için gelecek ayın tahminini oluşturmaktadır. Ancak bu durum tahmini etkileyecek herhangi bir trendin ya da mevsimselliğin göz ardı edilmesine sebep olmaktadır. Bazı STB'lerde sabite yakın talep görülse de bu durum geçmiş tarihlerdeki taleplerin hepsine aynı ağırlığın verilmesini açıklayamamaktadır. GSK ve distribütörlerin depolarındaki problemlerin ana sebebinin yetersiz ve düşük isabetli tahminler olduğu belirlenmiştir. Distribütörlerde ne kadar envanter bulundurulması gerektiğine dair bazı prensipler bulunsa da bu prensipler bilimsel bir metoda dayanmamaktadır. Bu prensip ve öneriler

talepteki ve ürünlerin ulaşma sürelerindeki belirsizliği de hesaba katmamaktadır. GSK'nın 2018 için tahminleri ile gerçekleşen satışları arasında %19,42'lik bir sapma görülmektedir. Ayrıca bu sapma, birleştirilmiş verideki sapmadır ve belirli STB'lerde bu sapmanın daha da yükseleceği bilinmektedir. Bu sapma değerleri oldukça yüksektir. Tahminler ve bu tahminlerden hareketle üretilen öneriler servis seviyesine de bağlı değildir. Her distribütör için, her ürünün sipariş edilecek miktarı geçmişte gerçekleşmiş talep verilerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Her bir distribütördeki STB bazında olan envanter gün sayısı ise envanter pozisyonunun gelecek üç aydaki günlük talebin ortalamasına bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

Sonuç olarak GSK'nın düşük isabetli tahminleri sonucunda proje kapsamındaki bazı STB'ler için, distribütör seviyesinde yok satma durumları gözlenmiştir. Seçilmiş 27 STB'de satış sürelerinin %8,3'ten %33'e kadarlık kısmında yoka düşmeler görülmüştür. Bu durum markanın satışlarını ve dolaylı olarak pazar payını düşürmektedir.

4. Önerilen Çözüm Yöntemi

4.1. Talep Tahminleme Modeli

Geçmiş talep verisi incelendiğinde satış miktarlarının fiyat değişiklikleri, tatil günleri, tüketici fiyat endeksi gibi birtakım değişkenlerle açıklanabildiği tespit edilmiştir. Bu yüzden tahminleme yöntemi olarak çoklu regresyon ve hızlı sonuç alınabilmesinden dolayı da R programının kullanılmasına karar verilmiştir. Modelin gerçek verilerle örtüşme düzeyinin ölçülmesi için R^2 , düzeltilmiş R^2 ve kalıntı hata oranı parametreleri incelenmiştir. Modelin faktörlerinin seçilmesinde Akaike ölçütüyle geriye doğru adım adım çıkarma yöntemi kullanılmıştır.

Çözümleme modeli, modelin nitel girdilerinin normal dağılım gösterdiğini varsayar. Fakat modelde tepki değişkeni olan satış miktarlarının normal dağılım göstermediği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, satış miktarlarının dağılımını normal dağılıma yakınsatmak için Box-Cox dönüşümü yapılmıştır ve yakınsatılan veriler modele verilmiştir.

Stok eniyilemesinde kullanılacak olan ortalama satış Box-Cox dönüşüm fonksiyonunun tersi alınarak, tahminin standart sapması ise doğrusal olmayan fonksiyonların tersini almayı sağlayan Taylor genişletmesiyle elde edilmiştir.

Modeli eğitmek için 2017 ve 2018 yıllarının haftalık satış verisi kullanılmıştır. Her bir distribütördeki her bir ürün için ayrı bir model oluşturulmuştur. Modeller bir haftalık zaman dilimlerinde tahminler üretmektedir. Haftalık tahminler yapılırken her ay 4 hafta kabul edilmektedir. Ayın ilk 3 haftası 7 gün iken 4. hafta geriye kalan günleri kapsamaktadır. Bu nedenle belirli aylarda son haftadaki gün sayısı 7'den farklı olabilmektedir. GSK her ürün için tahminlerini aylık bazda kayıt altına almaktadır. Model çıktılarının GSK kayıtlarıyla karşılaştırılabilmesi için çıktılar GSK'nın kullandığı formata

dönüştürülmüştür. Kısacası, talep tahmini için kullanılan model ve parametreler ile ilişkisi aşağıda belirtilen hesaplamaya dayanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sales} \sim & \text{hafta} + \text{ay} + \text{trend} + \text{price_after_1} + \text{price_after_2} + \\ & \text{price_after_3} + \text{price_after_4} + \text{price_before_1} + \text{price_before_2} + \\ & \text{price_before_3} + \text{price_before_4} + \text{check_after_1} + \text{check_after_2} + \\ & \text{check_after_3} + \text{check_before_1} + \text{check_before_2} + \text{check_before_3} + \\ & \text{kurban_before_1} + \text{kurban_before_2} + \text{kurban_after_2} + \text{kurban_after_3} + \\ & \text{ramazan_before_1} + \text{ramazan_before_2} + \text{ramazan_after_2} + \text{ramazan_after_3} + \\ & \text{somestr_before_1} + \text{somestr_before_2} + \text{somestr_after_2} + \text{somestr_after_3} + \\ & \text{okul_start_before_1} + \text{okul_start_before_2} + \text{okul_start_after_2} + \\ & \text{okul_start_after_3} + \text{okul_end_before_1} + \text{okul_end_before_2} + \\ & \text{okul_end_after_2} + \text{okul_end_after_3} + \text{Yeni_yil_before_1} + \\ & \text{Yeni_yil_before_2} + \text{Yeni_yil_before_3} + \text{Yeni_yil_before_4} + \\ & \text{Yeni_yil_after_2} + \text{Yeni_yil_after_3} + \text{Yeni_yil_after_4} + \\ & \text{kurban_after_1} + \text{ramazan_after_1} + \text{somestr_after_1} + \text{okul_start_after_1} + \\ & \text{okul_end_after_1} + \text{Yeni_yil_after_1} + \text{consumer_confidence_index} \end{aligned}$$

4.2. Stok Eniyilemesi Modeli

Talep belirsizliği, talebin stokastik olduğunu ve olasılık dağılımına göre rastgele bir değişken olarak tanımlanabileceğini gösterir. Geçmişteki verilere bakılarak belirlenen bu dağılımın genellikle normal dağılım olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda yalnızca normal dağılımın parametreleri olan ortalama (μ) ve varyansın (σ^2) belirlenmesi gerekmektedir. Bu projede de olduğu gibi envanter kontrolünün talep tahminlerine bağlı olarak yapıldığı sistemlerde, μ parametresi bir sonraki sipariş periyodu için yapılan talep tahmini olarak kabul edilirken σ parametresi ilgili tahmin sapmasının karesi alınarak hesaplanmaktadır. Başka bir deyişle, talep tahminleme modelinin çıktıları stok eniyilemesi modelinde girdi olarak kullanılmaktadır. Bu projede de benzer bir yol izlenmiş olup haftalık talep tahmin verileri kullanılarak kullanıcı tarafından belirlenecek olan tarih aralığındaki sipariş periyodu için normal dağılım parametreleri öngörülen teslimat süresi için yapılan talep tahminleri de göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Ortalama hesaplanırken sipariş periyodundaki haftaların talep tahmin değerleri ve periyot bittikten sonraki haftanın sipariş teslim süresindeki normalize edilmiş talep tahmini değerleri toplanmaktadır. Normalize etme işlemi, tahminleme modelinden alınan her ayın son haftası için olan ortalama değerlerinin farklı sayıdaki gün sayısı için olduğu gerçeğini de göz önünde bulundurmaktadır. Yani 1, 3, 5, 7, 8, 10 ve 12. aylarda son ortalama değeri 10 günlük talep için iken; 4, 6, 9 ve 11. aylarda 9 ve ikinci ayda 7 günlük talep içindir. Varyans da ortalamaya benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Açıklayıcı olması için aşağıda örnek olarak 2 haftalık bir periyot için ortalama ve varyans hesaplama formülleri verilmiştir.

μ_{dit} : d distribütörünün i STB'si için t haftasındaki talep tahmini

σ_{dit} : d distribütörünün i STB'si için t haftasındaki talebinin standart sapması

τ : distribütör teslim süresi

n_t : t haftasındaki gün sayısı

$$\mu = \mu_{di(t+1)} + \mu_{di(t+2)} + \frac{\tau}{n_t} \mu_{di(t+3)}$$
$$\sigma = \sqrt{\sigma_{di(t+1)}^2 + \sigma_{di(t+2)}^2 + \frac{\tau^2}{n_t^2} \sigma_{di(t+3)}^2}$$

Modelde distribütör teslim süresi (τ), talebin stoktan karşılanıp karşılanamayacağı gibi farklı durumları göz önünde bulundurmak için olasılıksal bir değer olarak alınmıştır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tau = \beta_c * \tau_1 + (1 - \beta_c) * \tau_2$$

$\tau_1 = 2$ gün: Yurtiçi nakliyat süresi

$\tau_2 = 62$ gün: Yurtdışı nakliyat süresi

β_c : GSK merkez deposunun talep karşılama oranı

İstenen periyot için sipariş miktarı ve stok tutma gün sayısı hesaplanması için Cachon ve Terwiesch (2012) tarafından önerilen *base stock policy* (*S policy*) isimli metot seçilmiştir. Bu metoda göre her bir sipariş sonrasında distribütör deposunda ulaşılması gereken envanter seviyesinin (S)

$$\sigma z + \mu = S$$

formülü ile hesaplanması gerekmektedir. Burada z ,

$$\beta_c = 1 - \frac{\sigma * L(z)}{\mu}$$

formülünden elde edilen standart kayıp fonksiyonunun tersi alınarak bulunan değerdir. Model tarafından tavsiye edilecek sipariş miktarı ise bulunan S değerinden distribütör deposundaki envanterin ve yoldaki sevkiyatın çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Stok tutma gün sayısının tanımı ise şirket yetkilileriyle görüşülerek “ S değerinin kaç günlük ortalama talebe karşılık geldiği” şeklinde tanımlanmıştır.

4.3. Arayüz Tanıtımı

GSK'ya sunulan kullanıcı arayüzü kullanım ve ulaşım rahatlığı nedeniyle Excel'de yapılmıştır. Kullanıcı dosyayı açınca Şekil 1'de görülen “Interface” isimli sayfayla karşılaşır. Bu sayfada bulunan distribütörlerden birini listeden seçtikten sonra tavsiye edilen sipariş miktarlarını görmek istediği tüm ürünleri listeden seçebilir. Kullanıcı bu seçimleri yaptıktan sonra öncelikle tahminleme tuşuna basarak R modelinde hangi faktörlerin kullanılacağına karar verir ve gelecek sonuçları elde etmeden önce, her bir faktör için ayrılmış sayfalardaki verilerin güncel olduğundan emin olmalıdır. Tahminleme kısmı bittikten sonra kullanıcı belirtilen yerlerde dilediği GSK ve distribütör

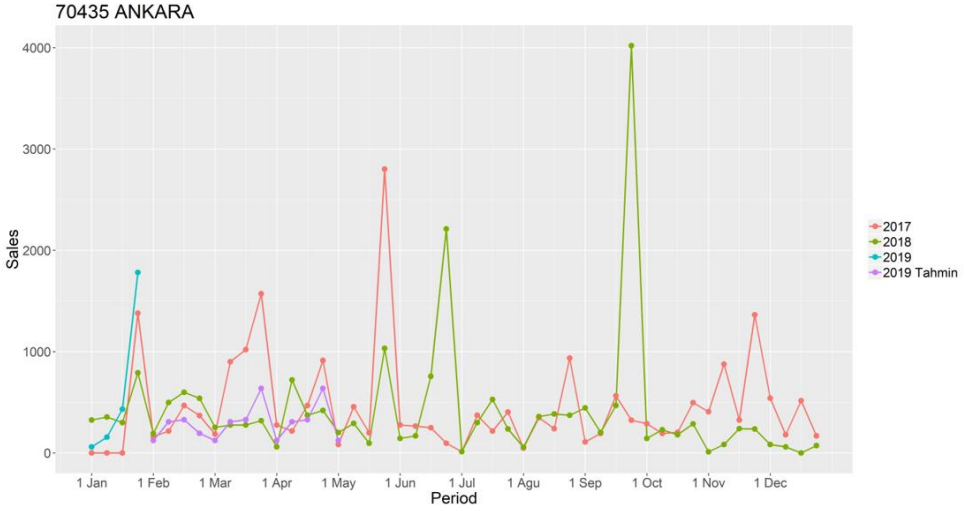
depolarının talep karşılama oranlarını ve sipariş periyodunun süresini girer ve eniyileme tuşuna basar. Çalıştırılan distribütör ve ürünler için ayrı sayfalarda sipariş miktarları adet, stok gün sayısı ve TL bazında görülebilmektedir. Ayrıca sayfalara ait bilgilerin 2017 ve 2018 yıllarına ait geçmiş verileri ve 2019 tahminlerine dair grafikleri her sayfada yer almaktadır. Bir örneği Şekil 2 (i) ve Şekil 2 (ii)'dedir.



Şekil 1. Kullanıcı arayüzü giriş ekranı

Unique Code	Product Name	ANKARA Replenishment 1 week	ANKARA Replenishment 2 week	ANKARA Replenishment 3 week
70435	Sensodyne 100ml Mint TP	265	614	913
70433	Sensodyne 50ml Fluoride TP	66	126	139
70440X	Sensodyne 100ml Fluoride TP	219	252	702
6000000022188	Sensodyne 50 ml Extra Fresh TP			
6000000022187	Sensodyne 100 ml Extra Fresh TP	45	341	877
6000000102445	Sensodyne MULTICARE 75ml	287	680	1224
60000000112934	Sensodyne MULTICARE WHITENING 75ml	309	651	1130
60000000112882	Sensodyne WHITENING 75ml	220	617	1109
60000000103549	Sensodyne RProtect EF 75 ml	71	300	585
60000000103552	Sensodyne RProtect 75 ml	179	756	1234
60000000103913	Sensodyne R&P Whitening 75ml TP	179	786	1315
60000000104315	Sensodyne Complete Protection 75ml	156	555	1112
60000000105731	Sensodyne Deep Clean 75ml	506	1085	1868
60000000107807	Sensodyne Rapid Relief 75ml	98	422	811
60000000107806	Sensodyne Rapid Relief Whitening 75ml			
60000000114135	National Promo Nitro Wh + Comp Medium TB			
60000000106722	Dist Mix Case			
60000000106824	Sensodyne Multi Care Soft TB	103	262	512
60000000107000	Sensodyne Gentle Soft Anti-Shok ToothBrush			
60000000021301	Sensodyne TB Ultra Sensitive	15	22	31
60000000109353	SENSODYNE COMPLETE CARE TB MEDIUM 1+1			
109120	Sensodyne TP Pronamel 75 ml	60	311	425
60000000012037	Sndyn Pronamel Whitening 75 ml TP	58	233	609
60000000107136	Parodontax 75 ml Original Original-TP	114	473	924
60000000107211	Parodontax 75 ml Fluorid Fluoride TP	32	163	365
60000000107066	Parodontax 75ml GWhite Gentle Whitening - TP	186	453	782
60000000107068	Parodontax Ultra Clean	0	333	818
	Grand Total	3168	9435	17485

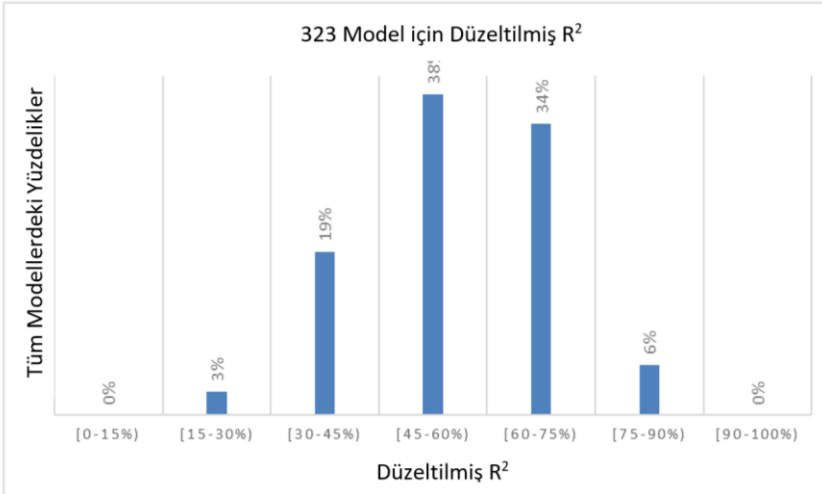
Şekil 2 (i). “inventory” sayfası - önerilen sipariş miktarları



Şekil 2 (ii). “inventory” sayfası – örnek grafik

5. Modellerin Doğrulanması

Tahminleme modelinin doğrulanması için Aralık 2018 verileri karşılaştırmak amaçlı seçilmiştir. Model doğrulunun değerlendirilmesi yapılabilmesi için Şekil 3’de görülen 323 adet modelin düzeltilmiş R^2 ’lerinin çubuk grafiği çizilmiştir. Söz konusu modellerin %78’inin düzeltilmiş R^2 değerleri en az %45 iken modellerin %40’ının R^2 değerleri %60’tan fazladır. Böylece denebilir ki modellerin çoğu gerçek verilerle iyi derecede örtüşmektedir.



Şekil 3. Tahminleme modellerinin düzeltilmiş R^2 çubuk grafiği

Tablo 1’de GSK’nın Aralık 2018 için her bir ürün için yaptığı talep tahminleriyle model tahminlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Bu tablodan anlaşılacağı üzere genel toplama bakıldığında model GSK’ya oranla talepleri

%27 daha iyi tahminlemektedir. Sonuçlar GSK yetkililerini yüksek oranda memnun etmiştir.

Tablo 1. Model ve GSK tahminleme verileri karşılaştırılması

Ürün Kodu	Aralık Ayında Gerçekleşmiş Satışlar	Aralık Ayı için Model Tahmini	Model Hata Yüzdesi	Aralık Ayı için GSK Tahmini	GSK Hata Yüzdesi
6000000022187	18703	18994	2%	42500	127%
60000000106824	2840	2616	8%	5052	78%
70435	13981	16797	20%	25500	82%
60000000104315	9943	13199	33%	15300	54%
6000000022188	8893	11938	34%	26272	195%
60000000107806	7362	10356	41%	22587	207%
60000000103913	14174	21697	53%	21250	50%
60000000112882	11693	4340	63%		100%
70433	11883	19615	65%	29750	150%
60000000105731	26614	8621	68%	14146	47%
60000000102445	44996	14112	69%	17000	62%
60000000103549	5132	9365	82%	12125	136%
60000000112934	9193	16984	85%		100%
60000000107807	7146	13677	91%	20209	183%
60000000107136	4643	14979	223%	10509	126%
60000000107211	3545	12313	247%	12732	259%
60000000107068	4521	17965	297%	11115	146%
Toplam	205262	227568	11%	286047	39%

Aralık ayı tahmin sonuçları kullanılarak Aralık ayı sipariş miktarları distribütör ve ürün bazında oluşturulmuştur. Ardından, bahsedilen periyot için GSK merkez deposundan distribütörlere gönderilmiş sipariş miktarı ile model çıktısı olarak belirlenen miktarlar karşılaştırılmıştır. Ürün ve distribütör bazında ayrı ayrı kıyaslamalar Tablo 2’ de belirtilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarına göre hem distribütör hem de ürün bazında ortalama yaklaşık 50%-60% iyileştirme gözlemleneceği hesaplanmıştır. Sonuçlar yetkililer tarafından tatmin edici düzeyde bulunmuştur.

6. Duyarlılık Analizi

Sistem, değişmesi muhtemel olan parametrelere karşı dinamik işleyiş yöntemi ile duyarlılığını korumaktadır. R kodu kullanıcı tarafından devamlı güncellenebilen Excel dokümanlarından faydalanır. Model, yeni veri sisteme girildikçe, geçmiş verinin üzerine ekleyerek değişikliklere tepki verir. Buna ek olarak, veri tabanı derinleştikçe, sistem kendi kendini eğitir, daha tutarlı ve isabetli çıktılar sunar.

Herhangi bir parametre değişikliğinde kullanıcıların sisteme giriş yapabilmesi için gerekli alanlar oluşturulmuştur. Elde var olan stok ve yoldaki sevkiyat miktarı kullanıcı tarafından sisteme girdi olarak sağlanmak üzere programlanmıştır. Sistem test edilmiş ve sistemin değişimlere duyarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Aralık ayında sipariş miktarlarına göre stok düzeyi-fiili ve tahmini karşılaştırma

Ürün Kodu/Distribütör (Aralık)	Distribütör Depolarına Giren Tahmini Ürün Miktarı/Distribütör Depolarına Giren Fiili Ürün Miktarı
ANKARA	14%
ASCILAR-KONYA	101%
BOZKUSLAR - BURSA	8%
DEGISIM - IST	52%
DORUK GIDA	41%
DURU - ANTALYA	0%
EKSILIOGLU - KOCAELI	120%
Güneyliler	31%
HAS-KAYSERI	46%
HELVACIZADE GIDA	6%
OLUSUM-SAMSUN	7%
OLUSUM-TRABZON	177%
UZUMCULER - VAN	5%
ORTALAMA STOK İYİLEŞTİRMESİ	53%

Ürün Kodu/Distribütör (Aralık)	Distribütör Depolarına Giren Tahmini Ürün Miktarı/Distribütör Depolarına Giren Fiili Ürün Miktarı
70433	26%
70435	46%
109120	0%
60000000012037	0%
60000000021301	323%
60000000022187	26%
60000000022188	32%
60000000102445	0%
60000000103549	61%
60000000103552	13%
60000000103913	36%
60000000104315	11%
60000000105731	2%
60000000106722	0%
60000000106824	10%
60000000107000	156%
60000000107066	18%
60000000107068	79%
60000000107136	35%
60000000107211	0%
60000000107806	0%
60000000107807	5%
60000000109353	0%
60000000112882	82%
60000000112934	115%
60000000114135	0%
70440X	39%
ORTALAMA STOK İYİLEŞTİRMESİ	59%

7. Projeden Elde Edilecek Faydalar

Proje sonucunda elde edilecek faydalar birkaç ana başlık halinde sıralanabilir. Bunlardan birincisi fazla stok tutmadan kaynaklanan giderlerin azaltılmasıdır. Daha isabetli talep tahminleme yapılmasına bağlı olarak belirlenen stok seviyelerinde fazla stok tutma ve fırsat maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Kuruluş tarafından belirlenen anahtar performans göstergelerinden maliyetin azaltılması ana amaçlardan biri olarak belirlenmiştir. İkinci olarak, yoka düşme riski azaltılmıştır. Gerçekleşecek taleplerin daha isabetli bir şekilde tahmin edilmesi tasarlanmış ve doğru tahmin yöntemi, değişikliklere hazırlık ve cevap verme yeteneği ile pazarda yoka düşmeyi en aza indirmektedir. Kısacası, talep tahmini için belirlenen parametrelerin değişiminden kaynaklanan pazar hareketliliklerine karşı kuruluşun cevap

verebilirliğinin artışı sağlanmıştır. Kuruluş ürün ve distribütör bazına indirgenmiş talep tahminleme sistemi sayesinde pazardaki hareketliliğe göre pozisyon alabilecektir. Buna ek olarak, kullanıcı dostu arayüz hızlı ve efektif işleyişi ile talep tahminleme ve distribütör seviyesinde stok siparişi ve sıklığı hesaplanmalarına ayrılan çabadan kazanç sağlayacak ve daha doğru sonuçlar verecektir. Sistem, seçilen programların uygun olarak kodlanması ve taşıyıcı bellekten indirilebilmesi açısından kuruluşun herhangi bir programı lisanslamasına gerek duymamaktadır. Bundan dolayı şirket uygun bulunduğu takdirde birçok distribütöre sistem entegrasyonunu kolaylıkla sağlayabilecektir.

8. Uygulama Planı

4 Nisan 2019 tarihinde GSK yetkilileri ile gerçekleştirilen toplantıda sistemin GSK şirketinin ihtiyaçlarını yüksek düzeyde karşıladığı belirtilmiştir. Toplantı kararına istinaden şirketin sistem ile ilgili istediği değişiklikler tamamlanarak 22 Nisan 2019 tarihinde yazılım kargo ile şirket genel merkezine gönderilmiştir. Projenin ilerleyen dönemdeki uygulama planı ana hatları ile belirlenmiştir. İlk olarak sistemin merkez ofiste kurulumu yapıp yazılım kullanılabilir hale getirilecektir. Arayüzün ve sistem özelliklerinin yöneticilere detaylı olarak tanıtılmasının ardından yazılım pilot distribütör olarak belirlenen Ankara distribütörünün sistemine entegre edilecektir. Sistemin belirli bir süre kullanılmasının ardından kuruluştan sistem ve işleyiş hakkında geri dönüş alınacak, talep tahminlerinin tutarlılığı ve tutulan envanter miktarında iyileşme olup olmadığı incelenecektir. Olumsuz geri dönüş alınması durumunda söz konusu sıkıntılar giderilip yazılımın son hali şirkete teslim edilecektir. Son aşama sistemin Türkiye’de faaliyet gösteren tüm distribütörlerde uygulanmasıdır.

KAYNAKÇA

Cachon, G., Terwiesch, C. (2012). Matching supply with demand: an introduction to operations management.(4th edition). McGraw-Hill

Nahmias, S., & Cheng, Y. (2009). Production and operations analysis (Vol. 6). New York: McGraw-Hill.

Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). Production and operations analysis (7th edition). Long Grove, IL: Waveland Press, Inc..

Vayvay, O., Dogan, O., & Ozel, S. (2012). Forecasting techniques in fast moving consumer goods supply chain: a model proposal.

International Journal of Information Technology and Business Management, 13(1), 118-128.

Sürücüsüz Araçlarla Araç Dağıtım Ağı Tasarlanması¹

INFORMS Yarışma Projesi (General Motors)¹



Proje Ekibi

Doruk Mert Akın, Cem Boyraz, Selen Güney, Zeynep Halaç,
Dilara Sönmez, Elmas Gül Şen, Feza Fulya Yalçın

Akademik Danışmanlar

Yrd. Doç. Dr. Özlem Karsu, Yrd. Doç. Dr. Firdevs Ulus
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Sunulan projede, üretilen araçların fabrika, araç dağıtım merkezleri ve bayiler arasında izlediği rotaların oluşturulması hedeflenmiştir. Ağ tasarımı yapılırken sürücüsüz araçların kullanıldığı ve kullanılmadığı olmak üzere iki senaryo ele alınmıştır. Projeden beklenen sonuçlar; araç teslim ağı tasarımı, araç rotaları ve her araç için teslim süreleridir. İlk aşamada fabrika ile araç dağıtım merkezleri arasında maliyeti ve teslim sürelerini en aza indiren bir araç teslim ağı tasarlanmıştır. Bu aşamada bayilerin coğrafi konumları, her fabrika-bayi çiftinin ortalama talebi ve maliyet matrisinden yararlanılarak matematiksel model ve En Kısa Yol Önceliği Algoritması kullanılmıştır. Rotalar elde edildikten sonra, oluşturulan dağıtım sisteminin iki yıllık süre için benzetimi içinde içerisinde milk-run algoritması çalışan ayrık olaylı benzetim koduyla sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rotalama, En Kısa Yol Bulma Algoritması, Milk-Run Algoritması, Süpürme Algoritması

¹ Bu proje, General Motors sponsorluğunda INFORMS tarafından düzenlenen uluslararası katılıma açık "OR & Analytics Student Team Competition 2019" çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

1. Şirket Tanıtımı

General Motors (GM)'nin tedarik zincirinin büyüklüğü ve karmaşıklığı sebebiyle, bu otomobil üreticisi için en etkin lojistik ve dağıtım ağını tasarlamak ve uygulamaya geçirmek sürekli değişen ve geliştirilmesi gereken bir süreçtir. GM'nin mevcut ayak izi 31 ülkede 170'ten fazla montaj, güç aktarma organı ve otomobil parçası tesisi, 7700'den fazla tedarikçi, 5000'i Kuzey Amerika'da olmak üzere 140 ülkede 20000 bayi, 900 lojistik sağlayıcı ve mevcut operasyonları destekleyici çeşitli hizmetler sağlayan 19000 farklı tedarikçi içermektedir.

GM'nin amacı dijital olarak birbiriyle iletişim içerisinde, taşımanın her aşamasında takip edilebilen bir operasyonel sistem geliştirilmesidir ve bu amaç doğrultusunda lojistik organizasyonlarının doğru biçimde yönetilmesi, tedarikçilerin ve lojistik sağlayıcıları önem kazanmaktadır.

GM lojistik akışlarını geliştirmek için daha fazla lojistik fonksiyonunu şirket bünyesinde yapılı hale getirmektedir ancak lojistik yönetiminin kilit alanlarında hala diğer şirketlere güvenmektedir. Ayrıca, GM önümüzdeki birkaç yıl içerisinde lojistik bütçesini yaklaşık 1 milyar dolar düşürmeyi hedef olarak belirlemiştir ve bu hedefine, verilen probleme geliştirilen çözümlerle bir adım daha yaklaşmayı amaçlamaktadır.

Tedarikçisinin sınırları ve üretim kapasitesi dahilinde, GM gerekli durumlarda üretimi değiştirmek ve pazara öncekinden çok daha hızlı, neredeyse bir gecede yanıt vermek istemektedir. Dijital iletişim ve analitik, bu yeni talep-tedarik organizasyonunun yönetiminde ve karar vermesinde kilit bir rol oynamaktadır. GM operasyonel lojistik alanında verimlilik artırma potansiyeli olduğuna inanmakta ve bunun için sürücüsüz araçların kullanımını arttırmayı ve araçların daha etkili biçimde taşınmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

2. Analiz

2.1 Mevcut Sistem Analizi

GM her gün 70 montaj fabrikasından, yaklaşık 20000 bayiyeye karayolu, demiryolu veya deniz yoluyla ortalama 29000 araç göndermektedir. Bayiler coğrafi konumlarına göre çeşitli araç dağıtım merkezlerine atanmıştır. Atandığı araç dağıtım merkezi ilgili bayinin *nihai araç dağıtım merkezi* olarak adlandırılır. Mevcut sistemde, GM toplam üretim ve işletme maliyetini en aza indirme amacıyla sabit üretim ve talep hacmi olduğu varsayımına dayanan, bayilerin, fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin konumlarını, bayilerin tahmin edilen talep miktarını, maliyet ve yolculuk süresi parametrelerini girdi olarak alan ve her fabrikadan her otomobil bayisine en düşük maliyetli rotayı çıktı olarak veren bir eniyileme modeli kullanılmaktadır. Ayrıca, araçlar bir bayinin fabrikaya olan mesafesine bağlı olarak belirlenen hedef teslim sürelerinden sonra teslim edilirse GM'nin ödemesi gereken bir ceza vardır.

Mevcut sistem hakkındaki veriler iki küme halinde verilmiştir. Veri kümesi 1, 2011 ve 2012'deki lojistik kayıtlarla ilgili bilgileri içerirken, veri kümesi 2, 2013 ve 2014'teki lojistik kayıtlarıyla ilgilidir. Bu verilere dayanarak mevcut fabrikaların, araç dağıtım merkezlerinin ve bayilerin yerleri, araç dağıtım merkezlerinin ve fabrikaların kapasiteleri ve lojistik modellerinin maliyetleri bilinmektedir. Ayrıca, her araç için 2011-2014 yılları arasında aracın ne zaman fabrikadan çıktığı, dağıtım merkezinde ne kadar zaman geçirdiği, demiryoluyla mı karayoluyla mı taşındığı, yolculuk süresi, bayiye ne zaman teslim edildiği vb. bilgilere de bu veri kümelerinden ulaşılabilmektedir.

2.2 Belirtiler ve Şikâyetler

GM'nin tedarik zinciri birçok büyük şirketin büyüklüğünden daha fazla miktarda para içermemektedir ve bu tedarik zincirinin lojistik maliyetleri araç geliştirme maliyetlerine yakın değerler göstermektedir. Bunu yanında, GM araç tesliminin gecikmesinden kaynaklanan ceza maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir.

Sürücüsüz araçların planlı olarak piyasaya sürülmesi ve araçların sürücüsüz gitme özelliğinin ne zaman kullanılması gerektiği konusunda bir stratejinin olmaması bu projenin GM için gerekli olduğunun bir başka göstergesidir. Sürücüsüz araçlar, yapımı bitmiş araçların teslim ve kullanım süreçlerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bir aracın sürücüsüz kullanılma seçeneği demiryolu ve karayoluna ek olarak yeni bir taşıma yöntemi olarak değerlendirilebilir. Sürücüsüz araçlar kendilerini fabrika sahasında ve araç dağıtım merkezlerinde sürebilir, kendilerini satıcıya götürebilir, fabrika bahçesinde ya da dağıtım merkezlerinde boş yer olması durumunda kendilerini park edebilir ve kendilerini römork veya vagon üzerine yükleyebilirler. Sürücüsüz araçlar bütün bu özellikleri sayesinde daha esnek lojistik ağ operasyonlarına olanak sağlayarak teslimat sürelerini ve lojistik maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilirler. Bu sebeple, kararlar alınırken sürücüsüz araçların getirdiği değişiklikler göz önünde bulundurulmalıdır.

