

**BİLKENT ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**



**ENDÜSTRİ PROJELERİ
2009**

Derleyenler

Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu

Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara

Yrd. Doç. Dr. Osman Alp

Değerlendirme Kurulu:

- Yrd. Doç. Dr. Osman Alp (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Altın (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi)
- Prof. Dr. Fulya Altıparmak (Gazi Üniversitesi)
- Prof. Dr. Türkay Dereli (Gaziantep Üniversitesi)
- Doç. Dr. Aslı Sencer Erdem (Boğaziçi Üniversitesi)
- Fiğen Eren (Bilkent Üniversitesi)
- Prof. Dr. Nesim Erkip (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Nilgün Ferhatosmanoğlu (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak (Bilkent Üniversitesi)
- Prof. Dr. Ülkü Gürler (Bilkent Üniversitesi)
- Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara (Bilkent Üniversitesi)
- Doç. Dr. Oya Ekin Kardeş (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Yiğit Karpat (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Kemal Kılıç (Sabancı Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Ayşe Kocabıykoğlu (Bilkent Üniversitesi)
- Doç. Dr. Osman Oğuz (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Banu Yüksel Özkaya (Hacettepe Üniversitesi)
- Prof. Dr. Mustafa Pınar (Bilkent Üniversitesi)
- Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Sibel Salman (Koç Üniversitesi)
- Bülent Sönmez (Kılgı)
- Yrd. Doç. Dr. Alper Şen (Bilkent Üniversitesi)
- Prof. Dr. Barbaros Tansel (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Mehmet Rüştü Taner (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Alabaş Uslu (Maltepe Üniversitesi)
- Doç. Dr. Hande Yaman (Bilkent Üniversitesi)
- Doç. Dr. Emre Alper Yıldırım (Bilkent Üniversitesi)

Düzenleme Kurulu:

- Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu (Bilkent Üniversitesi)
- Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara (Bilkent Üniversitesi)
- Yrd. Doç. Dr. Osman Alp (Bilkent Üniversitesi)
- Araş. Gör. Gökçe Akın (Bilkent Üniversitesi)
- Araş. Gör. Sibel Alumur Alev (Bilkent Üniversitesi)
- Araş. Gör. Efe Burak Bozkaya (Bilkent Üniversitesi)
- Araş. Gör. Gülşah Hançerlioğulları (Bilkent Üniversitesi)

ISBN: 978-975-6090-40-4

BASKI: Meteksan Matbaacılık, Mayıs 2009.

İÇİNDEKİLER

Önsöz -----	i
Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı'ndan -----	ii
Firmalardan -----	iii
Değişken tedarikçi ve talebe göre yurtiçi araç sevkiyat ve rotalama sistemi	
Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi-----	1
Afet acil eylem planı-kaynak atama, takip ve geçici depolama sistemi	
Bakırköy Belediyesi -----	16
Afet sonrası insan ve araç kaynakları yönetim sistemi tasarımı	
Bakırköy Belediyesi -----	33
Geri dönüşümlü palet üretimi için karar destek sistemi tasarımı	
Benli Geri Dönüşüm -----	50
Ankara satış ve dağıtım operasyonlarının entegrasyonu	
Coca-Cola İçecek A.Ş.-----	65
Doğadan ürünleri için dağıtım ağı tasarımı	
Coca-Cola İçecek A.Ş.-----	81
Doğu bölgesi dağıtım ağı tasarımı	
Coca-Cola İçecek A.Ş.-----	97
Ankara deposu için dağıtım karar destek sistemi tasarımı	
Frito Lay A.Ş. Ankara -----	112
Tıbbi sarf malzemeleri envanter yönetimi ve takip sistemi	
Ankara Güven Hastanesi -----	126
Boru üretim hattı için çizelgeleme ve görsel takip sistemi tasarımı	
MAN Kamyon ve Otobüs Ticaret A.Ş.-----	141
Çoklu depo yönetimi için karar destek sistemi tasarımı	
Procter & Gamble -----	157

Üretim planlama ve çizelgeleme karar destek sistemi tasarımı Tepe Mobilya San. ve Tic. A.Ş. -----	172
Yedek parça ve bakım sözleşmeleri için maliyet değerlendirme sistemi Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.-----	189
Malzeme taşıma sistem tasarımı Ulusoy Elektrik A.Ş.-----	203
Depolar arası stok paylaşım stratejilerinin geliştirilmesi Unilever Türkiye -----	220
Toz deterjan için üretim planlama ve çizelgeleme sistemi tasarımı Unilever Gebze Fabrikası -----	235

Üniversite – Sanayi işbirliği programı TTGV desteğinde yürütülmektedir.

Bugüne kadar bu programa katkıda bulunan kurumlar:



2008-2009 döneminde bu programa katkıda bulunan kişiler:

Üniversitemizden,

Prof. Dr. Selim Aktürk (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Yrd. Doç. Dr. Osman Alp (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Figen Eren (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Nesim Erkip (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Yrd. Doç. Dr. Nilgün Ferhatosmanoğlu (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Ülkü Gürler (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Yrd. Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Oya Ekin Kardeş (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Osman Oğuz (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Mustafa Pınar (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Yrd. Doç. Dr. Alper Şen (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Rüştü Taner (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Barbaros Tansel (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Hande Yaman (Endüstri Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Emre Alper Yıldırım (Endüstri Mühendisliği Bölümü)

İstanbul Üniversitesi'nden

Yrd. Doç. Dr. Oğuz Gündoğdu (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)

Sanayiden,

N.Tanzer Tunçalp (Arçelik Bulaşık Makinesi Fabrikası)
İlkem D. Şensoy (Arçelik Bulaşık Makinesi Fabrikası)
Burak Pehlivanlı (Bakırköy Belediyesi)
Özden Işık (Bakırköy Afet Yönetim Merkezi)
Emre Akkaya (Benli Geri Dönüşüm)
Ömer Benli (Benli Geri Dönüşüm)
A.Serkan Sepin (Benli Geri Dönüşüm)
Oğuzhan Aksoy (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Murat Arslanbulut (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Tayfun Güneş (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Emre Gümüş (Coca-Cola Ankara Fabrika)
Ender Kudiaki (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Mutlu Ocak (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Çetin Özataç (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Tamer Uysal (Coca-Cola İçecek A.Ş.)
Eser Bulucu (Frito Lay Gıda San. ve Tic. A.Ş.)
Özhan Nuri Özesenli (Frito Lay Gıda San. ve Tic. A.Ş.)
Aylin Aydın (Ankara Güven Hastanesi)
Gülün Bağirsakçı (Ankara Güven Hastanesi)
Burcu Çayır (Ankara Güven Hastanesi)

Ayşe Dağtekin (Ankara Güven Hastanesi)
Turgut Daran (Ankara Güven Hastanesi)
Neşe Demirtaş (Ankara Güven Hastanesi)
Emine Er (Ankara Güven Hastanesi)
Mehmet Emin Erginöz (Ankara Güven Hastanesi)
Mehmet Gürbüz (Ankara Güven Hastanesi)
Emel Gürçay (Ankara Güven Hastanesi)
Fatma Kandemir (Ankara Güven Hastanesi)
Banu Küçükkel (Ankara Güven Hastanesi)
Nükhet Küçükkel (Ankara Güven Hastanesi)
Zeynep Akdündar Moral (Ankara Güven Hastanesi)
Nurdan Ömeroğlu (Ankara Güven Hastanesi)
Mine Özkazanç (Ankara Güven Hastanesi)
Aydın Özsoy (Ankara Güven Hastanesi)
Adile Şensoy (Ankara Güven Hastanesi)
Engin Tanay (Ankara Güven Hastanesi)
Aylin Yalçın (Ankara Güven Hastanesi)
Dr. Aylin Yaman (Ankara Güven Hastanesi)
Levent Galip Yeşil (Ankara Güven Hastanesi)
Bülent Sönmez (Kılıgı)
Kartal Erköy (MAN Türkiye A.Ş.)
Anıl Özbek (MAN Türkiye A.Ş.)
Orhan Sakinci (MAN Türkiye A.Ş.)
Emrah Albayrak (Procter & Gamble Türkiye)
Seda Gümrükçü (Procter & Gamble Türkiye)
Deniz Şahin (Procter & Gamble Türkiye)
Songül Anıl (Tepe Mobilya Tic. A.Ş.)
H. Bilal Pandul (THY Teknik A.Ş.)
Lüsan Şaşkal (THY Teknik A.Ş.)
M. Erkan Yetkin (THY Teknik A.Ş.)
Göktuğ Gedik (Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.)
Semih Levi (Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.)
Örge Anıl Pamukçu (Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.)
Uğur Gökçe (Ulusoy Elektrik A.Ş.)
Esmâ Özdoğan (Ulusoy Elektrik A.Ş.)
Emre Akben (Unilever Türkiye)
Seda Alp (Unilever Türkiye)
Üzeyir Aydın (Unilever Türkiye)
Tamer Güneş (Unilever Türkiye)
Volkan Köse (Unilever Türkiye)
Sıla Kurt (Unilever Türkiye)
Alpaslan Üzmez (Unilever Türkiye)

Teşekkür ederiz.

ÖNSÖZ

Bu kitap, Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Üniversite-Sanayi İşbirliği Programı çerçevesinde 2008-2009 öğretim yılında gerçekleştirilmiş olan sanayi projelerinin bazılarının özetlerini kapsamaktadır. Bu program, 1995 yılında sistem tasarımı derslerinin (bitirme projelerinin) sanayi projelerine dönüştürülmesi ile başlatılmıştır. Aradan geçen süre içinde çok sayıda farklı şirketle toplamda 214 proje gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda birlikte çalışılan kurumlar arasında ALGIDA, ARAS KARGO, ARÇELİK, ASELSAN, BAKIRKÖY BELEDİYESİ, BOSCH, BENLİ GERİ DÖNÜŞÜM, BİLKENT, CARLSBERG, COCA-COLA, COGNİS, DOĞADAN, DPT, ECZACIBAŞI, EFES, EMEK ELEKTRİK, ERKUNT, ETİ, FAF, FNSS, FRİTOLAY, GATE, GIPTA, GÜVEN HASTANESİ, KNAUF, MAN, MERKEZ BANKASI, METEKSAN, MİLLİ PRODUKTİVİTE MERKEZİ, ONKOLOJİ HASTANESİ, ODESA, ORS, P&G, REAL, ROKETSAN, SANOFİ-AVENTİS, TAI, TEPE BETOPAN, TEPE MOBİLYA, TOFAŞ, TURKCELL, TÜRK HAVA YOLLARI TEKNİK, TÜRKSAT, TÜRK TRAKTÖR, ULUSOY ELEKTRİK, UNILEVER, YURT İÇİ KARGO, YÜKSEK İHTİSAS HASTANESİ sayılabilir.