3. Proje Tanıtımı

3.1 Problem Tanımı

Bu proje, dağıtım merkezlerinin yerlerini ve kapasitelerini de belirleyerek araç dağıtım ağını tasarlanmasını ve her fabrika-bayi-arac kombinasyonu için fabrikadan nihai araç dağıtım merkezine rotanın belirlenmesini hedeflemektedir. Amaç, lojistik ve saha operasyonları maliyetlerini en aza indirirken tahmin edilen teslim sürelerine uymayı da başarabilmektir. Proje kapsamı sürücüsüz araç seçeneğinin teslimde ne zaman kullanılacağına karar verilmesini de içermektedir. Bu nedenle, verilen problem taşıt dağıtım ağını gelecek iki yıl için *Statik Rotalama* ve *Sürücüsüz Araç Kullanımına Uygun Statik Rotalama* olmak üzere iki farklı senaryo için yeniden tasarlamayı gerektirmektedir.

Statik Rotalamaya göre fabrika ve nihai araç dağıtım merkezi arasındaki rota ve bu rotadaki taşıma yöntemi (karayolu veya demiryolu) sabittir ve belirlenen rota bayilerin taleplerinde büyük değişiklikler olmadığı sürece aynı kalır. Nihai dağıtım merkezinden, yani araçların bayiye ulaştırılmadan önce buldukları en son araç dağıtım merkezinden, bayiye olan rota ise mevcut araç stoğuna göre günlük olarak belirlenir. Araçlar bayiye direk gönderilebileceği gibi, milk-run algoritmasına göre farklı bayilere uğrayarak veya bir gün bekletilerek ertesi günkü araçlarla beraber ilgili bayilere gönderilebilir.

Proje kapsamında verilmesi gereken kararlar şu şekilde sıralanabilir:

- Her bir fabrika-bayi çifti için rotalara (uğranması gereken araç dağıtım merkezleri ve bu rotadaki herhangi iki nokta arasındaki, demiryolu veya karayolu olmak üzere, taşıma yöntemi) karar verilmelidir.
- Her fabrika-bayi çifti için bir nihai araç dağıtım merkezi atanmalıdır ve bu nihai dağıtım merkezinde araçların bu noktadan sonraki rotalarına karar verilmelidir. Bu rota, araçların kamyonlarla taşındığı bir milk-run rotası olabileceği gibi, araçlar doğrudan bayilerine de ulaştırılabilir.
- Araçların nihai dağıtım merkezinden ne zaman çıkış yapacağına karar verilmelidir. Gelecek iki gün için sisteme girecek veya zaten sistemde olan araçların sayıları ve her birinin konumunun bilindiği varsayıldığında, nihai dağıtım merkezlerindeki araçlar gelecek araçlarla birlikte yollanmak üzere bekletilebilir.

Problemi basitleştirmek adına projede tek bir coğrafi bölgede satılan bir araç modeli ele alınmıştır. Bu araç birden fazla fabrikada, değişik renklerde üretilmektedir. Bir bayi birden çok fabrikadan araç siparişi verebilir, ancak belli bir fabrikadan istenen araç başka bir fabrikadan tedarik edilemez.

3.2 Başlıca Kısıtlar ve Varsayımlar

- Mevcut sistemde 4 fabrika, 40 araç dağıtım merkezi ve 9249 bayi vardır.
- Verilen enlem ve boylamlar bayilerin ve fabrikaların gerçek konumlarını temsil etmektedir.
- Gelecek iki gün için sisteme girecek veya zaten sistemde olan araçların sayıları ve her birinin konumu bilinmektedir.
- Sürücüsüz araçlar, bu özellikleri 300 milden fazla kullanılırsa ikinci ele düşerler. Bu sebeple sürücüsüz araç seçeneği sadece nihai araç dağıtım merkezi ve bayi arasında yapılacak olan rotalamada kullanılacaktır.
- Fabrikalar da araç dağıtım merkezi olarak kullanılabilir.
- Bazı araç dağıtım merkezlerinde demiryolu ulaşımı mevcut değildir.
- Statik Rotalama senaryosunda, nihai dağıtım merkezlerinden bayilere yapılan dağıtımın karayolu ile yapılması zorunludur. Sürücüsüz Araç Kullanımına Uygun Statik Rotalama senaryosunda, karayolu ya da sürücüsüz araç özelliği kullanılabilir.
-

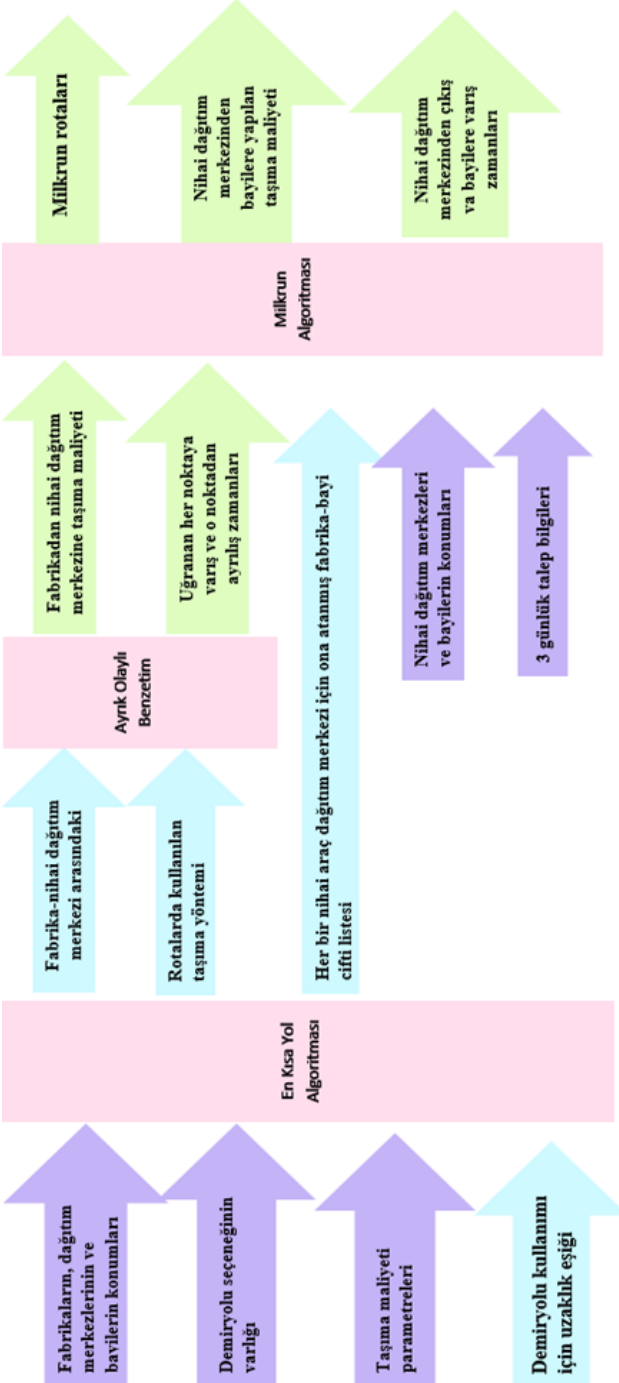
4. Kaynak Taraması

Proje için istenen dağıtım ağı tasarımında yararlanmak amacıyla çeşitli yönlerden proje problemine benzeyen lojistik ağı modelleri incelenmiştir. İlk olarak Eskigün'ün ele aldığı bir tedarik zinciri modeli incelenmiştir. Bu modelde dağıtım ağı merkezlerinin konumları, maliyet ve bayilerin talep parametreleri girdi olarak alınarak araçların bayilere fabrikadan direk gönderilmesine veya herhangi bir araç dağıtım merkezine uğrayarak gönderilmesine maliyeti en aza indirecek şekilde karar verilmiş ve rotalar çıkartılmıştır. Ayrıca, bu model araç dağıtım merkezlerindeki bekleme zamanını hacme bağlı bir fonksiyon olarak tanımlamasıyla proje problemindeki bekleme zamanına benzetilebileceği için faydalı bulunmuştur. Bunun yanında, incelenen modelden problemin büyüklüğü, farklı taşıma yöntemlerinin kullanımı ve sınırlı kapasiteye sahip araç dağıtım merkezlerinin kullanılması açısından proje probleminde yararlanılmıştır. Literatür araştırması yapılan bir diğer konu ise lojistik modellerinin maliyet yapısıdır. Eksioğlu vd. nin yayımlanmış olduğu makaleden lojistik maliyetlerinin fabrika açmanın sabit maliyetinden, teslim süresine bağlı maliyetlerden ve taşıma maliyetlerinden oluştuğu bilgisi edinilmiştir. Tedarik zinciri yönetimi üzerine yapılan literatür araştırması, teslimat süresinde geçen sürenin ve müşteri memnuniyetinin dağıtım ağının başarısı açısından ne kadar etkili olduğunu ve operasyonel kararların önemini vurgulamaktadır. Buna ek olarak lojistik maliyeti üzerine okunan makaleden en az iki farklı demiryolunun kesişimi üzerinde araç dağıtım merkezi açmanın lojistik maliyetini düşürme açısından kritik önemi olduğu bilgisi çıkarılmıştır (Ekşioğlu vd). Son olarak, nihai araç dağıtım merkezi-bayi arasında düşük maliyetli bir rota belirleyebilmek için Milk-Run algoritmalarıyla ilgili kaynaklardan yararlanılmıştır. Araç yükleme problemindeki yük ve mesafe kısıtlarına uyarak bir rota çıkarmayı sağlayan, sezgisel bir tarama algoritması olan Süpürme Algoritması'nın kullanılmasına karar verilmiştir (Gillet vd).

5. İzlenen Yöntem ve Uygulamalar

Tanımlanan problemin fabrikalardan nihai araç dağıtım merkezine kadar olan kısmı sezgisel ve matematiksel model olmak üzere iki farklı yöntem geliştirilerek çözülmüştür. Problemin son ayağı olan nihai araç dağıtım merkezi bayi arasındaki rotalama ise Süpürme Algoritmasının JAVA ile kodlanmasıyla sonuca ulaştırılmıştır. İzlenen yöntemlerin girdileri ve çıktıları Tablo 1'deki gibi özetlenebilir.

Şekil 1: Genel Akış Şeması



5.1 Sezgisel Algoritma

Fabrika ve nihai araç dağıtım merkezi arasında kullanılacak yol ve taşıma yöntemlerine karar vermek için Dijkstra'nın en kısa yol algoritmasından uzaklık matrisi yerine maliyet matrisi kullanılarak yararlanılmıştır. JAVA diliyle kodlanan bu algoritma maliyet matrisi girdisi kullanarak fabrikadan nihai araç dağıtım merkezine en düşük maliyetli rotayı çıktı olarak vermektedir. Girdi olarak verilen maliyet matrisi şu maliyet bileşenlerini içermektedir: seçilen taşıma yöntemini kullanmanın sabit maliyeti, gidilen mesafeye bağlı değişken ulaşım maliyeti, iki nokta arasında geçen süre için ceza maliyeti, gidilen nokta bir araç dağıtım merkezi veya fabrikaysa o noktadaki araç nakliye maliyeti. Ancak sabit ve değişken ulaşım maliyetleri ve yolda geçen süre için ödenen ceza maliyeti taşıma yöntemine bağlıdır. Bu sebeple maliyet matrisi oluşturulmadan önce taşıma yöntemlerine karar verilmesi gerekmektedir. Herhangi iki nokta arasında taşıma yöntemi (karayolu ya da demiryolu) seçimi iki nokta arasında taşınacak araç sayısı ve uzaklık olmak üzere iki faktöre bağlıdır. Taşıma yöntemlerine karar verilirken Ek 1'de verilen karar ağacında gösterilen sonuçlar kullanılmıştır. Bu karar ağacı oluşturulurken aşağıdaki maliyet yapısı kullanılmıştır:

- Taşıma yöntemi olarak karayolu (kamyon) seçilmesi durumunda kamyon başına 200\$ sabit maliyet, her kamyonun katettiği mil başına 3\$ değişken maliyet ödenmektedir. Her kamyonun 10 araçlık kapasitesi vardır.
- Taşıma yöntemi olarak demiryolu (tren) seçilmesi durumunda tren başına 2000\$ sabit maliyet, her trenin katettiği mil başına 4\$ değişken maliyet ödenmektedir. Her trenin 20 araçlık kapasitesi vardır.
- Kamyon veya trenlerin araç dağıtım merkezine uğraması durumunda 50\$ nakliye maliyeti ödenmektedir. Araç dağıtım merkezinde araçların kamyon veya trenlere atanması değiştiğinden, araç dağıtım merkezine uğraması durumunda kullanılan kamyon/tren sayısı ile eşit veya daha az kamyon/tren kullanılması önemli değildir. Yeniden yola çıkacak kamyon/trenler için sabit maliyet tekrar ödenmektedir.

Taşıma yöntemi seçildikten sonra seçilen yöntemlere bağlı olarak, yukarıda verilen maliyet yapısı kullanılarak herhangi bir i lokasyonundan j lokasyonuna gitmenin maliyeti hesaplanmıştır. Bu şekilde, maliyet matrisi oluşturulmuş ve Dijkstra'nın en kısa yol algoritması ile her fabrika ve bayi çifti için statik rotalara ulaşılmıştır. Rota bilgileri kullanılarak, fabrika ve bayi çiftleri nihai dağıtım merkezlerine atanmıştır. Bu bilgi araç taşıma sisteminin iki yıllık benzetimi yapılırken kullanılmıştır.

Kullanılan sezgisel algoritmanın sonuçlarında, demiryolunun maliyet yapısı ve kapasitesinden ortaya çıkan maliyet avantajını kullanmak için araç dağıtım merkezlerini kullanıldığı görülmektedir. Ancak, araç dağıtım merkezlerinden

yük birleştirme noktası olarak da faydalanabilme potansiyeli bulunmaktadır. Bu yönden sezgisel yöntemin sonuçlarının iyileştirilmesi mümkündür.

5.2 Matematiksel Model

Sezgisel algoritmanın araç dağıtım merkezlerini yük birleştirme noktası olarak kullanma kararı verememesinden dolayı, bu kararı da verebilecek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model, fabrikadan bayiye kadar olan rotada uğranması gereken araç dağıtım merkezlerini, bu dağıtım merkezlerine hangi sırayla uğranması gerektiğini ve çıkarılan rotada herhangi iki nokta arasında hangi taşıma yönteminin (demiryolu veya karayolu) kullanılması gerektiğini toplam maliyeti en aza indirecek şekilde çıktı olarak vermektedir. Matematiksel model Ek 2’de bulunabilir. Ancak bayi sayısının çok fazla olması modelin büyüklüğünü oldukça arttırdığı için bayiler birbirlerine olan uzaklıklarına göre R programı kullanılarak *K-Ortalama* algoritmasıyla 36 farklı kümeye ayrılmış ve problem, bu kümelerin orta noktalarının, küme elemanlarını temsil eden ve talebi kümedeki bayilerin toplam talebine eşit olan bir bayi olduğu varsayımıyla küçültülmüştür. Bayi kümeleri Ek 3’de görselleştirilmiştir.

Modelin amaç fonksiyonu toplam maliyeti (seçilen taşıma yöntemini kullanmanın sabit maliyeti, gidilen mesafeye bağlı değişken ulaşım maliyeti, gidilen nokta bir araç dağıtım merkezi veya fabrikaysa o noktadaki araç nakliye maliyeti) içermektedir. Fabrikalar p , bayiler d , araç dağıtım merkezleri i ve j indeksleri ile tanımlanmıştır. Model, araç dağıtım merkezlerinde demiryolu seçeneğinin varlığı bilgisini, maliyet parametrelerini, fabrika-bayi çiftlerinin talep bilgilerini, taşıma yöntemlerinin hız ve kapasite bilgilerini, lokasyon çiftleri arasındaki uzaklığı veren uzaklık matrisini girdi olarak almaktadır.

Modelin ilk altı kısıtı, araç dağıtım merkezleri için araç akış dengesini ve bayilerin taleplerinin ilgili fabrikadan çıkışının yapılmasını sağlamaktadır. 6. kısıt, akışın bayilerde durmasını sağlamaktadır. 7-9 kısıtlar kümesi lokasyonlar arasındaki taşıma yönteminin seçilmesini sağlamaktadır. 10. kısıt sayesinde i lokasyonundan j lokasyonu gidecek tren ya da kamyon sayısı belirlenmektedir. 11-18 kısıt kümesi ve $n1_{ij}$ ve $n2_{ij}$ karar değişkenleri, T_{ij} , L_{ij} ve T_{ij} , R_{ij} terimlerinin doğrusallaştırılmasını sağlamaktadır. 19. ve 20. kısıtlar demiryolu ulaşımı uygunluğu bulunmayan lokasyonlara giriş ve o lokasyonlardan çıkış için tren kullanılmasını engellemektedir. 21-30 kısıt kümesi bayilerden çıkış yapılmadığı için ilgili değişkenlerin değerini sıfır yaparak, çözüm süresini kısaltmayı amaçlamaktadır. 31-33 kısıt kümesi karar değişkenlerinin pozitif, tam sayı ya da ikili olmasını sağlamaktadır.

Oluşturulan matematiksel model, çözüldüğü takdirde, rotalar ve nihai dağıtım merkezi kararları maliyeti enazlayacak şekilde verilebilecektir. Bu yöntemin en kısa yol algoritması kullanılan sezgisel yöntemden temel farkı, araç dağıtım merkezlerinde yük birleştirme yaparak maliyeti düşürme potansiyelinin olmasıdır. Ancak, elde edilen matematiksel model, ele alınan problemin büyük

olması nedeniyle, makul sürelerde çözülememiştir. Model için en iyi çözümün, ya da mümkün değilse kaliteli bir olurlu çözümün elde edilmesi durumunda, model sonucu genel çözüm yaklaşımına kolaylıkla entegre edilebilir.

5.3 Milk-Run Algoritması

Bir milk-run algoritması olan süpürme algoritması belirli bir nihai araç dağıtım merkezine ait bayi lokasyonlarına bayilerin hangi güzergaha dahil edilerek gidilmesi gerektiğine karar vermek için kullanılmıştır. Bu algoritma, şirket tarafından her gün gece yarısı tüm nihai araç dağıtım merkezleri için çalıştırılması için JAVA diliyle kodlanmıştır. Algoritma, benzetim modelinden, araçların fabrikadan nihai araç dağıtım merkezine ne zaman geleceği ve hangi bayiye gidecekleri bilgisini, araç dağıtım merkezlerinin ve bayilerin konumlarını girdi olarak alır. Enlem ve boylam olarak verilen konum bilgilerini kullanarak bayi konumlarının x ve y koordinatlarını bulur. Daha sonra, nihai araç dağıtım merkezinin başlangıç noktasında olduğunu varsayarak bayilerin kutupsal koordinatlarını bulur. Tüm fabrika, araç dağıtım merkezi ve bayilerin birbirlerine olan uzaklıklarını konum bilgisini kullanarak hesaplar ve bayilere dağıtımını gerçekleştirecek araçların kapasitesi ve mesafe eşiği de girdi olarak verildikten sonra milk-run rotalarını çıktı olarak verir.

5.4 Ayrık Olaylı Benzetim

İki yıl boyunca sisteme giren araçların fabrikalarda teslim hazır hale gelmesinden itibaren bayilere ulaşana kadar izledikleri rotanın takip edilebilmesi için JAVA dili kullanılarak bir ayrık olaylı benzetim kodu geliştirilmiştir. Bu benzetimden çıktı olarak, her gönderi için yük, katedilen mesafe, ilişkili maliyet, sırasıyla uğranılan lokasyonlar, çıkış tarih ve zamanları; her araç için teslim süreleri; her araç dağıtım merkezi için kapasiteyi aşan araç sayısı, bu araçların kapasiteyi aştığı gün sayılarının toplamı, kapasite aşım maliyeti, giriş yapan araç sayısı, bu araçların araç dağıtım merkezinde buldukları gün sayılarının toplamı, ilişkili nakliye maliyeti alınmıştır. Bu benzetime göre her fabrika ve araç dağıtım merkezi anlık olarak içinde bulunan araçların bilgilerini içeren bir araç listesine sahiptir. Her lokasyonda saat bazında aşağıdaki işlemler yapılır:

- yeni gelen araçları, varış zamanlarını ve taşıma maliyetlerini kaydetmek
- dolu dağıtım araçlarının nihai araç dağıtım merkezine gönderilmesi
- dolu dağıtım araçlarıyla gönderilen araçların araç dağıtım merkezindeki araç listesinden çıkarılması
- bir dağıtım aracını dolduramayan araçlar için bekleme ya da gönderme kararının verilmesi.

Aynı zamanda, nihai araç dağıtım merkezlerinde de yeni gelen araçlar ve kapasitenin aşılmasından kaynaklanan maliyet kaydedilir, süpürme algoritması çalıştırılır ve bayilere gönderilen araçlar listeden çıkartılır.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

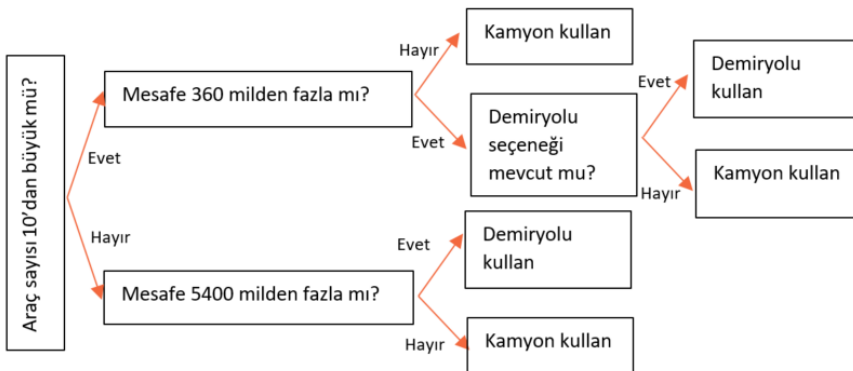
Çalışmalarımızın sonucunda, farklı maliyet yapılarına cevap verebilecek, maliyet yapısına göre maliyet matrisi oluşturularak araç dağıtım ağı için düşük maliyetli rotalar bulabilen, nihai dağıtım merkezlerinde maliyeti düşürmek adına gelecek talepler ile farklı sevkiyatları birleştirme fırsatlarını değerlendirip araçları bekletme ya da hemen yollama kararı alabilen ve araçların dağıtım ağı boyunca anbean takibini yapmaya olanak sağlayan bir araç geliştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Eskigün, E, R. Uzsoy, P.V. Preckel, G. Beaujon, S. Krishnan ve J.D. Tew, Outbound Supply Chain Network design with Mode Selection, Lead Times and Capacitated Vehicle Distribution Centers, European Journal of Operational Research, 164. cilt, 2005.
- Ekşioğlu, Sandra, Ekşioğlu, Burak, Walden, Clayton, Jin, Mingzhou ve Acharya, Ambarish. Automotive distribution network design: A support system for transportation infrastructure decision makers. International Journal of Business and Systems Research - Int J Bus Syst Res. 4. 10.1504/IJBSR.2010.033419, 2010. Web. 08.11.2018
- Gillet, B. ve Miller, L. A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem | Operations Research. Pubsonline.informs.org, 2018. Web. 09.11.2018
- Gillet B.E., Miller L.E. ve Johnson J.G. Vehicle dispatching — Sweep algorithm and extensions. In: Ritzman L.P., Krajewski L.J., Berry W.L., Goodman S.H., Hardy S.T., Vitt L.D. (eds) Disaggregation. Springer, Dordrecht, 1979.

EKLER

Ek 1: Sezgisel Algoritma için Taşıma Yöntemi Karar Ağacı



Ek 2: Kümelere Ayrılan Bayilerin Toplam Talebini Karşılama Modeli

Kümeler ve İndeksler:

P: Fabrikalar {1,2,3,4}

V: Araç Dağıtım Merkezleri {5,6, ...,44}

D: Bayiler {45,46, ...,80}

Karar Değişkenleri:

T_{ij} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına giderken karayolu kullanıldıysa} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

R_{ij} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına giderken demiryolu kullanıldıysa} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

X_{ijpd} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } d \text{ bayisinin } p \text{ fabrikasından talebi karşılanırken } j \text{ noktası } i \\ \text{ noktasından hemen sonra ziyaret edilirse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

L_{ij} : i noktasından j noktasına giden kamyon/ tren sayısı

$n1_{ij}$: $T_{ij} \cdot L_{ij}$

$n2_{ij}$: $R_{ij} \cdot L_{ij}$

Parametreler:

D_{pd} : d bayisinin p fabrikasından talep ettiği araç sayısı

Y_{pd} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } D_{pd} > 0 \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

vT : kamyon kullanmanın değişken maliyeti(mesafe başına)

vR : demiryolu kullanmanın değişken maliyeti(mesafe başına)

fT : kamyon kullanmanın sabit maliyeti(arac başına)

fR : demiryolu kullanmanın sabit maliyeti (arac başına)

vr_i : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ tesisinden demiryolu ulaşımı mümkünse} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

cvh_i : tesisindeki araç nakliye maliyeti(arac kapasitesi başına)

d_{ij} : i noktasıyla j noktası arası uzaklık

lft : bir kamyonunda taşınabilecek maksimum araç sayısı

lfr : bir demiryolu aracında taşınabilecek maksimum araç sayısı

st : kamyonun hızı (mil/saat)

sr : demiryolu aracının hızı (mil/saat)

L_{max} : $\max(D_{pd}) / lft$

M_1 : $|P \cup V| * |P \cup V \cup D|$

Matematiksel Model:

Amaç Fonksiyonu:

Enazla

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\}} n1_{ij} * fT + \sum_{i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\}} n2_{ij} * fR + \sum_{i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\}} n1_{ij} * vT * d_{ij} \\ & + \sum_{i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\}} n2_{ij} * vR * d_{ij} + \sum_{i \in \{P,V\}, j \in \{P,V\}, p \in P, d \in D} X_{ijpd} * D_{pd} \\ & * cvh \end{aligned}$$

Öyle ki

$$\sum_{j \in \{P,V,D\}} X_{pjpd} = \sum_{i \in \{P,V\}} X_{idpd} \quad \forall p \in P, d \in D \quad (1)$$

$$\sum_{i \in \{P,V\}} X_{ijpd} = \sum_{i \in \{P,V,D\}} X_{jipd} \quad \forall j \in V, p \in P, d \in D \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \{P,V\}} X_{ijpd} = \sum_{i \in \{P,V,D\}} X_{jipd} \quad \forall j \in P, p \in P, d \in D, j \neq p \quad (3)$$

$$\sum_{j \in \{P,V,D\}} X_{ijpd} \leq 1 \quad \forall i \in \{P,V\}, p \in P, d \in D \quad (4)$$

$$\sum_{j \in \{P,V\}} X_{jipd} \leq 1 \quad \forall i \in \{P,V,D\}, p \in P, d \in D \quad (5)$$

$$X_{ijpd} + X_{jipd} \leq 1 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V\}, p \in P, d \in D \quad (6)$$

$$T_{ij} + R_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P, d \in D} X_{ijpd} \leq (T_{ij} + R_{ij}) * M_1 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (8)$$

$$T_{ij} + R_{ij} \leq \sum_{p \in P, d \in D} X_{ijpd} \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (9)$$

$$n1_{ij} * lft + n2_{ij} * lfr \geq \sum_{p \in P, d \in D} X_{ijpd} * D_{pd} \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (10)$$

$$n1_{ij} \leq L_{max} * T_{ij} \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (11)$$

$$n1_{ij} \leq L_{ij} \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (12)$$

$$n1_{ij} \geq L_{ij} - L_{max} * (1 - T_{ij}) \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (13)$$

$$n1_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (14)$$

$$n2_{ij} \leq L_{max} * R_{ij} \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (15)$$

$$n2_{ij} \leq L_{ij} \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (16)$$

$$n2_{ij} \geq L_{ij} - L_{max} * (1 - R_{ij}) \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (17)$$

$$n2_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V,D\} \quad (18)$$

$$R_{ij} \leq vr_i \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V\} \quad (19)$$

$$R_{ij} \leq vr_j \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{P,V\} \quad (20)$$

$$\sum_{j \in \{P,V\}} X_{idpd} = \sum_{i \in \{P,V\}} Y_{pd} \quad \forall p \in P, d \in D \quad (21)$$

$$X_{ijpd} = 0 \quad \forall i \in D, j \in \{P,V,D\}, p \in P, d \in D \quad (22)$$

$$X_{ijpd} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{D\}, p \in P, d \in D, j \neq d \quad (23)$$

$$X_{ijpd} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in \{D\}, p \in P, d \in D, j = i \quad (24)$$

$$R_{id} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, d \in D \quad (25)$$

$$R_{ij} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in D, j = i \quad (26)$$

$$T_{ij} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in D, j = i \quad (27)$$

$$n1_{ij} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in D, j = i \quad (28)$$

$$n2_{ij} = 0 \quad \forall i \in \{P,V\}, j \in D, j = i \quad (29)$$

$$L_{ij} = 0 \quad \forall i \in \{P, V\}, j \in D, j = i \quad (30)$$

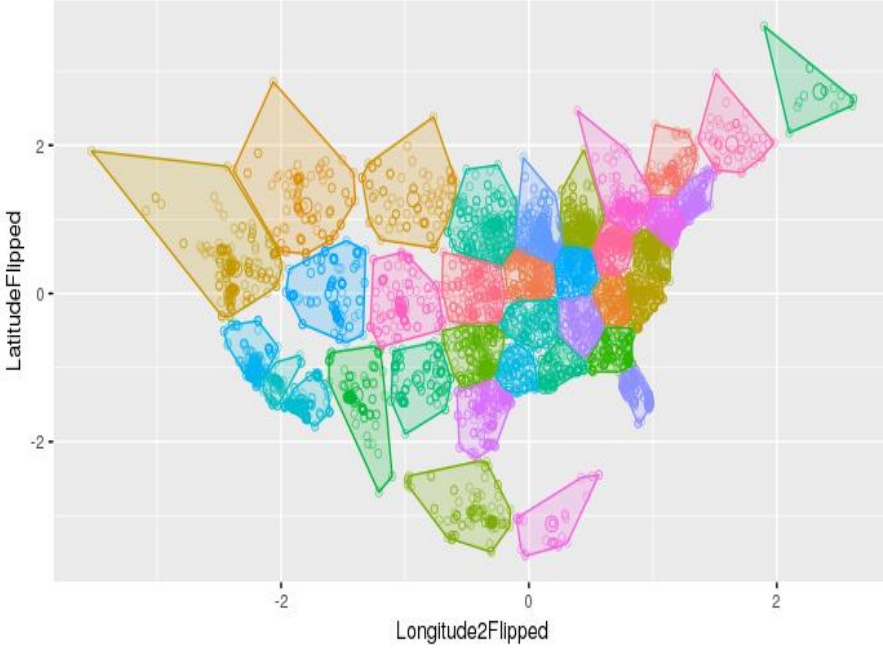
$$T_{ij}, R_{ij}, Y_{pd} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \{P, V\}, j \in \{P, V, D\} \quad (31)$$

$$X_{ijpd} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \{P, V\}, j \in \{P, V, D\}, p \in P, d \in D \quad (32)$$

$$L_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in \{P, V\}, j \in \{P, V, D\} \quad (33)$$

Ek 3-Bayi Kümeleri

Clusters enclosed by their convex hulls



Montaj Hattında Ara Stok Alanları ve Süpermarket Düzenlemesi

Nurol Makina ve Sanayi A.Ş.



Proje Ekibi

Ülkü Umay Aydın, Muhammed Berk Boyalı, Elif Erkek, Burcu Gümüş,
Büşra Nur Işık, Tunç Karadeniz, Cemre Burak Üşümezoğlu

Şirket Danışmanı

Alper Çatalkaya
Üretim Planlama ve
Kontrol Mühendisi

Akademik Danışman

Dr. Emre Uzun
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Projenin amacı, üretim alanını düzenlemeye yardımcı olacak parça konumlandırma sistemi ve üretimdeki durmalara engel olacak bir süpermarket envanter politikası oluşturmaktır. Parçaların BOM konumu, tedarik süresi, hata raporu miktarları, hacim ve birim fiyatları üzerinden bir puantaj tablosu oluşturulmuş ve bu tabloya göre her parçaya bir kritiklik puanı atanmıştır. Üretim sisteminde durmaların en aza indirilmesi amacıyla oluşturulan envanter politikası, matematiksel modele çevrilmiş ve Excel dosyasında kodlanmıştır. Excel dosyasına tanımlanan her BOM içinde yer alan kritik parçaların, tutulmaları gereken stok miktarları ve stokların konumlandırılması program çıktısı olarak verilmektedir. Mevcut sistem ve yeni oluşturulan envanter politikası karşılaştırıldığında kritik olduğu halde güven stoku bulunmayan parçalar tespit edilmiştir. Bu sayede yeni modelin üretim alanındaki durma ihtimallerini düşürdüğü saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kritik parça, üst stok sipariş seviyesi envanter politikası, emniyet stoku, süpermarket.

1.Şirket Hakkında

Nurol Makina ve Sanayi A.Ş. 1976 yılında Nurol Holding bünyesinde kurulmuştur. Nurol Makina günümüzde savunma ve güvenlik amaçlı zırhlı araçlar tasarlayıp üretmekte ve savunma sanayine tedarikçi olarak hareket etmektedir. Nurol Makina, savunma ve güvenlik güçlerinin gerekli şartlarını yerine getirme talebine göre prototip araçlarını özel siparişlere göre geliştirmektedir.

1.1.Sistem Tanımı

Nurol Makina A.Ş. değişen müşteri talebine göre, siparişe dayalı üretim yapmayı benimsemiştir. Müşterilerin taleplerini, talep miktarlarına göre karşılanmaktadır. Sipariş alındığında, depo ve üretim tesislerini bilgilendirmek için iş emirleri üretilir. İşler organize edildikten kısa bir süre sonra, belirli ürün için ilgili montaj hattına gönderilmek üzere gerekli malzemeleri içeren kitler depoda hazırlanmaktadır. Fabrika, üretim tesisinden ayrı montaj hattına sahiptir. Buna ek olarak, daha sonra bir araya getirilecek olan araçların bazı şasi ve ana gövdesi atölyede üretilmektedir.