Endüstri Mühendisliği Bölümü son sınıf öğrencilerinden oluşan proje ekipleri firma ve üniversite danışmalarının katkılarıyla firmanın belirlediği gerçek problemleri çözmektedirler. Yapılan bu projeler firmanın kullandığı bir ürün, yöntem veya hizmet şeklinde ilgili firmaya önemli yarar ve katma değer sağlamaktadır.

2002-2003 öğretim yılında yapılan projeleri sanayimizin seçkin kuruluşları ile paylaşmak, çeşitli sektörlerden gelen farklı firmaların birbirleriyle ve üniversite ile olan etkileşimini artırmak amacı ile Bilkent Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı ve Yarışması'nı başlattık. Bu paylaşımı daha kalıcı ve yaygın kılmak için de "Endüstri Projeleri" kitabı serisini hazırlamış bulunmaktayız. Bu kitapta 2008-2009 öğretim yılında yapılan projelerden seçilenler, gizlilik ilkesine bağlı kalınarak özet halinde sunulmaktadır.

Kitaba girecek olan projelerin seçim aşamasında desteklerini esirgemeyen "Değerlendirme Kurulu"na ve fuar jürisinde görev alan Prof. Dr. Selim Aktürk (Bilkent Üniversitesi), Cemal Akyel (Microsoft), Mehmet Şakir Güvendi (McKinsey), Özhan Nuri Özesenli (Frito Lay) ve Aydemir Özbek'e (Eczacıbaşı) teşekkür ederiz. Ayrıca bu kitap projesine sağlamış olduğu destek ve katkılarından dolayı Rektörümüz Prof. Dr. Ali Doğramacı'ya çok teşekkür ederiz.

İhsan Sabuncuoğlu – Bahar Yetiş Kara – Osman Alp
Bilkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı'ndan

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 22 öğretim üyesi, 50 asistanı ve 750 öğrencisiyle dünyanın en güçlü bölümlerinden biridir. Bölümümüz Amerikan üniversitelerindeki mühendislik bölümlerinin eğitim kalitesini değerlendiren *Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET)* adlı kuruluşun verdiği akreditasyona sahip Türkiye'deki tek mühendislik bölümüdür. Dünyanın en iyi üniversitelerinden eğitimini almış ve yurt dışı deneyimli öğretim üyelerimiz, bilimdeki son gelişmeler ışığında en ileri teknolojileri kullanarak kaliteli bir eğitimi öğrencilerimize sunmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak mezunlarımızın önemli bir bölümü dünyanın en iyi üniversitelerinde akademik kariyerlerine devam etmektedirler. Benzer şekilde, iş hayatını tercih eden mezunlarımızın büyük bir bölümü en seçkin şirketlerde çalışmaktadırlar.

Bölümümüz ülkemizde üniversite-sanayi işbirliğinin gelişmesine çok önem vermektedir. Son 14 yılda Türkiye'nin en seçkin şirketlerine öğrencilerimizle birlikte toplam 214 proje gerçekleştirmiştir. Bu projeler öğrencilerimize hem derslerde öğrendikleri akademik bilgileri uygulama fırsatı vermekte, hem de onlara mezuniyet öncesi çok değerli gerçek hayat deneyimini kazandırmaktadır. Ayrıca öğrencilerimizin yapmış oldukları bu projeler bir kitap halinde yayımlanarak iş ve sanayi dünyasının kullanımına sunulmaktadır.

Bu yıl yedincisi düzenlenen Bilkent Endüstri Mühendisliği Proje Fuarı ve Yarışması'nda bütün bir yılı özveri ile projeleri üzerinde çalışarak geçirmiş öğrencilerimizin 18 farklı çalışması sergilenmektedir. Bu vesileyle, öğrencilerimizi kutlamak ve büyük katkıları olan firma yetkililerine teşekkür etmek istiyorum.

Bir yıl boyunca yoğun ve özverili çalışmalarıyla programın hedeflerine uygun şekilde yürütmesinde büyük çabalar ortaya koyan programın koordinatörleri Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara ve Yrd. Doç. Dr. Osman Alp hocalarımıza ve asistanlarımız Gökçe Akın, Sibel Alumur Alev, Efe Burak Bozkaya ve Gülşah Hançerlioğulları'na ayrıca teşekkür ediyorum.

Saygılarımla,
İhsan Sabuncuoğlu
Bilkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı

ARÇELİK A.Ş. Bulaşık Makinesi İşletmesi Üretim Planlama Yöneticisi'nden

Arçelik Bulaşık Makinası İşletmesi, 1993'teki kuruluşundan beri bu yana birçok farklı modelde üretim yapmaktadır. Sincan'daki üretim tesislerinde, geniş bir üretim yelpazesinde üretilen bu ürünlerin yarıya yakını dünyanın 55 farklı ülkesine ihraç edilmektedir. Türkiye'nin en büyük kuruluşlarından olan Arçelik, üniversite ve sanayi arasında bilgi ve teknoloji transferinin kalkınma yolundaki önemini farkında olarak, üniversite-sanayi işbirliğini desteklemeye devam etmektedir.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencileri tarafından hazırlanan "Değişken tedarikçi ve talebe göre yurtiçi malzeme araç sevkiyat ve rotalama sistemi" projesinde, değişkenlikler nedeniyle oluşan yeni rota ihtiyacına daha hızlı yanıt verebilmemize yardımcı olan bir matematiksel model ve simülasyon modeli tasarlanmış ve bu modeller kullanıcı dostu bir arayüzle birleştirilmiştir. Bu şekilde optimum rotaya ulaşma hızımız yükselmiştir. Bu çalışmanın Arçelik'e katkıları dışında üniversite-sanayi işbirliğine de katkıda bulunduğunu düşünüyoruz.

Dokuz aylık çalışma döneminde gösterdikleri özverili ve gayretli çalışmalarından dolayı Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü proje ekibini kutlar, katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

N. Tanzer TUNÇALP
Arçelik A.Ş.
Ankara Bulaşık Makinesi İşletmesi
Üretim Planlama Yöneticisi

BAKIRKÖY BELEDİYE BAŞKANLIĞI'ndan

Bakırköy Belediyesi olarak 35 km² alandan toplam 220 bin kişiye kamu hizmeti sunmaktayız. Sosyal belediyeciliğin gereklerini ön plana alan bilinçle hareket etmekteyiz. Kentimizin bu anlamıyla en önemli sorunlarından bir tanesi depremdir. Biz de belediye olarak deprem öncesi ve sonrası projeler hayata geçirmeye ve planlamaya çalışmaktayız.

Bu kapsamda Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ile yürütülen projede, *Afet Acil Eylem Planı Projesi* bileşenlerinin süreçleri olgunlaştırılmıştır. Belediyemizin **BAKOP** kapsamında elde ettiği verilerden faydalanılarak olası bir İstanbul depremi sonrasında can kaybını en aza indirecek bir sistem tasarlanmıştır. Bu projede, depremin en kaotik zamanı olan ilk 72 saat üzerine yoğunlaşmış ve iş akışını hızlandırıp koordinasyonu sağlayarak daha çok hayat kurtarmak temel prensip edinilmiştir.

Proje kapsamında, öncelikle deprem sonrasındaki ilk 72 saat içerisinde karar vermeyi kolaylaştıracak ve yönlendirecek acil eylem süreçleri belirlenmiştir. Bu süreçler, öncelikli olarak iletişim ve gelen yardımların ilgili noktalara yönlendirilmesi üzerinedir. Bu amaçla depremin meydana gelebileceği, mevsim, gün (hafta içi, hafta sonu, resmi tatiller, milli ve dini bayramlar, okul günleri detayında), saat ayırmalarına göre kurumlar ve mahalleler etki oranlarına göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, gelen yardımların ve taleplerin yönetilmesine destek olabilecek bir karar destek sistemi de tasarlanmıştır.

Bu sosyal proje kapsamında bizlere yoğun katkılarını sunan Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü değerli öğrencilerine ve akademisyenlere teşekkür ederiz.

Gülten TOZANLI
Bakırköy Belediye Bşk. Yrd.

BAKIRKÖY AFET YÖNETİM MERKEZİ Genel Koordinatörü'nden

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin ardından bilim insanlarımızın yakın tehlike diye adlandırdıkları olası Marmara Depremi uyarısı, kurumların ve toplumun hazırlıklarının gözden geçirilmesi ve geliştirilmesi bakımından bir afete hazırlık sürecinin başlamasına neden olmuştur. Tedbirlerin azami seviyeye çıkarılması amacıyla 25.12.1999'da Valilik direktifleriyle Türkiye'nin ilk Afet Yönetim Merkezi olarak kurulan Bakırköy Afet Yönetim Merkezi'nde eğitim ve koordinasyon çalışmaları hızla başlatılmış, ulusal ve uluslararası koordinasyon sağlanmıştır.

Bulduğumuz nokta, Afet Yönetiminin en önemli evresi olan **Hazırlık** ve **Zarar Azaltmayı** içeren **Afet Öncesi** safhasında, resmi senaryo çerçevesinde uygulanabilirlik amacını taşıyan eylem planlarının oluşturulmasıdır. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün bu konudaki yaklaşımı ve Bakırköy Belediye Başkanlığımızın desteği ile afetin ilk 72 saati içinde kaynak yönetimine getirilen bu yeni yaklaşım, afet yönetiminde bir ilki oluşturmaktadır. "Afet Acil Eylem Planı Kaynak Atama Takip ve Geçici Depolama Sistemi" ve "Afet Sonrası İnsan ve Araç Kaynakları Tasarımı Yönetim Sistemi" adlı iki projede ana tema, afetlerde zararı en kısa sürede en aza indirgeyebilecek sistemi oluşturmaktır. Hedeflediği uluslararası standardı yakalamak amacıyla olan Bakırköy Afet Yönetim Merkezi'nde, zararı en aza indirgeyebilen ve hayatı hızla normale çevirebilen bir olay kumanda merkezi sisteminin, bu projeye hayat bulacağı kanısındayım.

Bilkent Üniversitesinin akademik kurumsal niteliği ve afet konusuna yaklaşımdaki hassasiyeti, sosyal sorumluluk duyarlılığı ve bu konudaki önceliği ile Bakırköy Belediye Başkanlığının ve İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden Yard. Doç. Dr. Oğuz Gündoğdu'nun değerli katkıları ile kaybı asgariye indirecek bir sistem Türkiye için örnek teşkil edebilecektir.

Başta Endüstri Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu olmak üzere Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara, Doç. Dr. Osman Alp ve değerli öğrencilerimizi dokuz aylık çalışma döneminde gösterdikleri özverili ve gayretli çalışmalarından dolayı kutluyor ve teşekkür ediyorum.

Özden IŞIK
Bakırköy Afet Yönetim Merkezi Genel Koordinatörü

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Öğretim Üyelerinden

Türkiye ve yakın çevresi, yıkıcı depremlere uğrayan ülkelerin başında gelmektedir. Doğanın kendisini yenilemesi olarak algılanması gereken bu olgu, canlılar ve onların ürettiği yapılar üzerinde önemli kayıplar oluşturmaktadır. 20. yüzyılın yarısından sonra hızla gelişen kentleşme depremden sonra oluşacak riskleri arttırmıştır. Buna karşın Afet Yönetimi bilim dalı haline gelmeye başlamıştır. Afet yönetiminin bu gelişme çizgisi doğrultusunda teknik, sosyal, ekonomik bilimlerden, sivil toplum örgütlerine kadar birçok aktör, deprem afetinin zararlarının en aza indirgenmesi ve en kısa sürede hayatın normalleştirilmesinde rol almışlardır.

Yıkıcı depremlerden sonraki 72 saat, arama kurtarma çalışmaları ve sonra gerçekleştirilecek iyileştirme çabalarının başarılı olması açısından özel bir önem taşımaktadır. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğrencileri ve Öğretim Elemanlarının projelendirdiği ve Bakırköy Belediye Başkanlığının desteği ve İst. Üniv. Jeofizik Bölümünün katkıları ile gerçekleştirilen bu çalışmalar bildiğimiz kadarı ile afet yönetiminde bir ilki oluşturmaktadır. “Afet Acil Eylem Planı, Kaynak Atama Takip ve Geçici Depolama Sistemi” ve “Afet Sonrası İnsan ve Araç Kaynakları Tasarımı Yönetim Sistemi” adlı bu iki proje birbirinden çok farklı meslek disiplinlerini yan yana getirmesi ile de bir ilki oluşturmaktadır.

Başta Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğrencileri olmak üzere Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu, Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara, Yard. Doç. Dr. Osman Alp ve emeği geçenlere bu değerli çalışmayı oluşturmalarından dolayı teşekkür ederim.

Yrd. Doç. Dr. Oğuz GÜNDOĞDU
İst. Üniv. Müh. Fak. Jeofizik
Müh. Böl. Öğretim Üyesi

BENLİ GERİ DÖNÜŞÜM Yönetimi'nden

2000'li yılların başından itibaren ülkemizde ve dünyamızdaki tüketim miktarlarının artması, üretim miktarlarının da katlanarak artmasına sebep oldu. Sanayi üretiminin ise büyük bir kısmı ahşap paletler üzerinde taşınmaktadır. Bu anlamda ahşap palet tüketimi her geçen sene katlanarak artmaktadır.

Kitlesele üretim yapan işletmelerde, örnek olarak otomotiv, gıda, ilaç ve matbaa sektörlerinde kullanılan ahşap paletler boşaltıldıktan hemen sonra, kırık veya tahrip olmuş vaziyette işletmelerin atık alanlarında atıl vaziyette çürümeye terk edilmektedir. Paletlerin hammaddesinin %100 ağaç olduğu dikkate alınırsa, küresel ısınma, karbon emisyonları, çölleşme, erozyon gibi doğa felaketlerinden bizi koruyan ve en önemlisi oksijen kaynağı olan ağaçlarımızın yok edilmemesi adına bu kaynakların %100 geri dönüşümü sağlanmalıdır.

Atık ahşap palet geri dönüşüm tesisimiz, genellikle depolama ve nakliye amaçlı kullanılan ahşap paletlerin, "atık" haline geldikten sonra entegre otomasyon sistemiyle geri dönüşümünü sağlamaktadır.

Hali hazırda atık ahşap palet için uygulanan bütün geri dönüşüm operasyonlarında geri dönüşüm oranı maksimum %15-20 civarında iken Benli Geri Dönüşüm'ün geliştirdiği Atık Ahşap Palet Geri Dönüşümünde Entegre Otomasyon Sistemi ile birlikte %90 üzeri geri dönüşüm ve geriye kalan atıkların sunta hammaddesi olarak geri kazanılması ile %0 atık oranı minimum işçilik ve maksimum karlılık hedeflemiştir.

Bu sistemin çevreye ve işletmecilere sağladığı birçok fayda bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse ülkemizde kesilen her üç ağaçtan biri ahşap palet üretiminde kullanılmaktadır. İşletmemizde aylık ortalama 500.000 kg. atık ahşap palet değerlendirilmektedir. Bu da aylık ortalama 1500 yetişkin çam ağacının kesilmesini engeller. Bir ağacın ortalama yılda 900 kg. karbondioksiti ortadan kaldırdığı düşünülürse 16.200.000 kg/yıl CO₂ salımının önüne geçilecektir. Ormanların tahribinde önemli bir rol alan ahşap paletlerin de etkisiyle son 150 yıldır havadaki CO₂ artışı %30'a ulaşmıştır. Örneğin, bir hektarda bulunan 15 yıllık çam ağaçları 12.500 kg, bir hektarda bulunan 25 yıllık ceviz ağaçlarıysa 5.500 kg karbondioksiti tutmaktadır. Ortalama yaşam koşullarının olduğu bir evde yaşayan ailenin yıllık karbondioksit salımını ancak 12-13 ağaç karşılayabilir. Uzmanlar son 150 yılda ormanların hızla yok olmasının nedeninin ormanların tarımsal

ve sanayi etkinlikleri gibi nedenlerle tahribinden kaynaklanan arazi kullanımındaki değişiklik olduğuna işaret ediyorlar.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü hocalarımız Sayın Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu ve Sayın Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara'nın manevi destek ve cesaretlendirmeleri , proje ekibimizin üstün gayret ve çalışmaları sayesinde firmamız geçen sene ilk defa katıldığı bu yarışmada birinci olarak ÜNİVERSİTE- KOBİ İŞBİRLİĞİ söyleminin gerçeğe dönüşebileceğini ispatladı.

Bu sene de akademik danışmanımız Sayın Doç. Dr. Osman Oğuz ve yeni proje ekibimizdeki öğrenci arkadaşlarımızla beraber daha iyi bir çalışma gerçekleştirdiğimize ve bu projenin de kesinlikle başarılı olacağına ve geçen seneki başarımızın tesadüf olmadığını ispatlayacağıımıza inanıyoruz.

Yeni ekibimizin kalitesi, çalışmalarında göstermiş olduğu gayret, ciddi ve bilimsel yaklaşımları, herkes tarafından bilinen ve haklı şöhrete sahip Bilkent kültürünün, Bilkent geleneğinin devamlı olduğunun ispatı oldu.

Bizler gibi kaliteli bilimsel destek imkanları kısıtlı olan bütün KOBİ'ler adına, değerli zamanlarını ayırarak karşılık beklemeden vermiş oldukları destek ve imkanlar için başta hocalarımız olmak üzere bütün BİLKENT'lilere BENLİ GERİ DÖNÜŞÜM ailesi adına teşekkürü bir borç biliriz.

Ömer BENLİ
Genel Koordinatör

A.Serkan SEPİN
Genel Müdür

COCA-COLA Satış ve Dağıtım A.Ş. Dağıtım Şefi'nden

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrenci ve akademisyenlerinin katkıları ile hazırlanan "**Ankara Satış ve Dağıtım operasyonlarının entegrasyonu**" isimli projenin, şirketimizde uygulanmakta olan sistemin iyileştirilmesine yönelik atılan adımlara olumlu katkıları olmuştur.

Ankara Satış ve Dağıtım operasyonlarının entegrasyonu ile ürünlerimizin müşterilerimize ulaştırılması sürecinin iyileştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması konusunda yapılan çalışmalar ve geliştirilen sistemler şirketimize dikkate değer bir iyileştirme sağlayacak niteliktedir.

Proje esnasında proje grubunda yer alan tüm takım üyeleri proje ile yakından ilgilenmiş ve şirketimiz çalışanları ile birlikte ortak gayret içinde bulunmuşlardır.

Dağıtım sisteminin iyileştirilmesine yönelik bu başarılı projeden ötürü bölümünüze ve tüm proje ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

Murat ARSLANBULUT
Ankara Satış Merkezi Dağıtım Şefi

COCA-COLA İçecek A.Ş. Tedarik Zinciri Planlama Yöneticisi'nden

Coca-Cola İçecek (CCI), kuruluşundan beri dünya markası olan Coca-Cola'nın Türkiye ve Orta Doğu – Orta Asya şişeleycisi ve dağıtıcısı olarak faaliyet göstermektedir. Dünya'nın önde gelen Coca-Cola şişeleycilerinden olan CCI, üniversite ve firmalar arasında bilgi ve teknoloji transferinin kalkınma yolundaki öneminin farkında olarak, üniversite-firma işbirliğini desteklemeye devam etmektedir.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrenci ve akademisyenlerinin katkıları ile yapılan “Doğadan Ürünleri Dağıtım Ağı” ve “Doğu Bölgesi Dağıtım Ağı” projeleri ile verimli bir dağıtım modeline ulaşılacağı hedeflenmektedir.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü, yıllardır süregelen üniversite-sanayi işbirliği projelerinden ötürü kutluyor, proje süresince gösterdikleri özveri, gayretli çalışmalarından ve katkılarından dolayı proje ekiplerine teşekkür ediyoruz.