Şasi, öncelikle montaj hatlarında aracın temeli olarak inşa edilmektedir. Ardından, şasi üzerine güç paketi birleştirildikten sonra gövde ve gövde parçaları takip etmektedir. Ana gövde birleşimi yapıldıktan sonra, istenen öğeler gövdelere özelliklerine göre monte edilmektedir. Herhangi bir operasyonel zorluğun önlenmesi için, montaj hatları, her operasyonun önceden belirlenmiş bir işleme alanına ve tanımlanmış taşıma yollarına sahip olacak şekilde düzenlenmiştir. Montaj işlemleri tamamlandıktan hemen sonra yarı mamul araç kamuflaj boyamasına gitmektedir. Her araçta yapılan boyama, temel renk püskürtülmekte, işlemler bittikten sonra, nihai ürün kalite standartları için gereken testlere hazır hale getirilmektedir. Son olarak araçların kamuflaj boyası var ise kamuflaj boyları yapılmaktadır ardından araç testleri, araçların özelliklerine göre test etmek için özel olarak tasarlanmış platformlarda gerçekleştirilmektedir. Kalite testleri, nihai ürünün TS EN ISO 9000'in kalite yönetim sistemi standartlarını karşıladığından emin olmak için gerçekleştirilir.

Projemiz montaj tesisinde envanter yönetim sistemine odaklandığı için, ilk olarak tesisteki mevcut envanter sistemiyle ilgili bir çalışma başlatıldı. Bu çalışmanın sonunda envanter işletim sisteminin üç alandan oluştuğu gözlemlendi; ana depo, süpermarket ve montaj hatları boyunca ara stok alanları. Daha detaylı bir şekilde açıklamak gerekirse; şirketin sahip olduğu her öğenin ilk girişi ana depoya yapılır. İş emirleri depoya gönderildikten sonra, aracın montajı için gerekli parçalardan oluşan kitler hazırlanır ve montajı yapılacak ilgili hatlara gönderilir. Ek olarak, tesis içerisinde süpermarket adı verilen nispeten daha küçük bir depolama alanı da bulunmaktadır. Bu alan, parçaları depodan montaj hatlarına teslim ederken boşta kalma süresini azaltma amacına hizmet eder. Hazırlanan kitler, kitine bağlı olarak süpermarkete veya doğrudan

montaj hatlarına aktarılır. Süpermarket alanına ek olarak, montaj hatları boyunca süpermarketle aynı amaca hizmet eden ara stok tutulur ve bu stoklar çalışanların ihtiyaç duydukları parçaları hemen tedarik etmelerini sağlar.

1.2.Problem Tanımı

Nurol Makina süpermarket ve ara stok alanlarını tam olarak takip edebilmek için daha sistematik bir yola gerek duymaktadır. Montaj işlemi sırasında arızalı bir parçanın varlığından doğan planlanmamış yeni ihtiyaç operatör tarafından fark edilir ve parçanın değişimi yapılır, parça değişiminden kaynaklı kesinti montaj işlemlerinin belirli bir süre boyunca durmasına veya gecikmesine neden olur. Süreçlerde bu tür kesintilerden kaçınmak için, her bir parçanın ana depoda, süpermarkette ve ara stok alanlarında hangi miktarda tutulduğu tam olarak bilinmelidir.

2.Çözüm Yöntemi

Projemizde başlıca amaç, montaj hattındaki parçaları organize ederek sürdürülebilir ve verimli bir envanter politikası belirlemek, dolayısıyla montaj hattındaki operasyonların aksamasını veya durmasını engellemek olmuştur. Bu amaçlar doğrultusunda grup olarak öncelikli hedefimiz kritik parçaların doğru belirlenmesi ve montaj hattı içerisinde yüksek verim alınacak şekilde konumlandırılmasıdır. Şirket ile yapılan görüşmeler sonucunda kritik parça tanımı ‘yokluğunda operasyonları aksatacak veya durduracak parçalar’ olarak belirlenmiştir. Bu proje kapsamında kritik parçaların belirlenmesi ve bu parçalar için uygulanacak envanter politikalarına karar verilmesi için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Örnek verecek olursak, sunduğumuz model ile her parça için montajda gereken miktar ve buna ek olarak emniyet stoku miktarları hesaplanmış ve kritik parçalar önem sıralarına göre sıralanmıştır. Daha sonra, her bir parçanın kritiklik seviyesi ve stokta tutulması gereken miktar belirlendikten sonra bu kritik parçaların konumları süpermarket, ara stok alanları veya her ikisi de olacak şekilde belirlenmiştir. Belirtilen konumlara uygulanacak besleme periyodu, operasyonlar göz önünde bulundurularak şirket yetkilileriyle beraber ortaklaşa kararlaştırılmıştır. Son olarak, kritik olmayan parçaların ise ara stok alanlarında tutulmasına karar verilmiştir.

2.1.Başlıca Hedefler, Kısıtlar, Varsayımlar

2.1.1.Hedefler

Montaj hattında kritik parçaların eksikliğinden kaynaklanan operasyonel aksamaları engellemek için izlediğimiz adımlar aşağıdaki gibidir:

- Montaj operasyonları için kritik olan parçaların belirlenmesi ve bu parçaların süpermarkette ve ara stok alanlarında tutulacak miktarlarının hesaplanması
- Ana ambardan süpermarket ve ara stok alanlarına yapılacak parça besleme periyotlarının belirlenmesi

2.1.2.Kısıtlar ve Varsayımlar

Montaj hattındaki kritik parçaların tutulacağı süpermarket alanının hacmi kısıtlı olduğundan, bu kısıt matematiksel modelimize dahil edilmiştir. Buna ek olarak, sorun çözümü için modeller hazırlanırken ana ambardaki parçaların her ihtiyaç duyulduğunda yeterli miktarda mevcut olacağı ve ara stok alanlarına istenilen zamanlarda besleme yapılabileceği varsayılmıştır.

2.2.Kritik Parçaların Belirlenmesi ve Öncelikli Ana Performans Göstergeleri

Kritik parçaları belirlemek için şirket yetkililerinin de görüşü alınarak bir ana performans göstergeleri listesi hazırlanmıştır. Bu listeye göre, her bir performans göstergesine bir kriter ağırlığı verilip, her bir parça için kriter puanları hesaplanmıştır. Daha sonra, bu puanlar kriter ağırlıkları ile çarpılıp parçalar için birer ağırlık belirlenmiştir. Son olarak, bu ağırlıklar parça bazında toplanarak parçanın kritiklik seviyesi hesaplanmıştır.

Kritiklik seviyeleri hesaplandıktan sonra bütün parçalar seviyelerine göre kritikliği en yüksek olandan en düşük olana doğru sıralanmıştır. Bunun ardından kritiklik için bir alt sınır belirlenmiştir. Bu alt sınırı belirlemek için Pareto varsayımları kullanılmıştır. Bu varsayıma göre, kritikliği %80 sınırının üstünde olan parçalar toplam parçaların %20'sini kapsayacaktır.

Kritiklik için dikkate aldığımız ana performans göstergeleri aşağıdaki gibidir:

2.2.1.DMR

DMR (Discrepant Material Report) bir parçanın montajda kullanılamayacak olması (hasarlı olma, paslanma veya yeniden işleme gerekme vb.) durumunda oluşturulan bir rapordur. DMR puanı emniyet stoku hesaplamalarında da kullanılacağı için önemli bir kriterdir. DMR puanı aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$DMR Puanı = \frac{DMR sayısı}{BOM ihtiyaç sayısı}$$

Her parçanın daha önceden raporlanmış DMR sayısını kullanarak hem DMR puanları hem de bu parçaların emniyet stok seviyeleri belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen formül süpermarketin içeriğini belirlerken diğerlerine oranla kritikliği daha yüksek olan parçalara öncelik vermemizi sağlamıştır. Örnek verecek olursak, bir parça sadece 2 DMR'ye sahipse ve toplamda gereken miktar 100 ise, bu parçanın DMR puanı %2 olacaktır. Fakat, aynı BOM ihtiyaç sayısına sahip başka bir parçanın DMR'si 10 çıkmışsa bunun DMR puanı %10 olacak ve bu kriter için kritiklik açısından daha çok ağırlığı olacaktır.

2.2.2.BOM Konumu

Parça kritikliği belirlenirken bir diğer önemli kriter ise parçanın ürün ağacındaki konumu olarak seçilmiştir. BOM puanı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$BOM \text{ Puanı} = \frac{\text{Toplam BOM Seviye Sayısı} - \text{Parça Konum Seviyesi}}{\text{Toplam BOM Seviye Sayısı}}$$

Bu formüle göre, ürün ağacında daha üstte olan (montaj operasyonlarında ilk sırada ihtiyaç duyulan) parçaların BOM ağırlığı ve dolayısıyla kritiklik seviyesi daha fazla olacaktır.

2.2.3.Tedarik Süresi

Kritiklik belirlenirken kullanılan bir başka kriter ise ihtiyaç duyulan parçanın tedarik süresi olmuştur. Her bir parçanın tedarik süresi kriter puanı aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$Tedarik \text{ Süresi Puanı} = \frac{\text{Parça Tedarik Süresi}}{\text{En Yüksek Tedarik Süresi}}$$

Bu formüle göre, parçalar tedarik süresi puanına göre 0 ile 1 arasında önem sırasına dizilecektir. En yüksek tedarik süresine sahip olan parça kritiklik değerlendirmesinde bu kriterden 1 tam puan alacaktır.

2.2.4.Birim Fiyat

Parçanın birim fiyatı sipariş miktarını ve periyodunu etkilediği için parçaların kritiklik durumları belirlenirken birim fiyat bilgisi de değerlendirilmeye alınmıştır. Birim fiyat puanı hesaplanırken, her birim maliyet aralığı için bir puan belirlenmiş ve ardından bu puan kriter ağırlığı ile çarpılmıştır.

2.2.5.Hacim

Hacmi çok büyük parçaların modelde fark edilir olması için parça hacmi bir kriter olarak belirlenmiştir. Parçaların hacim bilgisi hazır olmadığı için modelimizde bütün parça hacimleri 1 birim olarak kabul edilmiştir.

2.3.Süpermarkette Tutulacak Parçalar ve Emniyet Stok Seviyeleri

Kritik parçalar belirlendikten sonra, süpermarkette tutulacak kritik parçalar için bir envanter modeli geliştirilmiştir. Bu envanter modeli başlıca 3 bileşenden oluşmaktadır:

- Emniyet stok seviyesi
- Besleme periyodu
- Sipariş miktarları

Daha önce de belirtildiği gibi, mevcut sistemin analizi ve şirket yetkilileriyle olan görüşmeler sonucunda besleme periyodu 2 hafta olarak

belirlenmiştir. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir: Fabrikada aynı anda çalışan 3 paralel montaj hattı bulunmaktadır. Bu hatlarda gerçekleşen operasyonlar 1 hafta sürmektedir. Bu operasyonlar sonrasında, 3 montaj hattından elde edilen yarı mamuller birleştirilmektedir. Bu montaj işlemi de yine 1 hafta sürmektedir. Buna ek olarak, nihai ürünü elde etmek için gereken montaj operasyonları 2 hafta sürmektedir. Bu yüzden, ilk ve ikinci kısım montaj operasyonları birleştirilip, bütün operasyonları 2 hafta süren iki büyük parçaya ayırarak besleme periyodu 2 hafta olarak belirlenmiştir.

Excel Solver ile hazırlanan matematiksel modele göre, süpermarkette yalnızca kritik parçaların tutulmasına karar verilmiştir. Buna ek olarak, kritik parçaları ve miktarlarını belirlemek için tasarladığımız modellerin, gelen yeni projeler veya sisteme eklenen yeni parçalar için de yeni veriyi modele girerek rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmek gerekir. Hazırladığımız VBA kullanıcı ara yüzü parçaların kritiklik seviyelerini girdi olarak almakta ve her parça için tutulması gereken miktar ve bu parçaların tutulacağı lokasyonlara karar vermektedir.

Süpermarkette ve ara stoklarda tutulan parçaların sipariş politikaları ve emniyet stok seviyelerini hesaplamak için *Üst-Stok Sipariş Seviyesi* envanter modeli uygun görülmüştür. Bu modelde, bir tavan değer (order up-to level) belirlenmekte ve periyodik olarak yapılan envanter kontrolleri sonrasında parça miktarı bu belirlenen tavan değere gelecek şekilde sipariş verilmektedir.

2.4. Model ve Yaklaşımlar

2.4.1. Üst-Stok Sipariş Seviyesi Envanter Modeli

Üst-Stok Sipariş Seviyesi envanter modelinde stok kontrolü periyodik olarak yapılıp ve her bir periyot sonunda (S - stok seviyesi) kadar sipariş verilmektedir. S, bir besleme periyodu boyunca ihtiyaç duyulan parça miktarının tutulan emniyet stok miktarıyla toplamından elde edilmektedir.

Modelimizdeki terimler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Periyot sonu parça miktarı: 2 haftalık besleme periyodunun sonunda süpermarkette kalan parça miktarı
- Bekleyen sipariş: DMR miktarı. Operasyonların kesintisiz ilerleyebilmesi için hatalı parçaların mutlaka temin edilmesi gerekir.
- t periyodunda kullanılan parça miktarı = S - periyot sonu parça miktarı
- Stok seviyesi = t periyodunda kullanılan parça miktarı + periyot sonu parça miktarı - DMR = S - DMR
- Üst-stok seviyesi S: Tavsiye edilen maksimum stok seviyesi

S değeri hesaplanırken geometrik dağılımdan yararlanılmıştır. Geometrik dağılım Bernoulli denemelerinde ilk tanımlanmış başarıdan önce başarısızlık sayısını bulmak için kullanılır ve 3 varsayımı vardır:

- İki olası sonuç vardır: Bir parça hasarlıdır veya değildir.

- Deneyler birbirinden bağımsızdır, bir parçanın hasarlı olması diğer parçayı etkileyemez.
- Her deney için başarı olasılığı aynıdır.

Bir parçanın hasarlı çıkmamasını başarı olarak kabul edersek ve bunun olasılığına p dersek, beklenen DMR sayısı geometrik dağılımın beklenti işlevinden hesaplanabilir:

$$E(x) = \frac{1}{p}$$

$$p = \frac{BOM}{BOM + DMR}$$

Buradan yola çıkarak her bir parçanın S değeri aşağıda görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır:

$$S_i = [E(i) * BOM_i + BOM_i] \times SL_i$$

SL_i : i parçası için servis seviyesi

2.4.2. Süpermarkette Tutulacak Parça Miktarının Belirlenmesi İçin Model

2.4.2.1. Parametreler

a_i = T_1 periyodunda BOM için gereken i parçası miktarı

S_i = i parçasının T_1 periyodunda gereken emniyet stok miktarı

w_i = i parçasının kritiklik ağırlığı

V_i = i parçasının hacmi

V_s = süpermarket hacmi

2.4.2.2. Karar Değişkenleri

Q_i = Süpermarkette tutulacak i parçası miktarı $i=1, 2, \dots, n$

2.4.2.3. Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

$$\max \sum_{i=1}^n w_i Q_i$$

k.s.

$$\sum_{i=1}^n V_i Q_i \leq V_s$$

$$S_i \leq Q_i \quad \forall i$$

$$Q_i \leq S_i + a_i \quad \forall i$$

Yukarıda belirtilen matematiksel modelin amacı süpermarket alan kullanımını eniyilemektir. Bu projedeki bir diğer amaç ise ara stok alanlarını düzenlemek olduğundan, projeler için ortak olan ve olmayan kritik parçaların tümü hacmi aldığı süpermarkette tutulmaya karar verilmiştir. Bu modele göre, kritikliği en yüksek olan parçalardan başlanılarak hacim yettiği sürece süpermarket doldurulacaktır. T_1 periyodu ana ambardan süpermarkete veya ara

stok alanlarına yapılacak parça besleme periyodunu temsil etmektedir. a₁ değerleri hesaplanırken bir aylık üretim planı dikkate alınmıştır. Süpermarket dışında kalan kritik parçaların ara stok alanlarına konumlandırılmasına karar verilmiş ve süpermarketten ara stok alanlarına yapılacak kritik parça besleme periyodu T₂ olarak adlandırılmıştır. Hazırladığımız bu model Excel Solver yardımıyla çözümlenmiş, süpermarkette tutulacak kritik parça ve miktarları bulunmuştur.

2.5.VBA Ara Yüzü

VBA ara yüzü modelleri birbiriyle uyum içinde çalıştıracak şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla, Excel Solver ile kritik parçaları tanımladıktan hemen sonra, ilgili mühendis VBA kullanıcı ara yüzünü çalıştırmak vasıtasıyla parçaların tam olarak ne kadar ve nerede tutulması gerektiğini tespit edebilmektedir. Ara yüze ilk erişildiğinde, en başta Dosya Seç butonu bulunmaktadır (bkz. Ek 1). Bu buton önceden belirlenmiş formatta hazırlanan ve BOM hakkında detaylı bilgi içeren dosyaların sisteme yüklenmesini ve entegre edilmesini sağlamaktadır. Dosya sisteme yüklendiğinde program eşleşen parçaları kontrol ettikten sonra bu parçaların özelliklerinde bir değişiklik varsa bu özellikleri güncellemektedir. Eşleşmeyen parçalar ise yeni parça olarak kaydedilmektedir. Bu özellik programın sürekli olarak güncellenebilmesini sağlamaktadır. Excel dosyasında hazırlanan kullanıcı dostu sekmelede parçaların ilgili özellikleri program aracılığı ile veri tabanından çekilerek gözlemlenebilmektedir. Arama butonu aracılığıyla ise aratılan parçanın bütün özellikleri arama sekmesine yazdırılabilmektedir. Envanter hesaplaması butonunun aktive edilmesiyle sisteme, proje süresi ve projedeki araç sayısı gibi karar değişkenlerinin girilmesi gerekmektedir. Model parça grubunu kritik ve kritik olmayanlar olarak ikiye ayırarak sıralamaktadır; iki grup için de envanter ve güven stoğu seviyelerini hesaplamakta ve parçaların süpermarket veya ara stokta uygun yerlere konumlandırılmalarını gösteren bir çıktı üretmektedir. Parçaları gruplara ayırmasının ve sıralandırmasının en önemli sebebi süpermarket hacminin yeterli olmadığı durumlarda daha kritik parçaların güven stoklarına öncelik vermektir.

Envanter istatistikleri sekmesinde ise model her çalıştığında modelin verdiği sonuçlara göre envanter istatistikleri hesaplanmakta ve kullanıcının takip edebileceği şekilde güncel veriler yazdırılmaktadır. Seyir defteri (Log) sekmesinde Excel dosyasında yapılan bütün işlemler kontrol edilebilmek adına tarihleriyle beraber kaydedilmektedir. Kritiklik seviyelerini tespit etmek adına kritiklik kriterlerinin katsayılarının eşit alınması kararlaştırılmıştır. Alınan sonuçlar şirketin önceden belirlediği kritik parçalarla %99 oranında eşleşmiş ve model, kritik parçaların sıralanmasını sağlamıştır. Ayrıca bütün parçalar için envanter konumlarını belirleyebilmek adına özel kodlar geliştirilmiştir. Bu özel kodlar, parçaların kritiklik seviyesini, BOM konumlarını ve operasyon

numaralarını belirterek süpermarketin veya ara stokların hangi bölgesinde tutulması gerektiğini göstermektedir.

2.6. Geliştirilen Modelin Doğrulaması

Excel çalışma sayfası yardımıyla belirlenen kritik parçaları doğrulamak için Nurol Makina'nın tecrübeye dayalı oluşturduğu kritik parça listesinden yardım alınmıştır. Modelimizin belirlediği kritik parçalar ve bu liste karşılaştırıldığında, Nurol Makina'nın belirlediği bütün kritik parçaları oluşturduğumuz modelin de eksiksiz olarak tespit ettiği doğrulanmıştır. Bunun yanı sıra, modelimizin Nurol Makina'nın önceden belirlediği kritik parçalara ek olarak kritik olan diğer parçaları da başarılı bir şekilde saptadığı gözlemlenmiştir.

Kritik parçalar belirlendikten sonra uygunsuzluk raporu verisi bulunan parçalar için uygunsuzluk raporu oranlarına göre güven stoğu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan stok miktarlarıyla, uygunsuzluk raporu olan parçalarda ortalama servis seviyesini %20,90'dan %50,22 oranında bir iyileştirme ile %71,11'e çıkarılması başarılmıştır. Bu oranlar binom dağılımı hesaplaması yapılarak doğrulanmıştır. Sonrasında uygunsuzluk raporu bulunmayan parçalar için olası uygunsuzluk senaryolarına karşın güven stoğu tutulması kararı alınmıştır. Uygunsuzluk raporu bulunan kritik parçaların, ortalama uygunsuzluk oranının %22,74 olduğu tespit edilmiştir. Kritik parçalar, kritiklik faktörleri bazıyla benzer özellik gösterdiğinden bu oranın uygunsuzluk raporu bulunmayan parçalar için de geçerli olduğu varsayımı yapılmıştır. %22,74 ortalama oran için standart sapmanın 0,1846 olduğu saptanmıştır. Bu değerler doğrultusunda %99 güven aralığında normal dağılımın üst sınırı olan %26,14 oranında güven stoğu tutulması kararlaştırılmıştır. Belirlenen güven stoğunun, olası %22,74 uygunsuzluk oranı için ortalama servis seviyesini %3,06 oranından %62,18'lik bir iyileştirme ile %65,24'e çıkardığı tespit edilmiştir.

3. Uygulama Planı ve Şirkete Faydaları

3.1. Beklenen Çıktılar

Projenin beklentimiz, üretim süreçlerini geliştirecek bir stok planlama sistemi oluşturmaktır. Ana beklenti, parça yokluğunun doğurduğu sistem beklentilerini azaltacak bir sistem oluşturabilmektir. Buna ek olarak, bekleme sürelerini azaltacak, sürdürülebilir, yeni bir stok besleme sistemi oluşturarak hangi parçaların ne zaman, nerede olmalarına gerektiğine karar verebilen bir program oluşturabilmek projenin başlıca amaçlarındandır.

3.2. Detaylı Uygulama Planı

Projemizin etkilerini görebilmek ve olası etkilerini değerlendirebilmek için, oluşturduğumuz programın çıktıları Nurol Makina'ya iletilecek ve ilk safhada, puantaj tablosunda kritiklik puanı en yüksek olan parçaların üretim alanına yerleştirilmesi sağlanacaktır. Bu sayede şirketin hangi parçayı hangi zaman aralığında ne kadar kullanacağı öngörülerimizin gerçeğe örtüşüp

örtüşmediği değerlendirilecektir. Bu noktada göz önünde bulundurulması gereken şu an kritik parçaların hacimlerinin bilinmemesidir. Bu bilginin yokluğundan doğacak eksikliklerin giderilmesi elzem işlerin başında gelmektedir. Parçaların süpermarkete yerleştirilmesinden sonra alanda kalacak boşluğa istinaden, alakalı değişkenler değiştirilip sisteme uygulanabilir hale getirilebilir. Eğer belirlenen parçalar ve miktarları süpermarket alanından taşacak kadar fazla ise, kritiklik sınırının yukarı çekilip alanın daha uygun kullanılabilmesi bir seçenek iken, süpermarket alanının belirlenen kritik parçalardan daha fazlasını taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmesi durumunda kritiklik sınırı daha aşağı çekilip alanın daha verimli kullanılması seçeneği de söz konusudur.

EKLER

Ek-1

The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet with a blue box labeled "Envanter Takip Sistemi" in the center. To the right of the box is a screenshot of the "Envanter Takip Platformu" software interface. The interface is a web-based form with the following fields and buttons:

- Dozya Etleme:
- Toplu Güncelleme: (Bu işlem uzun sürebilir)
- Envanter Miktarları:
- Özellik Etleme:
- Parça Arama:
- Silme Temizleme:

At the bottom of the interface, there are two logos: "nurot MAKİNA" and the logo of "Nispetiye Doğuşluoğlu İktisadi ve İdari Bilimler Üniversitesi". The Excel spreadsheet has columns labeled A through W and rows labeled 4 through 49. The status bar at the bottom of the spreadsheet shows "READY" and various menu options like "Tablo", "Model", "Kullanım Miktarları", "Bom Konumu", "Tedarik Süresi", "DMR Sayısı", "Birim Fiyat", "Hacim", "Kritiklik Puanı", "Araştır", "Log", and "Arayüz".

Satış Tahmini ve Emniyet Stoğu Belirleme Sistemi Tasarımı

Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

Ege Aktan, Nazmiye Altıntaş, Cenk Bayender, Pınar Dağistanlı,
Berk Erimer, Çağrı Utku Sokat, Ecem Yalız

Şirket Danışmanı

Dr. Alptekin Demiray
Üretim Planlama Müdürü

Akademik Danışmanlar

Dr. Nil Şahin, Yeşim Gülseren
Yrd. Doç. Dr. Ayşe Selin Kocaman
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Ortadoğu Rulman Sanayi'nin ürettiği, yurt içinde bayi kanalıyla satılan ürünlerin talebi anlık olmakta ve firma bu talepleri o anda stoktan karşılamak durumundadır. Firmanın yılın belirli zamanlarında yapılan promosyonların da etkisiyle talep değişkenliği oluşmakta ve firma gelecek ayların taleplerini tahmin etmekte zorlanmakta, bunun sonucu olarak da doğru bir üretim planı oluşturamamaktadır. Projenin amacı, geliştirilecek talep tahmin programlarıyla şirketin gelecek aylar için daha iyi satış tahminleri yapması, yapılan tahminler doğrultusunda uygun stok yönetimi politikasının belirlenmesi ve yok satma adetinin azaltılmasıdır. R programı üzerinden oluşturulan sistem, şirketin üretim planını oluşturabilmesi için gereken talep tahmin metodlarını belirler ve ürünleri önceki satış rakamlarına göre sınıflandırır, uygun talep tahmin algoritmasını belirleyerek gelecek aylar için beklenen rakamları sunar ve aynı zamanda az satılan ürünler için emniyet stoğunu belirler.

Anahtar Kelimeler Satış Tahmini, Envanter Kontrolü, Emniyet Stoğu.

1. Şirket Tanıtımı

1982 yılında kurulan Ortadoğu Rulman San. ve Tic. A.Ş. (ORS) Türkiye'nin ilk ve tek rulman üreticisidir. ORS 1984 yılında Steyr Waelzlager/Austria ortaklık anlaşması imzalamıştır ve 1986 yılında seri üretime başlamıştır. 1988 yılında ilk ihracatını gerçekleştiren şirket, günümüzde üretilen rulmanların yaklaşık %70'ini Amerika, Almanya, İtalya ve Avrupa'ya ihracat etmektedir. 1989'da SKF firmasının Steyr Waelzlager/Austria alması sonucu ORS lisans anlaşmasını SKF ile sürdürmüştür ve 1991 yılında bu anlaşma sonlandırılmıştır. ORS rulmanları günümüzde traktör, elektrik motoru, bulaşık makinesi, elektrikli süpürge, çamaşır makinesi gibi birçok ürünün üretiminde kullanılmaktadır. Genel yönetim ve üretim merkezleri Ankara olmakla beraber, İstanbul ve İzmir'de de merkezleri olan ORS, yıllık 100,000,000 rulman üretim kapasitesine sahiptir. 2014 yılında 1 milyarını rulmanını üreten ORS, 3 bilyalı, konik makaralı ve silindirik makaralı rulman üretmektedir ve bu rulmanlar müşterilerin ihtiyacına göre geliştirilip, üretilmektedir.

2. Mevcut Sistem Analizi ve Problem Tanımı

ORS, siparişe göre üretim, siparişe göre montaj, stoğa üretim ve proje bazlı siparişe özel üretim olmak üzere 4 çeşit üretim sürecine sahiptir. Rulman üretimi için gereken hammadde büyük bir ölçüde Japonya'dan temin edilmektedir ve hammadde teslim süresi, üretilen rulmana göre değişkenlik göstermekte ve yaklaşık 5 ay sürmektedir. Gelen hammaddeler 2 ay üretim süresine sahip olmakta ve rulman üretim süreci 7 ay sürmektedir. ORS büyük bir müşteri ağına sahip olmakla birlikte, Türkiye'deki müşterilerini 5 ayrı segmentte ele almaktadır. Bu segmentler orijinal ürün üreticisi, otomotiv, elektrik motoru, beyaz eşya ve bayi kapsamında incelenmekte ve proje kapsamında bayilere satılan rulmanlar ele alınmaktadır. Bayi müşterileri anlık taleplere sahip olmakla birlikte, şirket sipariş geldiğinde talebi hızlı bir şekilde karşılayabilmek için rulmanlarını %88 oranında stoğa göre üretim sistemi ile oluşturmaktadır ve rulmanları stoktan karşılamaktadır. Müşterilerinin taleplerinin o anda stokta bulunabilir olması şirket için önemlidir ve şirket 12 aylık üretim planını buna göre yapmaktadır. ORS aynı zamanda yılın belirli zamanlarında (yılıda yaklaşık 4-5 defa) rulman fiyatlarında indirim yapmakta ve satışlar indirimin yapıldığı aylarda diğer aylara kıyasla büyük bir miktarda artmaktadır. Promosyon zamanları satış departmanı tarafından belirlenmekte ve üretim planlama departmanı promosyondan 2 hafta önce bilgilendirilmektedir. Bayi müşterilerinin verdiği anlık rulman talepleri ve promosyon faktörü talep tahminini zorlaştırmaktadır. Oluşan talep değişkenliği, bazı ürünlerin stokta fazla birikmesine ya da ürünlerin yok satmasına neden olmaktadır. ORS, talep anında söz konusu ürünün stokta olmaması durumuyla karşılaştığında promosyonu bir sonraki ay içinde geçerli kılmakta, rulmanlarını indirimli fiyat üzerinden satmaktadır. ORS talep tahminlerini, son 3-4 ayın ortalama satışlarını

bazı olarak hesaplamakta ve ona göre üretim planlarını oluşturmaktadır. Fakat bu koşullar ele alındığında ve rulman üretim sürecinin de yaklaşık 7 ay olduğu düşünüldüğünde, talep tahminlerinin yapılması ve talep tahminlerine uygun üretim planının oluşturulması zorlaşmaktadır.

3. Problem Tanımı

3.1. Belirtiler ve Şikayetler

ORS'nin yapmış olduğu promosyonlar talep değişkenliğine neden olmaktadır ve promosyonun etkili olduğu aylar ile diğer aylar arasında satış miktarları arasındaki fark fazladır. Promosyon döneminde satılan rulmanlar sezonsal özellik göstermektedir. ORS fazla talep gösteren ürünlerini talebi karşılayabilmek için envantere tutmak istemektedir fakat bu ürünlerin stokta fazla birikmesini istememektedir. Bayi müşterilerinin rulman talepleri o anda stoktan karşılanacağı için ORS envanterlerindeki rulman miktarının, gelecek talep miktarına yakın olmasını istemektedir. Fakat promosyon zamanlarının önceden bildirilmemesi dolayısıyla üretim planlama departmanı 1 ya da 4 aylık bir tedarik için promosyon zamanı olacak satışlar için yeterli olup olmadığına karar verememektedir. Bundan dolayı şirket yeni ve daha kapsamlı bir talep tahmin metoduna ihtiyaç duymaktadır. Oluşturulan talep tahmin sistemi ile hedef stok seviyeleri belirlenecek ve şirket 12 aylık üretim planını, ürünlerin gelecek aylar için talep tahminleri de göz önünde bulundurarak oluşturacaktır.

3.2. Proje Kapsamı

Şirketin, bayilerden gelen talebe karşı standartlaşmış bir talep tahmin metodolojisi yoktur; yapılan tahminler belirli bir sistem ile değil, çalışanların sezgisel tahminleri ile yapılmaktadır. Satış departmanının yaptığı promosyonların zamanları net olarak belli olmadığı için ve promosyon olan aylarda satışların, promosyonsuz aylara göre çok farklı seyretmesi taleplerin doğru tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır. Projenin amacı, ürünler için uygun talep tahmin metodları kullanarak, satış tahmin sistemi oluşturmak ve her bir ürün için emniyet stoğu belirlemektir. Şirketin üretim bilgi sisteminde değişikliğe gitmesinden dolayı, sınırlı sayıda veri ile tahmin yapılmaktadır.

4. Kaynak Taraması

Makale araştırması yapılırken talep tahmini, Holt Winters, stok yönetimi ve ABC analizi anahtar kelimeleri esas alınmıştır. Şirket, talep tahmini yaparak stok yönetimini geliştirmeyi hedeflemektedir. Dolayısıyla stok tutma maliyetini azaltmak adına talep tahmini problemleri analiz edilmiştir. ABC analizi stoktaki ürünlerin sınıflandırılması için kullanılan bir tekniktir. ABC analizi kullanılarak, ürünler önem sıralarına göre gruplandırılır. Ramanathan'ın makalesinde ağırlıklı doğrusal optimizasyon ürünlerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Ürünler sınıflandırılırken, yıllık tüketim değeri, yıllık talep miktarı ve ortalama birim fiyat göz önünde bulundurulmuştur. Ramanathan'a göre, A sınıfı ürünlerin sayısı oldukça az fakat yıllık kullanıma oranları oldukça yüksek iken, C sınıfı

ürünlerin sayısı daha fazla fakat yıllık kullanılma oranları düşüktür. (Ramanathan,2006). ORS, ürünlerinin satış miktarlarında oldukça belirleyici olan promosyonlar yapmaktadır. Ürünlerin talep miktarlarındaki çeşitlilik göz önünde bulundurulduğunda, XYZ analizi de ABC analizi için bir alternatif teşkil etmektedir. XYZ analiz ABC analizinden farklı olarak ürünlerin taleplerinin varyansına göre sınıflandırma yapmaktadır. X sınıfı en küçük varyansa sahip sınıftır ve aylık talep miktarları arasında dalgalanma neredeyse sabit olduğundan dolayı bu sınıftaki ürünlerin talep tahmininin yapılması genellikle kolay olmaktadır. Y sınıfındaki ürünlerin taleplerinin tahmin edilmesi daha zordur. Z sınıfı ürünleri en fazla varyansa sahiptir ve bu sınıftaki ürünlerin kullanımı düzenli değildir. Dolayısıyla talep tahminini öngörebilmek bir hayli güçtür. Promosyonlar talebin varyansını değiştireceği için ABC ve XYZ analizlerini birlikte kullanmak kararı verilmiştir. Croston'a göre üstel yumuşatma metodu, topaklı talep desenlerinde uygunsuz sonuçlar verebilmektedir.(Croston, 1972). Bu durum, bazı aylarda bazı ürünler için hiç talep olmaması anlamına gelmektedir. Croston metodu hiç talep görmeyen ürünlerin tahmin edilmesinde uygun sonuçlar vermektedir. Zaman serisi ayrışımı serilerin seviye, trend, sezonsallık gibi özelliklerinin incelenmesinden ileri gelmektedir. Sezonsal olmayan zaman serileri için, seriyi trend ve diğer bileşenlerine ayırarak inceleyen Loess metodunun kullanılması planlanmıştır.(Cleveland et al., 1992) Sezonsal olan zaman serileri için, trend, sezonsallık ve geri kalan bileşenlerin elde edilmesi amacıyla STL'nin kullanılması planlanmıştır. STL metodu, veri setindeki sezonsallık etkisinin giderilmesinden sonra başlar. Ardından, talep tahmini sırasındaki sorunları daha iyi görebilmek adına sezonsallık faktörünü ekler. Dolayısıyla projemizde STL metodu önemli bir yere sahiptir.

5. Sistem Tasarımı

5.1. Ürünlerin Sınıflandırılması

Ürünler arasında satış miktarları bakımından farklılığın çok fazla olmasından dolayı, projeye başlarken ürünler sınıflandırılmıştır. Ürün sınıflandırması için ilk önce ABC ve XYZ analiz yöntemleri, daha sonra ise akademik danışmanlarımızla yaptığımız görüşmeler sonucu K-ortalama kümeleme(K-means clustering) metodu kullanılıp, ürünler 4 sınıfa ayrılmıştır. Ürünler ürün değişkenliği ve yıllık gelir miktarı göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır.

5.2. Sınıflara Uygun Talep Tahmin Metodlarının Seçilmesi

Ürünler 4 sınıfa ayrıldıktan sonra, her bir sınıf için farklı talep tahmin metodları denenip, elde edilen hata oranının azlığına göre, uygun talep tahmin metodu seçilmiştir. Hata oranı hesabı için, ortalama mutlak yüzde hata(MAPE) ve kareler toplamı hatası(SSE) kullanılmıştır. Ortalama mutlak yüzde hata satış sayısı fazla olan ürünler için kullanılırken, kareler toplamı hatası satış sayısı çok düşük olan ürünler için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda,

projede, Holt-Winters, ARIMA ve Croston metotları kullanılmıştır. Holt-Winters metodu kullanılan ürünlerde, alfa, beta ve gama parametreleri her bir ürün için ayrı ayrı belirlenmiştir. C sınıfı için dağınık ürün talebi doğrultusunda Croston metodu kullanılmasına karar verilmiştir. Şirket için daha çok daha önemli olan A ve B sınıfları içinse, her bir ürün için hesaplanan ARIMA ve Holt-winters satış tahminlerini MAPE hata hesaplaması kullanılarak karşılaştırılmıştır. A ve B sınıfındaki her bir ürün için MAPE'si düşük olan (hata payı en düşük olan) metot uygun metot olarak seçilmiştir. Proje, R yazılımı ile geliştirilmiştir. Projede R yazılımının kullanılmasının nedeni talep tahmin metotlarının daha verimli kullanılabilmesi ve açık kaynak olan R yazılımının şirkete herhangi bir ek maliyetinin olmayışdır.

5.3. Kullanıcı Arayüzü Oluşturulması

Şirket çalışanlarının daha rahat kullanımı için, R yazılımının bir paket programı olan, “Shiny” kullanılmıştır. Yazılım, veriyi excel programı üzerinden girdi olarak alıp, R yazılımında işlem yaptıktan sonra, her bir sınıf için talep tahmini ve emniyet stoğu sonucunu, tekrar çıktı olarak Excel programına yazdırmaktadır. Yazılım aynı zamanda herhangi bir sorun ile karşılaşılması halinde şirketin grup üyelerine mail yoluyla ulaşılmasını da sağlamaktadır.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Proje asıl amacına hizmet ederek gelecek aylar için hata payı mümkün olduğunca az satış tahminleri gerçekleştirmektedir. Şirketle yapılan görüşmelerde de projenin şirketin gelecek satış tahminlerini belirlemede oldukça kullanışlı olacağı kanısına varılmış ve özellikle stok yönetimi konusunda birçok iyileştirme sağladığı görülmüştür. Ayrıca, programımızın elde ettiği sonuçlar doğrultusunda şirketin elde ettiği gerçekleşen satış ve tahmin edilen satış arasındaki MAPE A-B kümelerinde yaklaşık olarak %20 azaltılacağı öngörülmektedir. Şirketin gelecek aylara yönelik satış tahminlerini doğruya yakın bir ölçüde görebiliyor ve bu değerlere göre emniyet stoğu geliştirebiliyor olması stok tutma maliyetinde belirgin bir azalma sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

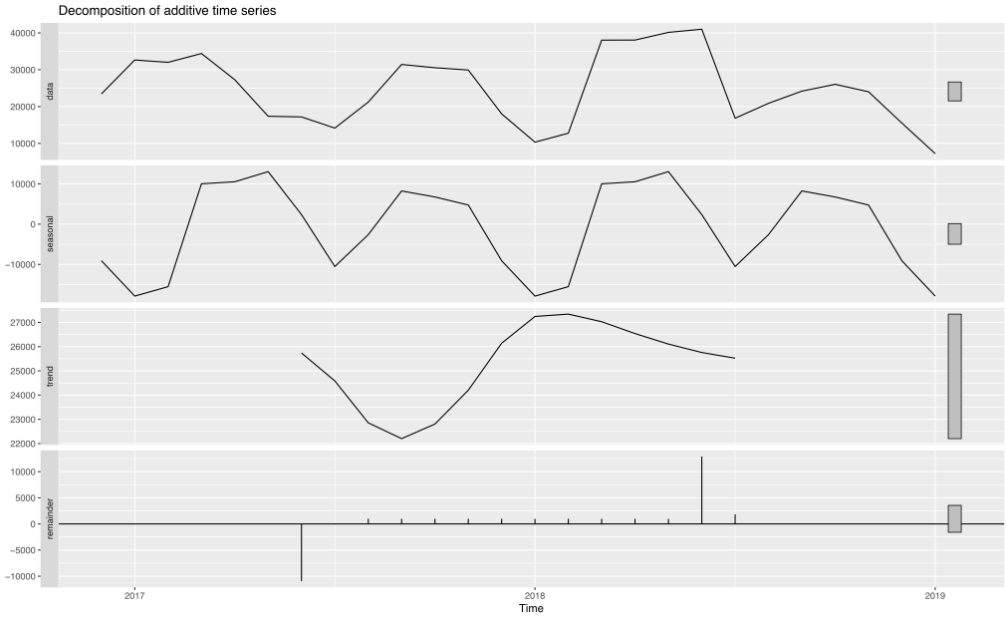
- [1]Bala, Pradip Kumar. "Improving inventory performance with clustering based demand forecasts." *Journal of Modelling in Management* 7.1 (2012): 23-37.
- [2]Croston J.D., “Forecasting and stock control for intermittent demands,” *Operational Research Quarterly*, vol. 23, no. 3, pp. 289–303, 1972.
- [3]Dekker Mark, V. D. Karen, O. Pim “How to use aggregation and combined forecasting to improve seasonal demand forecasts.” *Science Direct*, vol. 90, no. 2, 2004, pp. 151-167.

[4]Joseph A., Larrain M., Turnerc, C. (2011). Forecasting Purchasing Managers' Index with Compressed Interest Rates and Past Values. *Procedia Computer Science*, Volume 6, p.213-218.

[5]Sani, Babangida, and Brian G. Kingsman. "Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items." *Journal of the Operational Research Society* 48.7 (1997): 700-713.)

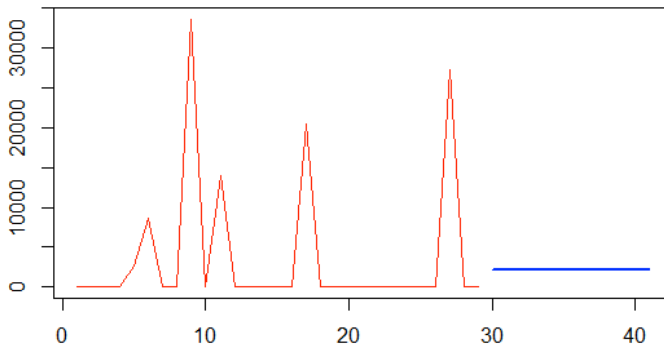
EKLER

Ek 1. P-01276 ürünü için Holt-Winters metodu sonuçları



Ek 2. P-02796 Ürünü İçin Croston Metodu Örneği

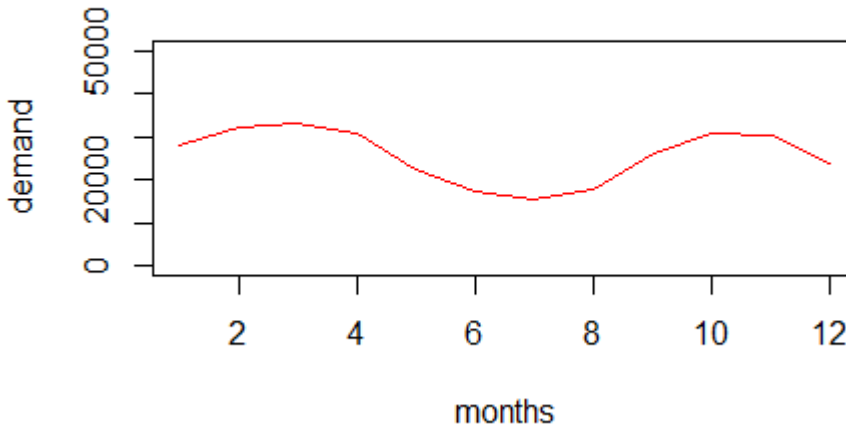
Forecasts from Croston's method



Ek 3. K-Ortalama Kümeleme Sonucu

```
> cluster_results[["centers"]]
Demand Variability Total Annual Consumpion Values
1          0.17982562                0.01154967
2          0.72781089                0.01166173
3          0.05385656                0.52320858
4          0.06595392                0.03240067
> cluster_results[["size"]]
[1] 177  8  25 718
```

Ek 4. P-01276 için ARIMA metodu sonuçları



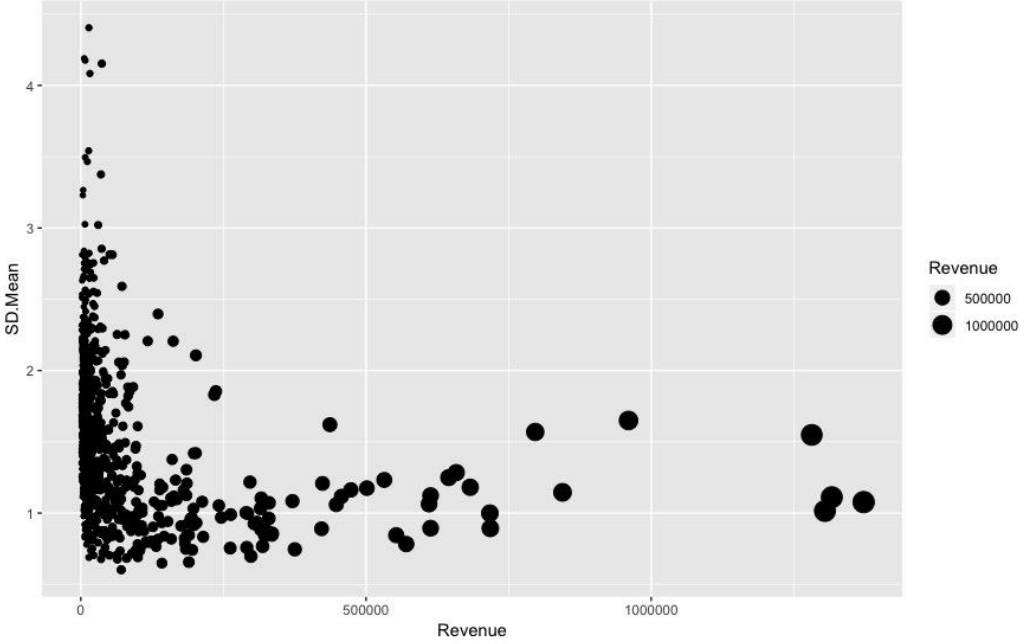
Ek 5. P-01276 için şirketin şuan kullandığı tahmin yöntemi ile oluşturulan yazılımın satış tahmini MAPE karşılaştırılması

```
> err_12["P-01276",]
[1] 22
> err_our["P-01276",]
[1] "9"
```

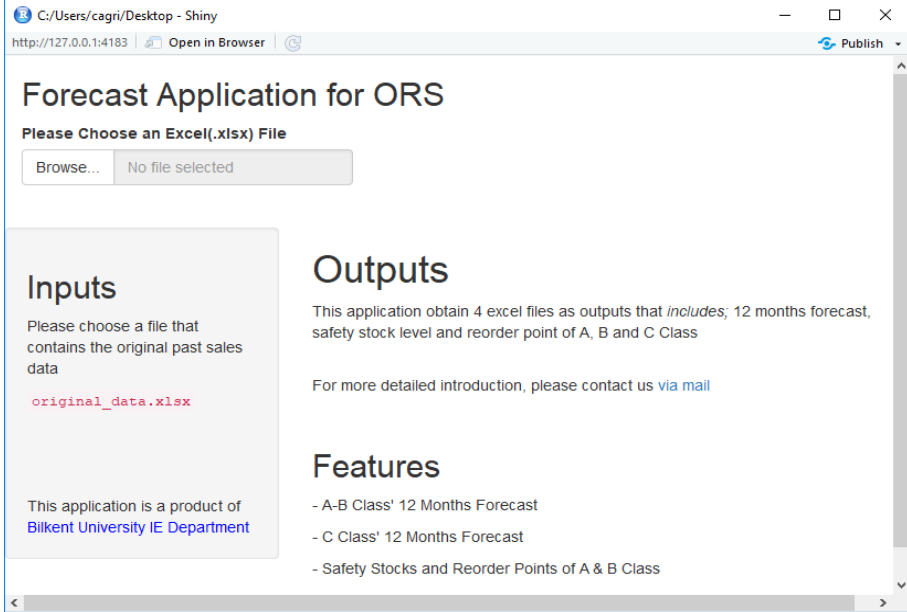
Ek 6. Ürünlerin Analizi;

X-Ekseni : Ürünlerin ortalama yıllık satış değerleri (TL)

Y-Ekseni: Ürünlerin aylık satışlarının standart sapma değerinin ortalama aylık satış değerine oranı



Ek 7. Oluşturulan yazılımın kullanıcı ara yüzü görüntüsü



Filtre Üretim Fabrikası için Makine Çizelgeleme ve Senaryo Yönetim Sistemlerinin Tasarımı

Philsa A.Ş.



Proje Ekibi

Osman Alp Arlı, Zeynep Ezgi Bal, Ege Bilaloğlu, Eda Değertekin,
Davut Berkay Dönmez, Eren Erbakan, Aslı Özhamurkar

Şirket Danışmanı

Feyza Aykır Özgenç
Teknik Parça Tedarik Müdürü

Akademik Danışman

Dr. Emre Uzun
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Philsa'nın üretim tesisinde bulunan filtre üretim fabrikası, değişen taleplere ve tesisindeki diğer fabrikaların üretim planlarında yapılan güncellemelere ayak uydurmakta zorlanmaktadır. Bu sebeple dinamik makine çizelgeleme yapan bir sisteme ihtiyaç duymaktadır. Bu sistemin sunacağı üretim planı üzerinde şirketin farklı senaryoları deneyebileceği ve bu denemeler sonucunda yeni yatırım kararları alabileceği bir senaryo yönetim sistemi de projenin ikinci çıktısı olarak belirlenmiştir. Proje sonucunda her iki sistemi de bünyesinde barındıran bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiş ve kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanarak şirkete sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: filtre fabrikası, dinamik makine çizelgeleme, senaryo yönetimi, KDS

1. Şirket Tanıtımı

Philsa, üretim faaliyetlerine 1992 yılında İzmir Torbalı'daki fabrikasında başlamıştır. Satış ve 27 ülkeye ihracat yapmaktadır. Philsa bünyesinde yarı ana mamulün işlendiği birincil fabrika, filtrelerin üretildiği filtre fabrikası ve bu iki yarı mamulün birleştirilip nihai ürüne dönüştürüldüğü ikincil fabrika olmak üzere toplam üç fabrika bulunmaktadır.

2. Mevcut Sistem Analizi

Philsa üretim tesisinde bulunan filtre fabrikasında beyaz ve/veya granüllü filtre materyali kullanılarak üç ana filtre tipi üretilmektedir. Bunlar tek filtre, yarı mamul filtre ve kombin filtrelerdir. Tek filtre tipi yalnızca beyaz filtre materyali kullanılarak üretilir ve nihai üründe kullanılmak üzere direkt olarak ikincil fabrikaya gönderilir. Yarı mamul filtre üretiminde ise beyaz ya da granüllü filtre materyali kullanılır ve sonrasında en az iki yarı mamul filtre bir araya getirilerek kombin filtre üretilir. Filtreler uzunluk, çap ve formatlarıyla birbirlerinden ayrılır. Mevcut sistemde toplamda 38 farklı filtre çeşidi üretilmektedir.

Filtre fabrikasında üretim makineleri ve kombin makineleri olmak üzere iki kategoride toplam 28 adet filtre makinesi bulunmaktadır. Üretim makineleri tek ve yarı mamul filtre üretirken kombin makineleri yarı mamul filtreleri girdi olarak alarak kombin filtre üretir. Makineler üretim hızları, üretim yetkinlikleri, dönüşüm süreleri ve diğer özelliklerine bakılarak yedi makine ailesine bölünmüştür. Her bir makine ailesinin altında eşlenik makineler bulunmaktadır. Bazı filtre tipleri birden fazla makine ailesinde üretilebilmektedir. Makinelerin üretim hızları ürettikleri filtre çeşidine göre farklılık göstermektedir. Makinelere monte edilip sökülebilen ve kit olarak adlandırılan bağımsız parçalar sayesinde makinelerin farklı tip filtre üretimleri sağlanmaktadır. Kitlerin montajı ve sökülmesi arasında geçen süre (dönüşüm süresi) filtre üretim sırasına bağlı olarak tek vardiya (8 saat) ile bir hafta (144 saat) arasında değişmektedir.

Filtre fabrikasının üretim planı 15 günlük periyotlar halinde hazırlanmaktadır. Talebin üretim kapasitesini aştığı periyotlar için, eğer mümkünse, önceki periyotlarda üretim yapılır ve depoda envanter tutulur. Filtrelerin 60 günlük bir raf ömrü vardır, bu nedenle depoda ilk giren ilk çıkar (FIFO) politikası uygulanmaktadır. Talebi karşılanamayan filtreler var ise kalan talep için ithalat kararı verilir.

3. Semptomlar ve Problem Tanımı

Bitmiş ürünlerin taleplerindeki dalgalanmalar ve birincil ve ikincil fabrikanın üretim planlarındaki değişiklikler, filtre fabrikasının üretim planının periyodik olarak güncellenmesini gerektirmektedir. Bu işlem şirkette MS Excel üzerinden elle yapılmakta ve çok uzun zaman almaktadır. Ayrıca ortaya çıkarılan üretim planının mevcut kaynakları ne kadar iyi kullandığı, kıyaslanacak bir en iyi değer olmadığından, bilinmemektedir.

Filtre fabrikasındaki makinelerin farklı üretim kapasiteleri ve yetkinlikleri olması ve filtre tipleri arası geçişlerin uzun sürmesi, makine-filtre eşleştirme kararını karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca makineler, planlanmış duraksamalar (bakım, onarım, operatör eğitimi vs.) ve beklenmeyen durumlar (makinenin bozulması) için her periyotta belirli bir süre boş kaldıklarından tam kapasiteleri kullanılarak çalıştırılmamaktadır. Bu durum; “Makinelerin kullanılabilen kapasitesi artırılsaydı üretim planı nasıl değişirdi?” gibi senaryoların test edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Talebin üretim kapasitesini aştığı durumlarda, önceki periyotlarda üretim yapıp envanter tutulması şirketin sıkça başvurduğu bir çözümdür. Fakat filtrelerin depo ile fabrika arasında taşınması ve uzun süre depolanması filtre kalitesinde düşüşe sebep olmaktadır. Buna karşın, ithalat seçeneği maliyetli olduğundan, filtre ihtiyacı olabildiğince fabrikadaki mevcut kaynaklarla karşılanmak istenmektedir.

Bütün bu semptomlar göz önünde bulundurulduğunda, filtre fabrikasındaki üretim planı hazırlama sürecinin otomatikleştirilmesi gerektiği ve farklı senaryoların analiz edilebileceği bir sisteme ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle dinamik makine çizelgeleme ve senaryo yönetimi araçlarından oluşan bir karar destek sistemi tasarlanması uygun bulunmuştur.

4. Önerilen Çözüm Yöntemleri

Problem tanımlandıktan sonra literatür araştırması yapıp çeşitli çözüm yöntemleri incelenmiştir. İlk aşamada matematiksel model oluşturulmuş ve model şirketin sağladığı 12 aylık (24 periyotluk) verinin tamamıyla çözülmeye çalışılmıştır. Bu büyüklükteki bir veri seti için modelin sonuç verme hızının yetersiz olmasından dolayı sezgisel algoritma yazma kararı alınmıştır. Sezgisel algoritma, matematiksel modele kıyasla çok daha kısa sürede doğru ve en iyiye yakın bir sonuç verdiği için model yerine algoritmanın şirkete sunulması gerektiği uygun bulunmuştur. Model ise sezgisel algoritmanın performansını ölçmek için kullanılmıştır.

4.1. Matematiksel Model

Projede filtre fabrikasında kullanılan makinelere uygun filtrelerin üretim atamaları planını hazırlamak matematiksel model aracılığıyla sağlanmıştır. Hazırlanan matematiksel model, Taha Arbaoui ve Farouk Yalaoui'nin sıraya bağlı kurulum süreleri ve iş bölme özelliği hesaba katılarak özdeş paralel makinelerin çizelgeleme problemi için oluşturdukları matematiksel model örnek alınarak tasarlanmıştır [1]. Makinelerdeki filtre atama kararlarının belirlenmesi için oluşturulan matematiksel model Ek 1'de bulunmaktadır.

Matematiksel model; makinelerin art arda farklı filtre üretimlerinin geçişi sırasında kurulum sürelerinin, ithal edilen filtrelerin, envantere filtre tutma maliyetlerinin toplamını en azlamak amacıyla tasarlanmıştır. Kısıt (1) stoktaki filtre, o periyotta üretilecek ve ithal edilecek filtre miktarlarının

toplamının en az o periyodun filtre talebi miktarı kadar olması gerektiğini gösterir. Kısıt (2) filtre üretim ve ithalat miktarlarına göre her periyot için envantere toplanan filtre miktarlarını günceller. Kısıt (3) makinelerin periyot içinde ürettikleri filtrelerin sürelerinin ve farklı filtre üretimleri arasındaki kurulum sürelerinin toplamının kullanılabilir kapasitelerini aşmamasını amaçlar. Kısıt (4) periyotlar arasındaki makinelerde gerçekleşen filtre değişimlerinin periyot sonlarında tamamlanma sürelerini inceler. Kısıt (5) makinelerde filtrelerin üretilip üretilmediği kararının filtrelerin üretim miktarlarıyla ilişkisini gösterir. Kısıt (6) makinelerin periyotlardaki tamamlanma sürelerini; makinelerin kurulum süreleri ve filtre üretim sürelerinin toplamı ile ilişkilendirerek inceler. Kısıt (7) her makinenin etkisiz filtre (gerçekte üretilmeyen fakat makinelerde üretilecek ilk filtrelerin o makinede üretileceği kararı gösteren ikili karar değişkeninin değerinin 0'dan 1'e geçişini gösterebilmek amacıyla oluşturulmuş temsili filtre) üretiminden sonra yalnızca tek bir filtre üretimine geçiş yapabileceğini gösterir. Kısıt (8) etkisiz filtrenin her makinede üretilmesi zorunluluğunu kılar. Kısıt (9) ise etkisiz filtrelerin başlangıç filtre olarak üretilmesi gerektiğini sağlar. Kısıt (10) makinelerin art arda farklı filtre üretimi için filtre geçiş karar değişkeninin geçerliliğini sağlar. Kısıt (11) makinede üretilen her bir filtrenin tamamlanma süresinin makinenin toplam üretim süresi üst sınırı ile kısıtlanır. Kısıt (12) makinelerin filtre üretim kabiliyetleri parametresini ve makinelerde filtrelerin üretim karar değişkenini ilişkilendirir. Kısıt (13) makinelerdeki filtrelerin geçiş karar değişkenini, üretimine geçilen filtrenin o makinede üretim kararının değişkeni ile bağlar. Kısıt (14,15) makinelerde üretilen ilk ve son filtrelerin kararını, makinedeki filtre geçiş kararını belirleyen karar değişkeni ile bağlar. Kısıt (16,17,18) ilk ve son üretilen filtre kararlarını birbirine bağlayarak doğrusal konuma getirir. Kısıt (19,20) filtrelerin makinelerdeki üretim önceliklerini ilişkilendirir. Kısıt (21) makinelerin etkisiz periyottaki tamamlanma sürelerini matematiksel model çalıştırılmadan önce güncel filtre atamaları ve ilk periyottaki filtre atamaları arasında gerçekleşen dönüşüm süresine eşitler. Kısıt (22,23) ikili değişkenleri gösterir. Kısıt (25,25...28) karar değişkenlerinin negatif olmaması gerektiğini sağlar. Kısıt (29) her filtrenin başlangıç periyodundaki envanter miktarlarını belirlenmiş miktarlarda kısıtlanır.

Matematiksel model "Xpress IVE" programı aracılığıyla, toplamda sekiz makine ve dokuz filtre girdileri kullanılarak çözdürülmüştür. Elde edilen en iyi sonuçlar, sezgisel algoritmanın performansını ölçmek için kullanılmıştır.

4.2. İki Aşamalı Sezgisel Algoritma

Yapılan literatür taraması sonucunda Saraç T. ve Bektur G.'nin benzer bir problemi NP-zor olmasından dolayı sezgisel metotlar kullanarak çözdüğünü saptanmıştır [2]. İzledikleri çözüm yolu; ATCS (Apparent Tardiness Cost with Setups) kuralını kullanarak işleri makinelere dağıtıp, daha sonra tabu araması

metoduyla elde ettikleri atamaları geliştirmek olmuştur. Benzer bir sezgisel yaklaşım bu proje için de uygulanıp iki aşamalı bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur.

4.2.1. Birinci Aşama: Yapıcı Algoritma

Sezgisel algoritmanın birinci aşaması MS Excel'in VBA program dili kullanılarak kodlanmıştır. Bu aşamada her bir filtre çeşidi ve makine eşleşmesi için bir öncelik katsayısı belirlenmiş ve daha sonra bu katsayılar göre filtre-makine atamaları yapılmıştır. Bu katsayı makinelerden kullanılabilir kapasitesi, verimlilik yüzdesi ve üretim hızı değeri yüksek olanlara öncelik verirken filtrelerden talebi ve üretilebildiği makine sayısı düşük olanlara öncelik vermektedir. Katsayı formülü için Ek. 2'e bakınız. Elde edilen atamalar sezgisel algoritmanın ikinci aşaması için başlangıç atamaları olarak sunulur.

4.2.1. İkinci Aşama: Geliştirici Algoritma

Sezgisel algoritmanın ikinci aşaması Java'da kodlanmıştır. Bu aşamada ikili yer değiştirme, rastgele iş ekleme ve işleri yeniden atama metodları kullanılarak mevcut üretim planı geliştirilmeye çalışılmıştır. İyileştirmeler sezgisel algoritmanın birinci aşamasında elde edilen sonuçlar üzerinden gerçekleştirilir. İkili yer değiştirme yapılırken tabu araması metodu kullanılır ve tabu listesinin kapasitesi 3 olarak belirlenmiştir. Tabu listesi gerçekleşen değişiklikleri kaydeder ve aynı değişikliklerin tekrarlanmamasını sağlar. Listenin kapasitesi dolduğunda ise en erken eklenen tabu silinir ve yenisi eklenir. Bu sayede daha önce iyileştirme vermeyen değişikliklerin, başka değişikliklerden sonra iyileştirme sağlayabileceği göz önünde bulundurularak listeden çıkarılması sağlanmıştır. Rastgele iş ekleme metodu, işler listesinden rastgele bir işin seçilmesi ve mevcut makine çizelgesine rastgele bir yere atanması ile gerçekleştirilir. İşleri yeniden atama metodu atanmış bir filtre tipini rastgele seçer ve çizelgede rastgele seçilen bir yere yeniden yerleştirir. Sezgisel algoritma bu üç metot arasından birisini rastgele seçer ve değişikliği uygular, bu işlem için toplamda 100.000 yineleme yapılır. Daha sonra elde edilen makine-filtre atamaları arasında en iyi amaç fonksiyonu değerini veren çizelge üzerinden envanter kodu çalıştırılır. Bu kod önceki periyotlardaki atamaların üzerinden geçerek boş makine kapasitelerini envanter tutmak için kullanır. Bütün bu atamalar sonrasında hala karşılanamayan talepler varsa bunlar için de ithalat kararı verir.

Model ve sezgisel algoritma, sezgisel algoritmanın en iyi sonuçtan ne kadar sapma gösterdiğini saptamak üzere modelin kısa sürede çözebileceği büyüklükteki farklı veri setleriyle çalıştırılmış ve ikisinin amaç fonksiyonu değerleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslanmanın sonuçları için Ek. 3'e bakınız.

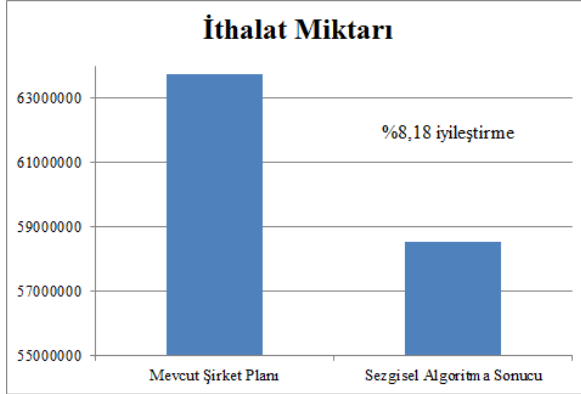
4.3. Senaryo Yönetim Sistemi

Şirketin ihtiyaçları doğrultusunda farklı senaryoların kullanıcı tarafından test edilebileceği bir senaryo yönetim sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem

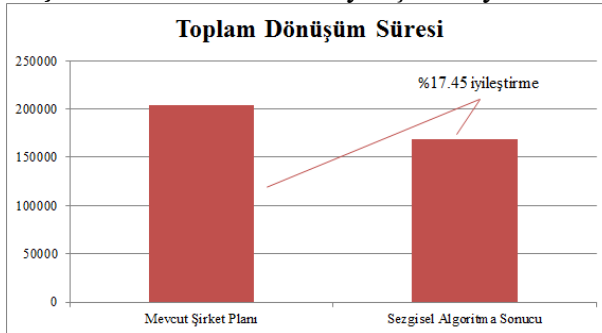
makinelerin çalışma verimliliği değiştirildiğinde ve/veya yeni bir makine eklendiğinde elde edilen makine-filtre atamalarını kullanıcıya çıktı olarak sunar. Bunu yaparken sezgisel algoritmanın girdi olarak aldığı veriler, kullanıcının yaptığı değişikliklere göre düzenlenir ve algoritma yeni veri setiyle çalıştırılır. Senaryo yönetim sisteminin kullanıcı arayüzü için Ek. 4'e bakınız.

5. Modelin Doğrulanması

Matematiksel model, geliştirilen iki aşamalı sezgisel algoritmanın performansını gözlemlemek amacıyla kullanılmıştır. Üç farklı veri setiyle çalıştırılan model ve algoritmanın sonuçları kaydedilmiş ve algoritmanın en iyi sonuçtan sapma yüzdesi hesaplanmıştır. Kıyaslamaların sonuçları için Ek. 3'e bakınız. Şirkete sunulacak olan algoritmanın geçerliliğini test etmek için model sonuçlarıyla yapılan karşılaştırmaya ek olarak 2019 yılına ait güncel talep verileri, makinelerin kullanılabilir kapasiteleri ve makine kabiliyetleri şirketten talep edilmiş ve bu verilerle algoritma çalıştırılmıştır. Daha sonra algoritmanın verdiği sonuçlar şirketin kullandığı üretim planı ile karşılaştırılmıştır. Kıyaslama sonuçları ve yüzde iyileştirme değerleri için Şekil 2. ve Şekil 3.'e bakınız.