Mutlu OCAK
Coca-Cola İçecek A.Ş.
Tedarik Zinciri Planlama Müdürü

FRİTO LAY Gıda San. ve Tic. A.Ş. Lojistik Bölge Müdürü'nden

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından hazırlanan “Araç Rotalama” projesi başarı ile tamamlanmıştır.

Proje, mevcut durumda kullanılan zaman kısıtlı araç rotalama programının endüstriyel ortamda işlevselliğini ortaya koymuş ve şirket olarak odaklanmamız gereken bazı noktaları açıklığa kavuşturmuştur. Proje sonucunda hazırlanan modellemenin üzerinde yapılacak yoğun bir çalışmayla endüstriyel ortamda kullanılabilir bir yazılım ortaya çıkartılabildiği muhtemeldir.

Çalışmalarından dolayı öğrencileri kutlar, bölüme ve akademik danışmanlara teşekkür ederim.

Eser BULUCU
Frito Lay Gıda San. Ve Tic. A.Ş.
Lojistik Bölge Müdürü

ANKARA GÜVEN HASTANESİ'nden

Özel Ankara Güven Hastanesi 36 yıl önce Ankara'da kurulan Türkiye'nin en köklü hastanelerinden biridir. Bu 36 yıl içinde, Türkiye ve dünyada örnek alınan ve referans gösterilen sağlık hizmetimiz ile, sağlık sektöründe marka haline gelmiş bir kuruluşuz. Deneyimli ve uzman kadromuzla, ileri teknolojiyi kullanarak, en yüksek kalitede sağlık hizmetini amaç edinmiş bir misyona sahibiz.

İnsan hayatına değer katmak ve beklentileri aşabilmek için sürekli eğitim, değişim ve gelişim programlarını, etik değerler doğrultusunda uygulamak en önemli hedeflerimiz arasındadır. Hizmetimizin her aşamasında, GÜVEN dolu bir iletişim sağlamak ana felsefemizdir. Sektördeki fırsatları herkesten önce yaratmak, belirlemek ve değerlendirmek için örnek bir sistem kurmak konusunda lider bir kuruluşuz.

Vermiş olduğumuz hizmet kalitemiz, ISO 9001:2000 kalite belgesi ve uluslararası JCI kuruluşu tarafından da akredite edilerek belgelendirilmiştir.

Ölçüm yapmanın temel amaçlarından birinin, kuruluşun performansı hakkında bilgi verecek geçerli ve güvenilir verilerin temin edilmesi olduğu bir gerçektir. Dolayısıyla süreçlerimiz içinde ihtiyacı tespit edilen ve kullanılan malzemelerin yönetimi ve takibi ile ilgili kayıt, analiz ve raporlama işlemleri sonucu elde edilen verilerin, güvenilir ve geçerli olması ve de Hastanemizin performansı ile ilişkilendirilmeleri için sistematik yöntemlerin kullanılması gereği vardır.

Unutmayalım ki **“Ölçemezsen Yönetemezsin”**. Bu doğrultuda, amatör bir ruh ile profesyonelce bir destek için Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü ile projelerimizi büyük bir heyecan ile paylaştık. Aynı heyecanımız tüm proje süreci boyunca devam etti. Gelişmeler ve sonuçlar, heyecanımızı kat kat arttırmıştır.

Birlikte yürüttüğümüz projelerin ilkinde, kurum verimliliği açısından; zamandan ve maliyetten tasarruf, karar alma ve kurum süreçlerinin etkinleştirilmesi, çalışanların üretkenliğinin artırılması, optimum kaynaklar ile maksimum verimlilik sağlayacak rekabetçi bir iş ortamı yaratılması ve insan hatalarının en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

Diğer projemizde ise, hasta ve hasta yakınlarımızın beklentilerini aşmak ve memnuniyet seviyelerini arttırmak amaç edinilmiştir. Bu çerçevede,

ölçme ve değerlendirme anketlerinin oluşturulması, analizi ve raporlanması ile iyileştirme fırsatlarının tespiti ve aksiyon planları hedeflenmiştir.

Hasta ve hasta yakınlarımız ile birebir iletişim kuran çalışanlarımızın çağdaş hizmet kalitesine katkıda bulunmak için, bölüm detayında projenin takibi ve süreçlere bütünsel bakış açısı planlanmış ve bu, başarı ile sonuçlandırılmıştır.

Bilkent Üniversitesi ile olan dostluğumuz, yakın bir gelecekte sağlık sektörünün yanında eğitim sektöründe de **“Güven Üniversitesi”** yapılanmamız ışığında farklı projelerde işbirliği çalışmaları ile devam edecektir.

Hastanemiz adına, başta Bölüm Başkanı Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu olmak üzere, projede görevli tüm öğretim görevlisi ve öğrenci arkadaşlarımıza, **“kalite yolunda, sürekli yenilikçi ve yaratıcı düşünceyle gelişme”** amacıyla, projemize verdikleri destek ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederiz.

İyi ki varsınız.... Kendinizi bizimle her zaman Güvende hissedin.

Saygılarımızla,

Proje Grubu Liderleri:

Emel GÜRÇAY
Hemşirelik Hizm. Müdürü

Mehmet Emin ERGİNÖZ
İnsan Kaynakları Müdürü

Levent Galip YEŞİL
Eğitim ve Geliştirme Müdürü

MAN Türkiye A.Ş. Üretim Sistemleri Müdürlüğü'nden

MAN Türkiye A.Ş. 1966 yılında faaliyete başlamış olup, o günden bu yana üretim felsefesini günün ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak şekilde düzenlenmekte ve “sürekli iyileştirme” felsefesi ile vizyon, misyon ve değerlerine yönelik hizmet vermektedir.

Hedeflerimizi gerçekleştirme ve firmamızı ileriye götürme yolunda üniversite sanayi işbirliği çerçevesinde Bilkent Üniversitesi ile yıllardır başarılı projeler gerçekleştirmekteyiz. Bu projeler firmamızı ileriye taşıma konusunda büyük katkılar sağlamıştır.

2007 yılından itibaren MAN Türkiye A.Ş.’ de yalın üretim felsefesi, MAN Ticari Araçlar Üretim Sistemi (MNPS) ile firmamızda yaygınlaştırılmaktadır. 2008-2009 yılında Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından ele alınan “**Boru Üretim Hattı İçin Çizelgeleme ve Görsel Takip Sistemi Tasarımı**” projesi ile MNPS’nin ilk uygulama bölgesi olan Boruhane biriminde çizelgeleme ile akış süresini optimize eden sistematik bir karar destek mekanizması oluşturulmuş, hat dengelemeyi kolaylaştıran bu mekanizma ile de çizelgeleme operasyonları esnek hale getirilmiştir. Bununla birlikte, gerçek zamanlı veri sağlamak amacı ile hata görme, giderme ve raporlama sistemi olan ANDON sistemi altyapısı tasarlanmıştır. “**Boru Üretim Hattı İçin Çizelgeleme ve Görsel Takip Sistemi Tasarımı**” projesi, çıktıları optimize etmesinin yanı sıra, sistematik mühendislik bakış açısı sağlaması açısından da oldukça tatmin edici ve firmamız açısından önem taşıyan bir proje olmuştur.

Birlikte gerçekleştirdiğimiz projelerin ileride de başarılı bir şekilde devam edeceği düşüncesindeyiz.

MAN Türkiye A.Ş. olarak, proje çalışmalarını gerçekleştiren öğrencilere, bu konuda onlara destek veren öğretim üyelerine ve Bilkent Üniversitesine teşekkürlerimizi sunarız.

Anıl ÖZBEK
Üretim Sistemleri
Mühendisi

Kartal ERKÖY
Üretim Sistemleri
Yöneticisi

PROCTER & GAMBLE Gebze Fabrikası Tedarik Zinciri Yöneticisi'nden

Procter & Gamble olarak dünyada ve Türkiye'de tüketicilerin yaşamlarını iyileştirecek üstün kalitede ve değerde ürünler üretmeyi hedefliyoruz. Bunu yaparken de vizyonumuz dünyanın en iyi tüketim mal ve hizmetlerini üreten şirketi olmak.

Günümüzün artan enerji fiyatlarında tedarik zinciri ve lojistik maliyetlerinin tüketiciye ulaşan son üründeki etkisini en aza indirerek ürün ve hizmetlerimizdeki değer katmayan maliyetleri elimine etmek ve tüketicimize kabuledilebilir fiyatlar sunmak hedefindeyiz.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından hazırlanan "Çoklu Depo Yönetimi İçin Karar Destek Sistemi Tasarımı" konulu projede her geçen gün artan ve müşteriye ulaştırılacak son ürüne değer katmayan lojistik maliyetlerinin düşürülmesi ve daha efektif bir depo yönetim sistemine ulaşmak hedeflenmiştir. Proje süresince grup öğrencilerimiz istenilen kalitede dataları toplayarak zamanlı geri bildirimlerle doğru modellemeyi yapabilmek ve projenin sağlıklı, güvenilir bir şekilde ilerlemesini sağlayabilmek için gerekli özveriye göstermişlerdir.

Bu projeye birlikte varolan depo yönetim prosesimizi sorgulayıp, daha efektif bir şekilde güncelleme ve sözkonusu maliyetleri düşürüp tüketiciye en yüksek kalite ve değerde ürünlerin ulaştırılmasına fırsat bulacağımıza inanıyorum.

P&G Gebze olarak bu başarılı projenin hayata geçirilmesini sağlayan Bilkent Üniversitesi öğrencilerine ve kendilerine her aşamada destek olan öğretim üyelerine teşekkür ederiz.

Deniz ŞAHİN
P&G Gebze Fabrikası
Tedarik Zinciri Yöneticisi

TEPE MOBİLYA Tic. A.Ş.’den

Tepe Mobilya ülkemizin en eski ve en büyük mobilya üretim kapasitesine sahip şirketlerinden biridir. Tepe Mobilya tüm ürünlerini, E1 normunda malzeme ve Avrupa standartlarına uygun, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeden en son teknolojiyi kullanarak üretmektedir.