Şekil 2. İthalat miktarı iyileştirme yüzdesi



Şekil 3. Toplam dönüşüm süresi iyileştirme süresi

6. Geliştirilen Sistemin Başarısı

6.1. Uygulama Planı

Excel'de hazırlanan yapıcı algoritmanın uygulanması kullanıcının önceden tanımlanmış talepleri sisteme girerek sırayla bir dizi butona tıklaması

aracılığıyla gerçekleştirilir. Algoritmanın VBA içeren sayfaları şirket ziyareti sırasında şirkete sunulup ara yüzün sisteme girdi sağlamak için nasıl kullanılacağı ve kullanımı nasıl gerçekleştirileceği açıklanacaktır. Bunlara ek olarak, şirketin karşılaşılabileceği olası sorular veya problemler için de izlenecek adımları açıklayan dijital formatta bir el kitabı sunulacaktır.

Java dilinde yazılan geliştirici algoritmanın uygulanmasında ilk olarak programlama dilinin temel yapısı şirket yetkililerine giriş olarak gösterilecek olup ardından geliştirilen kod kısaca açıklanacaktır. Bu adımlardan sonra, ilk dizinin başlangıç süreci gösterilecektir. Bunun sebebi tabu araması metodunun sisteme şirket yetkilileri tarafından sağlanacak bir ilk çözüm girdisine ihtiyaç duymasıdır. Son olarak algoritmanın sonuçları yorumlanacaktır. Ayrıca, parametreleri, karar değişkenlerini ve izlenecek adımları açıklayan dijital formatta bir el kitabı da karşılaşılabilecekleri başka sorular veya problemler için şirkete verilecektir.

6.2. Şirkete Sunulan Katkı ve Sonuç

Tasarlanan sistem, filtre fabrikasının üretim planında kullanılmak üzere dinamik makine çizelgeleme ve senaryo yönetim araçları geliştirmeyi amaçlamıştır. Dinamik makine çizelgeleme aracı talep dalgalanmalarına cevap verirken senaryo yönetim aracı kullanıcıların yeni bir makineye yatırım yapma veya verimlilik hedeflerini artırma gibi farklı senaryoları göz önünde bulundurur.

Dinamik makine çizelgeleme aracı, her 15 günlük periyot için (toplam 24 periyotta) üretimleri yeniden tahsis ederek makineler için en iyi esneklik (esnek kapasite) yüzdeleri sağlayarak en iyi stok seviyeleri ve ithalat miktarları belirlenecektir. Makinelerin değişen talebi, tasarım hızları (üretim kapasitesi), yeterlikleri ve kurulum sürelerini de dikkate alacağından, bu tür bir araç üretim planlama departmanına büyük fayda sağlayacaktır. Talep miktarları, stok tutma - işgücü maliyetleri ve makinelerin duraklamalar dışındaki kullanılabilir zamanları girdi olarak alınıp her periyot için makine filtre atamalarıyla birlikte envanter ve ithalat miktarlarını çıktı olarak belirlenecektir.

Senaryo yönetim aracı, kullanıcıların farklı senaryo uygulamalarının makine filtre atamaları üzerindeki etkilerini değerlendirmelerini sağlayacaktır. Şirket, senaryo yönetim aracıyla önceden belirlenmiş makine verimlilik hedeflerinin değiştirilmesinin ya da yeni bir makine eklenmesinin atama planını nasıl etkilediğini gözlemleyebilir. Senaryo yönetim aracının girdileri mevcut sisteme yeni makinelerin eklenmesi ve verimlilik hedeflerinin değiştirilmesi olacaktır. Çıktı olarak ise makine atamaları ve ithalat - envanter miktarları görülecektir. Sistem kullanıcıları üretim planları için farklı senaryolar arasında uygulanabilirliklerine bağlı olarak en iyi seçeneğe karar vereceklerdir.

Şirkete sunulacak belirtilen katkıların sonucunda, dinamik makine çizelgeleme ve senaryo yönetim aracı; uygun makine atamaları ve üretim

kararlarını içeren bir üretim planının hazırlanması için üç gün harcanan mevcut sistemdeki süreçleri otomatik hale getirerek çalışanların çok daha kısa sürede daha iyi sonuçlar elde etmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] T. Arbaoui and F. Yalaoui, "An exact approach for the identical parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times and the job splitting property," *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Bali, 2016, pp. 721-725.
- [2] G. Bektur , T. Saraç, "A mathematical model and heuristic algorithms for an unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times, machine eligibility restrictions and a common server," *Comput. Oper. Res.*, 103 (2019), pp. 46-63.

EKLER

Ek 1. Matematiksel model

Kümeler

{0..F}= Filtre Kümesi

{1..M}=Makine Kümesi

{1..T}=Periyot Kümesi

Parametreler

$a_{m,t}$: m makinesinin t periyodundaki üretim kapasitesi $m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$

$s_{i,j,m}$: m makinesinin i-j filtre geçişindeki kurulum süresi $j \in \{0..F\}, t \in \{1..T\}$

$p_{i,m}$: i filtresinin m makinesinde tasarımsal üretim hızı $i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}$

$e_{i,m}$: i filtresinin m makinesinde üretim verimliliği $i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}$

$d_{i,t}$: i filtresinin t periyodundaki talep miktarı $i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\}$

$l_{i,m}$: i filtresinin m makinesinde üretilebilmesi $i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}$

r_m : Makineler için başlangıçtaki filtre atamaları $m \in \{1..M\}$

costI: Filtre ithal etme maliyeti

costV: Envanter tutma maliyeti

costS: Makinelerdeki kurulum maliyeti

Karar Değişkenleri

$q_{i,m,t}$: i filtresinin m makinasında t periyodundaki işlem süresi
 $i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$

$c_{i,m,t}$: i filtresinin m makinasında t periyodundaki tamamlanma süresi

$i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$

$I_{i,t}$: i filtresinin t periyodundaki ithalat miktarı

$$i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\}$$

$M_{m,t}$: m makinesinin t periyodundaki kullanım süresi

$$m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$V_{i,t}$: i filtresinin t periyodundaki envanter miktarı

$$i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\}$$

$$x_{i,j,m,t}$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{m makinesinde t periyodunda j filtresi i filtresinden sonra üretiliyorsa} \\ 0, & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \quad i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$y_{i,m,t} = \begin{cases} 1, & \text{i filtresi t periyodunda m makinasına atandıysa} \\ 0, & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$w_{i,m,t}$$

$$= \begin{cases} 0, & \text{m makinesinde t periyodundaki son üretilen i filtresi ise} \\ 1, & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$u_{i,m,t} = \begin{cases} 1, & \text{m makinesinde t periyodundaki son üretilen i filtresi ise} \\ 0, & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$f_{i,j,m,t} = \begin{cases} 1, & (w_{j,m,t-1} * u_{i,m,t}) = 1 \text{ ise} \\ 0, & (w_{j,m,t-1} * u_{i,m,t}) = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

Model

$$\text{Enazla } \sum_{i,j,m,t} (x_{i,j,m,t} * s_{i,j,m} * \text{costS}) + \sum_{i,t} (I_{i,t} * \text{costI} + V_{i,t} * \text{costV}) + \sum_{m,t} (c_{0,m,t} * \text{costS})$$

$$\sum_m (q_{i,m,t} * p_{i,m} * e_{i,m}) + V_{i,t-1} + I_{i,t} \geq d_{i,t} \quad i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\} \quad (1)$$

$$V_{i,t} = V_{i,t-1} + \sum_m (q_{i,m,t} * p_{i,m} * e_{i,m}) - d_{i,t} + I_{i,t} \quad i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\} \quad (2)$$

$$\sum_i q_{i,m,t} + \sum_{i,j,i \neq j} (x_{i,j,m,t} * s_{i,j,m}) \leq a_{m,t} \quad m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (3)$$

$$c_{0,m,t} = \sum_{i,j,i \neq j} (u_{i,m,t} * s_{j,i,m} - f_{i,j,m,t} * s_{j,i,m}) \quad m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (4)$$

$$BigM * y_{i,m,t} \geq q_{i,m,t} * p_{i,m} * e_{i,m} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (5)$$

$$c_{j,m,t} + BigM * (1 - x_{i,j,m,t}) \geq c_{i,m,t} + s_{i,j,m} + q_{j,m,t} \text{ where}$$

$$i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (6)$$

$$\sum_{j,j \neq 0} (x_{0,j,m,t}) = 1 \quad j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (7)$$

$$y_{0,m,t} = 1 \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (8)$$

$$x_{i,0,m,t} = 0 \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (9)$$

$$x_{i,i,m,t} = 0 \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$(10)$$

$$M \geq c_{i,m,t} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$(11)$$

$$y_{i,m,t} \leq l_{i,m} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (12)$$

$$x_{i,j,m,t} \leq y_{i,m,t} \text{ where } i, j \neq 0, i \neq j, i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (13)$$

$$w_{i,m,t} = \sum_j (x_{i,j,m,t}) + (1 - y_{i,m,t}) \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (14)$$

$$u_{i,m,t} = x_{0,i,m,t} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\}$$

$$(15)$$

$$f_{i,j,m,t} \leq w_{j,m,t-1} \quad t \neq 1, i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (16)$$

$$f_{i,j,m,t} \leq u_{i,m,t} \quad t \neq 1, i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (17)$$

$$f_{i,j,m,t} \geq w_{j,m,t-1} + u_{i,m,t} - 1 \quad t \neq$$

$$1, i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (18)$$

$$x_{i,j,m,t} \leq \sum_k (x_{k,i,m,t}) \text{ where } i \neq 0, j \neq 0, i \neq j,$$

$$i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (19)$$

$$\sum_{i, i \neq j} (x_{i,j,m,t}) = y_{j,m,t} \quad \text{where } j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (20)$$

$$c_{0,m,1} = \sum_{j, j \neq 0} (x_{0,j,m,1} * s_{m,m}) \quad m \in \{1..M\} \quad (21)$$

$$x_{i,j,m,t} \text{ binary} \quad i \in \{0..F\}, j \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (22)$$

$$y_{i,m,t} \text{ binary} \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (23)$$

$$I_{i,t} \geq 0 \quad i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\} \quad (24)$$

$$V_{i,t} \geq 0 \quad i \in \{0..F\}, t \in \{1..T\} \quad (25)$$

$$M_{m,t} \geq 0 \quad m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (26)$$

$$q_{i,m,t} \geq 0 \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (27)$$

$$c_{i,m,t} \geq 0 \quad i \in \{0..F\}, m \in \{1..M\}, t \in \{1..T\} \quad (28)$$

$$V_{i,0} = \dots \quad i \in \{0..F\} \quad (29)$$

Ek 2. Katsayı hesaplama formülü

$$I_{i,j} = \frac{\text{kullanılabilir makine kapasitesi}_i * \text{verimlilik yüzdesi}_i * \text{üretim hızı}_i}{\text{talep}_j * \text{üretmeye yetkin makine sayısı}_j}$$

$i = \text{makine}, j = \text{filtre}$

Ek 3. Model ve sezgisel algoritma kıyaslamaları

Örnek Kıyaslama 1.

Parametreler		
3 periyot/8 makine/9 filtre		
Sezgisel Algoritma #	Obj. Değeri	Optimal'den Sapma
1	168	6,33%
2	178	12,66%
3	178	12,66%
4	168	6,33%
5	168	6,33%
Model Sonucu	158	

Örnek Kıyaslama 2.

Parametreler		
6 periyot/8 makine/9 filtre		
Sezgisel Algoritma #	Obj.Değeri	Optimal'den Sapma
1	90	0%
2	100	10%
3	90	0%
4	100	10%
5	90	0%
Model Sonucu	90	

Örnek Kıyaslama 3.

Parametreler		
6 periyot/8 makine/9 filtre		
Sezgisel Algoritma #	Obj.Değeri	Optimal'den Sapma
1	914877,6	10,80%
2	956111,9	10,58%
3	962836	10,66%
Model Sonucu	825660,3	

Ek 4. Senaryo yönetim sistemi kullanıcı arayüzü

Ortak Planlanan Malzemeler için Envanter Yönetim Sistemi Tasarımı

Roketsan Roket Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

Selen Aktaş, Emre Bağcı, Ayfer Buket Çayır, Kerem Gölcüklü,
Alara Seydim, Nilsu Uzunlar, Melis Ürgen

Şirket Danışmanları

Burçe Boğmak, Duygu Soylu,
Özgün Şahin, Saime Ceren Şar,
Orkun Temiz, Hasan Yavuz
Üretim Planlama Mühendisleri

Akademik Danışman

Doç. Dr. Fehmi Tanrısever
İşletme Bölümü

ÖZET

Bu projede şirketin projelerinde kullanılan ortak malzemeler kümeleme yöntemiyle gruplandırılmıştır. Kümelerin özelliklerine göre önerilen envanter politikalarına bağlı olarak üretim planlama mühendislerinin sipariş verirken kullanabilecekleri ortak bir sipariş platformu oluşturulmuştur. Proje sonucunda hedeflenen amaç üretim mühendislerinin siparişleri sonucunda ortaya çıkan fazla stok miktarının enaza indirgemektir.

Anahtar Kelimeler Envanter Politikası, Kümeleme, Ortak Planlama, Güvenlik Stoğu, Karar Destek Mekanizması

1. Şirket Tanımı

Roketsan Roket Sanayi ve Ticaret A.Ş., Savunma Sanayi İcra Komitesinin kararı ile Türk Silahlı Kuvvetlerinin roket ve füze ihtiyaçlarını karşılama amacıyla 1988 yılında kurulmuştur. TSKGV, İşbir Elektrik, Navitaş Elektrik, Havelsan, Vakıfbank, Aselsan ve MKE kurumları şirketin ortaklarıdır. Roketsan, kuruluşundan bu yana, füze ve roket sistemlerinin tasarlanmasından ve üretilmesinden, kullanıcı personelinin eğitiminden ve Türkiye'deki silah sistemlerinin lojistik desteğinden sorumlu en yetkili kurum haline gelmiştir.

Şirketin Elmadağ ve Lalahan ilçelerinde iki adet yerleşkesi bulunmaktadır. Şirket bünyesinde 1600 beyaz yaka ve 900 mavi yakalı çalışan barındırmaktadır.

2. Mevcut Sistem Tanımı ve Analizi

Roketsan'da mevcut sistemde teyit edilen müşteri siparişi alındıktan sonra proje üretime başlanır. Bu üretim sistemi literatürde Siparişe Göre Üretim olarak bilinir. Üretim planlama departmanı, departmanlar arasındaki koordineli çalışmayı düzenler. Üretim sistemlerindeki koordinasyon eksikliği kusurlara veya teslimatların gecikmesine neden olabileceğinden, departmanlar arasındaki koordinasyonu sağlamak önem arz etmektedir. Planlama mühendisleri, roket ve füze üretimi için gereken malzemelerin siparişini açarken bütçe, nihai ürünlerin teslim süresi gibi faktörleri dikkate alır. Bunun için de Oracle yazılımı kullanılmaktadır, iş emri için malzeme ve planlı iş emri sağlar. Bu yazılımın Gelişmiş Tedarik Zinciri Planlaması - ASCP adlı bir modüle sahiptir., Bu sistem, planlama mühendisinin belirli bir malzemenin tahmini ve öngörülen talep oranlarının analizini sağlar. Toplam 19,105 malzeme arasında, yaklaşık yüzde 30'u birden fazla projede kullanılmaktadır. Mevcut sistemde üretim planlamacılar, birbirinden bağımsız olarak sipariş talebinde bulunmaktadırlar. Bu nedenle, aynı malzeme için kendi güvenlik stoğu seviyeleri ile yeni sipariş talep edebilirler; bu, o materyal için fazla stok seviyesine yol açmaktadır.

Ayrıca, hammadde talepleri bir projenin üretim aşaması boyunca değişebilmektedir. Roketsan proje odaklı yani teslimata göre çalışmalarını sürdürdüğü için tasarım değişiklikleri ve dolayısıyla ürün ağacı değişimleri gözlenebilmektedir. Projelerde kullanılan yurt dışı kaynaklı malzemelerin tedarik sürelerinde belirsizliğe sebep olabilmekte ve teslimat tarihinde güncellemeler yaşanabilmektedir. Bunun yanı sıra, bir materyal için ASCP modülünde hesaplanan tahmini talep miktarı ile gerçekleşen talep arasındaki farklar ve bir projenin üretiminde kullanılan malzemelerin ne kadar kullanıldığının ürün ağacına yanlış girilmesi fazla siparişe sebep olmaktadır.

Bu da, bazı durumlarda talep belirsizliklerine sebep olmaktadır. Ek olarak, bazı tedarikçiler minimum sipariş miktarına göre sipariş almaktadırlar. Bu malzemeye ihtiyacı olan mühendis, belirtilen minimum sipariş miktarı kadar talep açmak zorundadır. Mühendisler ortak kullanılan malzemeler için açılmış

her siparişi bilmediklerinden, toplam ihtiyaç minimum sipariş miktarını aşmasa bile her sipariş için bu miktar kadar sipariş vermektedirler.

3. Problem Tanımı

Roketsan Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş. proje bazlı çalışan bir savunma sanayii şirkettir. Bu projelere gerekli olan materyaller için, Roketsan Üretim Planlama Departmanında kullanılan mevcut sipariş sisteminde, bazı projeler arası ortak kullanılan materyallerin, ortak planlama platformu bulunmamaktadır. Bu mevcut sistemde, üretim planlama mühendisleri farklı projeler için ortak olan bir kalem siparişi talep etmelerine rağmen farklı ve kendi deneyimleri doğrultusunda ayrı ihtiyaç belirlemektedirler. Bu problem de gereğinden fazla sipariş miktarı ve stokta sebepsiz bir artışa sebep olmaktadır.

Yukarıda belirtilen sebeplerin yanı sıra, planlama mühendisleri siparişin belirli bir sürede stokta olacağını planlamaktadırlar. Ancak bazı durumlarda Ek 1'de görüldüğü gibi planlanan alınan tarih ile gerçek alınan tarihler arasında zaman farkları ortaya çıkar. Bu, malzemeler için stok seviyesinin yükselmesine neden olur. Bu tip teslim tarihi belirsiz olan veya geç ulaşan materyaller için emniyet stoğu planlamasının ayrıca uygulanması gerekmektedir.

Şirketin bu bahsi geçen sebeplerden dolayı birden fazla projede kullanılacak olan materyaller için bir ortak sipariş platformu, siparişi açılan materyalin teslimat tarihinin ve miktarının bilgisini verecek bir karar destek mekanizmasına ihtiyacı vardır.

4. Literatür Taraması

Projenin ilk aşaması olarak belirlenen kümeleme çalışması için ilgili bazı makaleler incelenmiştir. (Kane, 2012) Araştırmalar ve uygulamalar sonucunda literatürdeki k-ortalamlar metodu kümeleme aşaması için uygun bulunmuştur. Chormunge ve Jena (2018) makalesi göz önüne alınarak Pearson Korelasyon Katsayısı yönteminin kümeleme çalışmasındaki malzeme özellikleri belirlemek üzere kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntem kümeleme aşamasında kullanılacak olan özelliklerin birbirleri arasında bir ilişkisi olup olmadığını kanıtlamaktadır. Böylece ortaklama çalışmasındaki en uygun malzeme özellik sayısının elde edilmesi amaçlanmıştır. Projenin kalan aşamasındaki amaç ortak planlanan malzemelerin talep türlerine göre envanter politikalarının tespit edilmesidir. Yapılan literatür taraması baz alınarak, olasılıksal talep türüne sahip olan malzemeler için Graves (1997) makalesindeki hareketli ve hareketsiz talepler için güvenlik stoğu hesaplama formüllerinden yararlanılmıştır. Olasılıksal ve deterministik talep türüne sahip olan malzemeler için oluşturulan envanter politikası algoritmalarında Chopra (2007) aşamalarından destek alınmıştır.

5. İzlenen Yöntem ve Uygulamaları

Şirkete en uygun malzeme kümeleri önerisinde bulunabilmek için malzemeler tedarik süresi, patlayıcılık, birim maliyet, raf ömrü, malzemelerin

kaç projede ortak olarak kullanıldığı, emniyet stoğu ve kullanım oranı özelliklerinin verileri kullanılarak R programlama dilinde dirsek metodu desteğiyle K-ortalamlar metodu gerçekleştirilmiştir. Oluşan küme sayısı ve kümelerin özellikleri Ek 2’de bulunmaktadır. Şirkete daha önce talebi açılmamış yeni malzemeler gelmesi durumunda, sistem mevcut ortak kullanılan toplam malzeme sayısını, yeni eklenen malzeme sayısına oranlamaktadır ve bu oranın %10’unu aşması durumunda, otomatik olarak kümeleme işlemi tekrarlanacaktır.

Elde edilen sonuç doğrultusunda kümeler bazında envanter politikaları geliştirilmiştir. Geçmiş verinin tahmini talebi ve gerçek talebi karşılaştırılarak yapılan veri analizine dayanarak malzemelerin talep türleri belirlenmiştir. Talep türleri belirleme doğrultusunda kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$\text{Değişkenlik Katsayısı} = \frac{\text{Talebin periyot başına varyansı}}{\text{Periyot başına düşen ortalama talebin karesi}} - 1$$

$$DK = \frac{N * \sum D(j)^2}{(\sum D(j))^2} - 1$$

Değişkenlik katsayısı formülüne göre eğer bir malzemenin değişkenlik katsayısı 0.2’den büyükse o malzeme değişken talebe sahiptir. Eğer bu değer 0.2’den küçükse malzemenin talebi sabit kabul edilir. Yapılan veri analizi sonucu bulunan 2019 gerçek taleplere göre malzemenin hareketli veya hareketsiz talep türüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda 2019 yılı için eski veriler göz önünde bulundurularak gerçek talepten sapmalar tespit edilmiş ve bu sapmalar malzemenin deterministik veya olasılıksal talep türünü belirlemede kullanılmıştır. Malzeme talep türü tespiti ardından olasılıksal talep türüne sahip malzemeler için periyodik kontrol mekanizması önerilmiştir. Her malzeme için ayrı belirlenen periyotlar sonucunda toplam açılacak sipariş miktarı aşağıda verilmiştir.

Toplam Sipariş Miktarı

$$= T \text{ süre içinde toplanan kümülatif sipariş} + \text{emniyet stoğu} \\ - T \text{ süre sonundaki stok seviyesi}$$

Hem hareketli ve olasılıksal talep türüne sahip malzemeler hem de hareketsiz ve olasılıksal talep türüne sahip malzemeler için güvenlik stokları yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen formüller doğrultusunda güncellenmiştir. Bu formüller Ek 3’te yer almaktadır. Bu formüller periyodik kontrol aralığı 30 gün (1 ay) olarak kabul edildiği için ay bazına dönüştürülmüştür. Bu formüller doğrultusunda hesaplanan emniyet stokları belirlendikten sonra olasılıksal talep türüne sahip malzemeler için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma 5.1.2’de yer almaktadır.

Malzeme talep türü deterministik olan malzemeler için ekonomik sipariş miktarı değerleri(EOQ) belirlenmiştir. Bulunan ekonomik sipariş miktarı değerleri doğrultusunda siparişlerin hangi sıklıkta istenmesi gerektiği periyodik sipariş miktarı (POQ) olarak bulunmuştur. Literatürde bir zaman kavramı olarak geçen periyodik sipariş miktarı gün bazında aşağıdaki formül doğrultusunda bulunmuştur.

$$\text{Periyodik sipariş miktarı} = \frac{12}{\frac{\text{Aylık talep}}{\text{Ekonomik sipariş miktarı}}} * 30$$

Deterministik talebe sahip malzemelerin ekonomik ve periyodik sipariş miktarları bulunduktan sonra bu malzemeler için de algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma 5.1.1’de yer almaktadır.

5.1 Algoritmalar

Aşağıda raf ömrü kısıtlaması baz alınarak olasılıksal ve deterministik talep türlerine göre yazılan algoritmalar yer almaktadır.

5.1.1 Deterministik Talep Türüne Sahip Malzemeler

Adım 1. Girilen sipariş miktarı için malzeme stoğunu kontrol et. Eğer sipariş stoktan sağlanabiliyorsa Adım 5’e ilerle. Sağlanamıyorsa Adım 2’ye git.

Adım 2. Malzemenin periyodik sipariş miktarını göz önünde bulundurarak eğer periyodik sipariş miktarı tedarik süresinden küçükse tedarik süresini periyodik sipariş miktarı olarak belirle. (Malzemenin gereksinim tarihi – Siparişin arayüze girilme tarihi) belirlenen periyodik sipariş miktarından (POQ) kısa ise İstisna Raporu paylaş. Eğer bu değer periyodik sipariş miktarından (POQ) büyükse Adım 3’e ilerle.

Adım 3. Sipariş miktarı enazlanmış sipariş miktarı eşik değerini geçiyorsa Adım 4’e git. Geçmiyorsa Adım 2’ye dön.

Adım 4. Kullanıcıya sipariş miktarı kadar sipariş açma komutunu siparişin açılması gereken zamanla (POQ-Tedarik süresi) birlikte ver.

Adım 5. Stok seviyesini güncelleme mesajını ve stoğun güncellenmesi gereken tarihi kullanıcıyla paylaş.

5.1.2 Olasılıksal Talebe Sahip Malzemeler

Adım 1. Girilen sipariş miktarı için malzeme stoğunu kontrol et. Eğer sipariş stoktan sağlanabiliyorsa Adım 5’e ilerle. Sağlanamıyorsa Adım 2’ye git.

Adım 2. (Malzemenin gereksinim tarihi – Siparişin arayüze girilme tarihi) belirlenen periyottan (T) kısa ise İstisna Raporu paylaş. Eğer süre belirlenen periyot değerinden (T) uzun ise Adım 3’e ilerle.

Adım 3. Belirlenen periyot (T) içinde açılan siparişleri topla. Emniyet stoğunu ekle. Eğer belirlenen periyot süresi (T) tedarik süresinden büyükse kullanıcıyla İstisna Raporu paylaş. Eğer tedarik süresinden kısa ise Adım 4’e ilerle.

Adım 4. Enazlanmış sipariş miktarı (MOQ) eşik değerini geçiyorsa Adım 4'te hesaplanan miktar kadar sipariş açma komutunu kullanıcıyla paylaş. Eğer eşik değerini geçmiyorsa Adım 6'ya ilerle.

Adım 6. Enazlanmış sipariş miktarı (MOQ) kadar sipariş açma komutunu kullanıcıyla paylaş.

Adım 7. Stok seviyesi güncelleme mesajını ve stoğun güncellenmesi gereken tarihi kullanıcıyla paylaş.

5.2 Kullanıcı Arayüzü

Roketsan'ın yararlanabileceği bir biçime dönüştürmek amacıyla oluşturulan algoritma kullanıcı dostu bir arayüz ile desteklenmiştir. Kullanıcı arayüzünün çalışma prensibi aşağıda belirtildiği gibidir.

Microsoft Excel açıldıktan sonra sistem kullanıcıdan girdi olarak malzemenin stok numarası, sipariş miktarı, gereksinim tarihi ve birimi istenmektedir. Girdiler sisteme girildikten sonra Sorgula butonuna basılır. Malzemenin stok seviyesine göre yeterli malzemenin stokta bulunduğu, stokta yeterli malzeme miktarı bulunmuyorsa malzemenin üretim planını aksatmadan hangi tarihte ve hangi miktarda istenmesi gerektiği bilgisini verir. Sistem siparişi açılacak malzemelerin tedarik sürelerini ve enazlanmış sipariş miktarlarını kontrol edip, bu kriterleri sağlamayan malzemeler için kullanıcıyla İstisna raporu paylaşır. İstisna rapor örnekleri Ek 4'te verilmiştir. Bu kriterleri geçen malzemeler için sistem sipariş planını belirtir. Oluşturulan kullanıcı arayüzünün amacı planlama mühendislerinin açtıkları siparişlerin kısıtlar göz önüne alınarak ortak bir şekilde planlanmasına yardımcı olmaktır. Örnek arayüz tasarımları Ek 5'te yer almaktadır.

6. Uygulama Planı

Projenin uygulamaya konması ilk olarak şirketin isteği doğrultusunda ortak kullanılan malzemelerin belirlenmesi ile başlayıp bu malzemelere yönelik ortak sipariş mekanizması ara yüz modelimizin şirket sistemine entegre edilmesiyle gerçekleşecektir. Bu aşamada sunulan Excel-VBA ara yüzü, materyallerin nasıl ve ne şekilde sisteme entegre edileceğini göstermek ve ortak sipariş planlamasında şirkete kullanım kolaylığı sağlaması için tasarlanmıştır.

Ortak sipariş platformu, siparişi açılan materyalin planlanan teslim tarihi bilgisini ve gelecek sipariş miktarını verecek bir karar destek mekanizmasına sahiptir. Bu sayede, üretim mühendisleri sipariş verecekleri materyalin teslimat tarihi bilgisine farklı bir platforma gerek duymadan ortak sipariş açtıkları platformundan ulaşabilecek ve aynı zamanda gelecek sipariş miktarını gözlemleyebileceklerdir. Dolayısıyla geliştirilen bu karar destek sistemi, projeler arası ortak kullanılan kalemlerin sipariş bilgisini paylaşan kullanıcı dostu bir sistemdir.

Firmaya sağlanan karar destek mekanizmasının her planlanan dönem (1 yıl) sonunda verilerinin güncellenmesi önerilmiştir. Önerilen karar destek

mekanizmasının uygulanması sonucunda tahmini talep ve gerçek talep arasındaki sapmanın azalması ve bunun sonucunda gereksiz açılan siparişlerin azaltılması beklenmektedir.

7. Proje Sonuçları

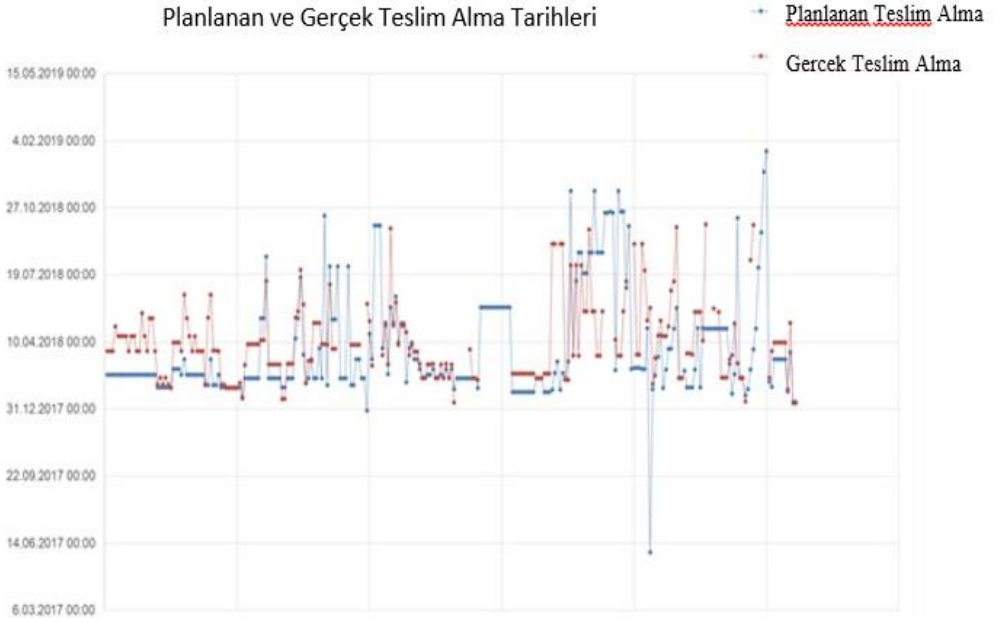
Projenin sonuç analizi firmanın kullandığı mevcut sistem sonucu elde edilen 2018 yıl sonu stokları ile önerilen sistemin kullanımı sonucu elde edilen 2018 yıl sonu stokları karşılaştırılarak yapılmıştır. Karşılaştırma mevcut sistem ve önerilen sistem için 2018 yılında gerçekleşen teslim alma tarihleri ve malzemelerin kullanım tarihleri kullanılarak yapılmıştır. Yıl sonu stok karşılaştırmaları Küme 1 için yapılmıştır. Elde edilen karşılaştırma verilerine göre Küme 1’de bulunan malzemelerin 2018 yıl sonu stoklarında %3,099275’lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Aynı zamanda önerilen sistem sonucu Küme 1’de bulunan malzemelerin fazladan sipariş seviyesi azaltılmıştır. Bu azalma, olasılıksal talebe sahip örnek kalem üzerinden karşılaştırma yapılarak gösterilmiştir. Bu örnek kalem için yapılan karşılaştırma sonucu elde edilen veriler Ek 6’da gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- Chormunge, Smita. “Correlation based feature selection with clustering for high dimensional data”
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314717218300059 (2012)
- Graves, Stephen C. “A Single-Item Inventory Model for a Non-Stationary Demand”
dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/2645/SWP-3944-36987303.pdf?sequence=1. (1997).
- Kane, Abhijit. “Determining The Number of Clusters for a K-Means.”
Department of Computer Science Birla Institute of Technology and Science (2012).
- Chopra, Sunil, and Peter Meindl. “Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation” . *Pearson* (2016).

EKLER

EK 1.



EK 2.

Küme	Birim Maliyet (Normalize)	Patlayıcılık	Kaç Projede Kullanıldığı	Tedarik Süresi (Gün)	Emniyet Stoğu (%)	Kullanım (Normalize)
1	0.014012	0	5,85	62,98326	5,915789	0.012876
2	0.028033	1	5,54	117,0044	2,666667	0.029789
3	0.048584	0	2,93	217,6646	0,710526	0.000303
4	0.006229	0	3,80	56,84922	0,208065	0.003485

EK 3.

Hareketli ve Olasılıksal Emniyet Stoğu:

$$\text{Emniyet Stoğu} = Z\sigma_D \sqrt{\frac{L+T}{30} \sqrt{1 + \alpha \left(\frac{L+T}{30}\right) + \frac{\alpha^2 (L+T)^2}{900}}}$$

σ_D : Talebin standart sapması (ay)

L : Tedarik süresi (gün)

T : Periyot süresi (gün)

Z : Servis seviyesi

$$\alpha = 0.1 + (0.9(1 - e^{-(k-1)}))$$

Hareketsiz ve Olasılıksal Emniyet Stoğu:

$$\text{Emniyet Stoğu} = \sigma_D Z \sqrt{\frac{L+T}{30}}$$

σ_D : Talebin standart sapması (ay)

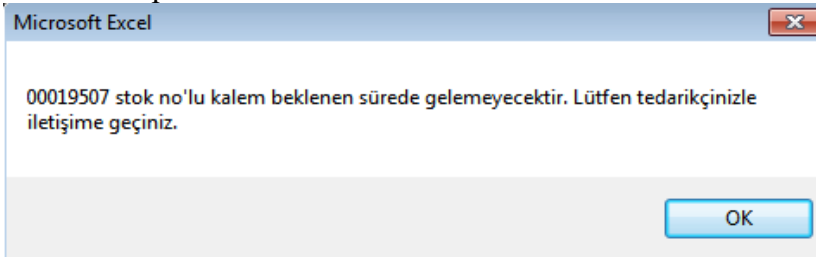
L : Tedarik süresi (gün)

T : Periyot süresi (gün)

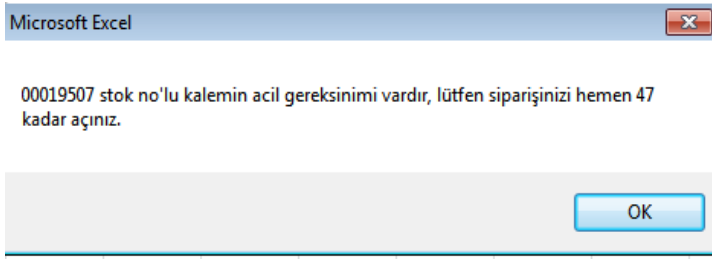
Z : Servis seviyesi

EK 4.

Malzemenin tedarik süresinin belirlenen periyottan büyük olması durumunda sağlanan İstisna Raporu



Açılan siparişin aciliyet durumu üzerine verilen İstisna Raporu



EK 5.

Kullanıcı Arayüzü Giriş Sayfası

roketsan

Stok Numarası

Sipariş Miktarı

Birim

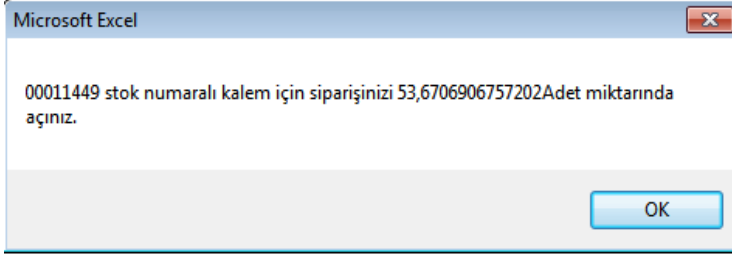
Gereksinim Tarihi (Gün)

Gereksinim Tarihi (Ay)

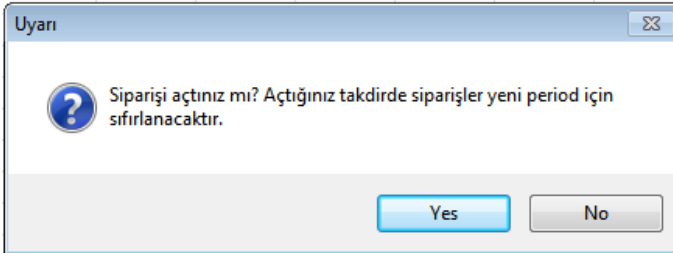
Gereksinim Tarihi (Yıl)

Kapat Sorgula

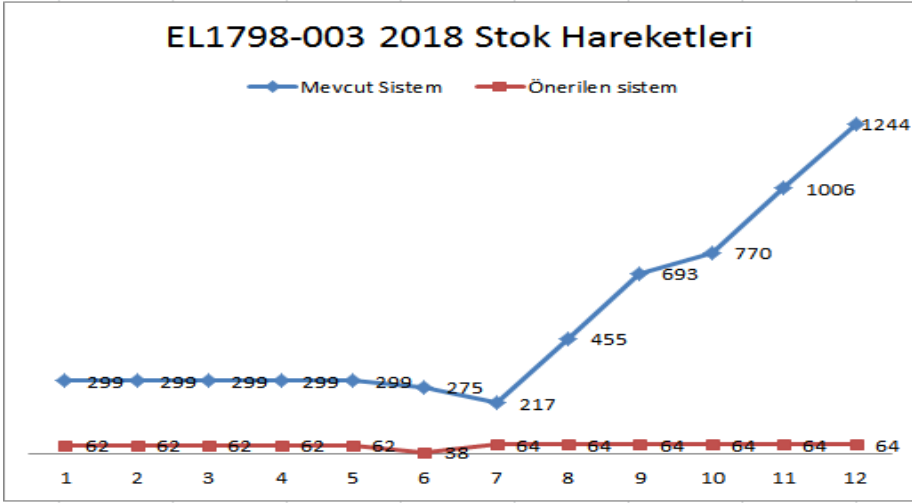
Belirlenen T periyot sonunda arayüzün verdiği sipariş mesajı



Belirlenen T periyot sonunda siparişlerin sıfırlanma onayı mesajı



EK 6.



Vardiya Atamaları için Karar Destek Sistemi Tasarımı ve İşgücü Eniyilemesi

Tepe Betopan A.Ş.



Proje Ekibi

Bedirhan Candan, Mevlüde Elif Duman, Gamze Nur Kahraman,
Bora Korkut, Cemile Ece Kurnaz, Tuğçe Tanatar, Nihansu Zengin

Şirket Danışmanı

Özge Altinyollar
Üretim Yöneticisi

Akademik Danışman

Dr. Ishwar Krishna Murthy
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede, Tepe Betopan şirketinin vardiya atamaları yapılırken işçilerin performansını eniyilemek ve maliyeti en aza indirmek hedeflenmektedir. Çalışanların vardiya atamalarını yapan, kolayca kullanılabilen ve kendi sistemlerine entegre edebilecekleri bir arayüz oluşturulmuştur. Projede şirketin istekleri ve ihtiyaçları göz önüne alınarak farklı durumlarda optimal sonuçları verecek modeller geliştirilmiştir. Proje sonucunda, şirkete hangi departmanda ne kadar işçi çalışacağını değiştirebilme ve gelen sipariş değişimine göre farklı model seçebilme imkânı sunan, maliyet ve parametreler göz önünde bulundurularak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: vardiya planlama, karar destek sistemi, maliyet enazlama

1. Şirket Tanımı

Tepe Betopan A.Ş. bir Bilkent Holding şirketi olarak 1984 yılında Ankara Beytepe'de fabrikasını kurdu. Şu anda Tepe Betopan çimentolu yonga levha, elyaf çimento levha, boya, ısı yalıtım sıvası ve aksesuar üreten bir imalat şirketidir. Tepe Betopan'ın ürünleri hem halka açık hem de özel projelerde kullanılmaktadır. Şirket, aylık yaklaşık 4000 m³ üretim kapasitesine sahip olup ve müşterilerine hizmet vermek adına genellikle sipariş üzerine üretim sistemini kullanır, ancak bazı müşterilere özel stok yapma işlemi sezonluk olarak da kullanılabilir.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Proje Kapsamı

Tepe Betopan'da, personel sayısının yetersizliği nedeniyle, iş gücü öngörülen üretim kapasitesi için yeterli değildir. Bu sorun nedeniyle, bu projede hem mevcut çalışan sayısı ile hem de işe alınan yeni çalışan sayısının sisteme eklenmesiyle verimli vardiya ataması oluşturmak amaçlanmış olup projenin araştırma alanı vardiya atamasında işgücü planlaması olarak belirlenmiştir.

2.2. Mevcut Sistemin Tanımı ve Analizi

Tepe Betopan'da personel 08:00-16:00, 16:00-00:00 ve 00:00-08.00 olarak 3 vardiyada çalışmakta ve 24 saat üretim yapılmaktadır. İşçiler haftanın başında bir vardiyaya atanmakta ve vardiyalarının düzenlenmesi haftalık olarak yapılmaktadır. Düzenli bir vardiyada, çalışanların günlük 8 saat çalışması beklenmektedir ancak çalışanlar sağlık sebepleri ve özel izinler gibi nedenlerden dolayı zaman zaman kendilerine atanmış vardiyalara gelememektedirler. Bu durumlarda, bir önceki vardiyanın çalışanı kendi vardiyası sona erdikten sonra, bir sonraki vardiyaya devam etmekte ya da benzer şekilde, bir sonraki vardiya çalışanının vardiyası daha erken başlatılmaktadır. Her iki durumda da ek mesai yapmak zorunda kalınmaktadır. Örneğin, 16:00-00:00 vardiyasına atanan bir işçi o gün çalışmazsa, 08:00-16:00 veya 00:00-08.00 vardiyasına atanmış bir çalışan onun yerine mesai çalışmak durumundadır.

2.3. Bugünkü Durum Analizleri ve Belirtiler

Fabrikadaki eksik işçi sayısından dolayı, işçiler bazı durumlarda yetersiz işgücünü tamamlamak için ek mesai yapmaktadırlar. Uzayan çalışma saatleri, işçilerin haftanın 7 günü çalışması ve yapılan işin kas gücü gerektirmesi çalışanların performansını doğrudan olumsuz olarak etkilemektedir. Ayrıca işçiler, 7 gün çalıştıklarından dolayı izin yapamadıkları için tüm performansları ile çalışacak kadar dinlenememektedirler. Bu durum aynı zamanda motivasyon düşüklüğüne sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra, ek mesai yapan işçilerin iş kazalarına karışmalarının daha olası olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, üretim sürecini yavaşlatan veya durduran problemlere de neden olmaktadır. Şirketin bakış açısına göre, fazla mesailer şirketi finansal olarak da etkilemektedir; çünkü şirket ek mesai yapan işçilere saatlik ek mesai ücreti ödemek

yükümlülüğündedir ve bu mesainin toplam maliyeti, standart vardiya maliyetinden önemli ölçüde yüksektir. Tüm bunlara ek olarak, uzun mesai saatleri, işçilerin performansını düşürdüğü gibi üretim verimliliğini de olumsuz yönde etkilemekte ve arıza giderme sürelerini de uzatmaktadır. Bu durum şirket tarafından sağlanan Temmuz 2018 ve Mart 2019 için işçilerin fire oranlarının kıyaslanmasıyla doğrulanabilir. Mart 2019'da işçi sayısı 78 ve üretim fire yüzdesi %4.0 iken Temmuz 2018'de işçi sayısı 74 ve üretim fire yüzdesi %4.4'tür. Bu iki ay kıyaslandığında üretim verimliliği işçi sayısındaki artışa paralel olarak %9 artış göstermektedir.

3. Problem Tanımı ve İlgili Literatür

3.1. Problem Tanımı

Bugünkü durum analizi ve belirtiler göz önüne alındığında, belirtilen sebeplerden dolayı fazla mesai yapılmaktadır ve buna bağlı olarak sistemdeki problem, işçilerin fazla mesai yapmasının iş kazalarına, motivasyon düşüklüğüne ve verimsizliğe sebebiyet vermesi olarak belirlenmiştir. İş gücü atamaları ve vardiyaları uygun şekilde atanmadığından sistemde verimsizliğe ve şirket açısından yüksek maliyete neden olmaktadır. Bu nedenle, daha sistematik bir iş gücü atama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2. Literatür Araştırması

Vardiya atamaları alanındaki araştırmalar incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Araştırmalarımızın temelinde vardiya atamaları ve işgücü optimizasyonu bulunmaktadır. Dönen Vardiya [1], İşçilerin Kategorize Edilmesi [2], Vardiya Düzeninde Esneklik [1] ve benzer metodlarını temel alarak, vardiya ataması ve işgücü eniyilemesini sağlayacak modeller geliştirilmiştir.

4. Önerilen Sistem

4.1. Matematiksel Model

Projede modeller MS Excel üzerinden oluşturulmuş; uygulama aşamasında OpenSolver eklentisi kullanılmıştır. Çalışanlar departmanlardaki pozisyonlarına göre vasıflı ve vasıfsız olarak ikiye ayrılmış ve modeller departmanlardaki çalışan gerekliliklerine göre oluşturulmuştur. Geliştirilen modeller arasından takım bazlı vardiya ataması ve ek servis eklenmiş takım bazlı vardiya ataması yapan modeller şirketin ihtiyaçları doğrultusunda seçilmiş ve bu modeller üzerinden geliştirmeler yapılmıştır. Takım bazlı vardiya atamasında her vardiya için ayrı takımlar oluşturulup atamalar yapılmıştır. Bu modelde vasıfsız işçilerin departman değiştirebilmesine olanak verilmiştir. Böylelikle, takımlı vardiya atamasına esneklik kazandırılmıştır. Ek servis eklenmiş takım bazlı vardiya atamasında çalışanların ek mesai saatlerinin azaltılması hedeflenmiştir ancak çalışanların kullandığı servisler sadece vardiya bitişlerinde faaliyet gösterdiği için bu modelde çalışanlara ek mesai konulmamış ve vardiyaların işleyebilmesi için ekstra çalışan ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu

sebepten dolayı modeller, eğer ihtiyaç duyulursa personel alımına izin verecek şekilde tasarlanmış, amaç fonksiyonuna mevcut çalışanların maliyetleriyle birlikte işe alınacak olan personelin maliyeti de eklenmiştir. Buna ek olarak çalışanlara en az 1 gün izin verilmesi hedeflenmiştir. Modellerde, departman gereklilikleri sağlanarak çalışan kadrosuna en az sayıda personel alımıyla vardiya ataması yapılmıştır. Ek servis eklenmiş takım bazlı vardiya atamasında çalışan alımına izin verilirken ek mesai saatleri 3 saatle sınırlandırılmıştır. Bu modelde her departman için işçi alımının mı yoksa ek mesai yapılmasının mı maliyet olarak daha az olduğu değerlendirilmiştir. Böylelikle ek mesai ve işe alım maliyetlerinin dengelenerek toplam maliyetin enazlandığı vardiya ataması oluşturulmuştur. Bu ek mesai saatleriyle oluşturulan sistemin faaliyet gösterebilmesi için hâlihazırda şirket tarafından sağlanan ulaşım araçlarına ek olarak yeni ulaşım araçları maliyetleriyle birlikte modellere eklenmiştir. Bu model ile birlikte şirketin kolaylıkla uygulayabileceği ve düzenli vardiya değişimlerinin olduğu bir sistem oluşturulmuştur. Takım bazlı vardiya ataması ve ek servis eklenmiş takım bazlı vardiya ataması yapan bu modeller Ek 1 ve Ek 2’de bulunmaktadır.

5. İzlenen Yöntem ve Modelin Çalıştırılması

5.1. Önerilen Sistemin Doğrulanması

Geliştirilen modeller, Kasım ve Mart ayına ait güncel çalışan sayıları ve maliyetleri, ulaşım maliyetleri, yasal sınırlamalar ile denenmiştir. Denemeler sonucunda, modellerin güncel verilerle de kullanılabilir olduğu doğrulanmıştır. Güncel sistem ve önerilen sistem sonuçlarına dair inceleme Ek 3’te bulunmaktadır.

5.2. Duyarlılık ve Senaryo Analizi

Mevcut ve yeni işe alınan çalışanların toplam maliyeti ve toplam ek mesai süresi temel performans göstergeleri olarak belirlenmiştir. Modellerde vasıflı ve vasıfsız olmak üzere mevcut çalışan sayıları her departman için 1-3 arasında ayrı ayrı artırılıp etkileri gözlemlenmiştir. Bu değişiklikler çalışan sayısı eksik olan departmanlarda yapıldığında işçi alımı maliyeti azalmış, çalışanların ortalama izin günü artmış, ayrıca ek mesaiye izin verilen modellerde ek mesai saatlerinde ve buna bağlı oluşan ek mesai maliyetlerinde azalma gözlemlenmiştir. Güncel çalışan sayısı yeterli olan departmanlarda ise çalışan sayısının artması yeni işçi alımı maliyetini etkilememiş, fakat çalışanların ortalama izin günü artmış ve ek mesaiye izin verilen modellerde ek mesai saatleri ve buna bağlı oluşan ek mesai maliyetleri azalmıştır.

6. Geliştirilen Sistemin Başarısı

6.1. Projenin Şirkete Katkıları

Mevcut sistemdeki vardiya atamaları ve uzun mesai saatleri işçilerin dinlenmelerine engel olmaktadır. Mesai saatlerinin kısıtlandırılması, çalışanlara en az 1 gün izin verilmesi ve atamaların eniyilenmesi bu problemleri ortadan

kaldırmıştır. Takım bazlı vardiya atamasında ek mesai saatleri sıfırlanmıştır. Ek servis eklenmiş takım bazlı vardiya ataması yapan modelde ise ek mesai saatleri %33 azaltılmıştır. Aynı zamanda modellerde çalışanlara en az bir gün izin verilmiştir. Bu geliştirmeler, çalışan kadrosunun büyütülmesiyle birlikte çalışan verimliliğini arttırmıştır. Böylelikle iş kazalarının enazlanması da bu projenin şirkete katkılarında biri olmuştur. Bunlara ek olarak şirketin vardiya atamalarını elle yapması yerine oluşturulan sistemle yapabilmesine olanak verilmiştir.

6.2. Projenin Uygulama Planı

Modeller, şirkete sunulup gerekli geri dönüşler alındıktan sonra geliştirilmiş ve şirketin ihtiyaçlarına göre modifiye edilmiştir. Yapılan görüşmeler sonucunda, modellerin kullanılabilirliği onaylanmıştır. Ayrıca, MS Excel üzerinde karar destek sistemi olarak oluşturulan arayüz şirkete tanıtılmış ve şirket tarafından sağlanması gereken girdiler açıklanmıştır. Müşterilerden alınan siparişler sezonluk olarak değişkenlik gösterdiği için, modellerin şirketin yoğun sipariş aldığı ve ekstra çalışan sayısına ihtiyaç duyulduğu sezonlarda uygulanacağı şirket tarafından onaylanmıştır. Karar destek sisteminin kullanılması beklenen sezonlarda, şirket kullanmak istediği modeli seçecek ve gereken girdileri arayüze girecek ve daha sonra sistemi çalıştıracaktır. Çalıştırılan sistem, alınan girdileri kullanarak matematiksel modelleri belirlenen performans ölçütlerini eniyileyecek şekilde çözecektir. Sonucunda ise şirket her işçi için fabrika içerisinde kullanılabilir ve anlaşılabilir olarak hazırlanan vardiya çizelgelerini elde edecektir. Vardiya ataması ve işgücü eniyilemesi için tasarlanan karar destek sistemi ara yüzü Ek 4'te bulunmaktadır. Ara yüzün çıktısı olarak her departman için haftalık vardiya ataması yapılmaktadır. Ek 5'te Mekanik Bakım Departmanı için hazırlanan haftalık vardiya ataması çizelgesi bulunmaktadır. Bu çizelgedeki maviyle işaretlenmiş yerler 8 saatlik vardiyayı, kırmızıyla işaretlenmiş yerler ise 3 saatlik ek mesai saatlerini temsil etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1]NeuroImage, Academic Press, 2012. "Personnel Scheduling: A Literature Review." accessed at www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221712008776 as of 24 November, 2018.
- [2]NeuroImage, Academic Press, 2011. "Personnel scheduling: Models and complexity." accessed at www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221710007897 as of 23 November, 2018.
- [3]Tepe Betopan, 2018. "Hakkımızda" accessed at www.betopan.com.tr/tr/kurumsal as of 12 November, 2018

EKLER

Ek 1. Takım Bazında Vardiya Atamaları Modeli

Setler:

U: Vasıfsız işçi seti

Q: Vasıflı işçi seti

J: Haftalık gün seti

D: Departman seti

Parametreler:

M: Büyük M

SL_u : Vasıfsız işçilerin maaşı

QL_q : Vasıflı işçilerin maaşı

K_d : Departman bazında bir vardiyada çalışması gereken azami işçi sayısı

c: Vardiya oluşturma döngü süresi

HR: Yeni alınan elemanın haftalık bazda işe alım maliyeti

$w_{u,d}^1$: $\begin{cases} 1 \text{ vasıfsız işçi } u, d \text{ departmanında çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$w_{q,d}^2$: $\begin{cases} 1 \text{ vasıflı işçi } q, d \text{ departmanında çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

Karar Değişkenleri:

$h_{u,d}^1$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıfsız işçi } u, \text{ departman } d \text{ için işe alınmışsa} \\ 0 \text{ alınmamışsa} \end{cases}$

$h_{q,d}^2$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıflı işçi } q, \text{ departman } d \text{ için işe alınmışsa} \\ 0 \text{ alınmamışsa} \end{cases}$

$x_{u,j,d}^1$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıfsız işçi } u, j \text{ gününde } d \text{ departmanında çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$x_{q,j,d}^2$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıflı işçi } u, j \text{ gününde } d \text{ departmanında çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{enazla} \left(\sum_u \sum_d SL_u * (w_{u,d}^1 + h_{u,d}^1) + \sum_q \sum_d QL_q * (w_{q,d}^2 + h_{q,d}^2) + \sum_u \sum_d h_{u,d}^1 * HR \right. \\ \left. + \sum_q \sum_d h_{q,d}^2 * HR \right)$$

Kısıtlar:

(1) $\sum_j x_{u,j,d}^1 \leq 6 * w_{u,d}^1 \quad \forall u \in U, d \in D$

(2) $\sum_j x_{q,j,d}^2 \leq 6 * w_{q,d}^2 \quad \forall q \in Q, d \in D$

(3) $\sum_u x_{u,j,d}^1 = K_d \quad \forall j \in J, d \in D$

(4) $\sum_q x_{q,j,d}^2 = K_d \quad \forall j \in J, d \in D$

(5) $h_{q,d}^2 * \sum_j x_{q,j,d \neq d}^2 = 0 \quad \forall d \in D, \forall q \in Q$

(6) $\sum_d x_{u,j,d}^1 \leq 1 \quad \forall u \in U, \forall j \in J$

(7) $h_{u,d}^1, h_{q,d}^2 \in \{0,1\} \quad \forall u \in U, q \in Q, d \in D$

(8) $x_{u,j,d}^1, x_{q,j,d}^2 \in \{0,1\} \quad \forall u \in U, q \in Q, j \in J, d \in D$

Ek 2. Ek Servis Eklenmiş Takım Bazında Vardiya Atamaları Modeli

Setler:

U: Vasıfsız işçi seti

Q: Vasıflı işçi seti

S: Bir günlük vardiya seti

P: Periyot seti

J: Haftalık gün seti

D: Departman seti

T: Takım seti

Parametreler:

M: Büyük M

SL_u : Vasıfsız işçilerin maaşı

QL_q : Vasıflı işçilerin maaşı

K_d : Departman bazında bir vardiyada çalışması gereken azami işçi sayısı

c: Vardiya oluşturma döngü süresi

PU_u : Vasıfsız işçilere vardiya bazında ödenen ek mesai ücreti

PQ_q : Vasıflı işçilere vardiya bazında ödenen ek mesai ücreti

TC: Bir işçi servisi maliyeti

PT: Mesaiye kalan işçinin toplu taşıma maliyeti

Cap: İşçi servisi kapasitesi

HR: Yeni alınan elemanın haftalık bazda işe alım maliyeti

$w_{u,d,t}^1$: $\begin{cases} 1 \text{ vasıfsız işçi } u, d \text{ departmanında } t \text{ takımıyla çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$w_{q,d,t}^2$: $\begin{cases} 1 \text{ vasıflı işçi } q, d \text{ departmanında } t \text{ takımıyla çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

Karar Değişkenleri:

$h_{u,d,t}^1$ = $\begin{cases} 1 \text{ işçi } u, \text{ departman } d \text{ ve takım } t \text{ için işe alınmışsa} \\ 0 \text{ alınmamışsa} \end{cases}$

$h_{q,d,t}^2$ = $\begin{cases} 1 \text{ işçi } q, \text{ departman } d \text{ ve takım } t \text{ için işe alınmışsa} \\ 0 \text{ alınmamışsa} \end{cases}$

$x_{u,j,d,s,t}^1$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıfsız işçi } u, j \text{ gününde } d \text{ departmanında } s \text{ vardiyasında ve } t \text{ takımında} \\ \text{mesaiye kalmadan çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$o_{u,j,d,p,t}^1$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıfsız işçi } u, j \text{ gününde } d \text{ departmanında } s \text{ vardiyasında ve } t \text{ takımında} \\ \text{mesaiye kalarak çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$x_{q,j,d,s,t}^2$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıflı işçi } q, j \text{ gününde } d \text{ departmanında } s \text{ vardiyasında ve } t \text{ takımında} \\ \text{mesaiye kalmadan çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$o_{q,j,d,p,t}^2$ = $\begin{cases} 1 \text{ vasıflı işçi } q, j \text{ gününde } d \text{ departmanında } s \text{ vardiyasında ve } t \text{ takımında} \\ \text{mesaiye kalarak çalışıyorsa} \\ 0 \text{ çalışmıyorsa} \end{cases}$

$tr_{1,2}$ = $\begin{cases} 1 \text{ periyot 1 ve 2 için ek servis eklenmişse} \\ 0 \text{ eklenmemişse} \end{cases}$

$tr_{3,4}$

= $\begin{cases} 1 & \text{periyot 3 ve 4 için ek servis eklenmişse} \\ 0 & \text{eklenmemişse} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \text{enazla} & \left(\sum_u \sum_d \sum_t SL_u * (w_{u,d,t}^1 + h_{u,d,t}^1) \right. \\ & + \sum_q \sum_d \sum_t QL_q * (w_{q,d,t}^2 + h_{q,d,t}^2) \\ & + \sum_u \sum_j \sum_d \sum_p \sum_t o_{u,j,d,p,t}^1 * (PU_u + PT) \\ & + \sum_q \sum_j \sum_d \sum_p \sum_t o_{q,j,d,p,t}^2 * (PQ_q + PT) + \sum_p tr_p * TC \\ & \left. + \sum_u \sum_d \sum_t h_{u,d,t}^1 * HR + \sum_q \sum_d \sum_t h_{q,d,t}^2 * HR \right) \end{aligned}$$

Kısıtlar:

(1) $w_{u,d,1}^1 * (x_{u,j,d,2,1}^1 + x_{u,j,d,3,1}^1) = 0 \quad \forall u \in U, j \in J, d \in D$

(2) $w_{u,d,2}^1 * (x_{u,j,d,1,2}^1 + x_{u,j,d,3,2}^1) = 0 \quad \forall u \in U, j \in J, d \in D$

(3) $w_{u,d,3}^1 * (x_{u,j,d,1,3}^1 + x_{u,j,d,2,3}^1) = 0 \quad \forall u \in U, j \in J, d \in D$

(4) $w_{q,d,1}^2 * (x_{q,j,d,2,1}^2 + x_{q,j,d,3,1}^2) = 0 \quad \forall q \in Q, j \in J, d \in D$

(5) $w_{q,d,2}^2 * (x_{q,j,d,1,2}^2 + x_{q,j,d,3,2}^2) = 0 \quad \forall q \in Q, j \in J, d \in D$

(6) $w_{q,d,3}^2 * (x_{q,j,d,1,3}^2 + x_{q,j,d,2,3}^2) = 0 \quad \forall q \in Q, j \in J, d \in D$

(7) $h_{u,d,1}^1 * (x_{u,j,d,2,1}^1 + x_{u,j,d,3,1}^1) = 0 \quad \forall u \in U, j \in J, d \in D$

(8) $h_{u,d,2}^1 * (x_{u,j,d,1,2}^1 + x_{u,j,d,3,2}^1) = 0 \quad \forall u \in U, j \in J, d \in D$

(9) $h_{u,d,3}^1 * (x_{u,j,d,1,3}^1 + x_{u,j,d,2,3}^1) = 0 \quad \forall u \in U, j \in J, d \in D$

(10) $h_{q,d,1}^2 * (x_{q,j,d,2,1}^2 + x_{q,j,d,3,1}^2) = 0 \quad \forall q \in Q, j \in J, d \in D$

(11) $h_{q,d,2}^2 * (x_{q,j,d,1,2}^2 + x_{q,j,d,3,2}^2) = 0 \quad \forall q \in Q, j \in J, d \in D$

(12) $h_{q,d,3}^2 * (x_{q,j,d,1,3}^2 + x_{q,j,d,2,3}^2) = 0 \quad \forall q \in Q, j \in J, d \in D$

(13) $\sum_s \sum_j x_{u,j,d,s,t}^1 \leq 6 * w_{u,d,t}^1 \quad \forall u \in U, d \in D, t \in T$

(14) $\sum_s \sum_j x_{q,j,d,s,t}^2 \leq 6 * w_{q,d,t}^2 \quad \forall q \in Q, d \in D, t \in T$

(15) $\sum_s \sum_j o_{u,j,d,p,t}^1 \leq 3 * w_{u,d,t}^1 \quad \forall u \in U, d \in D, t \in T$

(16) $\sum_s \sum_j o_{q,j,d,p,t}^2 \leq 3 * w_{q,d,t}^2 \quad \forall q \in Q, d \in D, t \in T$

(17) $\sum_s \sum_j x_{u,j,d,s,t}^1 \leq 6 * h_{u,d,t}^1 \quad \forall u \in U, d \in D, t \in T$

(18) $\sum_s \sum_j x_{q,j,d,s,t}^2 \leq 6 * h_{q,d,t}^2 \quad \forall q \in Q, d \in D, t \in T$

(19) $\sum_s \sum_j o_{u,j,d,p,t}^1 \leq 3 * h_{u,d,t}^1 \quad \forall u \in U, d \in D, t \in T$

(20) $\sum_s \sum_j o_{q,j,d,p,t}^2 \leq 3 * h_{q,d,t}^2 \quad \forall q \in Q, d \in D, t \in T$

(21) $(o_{u,j,d,1,t}^1 + o_{u,j,d,2,t}^1 + o_{u,j,d,3,t}^1 + o_{u,j,d,4,t}^1) * 0,5 + x_{u,j,d,1,t}^1 + x_{u,j,d,2,t}^1 + x_{u,j,d,3,t}^1 \leq 1,5$
 $\forall u \in U, j \in J, t \in T, d \in D$

(22) $(o_{u,j+1,d,1,t}^1 + o_{u,j+1,d,2,t}^1 + o_{u,j+1,d,3,t}^1 + o_{u,j+1,d,4,t}^1) * 0,5 + x_{u,j+1,d,1,t}^1 + x_{u,j+1,d,2,t}^1 + x_{u,j+1,d,3,t}^1 \leq 1,5$
 $\forall u \in U, j \in J, t \in T, d \in D$

(23) $(o_{u,j+1,d,1,t}^1 + o_{u,j+1,d,2,t}^1 + o_{u,j+1,d,3,t}^1 + o_{u,j+1,d,4,t}^1) * 0,5 + x_{u,j+1,d,1,t}^1 + x_{u,j+1,d,2,t}^1 + x_{u,j+1,d,3,t}^1 \leq 1,5$
 $\forall u \in U, j \in J, t \in T, d \in D$

- (24) $(o_{q,j,d,1,t}^2 + o_{q,j,d,2,t}^2 + o_{q,j,d,3,t}^2 + o_{q,j,d,4,t}^2) + x_{q,j,d,1,t}^2 + x_{q,j,d,2,t}^2 + x_{q,j,d,3,t}^2 \leq 1,5$
 $\forall q \in Q, j \in J, t \in T, d \in D$
- (25) $(o_{q,j+1,d,1,t}^2 + o_{q,j+1,d,2,t}^2 + o_{q,j,d,3,t}^2 + o_{q,j,d,4,t}^2) + x_{q,j+1,d,1,t}^2 + x_{q,j,d,2,t}^2 + x_{q,j,d,3,t}^2 \leq 1,5$
 $\forall q \in Q, j \in J, t \in T, d \in D$
- (26) $(o_{q,j+1,d,1,t}^2 + o_{q,j+1,d,2,t}^2 + o_{q,j+1,d,3,t}^2 + o_{q,j+1,d,4,t}^2) + x_{q,j+1,d,1,t}^2 + x_{q,j+1,d,2,t}^2 + x_{q,j,d,3,t}^2 \leq 1,5$
 $\forall q \in Q, j \in J, t \in T, d \in D$
- (27) $x_{u,j,d,1,t}^1 + (o_{u,j,d,1,t}^1 + o_{u,j,d,2,t}^1) * 0,5 \leq 1 \quad \forall u \in U, j \in J, t \in T, d \in D$
- (28) $x_{u,j,d,2,t}^1 + (o_{u,j,d,3,t}^1 + o_{u,j,d,4,t}^1) * 0,5 \leq 1 \quad \forall u \in U, j \in J, t \in T, d \in D$
- (29) $x_{q,j,d,1,t}^2 + (o_{q,j,d,1,t}^2 + o_{q,j,d,2,t}^2) * 0,5 \leq 1 \quad \forall q \in Q, j \in J, t \in T, d \in D$
- (30) $x_{q,j,d,2,t}^2 + (o_{q,j,d,3,t}^2 + o_{q,j,d,4,t}^2) * 0,5 \leq 1 \quad \forall q \in Q, j \in J, t \in T, d \in D$
- (31) $\sum_u x_{u,j,d,s,t}^1 + \sum_u o_{u,j,d,p,t}^1 \geq K_d \quad \forall j \in J, d \in D, s \in S, t \in T$
- (32) $\sum_q x_{q,j,d,s,t}^2 + \sum_u o_{q,j,d,p,t}^2 \geq K_d \quad \forall j \in J, d \in D, s \in S, t \in T$
- (33) $\sum_{u,d,t} o_{u,j,d,p,t}^1 + \sum_{q,d,t} o_{q,j,d,p,t}^2 \leq Cap \quad \forall j \in J$
- (34) $(\sum_{u,d,t} o_{u,j,d,1,t}^1 + \sum_{q,d,t} o_{q,j,d,2,t}^2) \leq tr_{1,2} * M \quad \forall j \in J$
- (35) $(\sum_{u,d,t} o_{u,j,d,3,t}^1 + \sum_{q,d,t} o_{q,j,d,4,t}^2) \leq tr_{3,4} * M \quad \forall j \in J$
- (36) $h_{u,d,t}^1, h_{q,d,t}^2 \in \{0,1\} \quad \forall u \in U, q \in Q, d \in D, t \in T$
- (37) $x_{u,j,d,s,t}^1, x_{q,j,d,s,t}^2 \in \{0,1\} \quad \forall u \in U, q \in Q, j \in J, d \in D, s \in S, t \in T$
- (38) $o_{u,j,d,p,t}^1, o_{q,j,d,p,t}^2 \in \{0,1\} \quad \forall u \in U, q \in Q, j \in J, d \in D, p \in P, t \in T$
- (39) $tr_{1,2}, tr_{3,4} \in \{0,1\}$

Ek 3. Doğrulama

	Vasıflı İşçi Sayısı	Vasıfsız İşçi Sayısı	Ek Mesai Süresindeki İyileşme	Ek Mesai Maliyetindeki İyileşme	Toplam Maliyet Artışı	Haftalık Ortalama İzin Günü Sayısı
Şirket Tarafından Uygulanan Sistem	40	37	-	-	-	0
Takım Bazlı Vardiya Ataması	72	51	%100	%100	%46,3	2,18
Ek Servis Eklendi Takım Bazlı Vardiya Ataması	58	49	%33,3	%9,09	%22,35	1,62


Ek 4. Kullanıcı Arayüzü

Betopan Shift Assignment Decision Support Tool

Home Page | Additional Shift Assignments | Department Requirements | Parameters



**TEPE
BETOPAN**



**İstanbul Doğramacı
Bilkent University**

DECISION SUPPORT TOOL

EXISTING WORKERS

Please Select Model Type!