Tepe Mobilya, Avrupa Topluluğu’nun kabul ettiği tüm normlara uygun kalitesi ve ayrıntılardaki titizliği ile ürün yelpazesini sürekli yenilemekte ve zenginleştirmektedir.

Tepe Mobilya fabrikalarında her türlü ev, ofis mobilyaları yüksek kalitede ve çağdaş standartlara uygun bir şekilde üretilmektedir. Bu ürünler hem Tepe Home mağazalarında, hem de Tepe Mobilya’nın Türkiye’de yaygın 60 adet bayisinde müşterilere sunulmaktadır. Ayrıca Tepe Mobilya fabrikalarında çok çeşitli projeli işlere yönelik üretim de yapılmaktadır.

Tepe Mobilya, mobilya sektöründe faaliyet gösteren ve sayıları her geçen gün artan firmalardan çok farklı ve benzersiz özelliklere sahiptir. Örneğin seri olarak üretimi yapılan döşemeli ürünlerde müşteriye kumaş tercih imkanı da verilmektedir.

Mağzalarımızda 100 den fazla koltuk çeşidi, 2000’e yakın kumaş ve 20 renk hakiki deri ile döşemeli ürünler ile müşterilerimizin her türlü ihtiyacına cevap verilmektedir.

Döşemeli ürünlerimizi tamamen tarz olarak destekleyen sehpa takımlarımız, yemek odalarımız ve dolap ünitelerimiz, doğal kaplamalı ve yonga levha üzeri melamin kaplamalı olarak 250’yi aşkın farklı ürünle mağzalarımızda satışa sunulmaktadır.

Standard üretimin yanısıra **Tepe Mobilya**; kurulduğu günden bugüne kadar bir çok büyük projeye imza atmış ve bu alanda da aranılan ve güvenilen bir firma olduğunu kanıtlamıştır. Oteller ve turizm kompleksleri, eğitim yapıları, iş merkezleri, konferans salonları, sağlık yapıları, mağazalar, havaalanları gibi özellik ve uzmanlık gerektiren büyük kapsamlı projelerin komple dekorasyon ve tefriş işlerini de başarı ile yapmış ve yapmaya devam etmektedir.

Sonuç olarak; farklı fiyat seçenekleri ve tasarım zenginliği içeren standart ürünlerin yanısıra, değişik konulardaki projeli dekorasyon işleri alanında da, bugün yurt içinde ve yurt dışında giderek büyüyen ve

güçlenen yapısıyla **Tepe Mobilya**; taleplere en doğru ekonomik hızlı ve güvenilir çözümler sunmaya devam etmektedir.

İçinde bulunduğumuz sektör pek çok kişi ve grubun ilgisini çekmekte ve bu alanda ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Özellikle **Tepe Home** konsepti pek çok kişi için örnek olmakta, çeşitli yatırımcılar Tepe Home benzeri konseptler yaratmaya çalışmaktadırlar. Tepe Home uyguladığı mağazacılık anlayışıyla, ülkemizde alanında ilk ve tektir. Türkiye’de Tepe Home; alışveriş merkezlerinde büyük alanlarda kurulu, yaklaşık 30.000 çeşit ürünle faaliyet gösteren, her türlü mobilya, aksesuar, beyaz ve elektronik eşya ile küçük ev aletlerini bünyesinde bulunduran tek konsepttir.

Ülkemizin gelişmesinde üniversite-sanayi işbirliğine ve bilime inanmanın, tüm ekonomik kazancımızı bilime ve eğitime destek için Bilkent Üniversitesi Vakfı’na vermenin, bu sayede, bilim adamlarının yetişmesine katkıda bulunmanın haklı gururunu duymaktayız.

Bilgi ve tüm enerjilerini bu projede kullanmaktan kaçınmayan, Bilkent Üniversitesi Endüstri Bölümü proje ekibine ve öğretim üyelerine teşekkür ederiz.

İşbirliğimizin gelecek yıllarda da devamını dileriz.

Tepe Mobilya Tic. A.Ş.

THY TEKNİK A.Ş. Üretim Planlama ve Kontrol Müdürlüğü'nden

THY Teknik AŞ, 2006 yılından itibaren Türk Hava Yolları'nın geçmişinden gelen güç ve gelenekle, yeni bir şirket olmanın verdiği dinamizmi birleştirerek **“Küresel MRO pazarında tercih edilen ilk 5 bakım merkezinden biri olmak”** vizyonu ve **“Hava araçları, parça ve komponentleri alanında; bakım, onarım, ağır bakım, tasarım ve modifikasyonda ve mühendislik hizmetlerindeki yetkinliği ile sektöre yön veren bir MRO merkezi olmak”** misyonu ile yoluna devam etmektedir.

THY Teknik AŞ, İstanbul-Yeşilköy'de Atatürk Havalimanı'ndaki donanımlı 2 hangarı, 3.000 kişilik mühendis, teknisyen, uzman ve diğer personel ekibi ile Amerika, Avrupa ve Türk havacılık standartlarında MRO (maintenance repair overhaul) hizmeti vermektedir.

Tüm yoğun rutin faaliyetlerimizin yanısıra şirketimiz yeni projelere de yer vermekte ve üniversite-endüstri işbirliği imkanlarını geliştirme amaçlı çalışmaları teşvik etmektedir. Bu kapsamda geçen yıl olduğu gibi bu yıl da Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği son sınıf öğrencileriyle bir proje yürütme imkanı yaratılmıştır.

Bu yıl, havayolları ile kaynak paylaşımı felsefesi ile uygulanan modern envanter yönetiminin bir modeli olan **“havuz sistemleri”** (Pool Systems) konusunda bir proje başlatılmıştır.

Bu proje ile; müşterilerimize, THY Teknik AŞ envanterinde bulunan komponentler ve atölyelerimiz tarafından yapılan tamir-bakım hizmetlerinin **“component pool exchange”** kapsamında sunulması ile ilgili faaliyetlerimizin desteklenmesi amaçlanmıştır. Bu proje aracılığıyla üretilen bilgisayar modeli sayesinde teklif verme-fiyat belirleme çalışması daha hızlı ve ekonomik olacaktır. Böylece, projenin hem hizmeti veren şirketimize hem de bu hizmetimizi almak isteyen müşterilerimize katkıda bulunacağına inanıyoruz.

Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencilerinin katkı ve çabalarıyla şirketimizde yürüttükleri proje için başta öğrenciler (Yarkın Yetkin, Pınar Güvenç, Ezgi Arslantay, Zeynep Bayam, Alper Küçükkömürcü) olmak üzere, şirketimizde projeye destek veren çalışma arkadaşlarımıza (Bilal Pandul, Erkan Yetkin, Lüsan Şaşkal), proje ekip danışmanı Yrd. Doç. Dr. Alper Şen'e, proje dersi sorumluları Doç. Dr. Bahar Yetiş ile Yard. Doç. Dr. Osman Alp'e ve Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu'na teşekkür ederiz.

Saygılarımla,

Naci YÜCEL
Üretim Planlama ve Kontrol Müdürü

ULUSOY ELEKTRİK A.Ş. Üretim Mühendisliği Yöneticisi'nden

Üretim faaliyetlerini Ankara 1.Organize Sanayiinde 26.000 m² kapalı alana sahip fabrikasında gerçekleştirmekte olan ve kurulduğu 1985'ten günümüze dek Türkiye ve Dünya elektromekanik sanayisinin önde gelen kuruluşlarından biri konumunda bulunan Ulusoy Elektrik A.Ş., metal muhafazalı modüler hücreler, metal-clad çekmeceli tip hücreler, Vakum kesicileri, RMU'lar, Havai Hat Otomatik yük ayırıcıları ve kesicileri, monoblok / prefabrik beton trafo köşkları ve OG Kablo Aksesuarları gibi OG elektrik dağıtım ekipmanlarının dizaynını, üretimini ve satışını gerçekleştirmektedir.

Kendisini sürekli geliştirme hedefinde olan firmamız, üniversite-sanayi işbirliğini de bu hedefe ulaşma doğrultusunda önemli bir etken olarak görmekte, bu nedenle de bu tür çalışmalara her zaman destek vermektedir.

Bu bağlamda Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği öğrencileri tarafından hazırlanan "Material Handling" projesiyle fabrika içerisindeki malzeme taşımalarını daha verimli hale getirerek, iş gücü verimliliğimizi artıracak bilgi transferi sağlanmış, hedeflenen üniversite-sanayi işbirliği gerçekleştirilmiştir.

Ulusoy Elektrik A.Ş. olarak, proje çalışmasını yapan öğrencilere ve kendilerine projenin etkinliğinin artırılmasında destek olan ve rehberlik eden tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç biliriz.

Uğur GÖKÇE
Ulusoy Elektrik A.Ş.
Üretim Mühendisliği Yöneticisi

UNİLEVER TÜRKİYE Lojistik Direktörü'nden

Unilever olarak misyonumuz “Hayata Canlılık Katmak”. Gıda, dondurma, temizlik ve kişisel bakım kategorilerinde, insanların günlük ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirdiğimiz ürünlerimiz ile tüketicilerimizin kendilerini iyi hissetmelerini, iyi görmelerini ve hayattan daha fazla keyif almalarını sağlıyoruz. Yaptığımız her şeyin temelinde, markalarımızın, değerlerimizin ve çalışanlarımızın yüreğinde bu misyon yer alıyor.

Çok uluslu ve faaliyet gösterdiği ülkelerde yerel köklere çok bağlı bir şirket olan Unilever, 1952'den beri Türkiye pazarında aktif rol oynamaktadır. Birçoğu bulunduğu pazarlarda lider konumda olan Omo, Rinso, Domestos, Yumoş, Cif, Elidor, Dove, Rexona, Lux, Axe, Signal, Sana, Becel, Knorr, Lipton ve Algida markalarının üreticisidir.