DEPARTMENTS	MORNING SHIFT		EVENING SHIFT		NIGHT SHIFT	
	Q	U	Q	U	Q	U
Mechanical Maintenance						
Canteen						
Electrical Maintenance						
Forklift						
Shift Supervisor						
Forming						
Pressing						
Chipping						
Debarker						
Cutting						
Boiler						

Developed by Team 8, 2019

Betopan Shift Assignment Decision Support Tool

Home Page | Additional Shift Assignments | Department Requirements | Parameters

PARAMETERS

HIRING COST	SALARY	TRANSPORTATION
Hiring Cost <input type="text"/>	Regular Payment (per month)	Scheduled Bus
Qualified Workers (Average) <input type="text"/>	Qualified Workers (Average) <input type="text"/>	Bus Cost (per bus) <input type="text"/>
Unqualified Workers (Average) <input type="text"/>	Unqualified Workers (Average) <input type="text"/>	Bus Capacity <input type="text"/>
	Overtime Payment (per hour)	Public Transportation
Qualified Workers (Average) <input type="text"/>	Qualified Workers (Average) <input type="text"/>	First Public Transportation Cost <input type="text"/>
Unqualified Workers (Average) <input type="text"/>	Unqualified Workers (Average) <input type="text"/>	Second Public Transportation Cost <input type="text"/>

Ek 5. Haftalık Vardiya Ataması Örneği

	Departman: Sicil No: Vardiya:	Mekanik Bakım				
		8001	8002	8004	8005	8007
		08.00-16.00		16.00-00.00		00.00-08.00
Pazartesi	08.00-16.00	■				
	16.00-00.00				■	
	00.00-08.00					
Salı	08.00-16.00	■				
	16.00-00.00		■	■		
	00.00-08.00					
Çarşamba	08.00-16.00	■				
	16.00-00.00			■		
	00.00-08.00					■
Perşembe	08.00-16.00	■				
	16.00-00.00			■		
	00.00-08.00					■
Cuma	08.00-16.00	■				
	16.00-00.00			■		
	00.00-08.00					
Cumartesi	08.00-16.00	■				
	16.00-00.00			■		
	00.00-08.00					■
Pazar	08.00-16.00			■		■
	16.00-00.00			■		
	00.00-08.00					■

Fabrika Yerleşim Planının Yeniden Düzenlenmesi

Tepe Home Mobilya Dekorasyon Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.



Proje Ekibi

Egemen Eres, Hami Efe Karadeniz, Fatma Ceyda Nalbant, Elif Öcbe,
Can Parlakoğlu, Selin Sütçü, Buğrahan Taşpınar

Şirket Danışmanı
İbrahim Şimşek
Üretim Mühendisi

Akademik Danışman
Doç. Dr. Osman Oğuz
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Proje kapsamında Tepe Home Ankara fabrikasında kullanılan mevcut kaynaklar ile üretim yapısına uygun, verimli ve minimum maliyeti sağlayacak yeni bir yerleşim planının oluşturulması planlanmıştır. Panel, Masif ve Cila üretim departmanlarındaki iş istasyonları ve makinelerin üretim planı ve yıllık talebe göre yeniden konumlandırılması üzerine matematiksel modellemeler yapılmıştır. İkinci dereceden karesel atama problemi (KAP) ile sezgisel bir method oluşturulmuş, BLOCPLAN ve CRAFT algoritmaları ile elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda mevcut yerleşim planından daha üretken ve daha az maliyetli bir tesis planlaması oluşturulması hedeflenmiş ve bu bağlamda alternatif bir fabrika yerleşim planı sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yerleşim Planı, Karesel Atama Problemi, Akış Diyagramı

1. Sistem Analizi ve Problem Tanımı

1.1. Şirket Bilgisi

Tepe Home Mobilya ve Dekorasyon Ürünleri Ticaret A.Ş. 1997 yılında Bilkent Holding'e bağlı olarak İhsan Doğramacı tarafından kurulmuştur. Tepe Home mobilya ve ev aksesuarı perakendeciliği alanında faaliyet gösteren ilk ve en büyük mağazalar zinciridir. İlk mobilya satış mağazaları Bilkent Center alışveriş merkezinde 1998 yılında açılmıştır. Türkiye genelinde toplamda 45.000 m²'nin üzerinde 16 satış mağazası ve 5000 farklı ürün skalası ile hizmet vermektedir.

Fabrika; panel, masif, cila, döşeme ve metal olmak üzere beş ana bölümden oluşmaktadır. Fabrikanın üretim hacmi, bölümlere ve yıl içinde farklı aylara göre değişiklik göstermektedir. Tepe Home, üretim planlama departmanının mağazalardan alınan talep bilgileri doğrultusunda hazırladığı aylık ve yıllık satış tahminlerince oluşturduğu planlara göre üretim yapmaktadır. Üretim planı ham madde ve yarı mamül stoklarına göre düzenlenmektedir. Tepe Home üretim tesisi 199 panel ve 354 döşeme grubuna ait olmak üzere toplam 553 farklı ürün ile üretim faaliyetlerini sürdürmektedir.

1.2. Mevcut Durum Gözlemleri

Üretim alanında gerçekleştirilen dört ana operasyon mevcuttur: Kesme, sıcak presleme, kenar bantlama ve delme operasyonları. Bu operasyonlar otomatik ve elle makineleri içinde barındıran alt gruplara ayrılmaktadır. Otomatik operasyonlar daha büyük hacimli iş istasyonlarından oluşurken, elle operasyonlar fabrika haritası üzerinde küçük çalışma tezgahları ile yer almaktadır. Kesme operasyonu ile başlayan üretim sistemi, ürünlerin çeşidine göre farklı iş istasyonları barındıran rotalar çizerek paketleme bölümünde son bulur ve müşterileriyle buluşmak üzere mağazalara dağıtımına hazır hâle gelir.

Fabrika yerleşim planının verimini olumsuz etkileyen belirti ve şikayetlerin başında aralarında mamul akış frekansı yüksek olan iş istasyonlarının birbirlerine uzak konumlandırılması gelmektedir. Bir diğer belirtilen etken ise operasyonlar arasında taşınan yarı mamullerin işçiler tarafından elle bir şekilde gerçekleşmesi ve gereğinden fazla taşıma operasyonlarının olmasıdır. Bu durum toplam üretim süresini artırdığından ötürü hem zaman hem de ara stok tutma maliyeti hususlarında fazladan masrafa sebebiyet vermektedir. Ayrıca yarı mamül kontrol noktalarının üretim hattından uzak konumlandırılması bu masrafın artmasına neden olan başka bir durumdur.

Malzeme taşıma maliyetine neden olan yarı mamullerin uzun taşıma süreleri birinci ana problem olarak görülmektedir. İkinci ana problem ise mamul akışı açısından etkileşimi yüksek oranda olan iş istasyonlarının birbirlerine yeterince yakın olmamasıdır. Sistemde yer alan aktif olmayan makinelerin çok sayıda olması bu problemlere eklenince, malzeme taşıma maliyeti olarak

adlandırılan bu problemler zaman ve iş gücünün verimsiz kullanımına yol açmaktadır.

1.3. Literatür Taraması ve Data Yorumlanması

Günümüzde, imalat odaklı firmalar, üretim sistemlerinin verimi arttırmak için yeni stratejiler geliştirmektedir. Bunun için Tepe Home, yeni teknikler ve yeni bir yerleşim planı ile dinamik üretim sistemine geçiş yapmak istemekte ve yerleşim planının yeniden düzenlenmesi üzerine bu proje için Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ile beraber bir çalışma yürütmektedir. Yalın üretim sistemi evrensel olarak kabul görmüş bir yöntemdir. Bu sistem; maliyet, nitelik, esneklik ve hızlı çözüm gibi önemli bir çok faktörü içerisinde barındırmaktadır. Tepe Home, talep çeşitliliği nedeniyle esnek bir üretim sistemi istemekte ve yalın bir imalat düşüncesi ise bu sistem için son derece uygundur. Yalın düşünce James P. Womack ve Daniel T. Jones tarafından şu şekilde açıklanmıştır: “ daha az ile daha fazlası – daha az insan eforu, daha az ekipman, daha az zaman, daha az yer”. Projenin orijin noktası olarak kabul edilebilecek bu mentalite, materyal akışına ilişkin katedilen mesafenin en aza indirgenmesi adına uygulanmıştır.

Yalın üretim sisteminin amacı taleplerin karşılandığı akıcı ve kalifiye bir organizasyon inşa etmektir. Womack ve James yalın düşünceyi ileri süren iki ana bilim insanı olmakla birlikte, benzer bir mentalite gelişimi projemizin ana odağıdır. Sistemi analiz etmek ve istasyonlar arası darboğazları görebilmek adına öncelikle akış şeması oluşturularak bunlara ek olarak materyallerin sınıflandırılmasına dair çalışmalar yapılmıştır.

Zülch ve Brinkmeier sınıflandırma stratejilerini ürün bazlı, müşteri bazlı, süreç bazlı olarak belirtmişlerdir. Zülch ve Brinkmeier’in düşüncelerini izleyerek yalın sistem elde edilebilir. Tepe Home, müşteri odaklı üretim stratejisi ile çalıştığından dolayı satış tahminleri son derece önemli bir konu haline gelmiş ve iş istasyonlarının yerleşim planındaki önemi doğal olarak vurgulanmıştır. Etkin satış tahmini; geçmiş veriler, karşılaştırmalar ve ekonomik trendler değerlendirilerek yapılabilir. Tepe Home tarafından sağlanan veriler ve mevcut sistem yerleşimi gözönüne alınarak, daha verimli bir yerleşim düzeni elde edilebilir.

1.4. Proje Kapsamı ve Hedefler

Şirketin şikayetleri göz önünde bulundurularak, öncelikli hedefimiz istasyonlar arası iş akışının daha verimli olduğu bir yerleşim planı oluşturmaktır. Akış diyagramı oluşturularak, istasyonlar arası sık akışın olduğu bölgeler tespit edilip, darboğaz oluşumlarının engellenmesi hedeflenmektedir. İşyerlerinin yeniden konumlandırılmasının yanı sıra yarı mamül stok alanlarının da yeniden konumlandırılması yapılacaktır. Yeniden konumlandırma ve iyileştirilmiş iş akışı ile üretimdeki zaman kaybı, iş gücü ve üretim maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir.

2. Çözüm Yaklaşımları ve Uygulanan Metotlar

Şirketten alınan bilgiler doğrultusunda, literatür taramasında da bahsedildiği üzere; ürünlerin alt bileşenlerinin rotalarına dair akış diyagramları, süreç şemaları ve bunlara ilişkin sayısal değerleri MS Excel aracılığıyla hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler ile şirketten alınan yıllık üretim planı ve öngörülen üretim hacmine bağlı akış değerleri çekilmiştir. Ardından frekans değerleri her bir iş istasyonu ve makine için hesaplanarak ikili ilişki grafikleri oluşturulmuştur. Her bir ikilinin arasındaki materyal akışı ve trafiğine bağlı olarak harf notları atanmış, bu notlara göre sayısal etkileşim tabloları hazırlanmıştır.

Elde edilen tüm tablolar ve oluşturulan tüm grafikler yapılan ölçümler ışığı altında birleştirilerek fabrika tesisinin köşesel mesafe matrisi ile iki farklı algoritmada kullanılmıştır. Aynı zamanda MS Excel üzerinden Karesel Atama Problemi kullanılmak suretiyle sezgisel metot tabanlı bir çalışmadan yararlanılmış.

2.1. BLOCPAN Algoritması

Fabrikanın mevcut tesis konumunun ölçülmesi yapılmış, SolidWorks programı kullanılarak hali hazırda olan yerleşim planı metrik bir şekilde çizilmiştir. Yapılan bu çizimler, ürünler ve alt bileşenlerinin rotaları baz alınarak tüm fabrika bir koordinat sistemine aktarılmış; her bir noktaya yatayda x, dikeyde y bileşenleri verilmiştir. Ardından, MS Excel ve MATLAB'da yazılan kodlar aracılığı ile her bir iş istasyonunun merkez noktaları ve kapladıkları alan metrekare cinsinden tanımlanmıştır. Buna müteakiben, her bir ikili istasyon çiftinin mesafe matrisi oluşturulmuştur.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, yıllık ve aylık üretim talebi ve satış öngörü verisine endeksli sayısal etkileşim tablosundaki harf notlarına karşılık gelen puanlar atanmıştır. Atanan bu puanlar mesafe matrisindeki istasyon ikililerine denk gelen hücreler ile aynı hücrelere denk gelecek şekilde düzenlenmiştir.

Materyal akışı ve sayısal etkileşim tablolarının oluşturulması BLOCPAN algoritmasının kullanımına zemin hazırlamıştır. Algoritmanın ana hedefi materyal akışının yoğunlukta olduğu makineleri bir araya getirerek daha verimli bir sistem oluşturmaktadır. Mevcut bulunan bu iki matrisin hücreler çarpımının genel toplamı, BLOCPAN Algoritmasına göre Z puanı olarak tanımlanmış ve hesaplanmıştır. Aynı zamanda, literatür araştırmasında da detaylı anlatıldığı üzere Z puanı sistemin operasyonel maliyet değerine karşılık gelmektedir. Algoritma sonucunda, mevcut sistemin Z puanının önerilen fabrika yerleşiminin Z puanından fazla olduğu görülmüştür. Daha düşük bir Z puanının bulunması, önerilen yerleşim planının mali açıdan daha verimli ve imalat sistemleri açısından daha üretken bir öneri olduğu anlamına gelmektedir.

2.2. Karesel Atama Problemi – KAP

Karesel Atama Problemi (KAP) yerleşim planı düzenleme üzerine oluşturulmuş bir matematiksel modeldir. Fabrikadaki her bir iş istasyonunun (n adet) bir konumu bulunmaktadır (n adet). Her bir konum çifti için bir mesafe belirtilir ve her bir tesis çifti için bir ağırlık veya akış belirtilir. Örneğin, iki tesis arasında taşınan malzemelerin miktarı ile mesafeleri ağırlığı hesaplamada kullanılmaktadır. Problemin amaç fonksiyonu, birbirine karşılık gelen akışlar ile mesafelerin çarpım toplamının en aza indirgenmesi üzerine ifade edilmekte ve tüm tesisin farklı yerlerine atama yapılmaktadır. Aşağıda, problemin matematiksel ifadesi verilmiştir:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{i,j,k,l} a_{ik} b_{jl} y_{ijkl} + \sum_{i,k} c_{ik} x_{ik} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n y_{ijkl} = x_{kl}, \quad j, k, l = 1, \dots, n, \\
 & \sum_{j=1}^n y_{ijkl} = x_{kl}, \quad i, k, l = 1, \dots, n, \\
 & y_{ijkl} = y_{klij} \geq 0, \quad i, j, k, l = 1, \dots, n \\
 & X = (x_{ij}) \in \Pi_n,
 \end{aligned}$$

Şekil 1: KAP Matematiksel Modeli

Şekil 1’de verilen bu matematiksel model, her bir ikilinin mesafe ve akış çarpımlarının art arda sıralanması üzerine çiftli karar değişkenleri ile belirlenmiştir. Bu sayede, makine ve iş istasyonlarının sıralaması daha üretken ve maliyet açısından verimli bir şekilde tekrar oluşturulmuştur. Bu problemin amaç fonksiyonu asıl olarak CRAFT Metodunda kullanılacak ve sezgisel modelin tekrarlamalarında sayısal sonuçlar elde edilecektir.

2.3. CRAFT Metodu

CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique) Metodu ikili değişim yöntemi kullanılmak suretiyle MS Excel eklentileri kullanılarak yeni bir yerleşim planı ortaya konması üzerine geliştirilmiştir. Arkaplanda KAP modelini çalıştıran bu MS Excel eklentileri sayesinde ürünlerin üretim planı ve satış öngörüsüne göre oluşturulan akış matrisi ile SolidWorks aracılığıyla oluşturulan mesafe matrisinin hücrel çarpımlarına bakılmaktadır. Bu değerlerin her seferinde daha küçük bir genel toplam değerine ulaşması adına CRAFT Metodu, sezgisel bir KAP modeli çalıştırmakta, amaç fonksiyonunu bu şekilde minimize etmektedir.

Koopmans-Beckmann formülasyonunu kullanan CRAFT metodu, akış, maliyet ve mesafe gibi parametreleri iş istasyonu ikilileri için tek tek değiştirerek her bir tekrarda problemin amaç fonksiyonunu daha da azaltmaktadır. Bu, sezgisel bir metot olduğu ve KAP, NP-Hard bir problem olduğu için optimal sonuçların bulunması olası değildir. Bu sebepten ötürü, sezgisel metodun MS

Excel aracılığı ile defalarca çalıştırılması ve uygulanabilir bir yerleşim planının elde edilmesi ile bir sonuç elde edilmiştir. Harf notlarından elde edilen sayısal etkileşim grafiğinden yararlanmayan CRAFT Metodu, BLOCPLAN Algoritması'ndan farklı olarak aldığı girdi değerleri ile BLOCPLAN'den çıktı olarak alınan Z skoru değerine paralel sonuçlar vermek üzerine kullanılmıştır.

CRAFT Metodu aracılığıyla MS Excel'den çıktı olarak alınan yeni yerleşim planı, SolidWorks ve AutoCad aracılığıyla fabrikadaki gerçek, fiziksel koşullar aracılığıyla tekrar tasarlanmış, önerilen yeni plan fabrikaya sayısal değerler ile bu algoritma sonucunda sunulmuştur.

3. Proje Sonuçları ve Validasyon

3.1. Proje Çıktıları ve Şirkete Kazançlar

Yeni ortaya çıkarılmış tesis yerleşimi, hammaddeler, üretim süreçleri, kullanılabilir alan ve son mamül arasında ideal bir sinerji sağlarken mevcut alanın verimli bir şekilde kullanılmasını, düzenlemelerin ve imalat işlemlerinin esnekliğini sağlar; envanterin tüm üretim tesisindeki aksama veya gereksiz gecikmeler olmadan hareketini kolaylaştırır; tedarik süresini ve malzeme taşıma maliyetini azaltır. Maksimum akışa sahip olan istasyonları daha fazla yaklaştırmak üzere tasarlanmış yeni yerleşim planı Tepe Home şirketine aşağıda belirtilen kazançları sunmaktadır.

Hedeflenen sonuçlardan ilki iş gücündeki etkiyi artırabilmektir. Yeni yerleşim planı üzerinde azami akışlı istasyonları birbirine yaklaştırdığımız için çalışmamızın ulaşım süresini kısaltacağını açıkça öngörülmüştür. Bu çalışmayla birlikte, çalışanların istasyonlar arasındaki hareketleri en aza indirilecek, gerekli çalışan sayısı azaltılacaktır. Bu gelişme doğrultusunda, işgücü verimliliği artacak. Böylece fabrikanın işgücü maliyetinde azalma sağlanacak.

Malzeme taşıma süresindeki azalma da önemli görülen diğer bir husustur. Herhangi bir işletmede malzeme taşıma maliyetlerini azaltmanın anahtarı, ihtiyaç duyulduğunda, ihtiyaç duyulan malzeme ihtiyacı duyulan yere koymaktır. Çalışmamız doğrultusunda amacımız, fabrika çalışanlarının malzemelerle temasını ve harcadıkları zamanı azaltıyoruz. Sağlanan yeni tesis yerleşimi ile birbirleriyle yüksek akış içinde olan makineler birbirlerine daha da yakın olacağı için, aralarında malzemelerin taşınması sonucu harcanan zaman da azalacaktır. Kaybedilen zamanın azaltılmasıyla birlikte makinelerin verimliliğinde artış gözlemlenecektir.

Tüm üretim endüstrilerinde, tesislerin düzenlenmesi, üretim çıktısı açısından uzun süreli operasyonel verimliliği belirleyecek önemli bir adım olarak görülmüştür. Önerilen yeni üretim düzeni, yalın üretimin bir uygulaması olarak katma değeri olmayan zamanları azaltmayı amaçlamaktadır. Olası boşa harcanan zamanların en aza indirilmesi, verimliliği ciddi şekilde etkiler ve üretimdeki genel etkinliği artırır. Tesis yerleşimi üretim performansına önemli

bir katkı sağladığından, boşa harcanan zamanlardaki azalma üretim oranını artıracak ve dolayısıyla verimliliği de artıracaktır.

3.2. Sonuçların Sağlaması – Validasyon

Sayısal etkileşim grafiği ve mesafe matrisi kullanılarak mevcut sistemin Z skoru ve önerilen sistemin Z skoru hesaplanmıştır ve Z skorunda %1.72 lik yalın bir maliyet iyileştirme oranı olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra, mesafe matrisi ve talebe bağlı akış miktarları kullanılarak mevcut sistemin ve önerilen sistemin KAP puanları hesaplanmıştır. CRAFT Metodu sayesinde KAP probleminin amaç fonksiyonunda da da %57 oranında azalma tespit edilmiştir. Bunun yanısıra, KAP puanında da %57 oranında azalma olması, önerilen yeni fabrikada düzeninin, mevcut yerleşim düzenine oranla maliyet açısından daha etkin olduğunu göstermektedir. Sonuçların validasyonu, BLOCPLAN Z skoru ve KAP puanının karşılaştırılmasıyla sağlanmıştır.

İki farklı algoritmanın karşılaştırılmasının temel sebebi, benzer amaçlar, talebe bağlı ürün akışının makineler arasında en verimli şekilde gerçekleşmesi, doğrultusunda göz önünde bulundurulmuş yöntemlerin birbirleriyle benzer sonuçlar verdiğini ortaya koymaktır.

Projenin son aşamasına gelindiğinde elde edilen girdilerin ikiye katlanarak algoritmalarda kullanılması ve bu sonuçların birbirlerine yakın değerler çıkması, elde ettiğimiz çıktılar ve proje sonuçlarının tutarlılığını kanıtlar niteliktedir. Aynı zamanda bu çıktılar hem Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Tepe Home taraflarına sunulmuş, geliştirilen yeni yerleşim planı yakın gelecekte uygulamaya geçirilme hedefiyle teslim edilmiştir.

KAYNAKÇA

Bilkent Holding, “*Hakkımızda*”, *Bağlantı*:

https://www.tepehome.com.tr/index.php?route=information/information&information_id=13. 2017, Ankara

S. Lata and K. M. Sharma, “*IMPLEMENTATION OF LEAN THINKING IN MANUFACTURING AND NON-MANUFACTURING SECTORS: A REVIEW*,” 2004.

Zülch, G.-Brinkmeier, B. “*Simulation of Activity Costs for The Reengineering of Production Systems, International Journal of Production Economics*” Vol:56-57, s.711-722. 1998.

“*Layout design*,” users.encs.concordia.ca. *Bağlantı*:

<http://users.encs.concordia.ca/~andrea/indu421/>. University of Concordia Lectures (Erişim Tarihi: 20-Kas-2018).

K.M. Anstreicher, N. Brixius, J. Linderoth, and J.-P. Goux. “*Solving Large Quadratic Assignment Problems on Computational Grids. Math. Program*”. B, 91: 563/588, 2002.

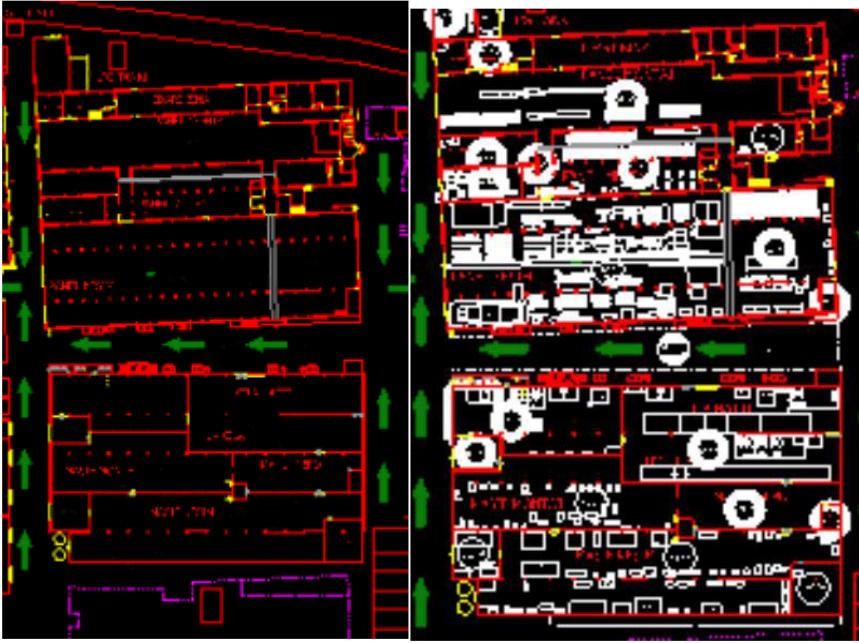
E. D. Klerk and R. Sotirov, “Exploiting Group Symmetry in Semidefinite Programming Relaxations of the Quadratic Assignment Problem,” SSRN Electronic Journal, 2007.

Çetinkaya, Ferda Can, “Endüstri Mühendisliği ve Mühendislik Yönetimi Sözlüğü (İngilizce - Türkçe)”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: 2007/426, 2007, Ankara.

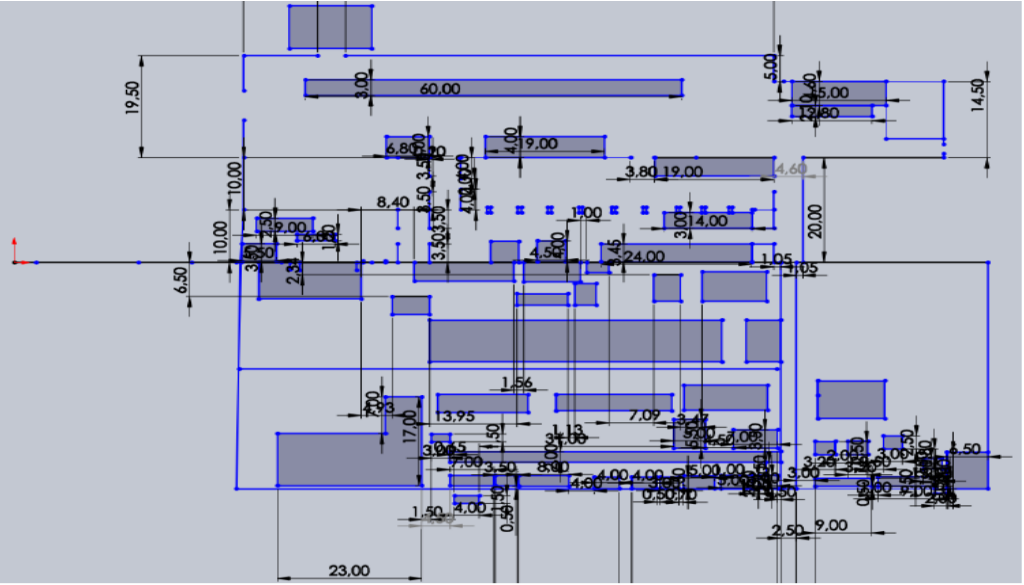
Pinto Wilsten J., Shayan E. “Layout Design of a Furniture Production Line Using Formal Methods”, Journal of Industrial and Systems Engineering”, Vol. 1, No. 1, pp 81-96, 2007

EKLER

Ek 1. Tesis Teknik Planı: Projenin Odağında Bulunan Ana Bölümleri



Ek 4. Panel Üretim Biriminin SolidWorks Başlangıç Çizimleri



Bölümleme ile Özelleştirilmiş Tedarik Zinciri Stratejileri Geliştirilmesi

Unilever Türkiye



Proje Ekibi

Eren Arslan, Atif Büyükelyas, Cansu Demir, Hatice Nurnisa Ekmekcioğlu,
İrem Nur Keskin, Hacer Korkut, Ayşe Ece Önen

Şirket Danışmanları

Deniz Çakıroğlu
Yardımcı Talep Planlama Müdürü
İrem Evelek
Talep Planlayıcı

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Projenin amacı, Unilever dondurma grubu ürünleri için satış hacmi, litre başı gelir, litre başı kârlılık, talep değişkenliği ve toplam üretim süresi kriterleri kullanılarak uygun bir bölümleme ve her küme için uygun bir tedarik zinciri stratejisi sunmaktır. Bölümleme yaparken K-medoids yöntemi kullanılmıştır. R programı ile yedi küme oluşturulmuş, kümeleri doğrulamak adına Nöral Ağ ve PCA Analizi kullanılmıştır. Her bir kriterin seviyesi belirlenmiş, kümelere ABCD-XYZ ürün tiplerinden biri atanmış ve özelleştirilmiş tedarik zinciri stratejileri önerilmiştir. Kümelerin özellikleri göz önünde bulundurularak servis seviyeleri belirlenmiş, ana depo ve dağıtım merkezleri için haftalık emniyet stoğu hesaplanmıştır. Projenin şirkete faydaları ve uygulama planları tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Segmentasyon, Kümeleme, Çevik Tedarik Zinciri, Yalın Tedarik Zinciri, Güvenlik Stoğu

1. Şirket Tanıtımı

Unilever, Hollandalı Margarin Şirketi Unie ile İngiliz Sabun Şirketi Lever & Co'nun birleşmesi ile 1930 yılında kurulmuştur. Günümüzde kişisel bakım ve güzellik, ev bakım, gıda ve dondurma kategorilerinde olmak üzere 400'den fazla markaya sahiptir. Türkiye dondurma pazarına girişi 1994'te gerçekleşmiştir ve günümüzde bu pazarda lider konumundadır.

2. Proje Kapsamı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1. Mevcut Sistem Tanıtımı

Üretim döngüsü, haftalık talep tahminlerini yapmakla sorumlu olan Talep Planlama Birimi ile başlar, daha sonrasında Üretim Planlama Birimi bu talep tahminlerini kullanarak haftalık üretim planlarını oluşturur. Bu planlar Üretim Birimleriyle paylaşılır ve bu planlara göre her hattaki vardiyalar ve üretim miktarları belirlenir. Bu sırada, Satın Alma ve Müşteri Geliştirme Birimleri ham maddelerin alımı ve bitmiş ürünlerin satışı ile ilgilenir.

Unilever, stoğa üretim anlayışını benimsemiştir ve itme sistemini kullanır. Ayrıca dağıtım merkezlerinde çapraz dağıtım ve milk-run yöntemleri kullanılmaktadır.

2.2. Problem Tanımı

Unilever Türkiye, dondurma ürün grubu için kullanılan ürün odaklı segmentasyon modelinin karlılığı iyileştirme amacıyla geliştirilmesi gerektiğini düşünmektedir. Problemi tanımlayabilmek amacıyla 2017 satış verileri incelenmiş ve tüm ürünlerin farklı gelir, kâr ve satış miktarlarına sahip olduğu görülmüştür. Daha sonra, ürünler arasındaki farklılıkları daha iyi gözlemlemek için gelir, kâr ve satış miktarları için standart sapma ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre, üç veri için ürün gruplarının ortalama değerleriyle karşılaştırıldığında standart sapmaların oldukça yüksek olduğu ve tüm ürünler için aynı tedarik zinciri stratejisini kullanmanın doğru olmadığı görülmektedir. Bu nedenle problem, ürün özelliklerine göre uygun tedarik zinciri stratejileri uygulayabilmek için mevcut segmentasyon modelini geliştirmek olarak tanımlanmıştır.

2. Projenin Amacı ve Kaynak Taraması

2.1. Projenin Amacı

Projenin amacı, uygun ürün özellikleri kullanılarak ürünleri gruplara ayırmak ve nakit, maliyet, hizmet arasında denge kuracak stratejiler oluşturmaktır. Ek olarak, her ürün grubuna önerilen özelleştirilmiş tedarik zinciri stratejilerinin şirketin yıllık karını artırması hedeflenmektedir.

2.2. Kaynak Taraması

Bu amaçla kaynak taraması, küresel segmentasyon teorileri, kümeleme yöntemleri ve ürün segmentasyonu olmak üzere üç ana başlık altında gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın ilk bölümünde, farklı sektörlerden şirketlerin

segmentasyon konusundaki çalışmalarını, kriterlerimizi önermek üzere incelenmiştir ve vaka çalışmalarından üçü rehberlik etmesi amacıyla seçilmiştir. İlk vaka, Gardena'nın uçucu ve mevsimlik ürünlerdeki segmentasyonu ile ilgilidir. Bahçe aletleri sektöründe bir firma olan Gardena, öngörülebilirliği ve stok risk kriterlerini kullanarak ürünleri hizmet seviyelerine göre gruplamayı hedeflemektedir (Thonemann & Sieke 47). İkinci vaka çalışmasında, teknolojik cihazlar sektöründe faaliyet göstermekte olan Philips, ürünlerini ürün türüne ve müşteri kanalı kriterlerine göre gruplamaktadır. Bölümlendirmenin amacı, hizmet, maliyet ve envanter üçlüsü arasında denge sağlamaktır (Thonemann & Sieke 27). Üçüncü olarak, Gıda Perakendeciliği Şirketi'nin gıda sektöründeki ürünleri için oluşturmuş olduğu segmentasyon stratejisini analiz edilmiştir. Şirket, satış hacmi ve toplam gelir kriterlerini kullanarak oluşturduğu ürün gruplaması ile daha verimli pazarlama ve envanter stratejileri oluşturmayı hedeflemektedir (Thonemann & Sieke 55).

3. Çözüm Süreci

3.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Vaka analizleri sonucunda ürün gruplamasında kullanılmak üzere beş kriter önerilmiştir: Litre başına gelir; Litre başına düşük kâr, yüksek gelir içeren ürünleri dikkate alabilmek için, hacimsel kâr; farklı kârlılık seviyelerine sahip ürünleri ayırt edebilmek için, talep değişkenliği; değişken ve istikrarlı taleplere sahip ürünleri ayırt edebilmek için, toplam Üretim Süresi; malzeme teslim süresi— kalite teslim süresi ve üretim teslim süresi toplamı olarak tanımlanmıştır— bir ürünün üretim karmaşıklığını belirlemek için önerilmiştir ve son olarak satış hacmi satış hacimleri arasında çok farklılık olan ürünleri ayırt etmek için önerilmiştir.

3.2. Kümeleme Yöntemleri ve Küme Sayısının Tanımlanması

Araştırmanın ikinci bölümünde uygulanabilecek kümeleme yöntemleri incelenmiştir. K-means ve en yaygın K-medoids yöntemi olan PAM algoritması algoritmalarını kullanarak kümeleme denemeleri gerçekleştirilmiştir. K-means algoritmasında amaç, veri noktalarının, kümelerinin merkezinde bulunan ve rastgele seçilen k tane “ağırlık merkezi” noktasına olan uzaklıklarını en aza indirmektir. Buna karşılık, PAM algoritmasında amaç, birbirine benzeyen nesnelerin bir kümede toplamak ve farklı kümelerdeki nesnelerin birbirine benzemediği senaryoyu bulmaktır. PAM algoritmasında önce k tane küme medoid tespit edilir, her bir nesne en yakın olduğu medoide atanır böylece k tane küme oluşturulur. Sonraki adımlarda, her bir temsilci nesne -medoid-, temsilci olmayan nesne ile değiştirilir ve amaç fonksiyonu hesaplanır, bu hesaplama işlemi kümelemenin kalitesi optimum değere ulaşmaya kadar tekrar edilir (Bin Al Abid, 2014). Bu sebeple, K-means yönteminde gözlemlenen rastlantısallık etkileri PAM algoritmasında minimize edilmektedir. Buna ek olarak, K-medoids yöntemi veri setine ait olan medoid noktalarına bağlı olarak seçilen nokta ile

seçilen medoid noktaları arasındaki mutlak uzaklığı (uzaklığın karesi yerine) en aza indirgeyecek şekilde çalışmaktadır. Bu sebeple, K-means yöntemine göre K-medoid yöntemi göze batan faktörlerine ve aykırı değerlere karşı daha dirençlidir. Bu bağlamda, güncel veri setimizin seçilen kümeleme özellikleri altında birçok aykırı değer içermesinden ötürü PAM algoritmasını kullanarak kümelerin oluşturulması tercih edilmiştir. Sonrasında, ideal küme sayısını belirlemek adına araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Elbow ve Gap Statistic yöntemleri veriye uygulanmıştır. Aynı küme içindeki ürünlerin farklılaşmasını en aza indirmeyi amaçlayan Elbow yönteminin küme içi kareler toplamı değerlerini içeren grafiği incelenmiştir (Ek1), uygun küme sayısını gösteren kırılma noktasının konumu 7 olarak seçilmiştir. Kümeler arası farklılaşmaları karşılaştırmak amacıyla kullanılan Gap Statistic yönteminin $\log(W_k)$ grafiği çizildi (Ek1). “1-standard error” yöntemi kullanılarak beklenen en iyi küme sayısı 7 olarak belirlenmiştir.

3.3. Oluşturulan Kümelerin Test Edilmesi

K-medoids yöntemiyle bulunan kümelerin doğruluğunu test etmek amacıyla Neural Network ve PCA Analysis yöntemleri kullanılmıştır.

- **Nöral Ağ**

Kümeler tanımladıktan sonra, Nöral Ağ yöntemi kullanılarak veriler eğitilmiş ve bu yöntemle kümelerin doğruluğu test edilmiştir. Beş düğümlü gizli katman üzerinden Nöral Ağ uygulanmıştır (Ek2). Bu uygulama sonucunda beş ürün farklı kümelere kaymakta ve bu ürünlerin sadece ikisinin Ek 7’de işaretlenen aykırı değerler olduğu gözlemlenmektedir.

- **Temel Bileşenler Analizi (PCA)**

PCA analizi, birbiri ile bağlantılı olan bileşenleri birbirinden bağımsız ana bileşenlere dönüştüren ve dikey dönüşüm kullanan bir yöntemdir (Keho 5). Proje sürecinde beş kriter seçildiğinden, kriter indirgemek yerine PCA sonucunda oluşturulmuş en önemli üç ana bileşen kullanılarak çizilmiş üç boyutlu grafikler üzerinde kümenin dağılımının doğrulanması amaçlanmıştır. PCA sonucunda oluşmuş ilgili grafikler Ek 3’te yer almaktadır.

PCA ve Neural Network yöntemlerinin sonucunda, K-medoid yöntemi kullanılarak verinin yedi kümeye ayrılmasında karar kılınmıştır.

3.4. Ürün Özelliklerini Tanımlama

Her kümenin niteliklerini yüksek, orta veya düşük olarak belirlemek için R programındaki quantile fonksiyonu kullanılmış ve Ek 4’te her kümenin her bir niteliği yüksek, orta veya düşük olarak tanımlanmıştır. Literatür araştırmasının üçüncü bölümünde, her bir kümeye özelleştirilmiş tedarik zinciri stratejileri uygulayabilmek için ürün tipi bölümlendirmesi yöntemi araştırılmıştır. Bununla birlikte, önerilen stratejilerin ve bunlardan türetilmiş eylemlerin uygunluğunu doğrulamak adına mevcut literatürden edinilen ve Ek 5’te detaylandırılan ABCD Analizi Ürün Tipi Şeması hacim başı kârlılık

seviyelerini farklılaştırmak amacıyla XYZ boyutları da eklenerek ABCD-XYZ analiziyle kümeler incelenmiştir (Vitasek vd. 4). X, Y ve Z boyutları sırasıyla kârlılığı yüksek, orta ve düşük kümeleri tanımlandırmaktadır. Bir kümenin ürün tipi belirlendikten sonra, kümeye uygun bir tedarik zinciri stratejisi eşleştirmek için kaynak taramasından faydalanılmıştır. Her kümenin tedarik zinciri stratejisi yalın veya çevik olarak belirlenmiştir. Sonrasında, kümeler ABCD-XYZ analizine göre detaylandırılmıştır. Yalın ve çevik tedarik zincirlerine ait kısa tanımlar aşağıda bulunmaktadır:

- **Yalın Tedarik Zinciri**

Yalın tedarik zinciri stratejisi öngörülebilirlik ve güvenilirliğe önem verdiği için daha az sıklıkta yüksek miktarda üretim ve nakliye hizmeti sunar ve düşük talep değişkenliği olan kümeler için uygundur. Yalın tedarik zincirinin asıl amaçları müşteri sipariş karşılama oranını artırmak, tüm tedarik zincirinin maliyetini azaltmak, tedarikçi performansını artırmak ve envanter seviyesini düşürmektir.

- **Çevik Tedarik Zinciri**

Çevik tedarik zinciri çabukluk ve esnekliğe önem verir. Çevik tedarik zinciri, daha az miktarda üretim ve taşımayı yüksek sıklıkla gerçekleştirmeyi önerir ve yüksek talep değişkenliği olan marketler için uygundur (Ramanathan 4). “Değişime hazır olmak” şeklinde ifade edilebilecek olan bu strateji, hızlı çözüm oluşturma amacıyla tasarlanmıştır. Çevik tedarik zincirinin hız, fiyat ve verim olmak üzere üç ana ilkesi bulunmaktadır. Bu strateji, marketteki değişiklikleri çabuk algılamalı ve müşterilere en kısa sürede cevap verebilmek için elinde yeterli araçları bulundurması gerekmektedir.

Kümelerin sorunlu noktaları ve genel sorunları için önerilen eylemlerimizin, ABCD-XYZ analizi doğrultusunda oluşturulan ürün tipi özelliklerine ne kadar uygun olduğu değerlendirilmiştir. Ek olarak, stok seviyeleri kararları hakkında yorum yapabilmek için, her bir ürün için hizmet seviyesi ve inceleme süresi ürün özelliklerine göre belirlenerek her bir ürünün her bir dağıtım merkezindeki (POD) haftalık güvenlik stoğu seviyelerini, servis seviyelerini ve gözden geçirme süresini belirledikten sonra hesaplanmıştır. Güvenlik stoğunun yanı sıra, fabrikadan her bir dağıtım merkezine gönderilecek ürün miktarları hesaplanmıştır.

3.5 Kümeler için Önerilen Aksiyonlar

3.5.1 Oluşan Kümelerin Analizi

Kümelendirme işleminin tamamlanmasının ardından sezgisel olarak her özelliğin seviyesini, her kümenin ürün tipini ve her kümeye uygun tedarik zinciri stratejisini belirledikten sonra, her küme için alınması gereken aksiyonlar önerilmiştir. Bu aksiyonların güvenilirliğini kontrol edebilmek için her küme üretim ve dağıtım yönlerinden analitik olarak incelenmiştir. Üretim partisi büyüklüğü- SKU'nun üretildiği hafta sayısı, transfer edilen palet sayısı-toplam

transfer sayısı grafiklerini çizdirilerek her bir kümenin sorunlu noktaları ve genel davranışları belirlenmiştir. Bir kümedeki sorunlu noktalar o kümenin ortalama değerlerinden ya da genel davranış biçiminden farklı ve kümeleme özelliklerine aykırı şekillerde davranan noktalar olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımdan çıkarılan detaylı sonuçlar Ek 6: Kümeler için Önerilen Aksiyon Planları başlıklı kısım altında bulunmaktadır. Ayrıca, ham madde envanteri hakkındaki niteliksel kararlar, her kümenin talep değişkenliği ve teslim süresi değerleri göz önüne alınarak kararlaştırılmıştır. Eğer hem talep değişkenliği hem de teslim süresi ortadan düşüğe doğruysa, tutulacak hammadde seviyesinin düşük olması gerektiği önerilmiştir. Buna karşılık eğer talep değişkenliği değeri yüksekse talebin tahmin edilemezliğine karşın servis seviyesini yüksek tutmak amacıyla ham madde envanteri tutulması gerektiği düşünülmüştür. Eğer teslim süresi seviyesi yüksek iken talep değişkenliği düşükse üretimdeki zaman kısıtı sebebiyle ham madde envanteri tutulması gerektiği önerilmiştir.

Kümelerin üretim parça büyüklükleri hacim birimleri yönünden ölçülüp üretim yorumu yapmak için grafiğe dökülürken toplam dağıtım sayısı ve her bir gönderimde transfer edilen palet sayısı dağıtım analizi yapmak için grafiklendirilmiştir. Yalın tedarik zincirleri için düşük talep değişkenliği ve yüksek satış hacminden ötürü üretim ve dağıtım parça büyüklüklerinin ölçek ekonomileri sebebiyle büyük olması gerektiği düşünülmüştür. Buna karşın, çevik tedarik zincirlerinde dalgalı talepten ve nispeten daha küçük satış hacminden ötürü, büyük partilerde üretmek ve dağıtmak yerine belli bir servis seviyesi sağlamak amacıyla daha hızlı bir yaklaşımda bulunulması gerektiği fikri benimsenmiştir. Değişen talebe adapte olabilmek adına üretim ve dağıtımın daha küçük parti büyüklerinde, daha sık aralıklarda yapılması gerektiği düşünülmüştür.

Ek 7'de daire içine alınmış noktalar kümenin sorunlu noktalarını göstermektedir. Sorunlu noktalara yukarıda bahsedilen tedarik zinciri stratejilerinin yönlerine göre kümedeki her ürün karşılaştırılarak karar verilmektedir. Örneğin, eğer bir küme için yalın tedarik zinciri stratejisi öneriliyor ise eş zamanlı olarak bu kümedeki ürünlerin üretim partilerinin büyük ve dağıtım sayısının az olması gerektiği önerilmektedir. Bölümlene kriterlerine göre yalın tedarik zincirine düştüğü halde üretim ve dağıtım özellikleri bu stratejinin beklentilerini karşılamayan ürünler bu kümenin sorunlu noktaları olarak belirlenmektedir. Bu noktaların yalın hale getirilmesi için daha büyük partilerde üretilmesi ve daha az sıklıkta gönderilmesi önerilmektedir. Bu yöntemle şirketin tüm ürünleri üzerinden kâr edebileceği düşünülmektedir.

Önerilen yöntemin şirkette var olandan daha iyi sonuçlar verdiğini kanıtlayabilmek için yapılan iyileştirmenin önerilen tedarik zinciri stratejisine ve kümenin genel davranış biçimine uygunluğunun kontrolü hedeflenmektedir.

Bu sebeple, sorunlu noktaları görselleştirerek tespit edebilmek için üretim ve dağıtım grafikleri oluşturulmuştur.

3.5.2 Güvenlik Stoğu ve Transfer Miktarı Yaklaşımı

Stok değerleri grafik bazında analiz edilemediği için her ürün için dağıtım merkezlerindeki ve ana depodaki haftalık emniyet stoğu hesaplanarak gerçek değerlerle karşılaştırma yöntemi benimsenmiştir. Kullanılan modeller ve parametreleri aşağıda yer almaktadır.

Parametreler: D_{ijk} : Ürün i için j POD'undan k haftasında talep edilen miktar(litre), S_{ijk} : i ürününü bulunduran altkategori s için j POD'undan k haftasında gerçekleşen talep miktarı (litre), Y_{ij} : Ürün i için j POD'undan talep edilen yıllık talep miktarı (litre), C_{ik} : i ürünü bulunduran alt kategori s için yıllık toplam talep miktarı (litre), U_{ik} : i ürünü için j POD'undan talep edilen yıllık toplam talep miktarı, F_{ijk} : i ürünü için j POD'undan k haftasında gerçekleştirilen talep tahmin (litre), Z_i : i ürünü için servis seviyesi bazında hesaplanmış Z - skoru, L_{ij} : i ürünün j POD'una hazırlık ve dağıtım süresi, LT_i : i ürünün toplam üretim süresi, R : Envanter gözden geçirme periyodu, I_{ijk} : i ürünü için k haftasının başında j POD'unda tutulan stok miktarı, $i=1...130$, $j=1...93$, $k=1...52$, $s=FS,IMP,MP,IH$

Yukarıda belirtilen parametreler yüz otuz ürün, doksan üç dağıtım merkezi ve şirketin belirlemiş olduğu dört alt grup kullanılarak haftalık hedef stoğu ve emniyet stoğu miktarlarını hesaplamak amacıyla kullanılmıştır. Bu hesaplamalar aşağıda belirtildiği üzere beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

SS_{ijk} : i ürünü için j POD'undan k haftasında tutulması gereken emniyet stoğu, σ_{ijk} : i ürünü için j POD'undan k haftasındaki talep standart sapması, T_{ijk} : i ürünü için k haftası içinde j POD'unda tutulan hedef stoğu miktarı, W_{ik} : i ürünü için k haftasında ana depoya POD'lardan gelen toplam talep miktarı, SW_{ik} : i ürünü için k haftasında ana depo için hesaplanmış güvenlik stoğu miktarları, DV_{ij} : i ürünü için j POD'unda gerçekleştirilen yıllık talep miktarı sapması, Q_{ijk} : i ürünü için k haftasında j POD'una gönderilen transfer miktarı

1. Her bir ürün ve dağıtım noktası (POD) için talep değişkenliğinin hesaplanması

$$DV_{ij} = \frac{\sum_k^{52} \left(\frac{D_{ijk}}{Y_{ij}} - \frac{S_{ijk}^2}{C_{ik}} \right)}{52-1} * (Y_{ij}^2)$$

2. Her bir ürün için POD başına tutulması gereken güvenlik stoğu ve transfer miktarının hesaplanması

$$\sigma_{ijk}^2 = \frac{F_{ijk}}{\sum_k^{52} F_{ijk}} * 52 * DV_{ij}$$

$$SS_{ijk} = Z_i * \sigma_{ijk} * \sqrt{L_{ij} + R}$$

$$Q_{ijk} = SS_{ijk} + D_{ijk} - I_{ijk}$$

*Transfer miktarı hesaplamalarında tek seferde yollanan ürün miktarı kısıtı, kümelerin özellikleri doğrultusunda dikkate alınacaktır.

3. Her bir ürün için POD başına hedef stoğun hesaplanması

$$T_{ijk} = \frac{D_{ijk}}{2} + SS_{ijk}$$

4. Her bir ürün için ana depoya gelen talep miktarının hesaplanması

$$W_{ik} = \sum_j Q_{ijk}$$

5. Her bir ürün için ana depoda güvenlik stoğunun hesaplanması

$$SW_{ik} = Z_i * \sigma_{ik} * \sqrt{LT_i + R^{**}}$$

**Ana depo stokları hesaplanırken tedarik değişkenliği de göz önüne alınacaktır.

3.5.2.1 Servis Seviyelerinin Belirlenmesi

Her bir ürün grubuna uygulanacak özelleştirilmiş servis seviyeleri kararı sezgisel yöntem ile hesaplanmıştır. Servis seviyesi ölçeği %90 ile %98 arasında tutulmuştur. Birim başı karlılık hizmet seviyesini belirleyen en önemli faktör olduğundan ölçek, öncelikle X, Y ve Z olmak üzere üçe bölünmüştür. Daha sonra bu üç bölüm, tekrar satış hacmi kriterine göre üçe bölünmüştür. En yüksek satış hacmine sahip olan A ve D ürünleri bir bölüme, orta satış hacmine sahip B ürünü bir bölüme, düşük satış hacmine sahip C ürünü diğer bölüme yerleştirilmiştir ve bu doğrultuda her bir ürün grubunun servis seviyesi Ek 8'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

3.5.2.1 Teslimat Sürelerinin ve Gözden Geçirme Periyodunun Belirlenmesi

Dağıtım merkezlerinin güvenlik stoklarını belirlemek için kullanılacak teslimat süresi, her bir dağıtım merkezi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her bir dağıtım merkezi için beklenen teslimat süresi hesabı, her iki depoya olan uzaklıklarının gönderim miktarlarına göre ağırlıklandırılarak yapılmıştır. Bununla beraber, fabrikanın güvenlik stoğunu belirlemek için kullanılacak teslimat süresi materyal, üretim ve kalite kontrol sürelerinin toplamı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, gözden geçirme periyodu şirketin çalışma prensibine uygun olarak bir hafta olarak belirlenmiştir.

4. Projenin Şirkete Faydaları

4.1 Faydaların Tanımı

Bu projeden beklenen fayda; maliyet, nakit ve servis dengesini koruyarak kârlılığı arttırmaktır. Bu sebeple, bölümlene yaparken ürün özellikleri arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurulmuştur. Talep değişkenliğinin servisi, hacim başı kârlılık ve hacim başı gelir arasındaki ilişkinin maliyeti ve satış hacminin nakit akışını etkilediği düşünülmektedir. Proje, iyileştirmeye açık tedarik zinciri birimlerine odaklanmaktadır.

Faydaların belirlenmesi sürecinde, 3.5.2'de anlatıldığı üzere hesaplanmış hedef stoklar, şirketten temin edilecek olan hedef stoklar ile karşılaştırılacaktır. Önerilen hedef stoklarının fazla veya eksik stok tutulması üzerindeki etkisi, şirketin gerçekleşen satış durumu kullanılarak test edilecektir. Stokların talepleri karşılama oranları ile servis, karşılaştırma sonucundaki değişim ile de maliyet ve nakit üzerindeki etkisi hakkında yorum yapılacaktır.

Proje, şirkete yeni stratejileri kolaylıkla belirleyebilmek adına aynı özellikleri gösteren ürünleri belirleme imkânı vermeyi amaçlamaktadır. Her ürün tipiyle teker teker ilgilenmek yerine bu proje ile şirkete küme bazlı iyileştirme yapma olanağı sunulmaktadır. Ayrıca, 4.2. kısmında detaylı anlatılan araç ile şirket, ürün özelliklerindeki değişikliklere bağlı olarak kümelendirme işlemini kolaylıkla gözden geçirerek güncelleyebilecektir. Aynı zamanda, yeni ürün eklemek veya var olan bir ürünü çıkarmak kolay hale gelecektir. Kümeler ve stratejiler dinamik olarak değişikliklere göre güncellenecektir.

4.2. Detaylı Uygulama Planı

Unilever Dondurma kategorisi ürünlerini bölümlendirmek amacıyla R programı kullanılmıştır. SKU'lar ve özelliklerinde gerçekleşen dinamik değişkenliğe ayak uydurmak amacıyla bir araca ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, var olan veriyi güncelleyebilen ve gerekli değişiklikleri yapabilen, kullanıcı dostu bir araç tasarlanmıştır. Bu süreçte R programının ek paketi olan Shiny kullanılarak interaktif bir web uygulaması tasarlanmıştır. Uygulamanın çalışma şekli şu şekildedir: Kümelendirme için uygun görülen kriterlerden oluşan Excel dosyası şirket tarafından bu uygulamaya yüklenir. Uygulamanın arka planında çalışan R kodu yüklenen veriyi standart ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirir. Şirket, Elbow ve Gap Statistic grafikleri incelenerek karar verilen küme sayıları için hangi sezgisel yöntem ile bölümlene yapacağına karar verme şansına sahip olacaktır. Bu sayede, hangi bölümlene yönteminin daha uygun olacağına otomatik bir şekilde karar verilebilecektir. Uygulama üzerinde tek tuşla kümeler gözden geçirilip üzerinde düzeltmeler yapılabilecektir. Şirket çalışanları, oluşturulan kümeleri bilgisayarlarına indirebilirken aynı zamanda kümelerle ilgili görsellere ve ilgili üretim ve dağıtım grafiklerine erişim sağlayabilecektir. Bu araç ile kullanıcılar, kodlama bilgisine ihtiyaç duymadan ürünlerini kümelere ayırabilecek, her bir kümenin ABCD-XYZ analizleri doğrultusunda hangi ürün tiplerinden oluştuğunu gözlemleyebilecektir. Tasarlanan araçla ilgili görseller Ek 9'de yer almaktadır.

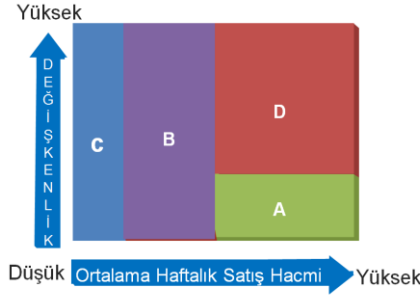
KAYNAKÇA

- Bin Al Abid, Faisal.” A Novel Approach for PAM Clustering Method”. 17th ed., vol. 86, *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887), 2014.
- Keho, Y. The Basics of Linear Principal Components Analysis. *Principal Component Analysis*. doi:10.5772/38577, 2012.
- Protopappa-Sieke, M., & Thonemann, U. W. *Supply Chain Segmentation*. Cham: Springer.2017
- Ramanathan, U. “Supply Chain Strategies, Issues And Models”. *Springer* London. 2016.
- Unilever Turkey.About Unilever.2018. Web. <https://www.unilever.com.tr>

Ek 4:Kümelerin Özelliklerini Gösteren Tablo

Kümeler	Satış Hacmi	Gelir/Hacim	Kârlılık/Hacim	Talep Değişkenliği	Toplam Üretim Süresi
1	Orta	Orta	Orta	Orta	Düşük
2	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta
3	Düşük	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek
4	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta
5	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta
6	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
7	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	<u>Orta</u>

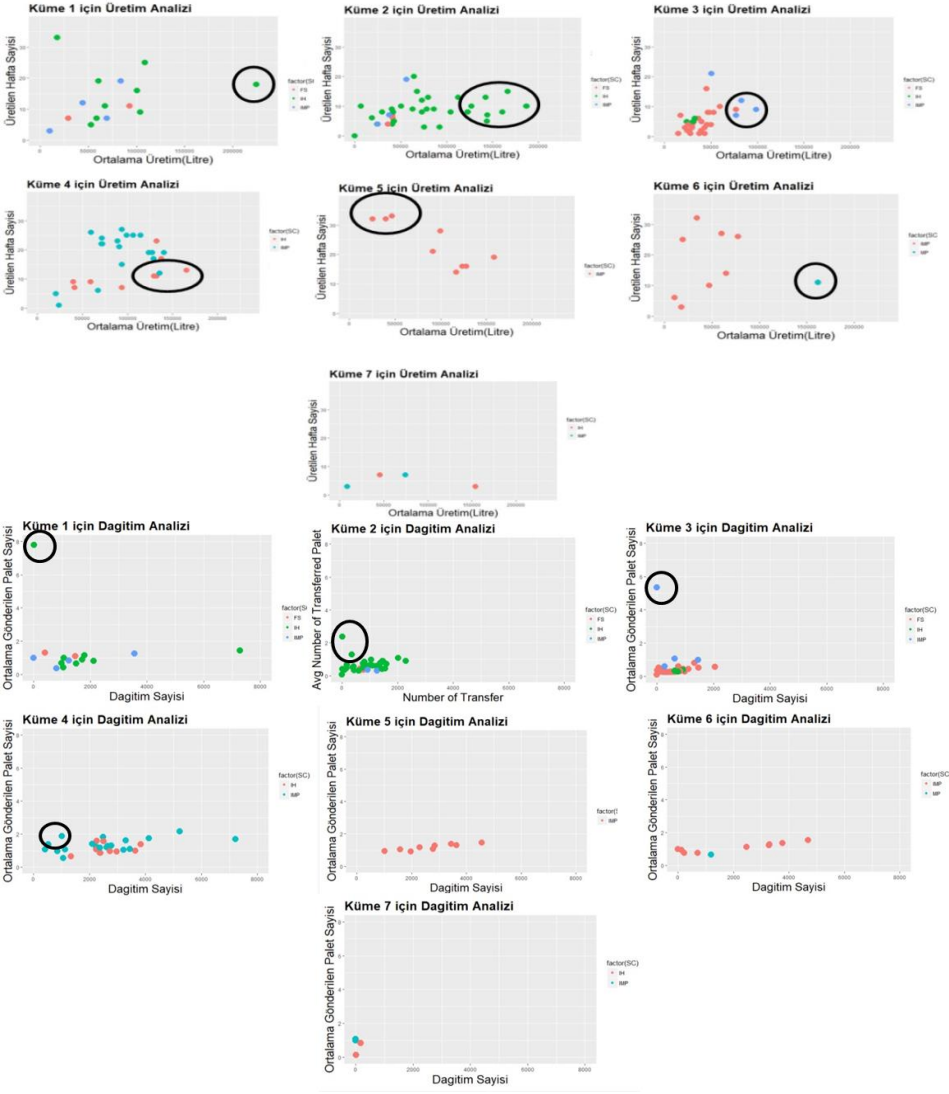
Ek 5:Ürün Tipleri Şeması



Ek 6: Kümeler için Önerilen Aksiyon Planları

Küme	Yalın/ Çevik	ABCD-XYZ	Geliştirilecek Alan	Ham Madde Envanter Seviyesi	Üretim Parti Boyutu	Bitmiş Ürün Envanteri	Dağıtım
1	Çevik	BY	Maliyet	Düşük	Boyutu düşürmek	Envanteri arttırmak	Daha az palet sayısı Daha çok transfer
2	Çevik	BZ	Maliyet	Yüksek	Boyutu düşürmek	Envanteri arttırmak	Daha az palet sayısı Daha çok transfer
3	Çevik	CX	Servis	Düşük	Boyutu düşürmek Sıklığı arttırmak	Envanteri azaltmak	Daha az palet sayısı Daha çok transfer
4	Çevik	DY	Servis	Orta	Boyutu düşürmek Sıklığı arttırmak	Envanteri arttırmak	Daha az palet sayısı Daha fazla transfer
5	Yalın	AX	Maliyet	Orta	Boyutu arttırmak Sıklığı azaltmak	Envanteri arttırmak	Daha çok palet sayısı Daha az transfer
6	Çevik	BX	Servis	Düşük	Boyutu azaltmak Sıklığı azaltmak	Envanteri arttırmak	Daha az palet sayısı Daha çok transfer
7	Çevik	CY	Servis	Yüksek	Boyutu azaltmak Sıklığı azaltmak	Envanteri azaltmak	-

Ek 7 :Tüm Kümeler için Dağıtım ve Üretim Analizi



Ek 8: Servis Seviyesi Sezgiseli

X			Y			Z		
98%	97%	96%	95%	94%	93%	92%	91%	90%
A	B	C	A	B	C	A	B	C
D			D			D		

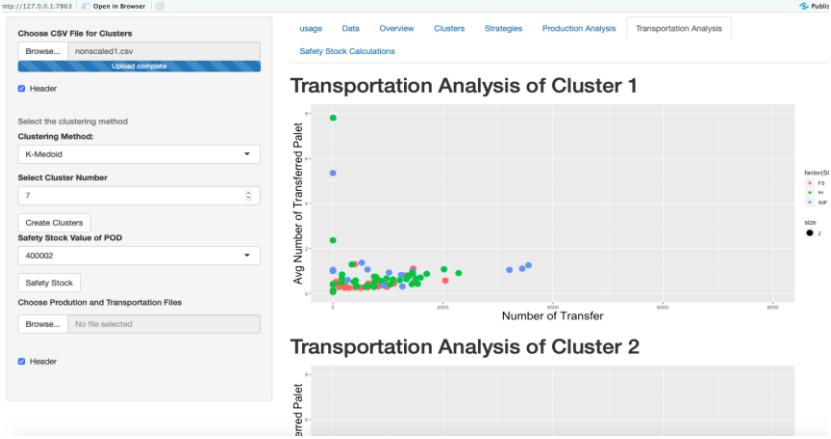
AX: 98%
 BX: 97%
 CX: 96%
 DX: 98%

AY: 95%
 BY: 94%
 CY: 93%
 DY: 95%

AZ: 92%
 BZ: 91%
 CZ: 90%
 DZ: 92%

Ek 9:Araç Arayüzü

9.1 Araç Arayüzü



9.2 Araç Arayüzü

The screenshot shows the 'Safety Stock Calculations' section. A table titled 'Safety Stock Values of selected POD' provides detailed data for various SPU categories and PODs. The table includes columns for SPU, category, POD, and weights (W1-W9).

SPU	category	POD	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
67050964.00	IMP	400001	87.40	102.66	95.90	114.78	120.87	142.50	154.67	170.33	190.37
67050963.00	IMP	400001	120.61	141.67	132.35	169.67	172.78	200.12	231.72	239.23	268.62
67050960.00	IMP	400001	89.13	104.70	97.80	125.79	128.90	154.29	179.91	190.15	216.02
67050960.00	IMP	400001	95.68	112.38	104.99	104.12	118.07	148.90	172.20	177.97	201.84
67156904.00	IMP	400001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67050962.00	IMP	400001	73.63	86.48	80.79	84.02	86.60	108.02	124.76	127.43	149.99
67050972.00	IMP	400001	88.58	101.70	95.01	94.84	93.70	112.95	127.44	129.45	151.84
67151920.00	IMP	400001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
67038831.00	IMP	400001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
67038830.00	IMP	400001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
67150474.00	IMP	400001	140.87	165.46	154.57	163.32	172.48	204.51	234.38	244.01	282.98
67150472.00	IMP	400001	115.46	132.62	126.69	124.37	131.44	155.15	184.03	190.79	212.85
67150476.00	IMP	400001	148.43	174.35	162.87	166.24	177.89	206.99	237.83	242.27	289.05
67133252.00	IMP	400001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
67043236.00	IMP	400001	189.30	222.34	207.71	202.26	210.51	251.88	291.20	293.31	315.83
67161247.00	IMP	400001	206.87	242.99	226.99	229.99	227.67	284.62	307.41	312.13	357.33
67161246.00	IMP	400001	170.88	198.87	193.70	197.54	190.64	234.06	270.00	281.72	308.65