Tüketicilerimizle bulduğumuz ürünlerimizin onlara en kaliteli ve hızlı bir şekilde ulaşması için Tedarik Zinciri'ne çok büyük önem veriyoruz. Bizim için tedarik zinciri, hammaddenin üretilmesinden başlayıp müşterinin rafına; hatta tüketicilerin evine kadar uzanan geniş kapsamlı bir süreçtir. Şirketin son 5 yıldır tedarik zinciri olarak en önem verdiği konu, tüketici ile ürünlerin bulduğu anda, tüketiciler alışveriş için rafa gittikleri saniyede ürünlerimiz bulunabilir olması. Dağıtım ağıımızdaki zincirle 2008 yılında gıda, deterjan ve kozmetik kategorilerinde modern ve geleneksel kanalda toplam 23.107 noktaya uğradık. Dondurma kategorisinde ise 140.000 noktada satışımızı sürdürüyoruz. Distribütörlerimizin alt bayileri ve cash & carry'lerin dağıtımıyla ise Türkiye genelinde 185 bin noktada tüketicilerimizin hayatlarına dokunuyoruz.

Gelişmiş dağıtım ağıımızı depolarımızdaki stok seviyelerimiz, stok dizilimlerimiz ve hızlı operasyonumuzla kuvvetlendiriyoruz. Bu noktada Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği son sınıf öğrencileriyle birlikte yaptığımız çalışmada akademiyle pratiğin birleştiği çok faydalı bir projeye imza attık. Öğrencilerimizin hızlı tüketim sektöründe ürünlerin dağılımını, kontrolünü, operasyonun esnekliğini ve süratini gözleme ve geliştirme şansları oldu. Yapılan her geliştirmenin maliyet yansımasının birebir görüldüğü, malın fabrikadan gelişinden müşteriye çıkışına kadar her basamaktaki geliştirme adımlarının atıldığı bu proje için sizlere çok teşekkür ediyoruz.

Bu projeyle birlikte geliştirdiğiniz adımların bize daha hızlı bir operasyon, daha verimli stoklama alanları sağlayacağına, müşteri taleplerine daha hızlı yanıt vermemizde çok büyük destek olacağına inanıyoruz. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümündeki proje ekibine ve öğretim üyelerine gösterdikleri ilgi, gayret ve paylaşımları için çok teşekkür ederiz.

Alpaslan Üzmez
Lojistik Direktörü

Sıla Kurt
Talep Planlama Müdürü

UNİLEVER TÜRKİYE Gebze Fabrikası Temizlik Malzemeleri Üretim Müdürü'nden

Unilever, 1930 yılında sabun üreticisi Lever Bros. Şirketi ve Margarin üreticisi Unie'nin ortaklığı ile kurulmuştur. Gıda, kişisel bakım ve ev bakımı ürünlerinden oluşan çok geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Dünyanın yaklaşık 150 ülkesinde her gün 150 milyon tüketiciye farklı markalarıyla ulaşan Unilever, 2006 yılındaki 39.6 milyar Euro cirosu ile dünyanın önde gelen şirketleri arasındaki yerini korumaktadır.

Araştırma Geliştirme faaliyetlerine her yıl ayırdığı ortalama 1 milyar Euro ile tüketicilerine en iyi ve en kaliteli ürünleri sunmakta, bilimsel çalışmalara öncülük ederek piyasadaki rekabet ortamını da hareketlendirmektedir.

Sosyal sorumluluk çalışmalarına her yıl ayırdığı 60 milyon Euro ile yarına yatırım yapmakta ve var olduğu toplumların sosyal gelişimlerine katkıda bulunmaktadır.

Çok uluslu ve faaliyet gösterdiği ülkelerde yerel köklere çok bağlı bir şirket olan Unilever, 1952'den beri Türkiye pazarında aktif rol oynamaktadır. Birçoğu bulunduğu pazarlarda lider konumda olan Omo, Rinso, Domestos, Yumoş, Cif, Elidor, Dove, Rexona, Lux, Axe, Signal, Sana, Becel, Knorr, Komili, Lipton, Algida ve Amaze markalarının üreticisidir.

Unilever'in misyonu "hayata canlılık kazandırmaktır". İnsanların kendilerini iyi hissetmelerine, iyi görünmelerine ve hayattan daha fazla keyif almalarına yardımcı olan markalarla günlük hijyen, beslenme ve kişisel bakım ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Unilever, bugün Türkiye'de toplam 7 fabrikada üretimlerini gerçekleştirmektedir. Unilever Gebze Fabrikası hayatına 1975'da deterjan üretimiyle başladı. Unilever Gebze Fabrikası Unilever'in 150 ülkesindeki 3. en büyük deterjan fabrikası olup ev ve kişisel bakım kategorilerine 395 çalışanı, 8 markası ve 394 ürünü ile ev sahipliği yapmaktadır. Unilever'in 1975'ten bugüne sürekli artan üretimi 2008 yılında 338.000 tona ulaşmıştır. Büyüyen Gebze Fabrikası; Avrupa, Afrika ve Ortadoğu Bölgesi'ne yılda yaklaşık 10.000 ton ihracat yapmaktadır.

Üniversite – Sanayi işbirliğine son derece önem veren şirketimiz 2005 yılından beri Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü son

sınıf öğrencilerinin projelerine ortak olarak katılmaktadır. Bu katılımlardaki konular geliştirilebilecek konulardan seçilerek projelerin gerek öğrencilere, gerekse şirketimize değer katması hedeflenmektedir.

Bu yılki projemizle süreç planlama adımlarında ölçülebilir geliştirmeler yapmayı planlamaktayız. Aynı zamanda teorik ile pratik çözümleri bir araya getiren hızlı karar almamızı destekleyecek önerilerinde oluşacağına inanıyoruz.

Süreç planlamada fabrikamıza katkı sağlayacak olan bu projeye büyük önem vermekteyiz. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne ve projede görev alan takım üyelerine çalışmalarından ve katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Tamer Günes
Unilever Gebze HPC Fabrikası
Temizlik Malzemeleri Üretim Müdürü

Değişken Tedarikçi ve Talebe göre Yurtiçi Araç Sevkiyat ve Rotalama Sistemi

Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi

Proje Ekibi

Fatma Daşyürek
Semih Eren
Özge Kaya
Gökhan Sezgin
Ebru Şahinoğlu

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

N. Tanzer Tunçalp, Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi,
Üretim Planlama Yöneticisi

Akademik Danışman

Prof. Dr. Barbaros Tansel, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Arçelik, tekrarlı dağıtım sistemini oluştururken mevcut durumda uygulanan metodun bulduğu rotalardan daha verimli rotalara ihtiyaç duymaktadır. Bu projede tedarikçilerden gelen malzemelerin Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi'ne taşınması için kullanılacak rotaların bulunması amacıyla bir karar aracı oluşturulmuştur. Bu araç matematiksel model, benzetim modeli ve arayüz olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Böylece firma tarafından belirlenen kısıtlar göz önünde bulundurularak performans ölçütleri bakımından verimli rotaların oluşturulması ve bu rotaların kullanılmaya başlamadan önce değerlendirilebilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Arçelik, tedarik zinciri, tekrarlı dağıtım, araç rotalama problemi, matematiksel model.

1. İşletme Tanıtımı

1992 yılında Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulan Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi (BMİ), 1993 yılında üretime başlamıştır. Şirket şu anda iç pazar hariç, beş farklı kıtada 60'a yakın ülkeye ihracat yapmaktadır. Ankara'daki 109 bin m²'lik tesiste üretim yapan Arçelik A.Ş. ürün gamına ankastre ürünleri de ekleyerek işletme üretim kalitesini uluslararası kalite standartlarına taşımıştır. Mevcutta 600 farklı model ile fark yaratmaya devam etmektedir. Türkiye Patent Enstitüsü tarafından 2005'ten bu yana her yıl düzenlenen yarışmada "Patent Şampiyonu" olan Arçelik A.Ş., beyaz eşya sektöründe yeni bir dönem başlatan "Tek Tuş" bulaşık makinesi gibi buluşlarıyla bu iddiasını korumaktadır. Arçelik A.Ş., 2010 yılına kadar dünyanın tek çatı altında en büyük bulaşık makinesi üreticisi olmayı hedeflemektedir.

2. Proje Tanımı

Arçelik, mevcut tedarikçilerinden 17'sinin malzemelerini toplamak için tekrarlı dağıtım sistemi uygulamaktadır. Şirket, belirli tedarikçilerin kendi sevkiyat planlarını yapmaları yerine bu tedarikçileri bir toplama ağına birleştirerek tedarik zincirinin karlılığını artırmayı hedeflemiştir. Bunu sağlamak için 2006 yılından itibaren tekrarlı dağıtım sistemine geçilmiştir. Bu sayede toplam katedilen mesafe, taşıma sırasında oluşan hasar ve kayıp miktarları ve taşıma maliyetlerinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca toplam sevkiyat süresinde %67, malzemenin stokta kalış süresinde ise %20'lik oranda azalma olmuştur.

2.1 Problem tanımı ve kapsamı

Yukarıda bahsedilen tüm iyileştirmelere rağmen, uygulanan metot fazla işgücü ve zaman gereksinimine yol açmaktadır. Ek olarak, tedarik zincirinde meydana gelen değişikliklere hızlı adapte olunamaması ve tekrarlı dağıtım rotalarının toplam katedilen mesafe ve araç doluluk oranı bakımından istenilen verimlilikte olmaması firmayı bu süreci daha verimli hale getirmeye teşvik etmiştir.

Proje kapsamı yerel malzeme toplama ağı olarak belirlenmiş; ürün dağıtımı, fabrika içi malzeme lojistiği ve ambalajların tekrar kullanılmak üzere bazı tedarikçilere geri gönderilmesi proje kapsamı dışında bırakılmıştır.

2.2 Hedefler ve performans ölçütleri

Arçelik, alternatif rotaları performans ölçütlerine göre değerlendirecek bir karar aracının tasarlanmasını beklemektedir. Bu ölçütler katedilen toplam mesafe, araç doluluk oranları ve her bir rotayı tamamlama süresi olarak belirlenmiştir.

Firmanın tasarlanan karar aracından beklentileri şöyledir: Arçelik ileride çalışacağı tedarikçi sayısını artırmayı planladığı için sistem yeni tedarikçilerin eklenmesine elverişli olmalıdır. Tedarikçi ekleme veya

çıkarma, depo ekleme veya çıkarma, talep değişiklikleri ve rampa tipinde değişiklikler söz konusu olduğunda sistemin bu değişikliklere çabuk adapte olması beklenmektedir.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

İstanbul-Anadolu, İstanbul-Avrupa, Çerkezköy, Bolu ve Bursa olmak üzere beş bölgeye ayrılmış olarak toplama yapan mevcut tekrarlı dağıtım sistemi 17 tedarikçi, iki depo ve on farklı rotadan oluşmaktadır (Ek 1).

Arçelik oluşturduğu tekrarlı dağıtım sisteminde her bir rota için haftanın belirli günlerinde tedarikçilerden malzeme alınmasına yönelik toplama planları oluşturmuştur. Tekrarlı dağıtım sisteminde 2,45x8,00x2,85 m ebatlarında kamyon ve 2,45x13,60x2,85 m ebatlarında tır olmak üzere iki farklı tip taşıyıcı kullanılmaktadır. Mevcut sistemde 1000’i aşkın malzeme çeşidi, 18 kamyon ve dokuz tırla toplanmaktadır. Malzemeler en ve boyları aynı (80x120 cm), yükseklikleri 60 cm ile 180 cm arasında değişen altı farklı tipte ambalaj ile taşınmaktadır.

3.2 Literatür taraması ve internet araştırmaları

Literatür taramasını temelde Araç Rotalama Problemi (ARP) üzerine yaptık. ARP merkezi bir noktada başlayıp biten, düşük maliyetli rotaların bulunmasını sağlamaktadır. Desrochers, Desrosiers ve Solomon (1990) yazmış oldukları makalede tedarikçi vardiya saatlerini de göz önünde bulunduran ARP’yi tüm tedarikçilere uğramayı sağlayan bir yaklaşımla çözmüştür. Haghani ve Jung (2005) ise aynı problemi farklı taşıyıcı tipleri kullanarak çözmüş ancak modellerinde tek bir depo kullanmışlardır. Arçelik’in probleminde ise birden çok depo kullanılabilir. Yalnızca bir aracın herhangi bir tedarikçiyi ziyaret etmesini sağlayan Ioannou, Kritikos ve Prastacos’un (2001) yazmış olduğu model ise çözdüğümüz problemde tedarikçilerden alınan malzeme miktarının bir taşıyıcının kapasitesini aşması nedeniyle ihtiyacı karşılamamaktadır.

İncelemiş olduğumuz modeller Arçelik’in problemine tam olarak uyan bir çözüm önermediği için projenin akademik danışmanlığını yapan Barbaros Tansel’in henüz yayınlanmamış olan notlarından (2009) ve kendisiyle yapmış olduğumuz toplantılardan yararlanarak aşağıda bahsedilen matematiksel modeli geliştirdik.

Benzetim modelimizi geliştirirken internette yapmış olduğumuz araştırmalar sonucunda Almanya merkezli SAT Simulations and Automations Technologies AG isimli bir danışmanlık şirketinin hazırlamış olduğu animasyonlardan faydalandık. Bu şirkette çalışan Dr. Thomas Arzt’ın göndermiş olduğu örnek tedarik zinciri benzetim modellerini de kendi modelimizi geliştirirken kullandık.

4. Önerilen Yöntem

Arçelik'in asıl problemi uygulanan metodun bulduğu rotaların katedilen toplam mesafe, araç doluluk oranı ve her bir rotayı tamamlama süresi bakımından verimliliğinin şirket için tatmin edici olmamasıydı. Projemizde rotaların daha kısa sürede bulunması için yeni bir metot geliştirme ve bulunacak rotaların performans ölçütlerine göre eniyileştirilmesi hedeflendi. Firmanın belirlediği kısıtlar göz önünde bulundurularak bir matematiksel model oluşturuldu. Bu model GAMS 22.3 arayüzünde CPLEX yazılımı kullanılarak çözdürüldü. Çıkan sonuçları değerlendirmek amacıyla bir benzetim modeli oluşturuldu. Arena 11'de hazırladığımız bu model sayesinde matematiksel modelin sonucu olarak elde edilen rotaları gerçek hayatta uygulamaya geçmeden önce bir laboratuvar ortamında deneme fırsatı bulundu. Ayrıca kullanıcı tarafından belirlenecek herhangi bir rota da benzetim modeli kullanılarak değerlendirilebilir. Matematiksel modelin ve benzetim modelinin daha kolay kullanımı sağlamak için ise bir arayüz hazırlandı.

4.1 Matematiksel model

4.1.1 Matematiksel modelin girdi ve çıktıları

Üretimde kullanılacak malzemelerin tedarik edilmesi için katedilen toplam mesafenin en aza indirildiği rotalar bütünü oluşturma amacıyla bir matematiksel model kuruldu.

Bu modelin girdileri aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi bilgileri
 - Her bir tedarikçinin birbirlerine ve BMİ'ye olan uzaklıkları
 - Tedarikçide bulunan rampa tipi
 - Tedarikçi vardiya saatleri
- Ambalaj tipi ve sayısı cinsinden haftalık toplam talep
- Taşıyıcı tip, kapasite ve hızları
- Taşıyıcı tipleri arasındaki kullanım maliyeti farkını yansıtmak için kullanılacak katsayılar
- Depo bilgileri
 - Depo yerleri
 - Her bir depoya atanan tedarikçilerin listesi

Bu girdiler kullanılarak tedarik zincirini oluşturan rotalar bulunmaktadır. Her bir rotada hangi tedarikçiden hangi ambalaj tipinden ne kadar mal alınacağı, alım işleminin hangi gün ve saatte yapılacağı ve hangi taşıyıcı tipinin kullanılacağı bilgisi modelin çıktısını oluşturmaktadır.

4.1.2 Matematiksel modelin kısıtları

İlk olarak hiçbir tedarikçinin toplama ağı dışında kalmaması için bir model kuruldu. Bu modele firma tarafından belirlenen aşağıdaki kısıtlar eklendi:

- *Kapasite kısıtı:* Taşıyıcıların kendi kapasitelerini aşmayacak şekilde taşıma yapmasını sağlayacak kısıtlar eklendi. Taşınacak ambalaj sayısı ile ilgili ambalajın hacmi çarpılarak taşınan mal hacmi bulundu. Modelin ambalaj hacimlerini sıvı hacim olarak işlemesinden dolayı gerçekte taşıyıcıya parçalamadan sığdırılmayacak ambalajları koymasını engellemek için taşıyıcı kapasitesi 1'den küçük bir nominal katsayıyla çarpılarak modele girildi. Bu katsayı kamyonun taşıyabileceği maksimum toplam ambalaj hacmi taşıyıcı hacmine bölünerek hesaplandı.
- *Rampa tipi kısıtı:* Sadece kamyonların yükleme / boşaltma yapabileceği türde rampaya sahip olan tedarikçiler bir küme içerisinde tanımlandı ve bu tedarikçilerden tırla mal alımı yapılması engellendi.
- *Vardiya saati kısıtı:* Taşıyıcıların tedarikçilere yalnızca vardiya saatleri içerisinde uğramasını sağlamak için Miller-Tucker-Zemlin (1960) kısıtları kullanıldı.
- *Köprü geçiş kısıtı:* Avrupa-Asya arası geçişlerde 16:00-22:00 arası köprü geçiş yasağı uygulandığı için taşıyıcıların bu yasağa takılmasını engelleyecek kısıtlar eklendi. Köprü, talebi sıfır olan bir tedarikçi olarak tanımlandı ve Avrupa'da yer alan tedarikçilerden çıkan taşıyıcıların bu tedarikçiye uğraması sağlandı.

4.1.3 Depoyu modele dahil etme

Kullanılacak olası depoların yerleri firma tarafından önceden belirlendi. Aşağıda bahsedilen arayüz yardımıyla kullanılmak istenen depoya uzaklığı azami 20 km ve haftalık talebi sekiz ambalajın altında olan tedarikçiler listelendi. Ancak kullanıcının söz konusu depoya atanacak tedarikçileri, listelenenlerin ve kalan tedarikçilerin arasından kendi belirlemesine imkan sağlandı. Matematiksel model, ana toplama noktası olarak BMİ yerine depoyu koyarak ve yalnızca o depoya atanan tedarikçiler modele girilerek çözdürüldü. Depoya taşınacak malzemeler haftanın ilk birkaç gününde kamyonetle toplatıldı, kalan günlerde ise var olan taşıyıcılar kullanılarak depodaki malzemeler BMİ'ye getirildi. BMİ'ye malzeme taşımak için kullanılacak rotalar belirlenirken depo bir tedarikçi gibi tanımlanarak kalan tedarikçiler ve ana toplama noktası olarak BMİ ile birlikte model çözdürüldü.

4.1.4 Matematiksel model çıktı analizi

Taşıyıcı kapasitesi olarak her ne kadar nominal kapasite kullanılsa da model gerçekte taşınamayacak bazı ambalajları taşıyıcılara atamaktadır. Bunun sebebi modelin aslında üç boyutlu katı cisimler olan ambalajları sıvı farz ederek hacim hesaplaması yapmasıdır. Bir kamyon 2.2 m yüksekliğe kadar her birinin yüksekliği 100 cm olan 40 tane ambalaj ile doldurulmuş olsun. Bu ambalajların toplam hacmi 42.24 m^3 ,

kamyonun nominal kapasitesi ise 46.75 m³'tür. Gerçekte bu taşınan ambalajlara ek olarak 80 cm yüksekliğinde başka bir ambalaj kamyonda taşınamayacakken model kalan 4.51 m³'lük boş hacme hepsi 3.84 m³ yer kaplayan beş tane daha 80 cm yüksekliğe sahip ambalaj yerleştirmektedir. Taşınmakta olan 40 paletin üstünde 65 cm'lik boşluk kaldığı için buraya 80 cm yüksekliğindeki bu ambalajlardan konulamamaktadır. Bu tip durumlarda taşınamayacak olan bu beş ambalaj malzeme mümkünse başka bir rotaya aktarılmalı ya da bunların taşınması için yeni bir rota eklenmelidir. Bu takip eden düzenleme işlemi tahmini olarak 10-15 dakika sürmektedir.

4.2 Benzetim modeli

Matematiksel modeli kullanarak bulmuş olduğumuz sonuçları ve kullanıcının denemek istediği rotaları katedilen toplam mesafe, rota süreleri, maliyet ve araç doluluk oranlarını hesaplayarak gerçekçi bir ortamda değerlendirebilmek için Arena bazlı bir benzetim modeli oluşturuldu (Ek 2). Buna ilaveten tedarik zincirinde yapılabilecek kimi değişiklikler hayata geçirilmeden benzetim modeli yardımıyla görsel olarak değerlendirilebilmektedir. Bu değişiklikler talep miktarlarında, tedarikçi kombinasyonlarında, tedarikçi vardiya saatlerinde ve rota içi sıralamalarda gerçekleşebilir. Söz konusu değişikliklerin matematiksel modele yansıtılıp çözdürülmesi beklenmeden Arena'da oldukça hızlı bir şekilde değerlendirme yapılabilir. Ayrıca alternatif depo yerleri değerlendirilmek istendiğinde bu depoya atanacak tedarikçiler kullanıcı tarafından belirlenerek kullanılacak rotalar benzetim modeli yardımıyla hızlıca değerlendirilip makul rotalar depoya malzeme toplamada kullanılabilir.

Benzetim modelinin girdileri aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi bilgileri
 - Tedarikçilerin birbirlerine ve BMI'ye olan uzaklıkları
 - Tedarikçi vardiya saatleri
 - Tedarikçide yükleme / boşaltma süreleri
- Tedarikçilerin ambalaj tipi cinsinden talep miktarları
- Depo yerleri ve tedarikçilere olan uzaklıkları
- Köprü geçiş saatleri
- Taşıyıcı tip, kapasite ve hızları
- Rotalar ve başlangıç zamanları

Benzetim modelinin çıktıları aşağıdaki gibidir (Ek 3):

- Toplam katedilen mesafe
- Rota süreleri
- Toplam maliyet (eğer taşıma maliyetleri firma tarafından sağlanırsa)
- Araç doluluk oranları

Model kurulurken 81 ilin birbirlerine en kısa yol uzaklıkları göz önüne alınarak tüm tedarikçilerin ve mevcut sistemdeki iki deponun yer aldığı bir ağ oluşturuldu (Ek 4). Yeni bir tedarikçi sisteme tanıtılmak istendiğinde o tedarikçinin bulunduğu ilin merkezine ve o ildeki diğer tedarikçilere olan uzaklıkları girilerek tedarikçi ağı dahil edildi.

Ağda yer alan her bir nokta *Enter-Process-Leave* (Giriş-İşleme-Çıkış) modülleri kullanılarak modellendi. *Enter* ve *Leave* modülleri taşıyıcının çağırılması ve bırakılmasını, *Process* modülü yükleme / boşaltma zamanlarının sisteme tanıtılmasını ve bu modül içindeki *Resource* (Kaynak) tedarikçi vardiya saatlerinin sisteme girilmesini sağladı. Rotalar *Sequence* (Dizi) olarak modellendi, ileride artabilecek rota sayısı göz önünde bulundurularak Excel üzerinden giriş yapmaya imkan sağlayan boş *Sequence* veri modülleri tanımlandı. Ayrıca yeni tedarikçilerin sisteme kolaylıkla eklenebilmesi için halihazırda kullanılmayan boş tedarikçiler ağı yerleştirildi. Yukarıda bahsedilen girdilerin tamamının modele müdahale etmeden Excel üzerinden alınması sağlandı.

4.3 Arayüz

Matematiksel modele ve benzetim modeline kullanıcı tarafından asgari düzeyde müdahale edilmesini sağlayacak kullanıcı dostu Excel tabanlı bir arayüz tasarlanmıştır (Ek 5).

Arayüzün işlevleri aşağıdaki gibidir:

- *Tedarikçi ekleme / çıkarma*: Sisteme yeni bir tedarikçi eklenirken o tedarikçinin ismi, bulunduğu şehrin merkezine ve o şehirdeki diğer tedarikçi ve depolara olan uzaklığı, Avrupa ya da Asya'da bulunma durumu, rampa tipi, vardiya saatleri ve kullandığı ambalaj tip(ler)i bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Sistem eklenen tedarikçinin var olan diğer tüm tedarikçilere olan uzaklığını kendisi hesaplamaktadır.
- *Tedarikçi bilgisi değiştirme*: Halihazırda tanımlı olan tedarikçilerin rampa tipi, kullandığı ambalaj tipi ve vardiya saatleri değiştirilebilmektedir.
- *Talep ekleme / çıkarma / değiştirme*: Tedarikçi ve gün seçildikten sonra yeni talep bilgisi girilmektedir.
- *Ambalaj tipi ekleme / çıkarma*: Yeni bir ambalaj tipi sisteme eklenirken ilgili ambalajın en, boy ve yükseklik bilgisi cm bazında girilmektedir.
- *Depo ekleme*: Sisteme bir depo eklenirken o deponun ismi, bulunduğu şehrin merkezine ve o şehirdeki diğer depo ve tedarikçilere olan uzaklığı, ilgili depoya atanacak tedarikçilerin ismi bilgileri girilmelidir.
- *Depo aktifleştirme / pasifleştirme*: Sisteme firma tarafından önceden belirlenen altı olası depo yeri tanımlandı Bir depo

kullanıcı tarafından aktifleştirilmek istendiği takdirde bu depoya azami uzaklığı 20 km ve haftalık talep miktarı sekiz ambalajdan az olan tedarikçiler arayüzde listelenir. Ancak kullanıcı bu depoya atamak istediği tedarikçileri, hem listelenenlerin ve hem de kalan tedarikçilerin arasından seçebilmektedir.

- *Taşıyıcı tipi ekleme / çıkarma:* Sisteme yeni bir taşıyıcı eklenirken o taşıyıcının türü ve kapasitesi (dm^3) sistemde tanımlanır.
- *Gün değiştirme:* Tedarikçilerden malzeme toplanacak günleri belirlemek için kullanılmaktadır.

5. Sonuçlar

5.1 Sistem performansı

CPLEX kullanılarak çözdürülen matematiksel model, tekrarlı dağıtım sistemindeki mevcut tedarikçiler ve talep miktarlarıyla 1 saat 45 dakikada teorik olarak en iyi çözümden %6 uzaklıkta bir çözüm vermektedir. Rotaların bulunma işlemi mevcut sistemde yaklaşık iki gün sürüyor ve bu rotaların yukarıda bahsedilen performans ölçütlerine göre verimliliği ölçülemiyordu. Tasarlanan karar aracı sayesinde kullanıcı birkaç saat içerisinde verimli rotaları elde edebilecektir.

5.2 Mevcut durumla karar aracı çıktılarının karşılaştırılması

Firmanın kullandığı rota sistemiyle karar aracımızın sonucunda bulmuş olduğumuz çözümün performans ölçüt değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Performans ölçüt değerleri.

	Mevcut sistem	Önerilen sistem	İyileştirme (%)
Katedilen Toplam Mesafe (km)	5645	3980	29,50
Ortalama Teorik Araç Doluluk Oranı (%)	64,50	73,40	13,80
Ortalama Nominal Araç Doluluk Oranı (%)	75,88	86,35	13,80

6. Uygulama Planı

Matematiksel modelin çalıştırılması için GAMS 22.3 arayüzünü kullanan CPLEX, benzetim modelinin çalıştırılması içinse Arena 11 yazılımlarının kullanıcının bilgisayarında yüklü olması gerekmektedir. Projemizin çıktılarından memnun olan Arçelik bu yazılımları satın almayı planlamaktadır. Ayrıca bu iki modelin girdilerinin yazılımlar tarafından okunabilmesi ve parametrelerinin kullanıcı tarafından değiştirilebilmesi için Microsoft Excel kullanılmaktadır.

İlk olarak, çalıştırılması gereken matematiksel modelin girdileri arayüz yoluyla Excel’e girilecektir. Modelin vereceği sonuçların

kullanıcı tarafından okunması ve bu sonuçları hayata geçirebilmek için takip eden düzenleme yapılmasının ardından sonuçlar Arena'nın girdi olarak kullandığı bir başka Excel dosyasına aktarılacaktır. Benzetim modelinde oluşturulan sonuçların katedilen toplam mesafe ve araç doluluk oranı gibi performans ölçütleri hesaplanacaktır. Kullanıcının kararını verirken bu ölçütlerin değerlerini dikkate alması beklenmektedir.

Kurulan sistem firmada uygulanmaya başlamadan önce sistemi kullanacak olanlara tanıtılmıştır. Kullanıcıya çıktıların nasıl yorumlanması gerektiği uygulamalı olarak anlatılmış ve alınan çıktıların takip eden düzenleme yapılarak geliştirilmesi gereken durumlarda ise bunun nasıl yapılacağı ayrıntılı bir şekilde aktarılmıştır.

7. Genel Değerlendirme

Geliştirmiş olduğumuz matematiksel modelin çıktıları benzetim modeline aktararak test edilmiştir. Bu test aşamasında oluşabilecek sorunlar önceden tespit edilmiş ve şirkette uygulanmaya başlamadan önce gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Arena platformunda tedarikçi ekleme ve yeni rota yaratmada sorunlarla karşılaşılması adına önceden yaratılan boş tedarikçi ve rotalar sistemin kullanım kolaylığını artırmıştır.

Projenin öngörülen kazanımları aşağıda belirtilmektedir (Tablo 2):

Tablo 2. Proje kazanımları.

Mevcut Sistem	Öngörülen Sistem	Öngörülen Kazanım
Elle rota bulma	Matematiksel Model	İşgücü tasarrufu ve rota verimliliği artışı
Performans ölçütlerini elle hesaplama	Benzetim Modeli	İşgücü tasarrufu ve zaman kazancı
Dağınık veriler	Arayüz	Bilgi yönetimi

7.1 İleriye dönük geliştirme olanakları

Hazırlamış olduğumuz karar aracı tedarikçi ya da depolarla ilgili değişiklik durumunda sağlıklı olarak çalışmaya devam edecektir. Ancak kısıtlarda herhangi bir değişiklik olursa matematiksel modele ve benzetim modeline söz konusu kısıtların eklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

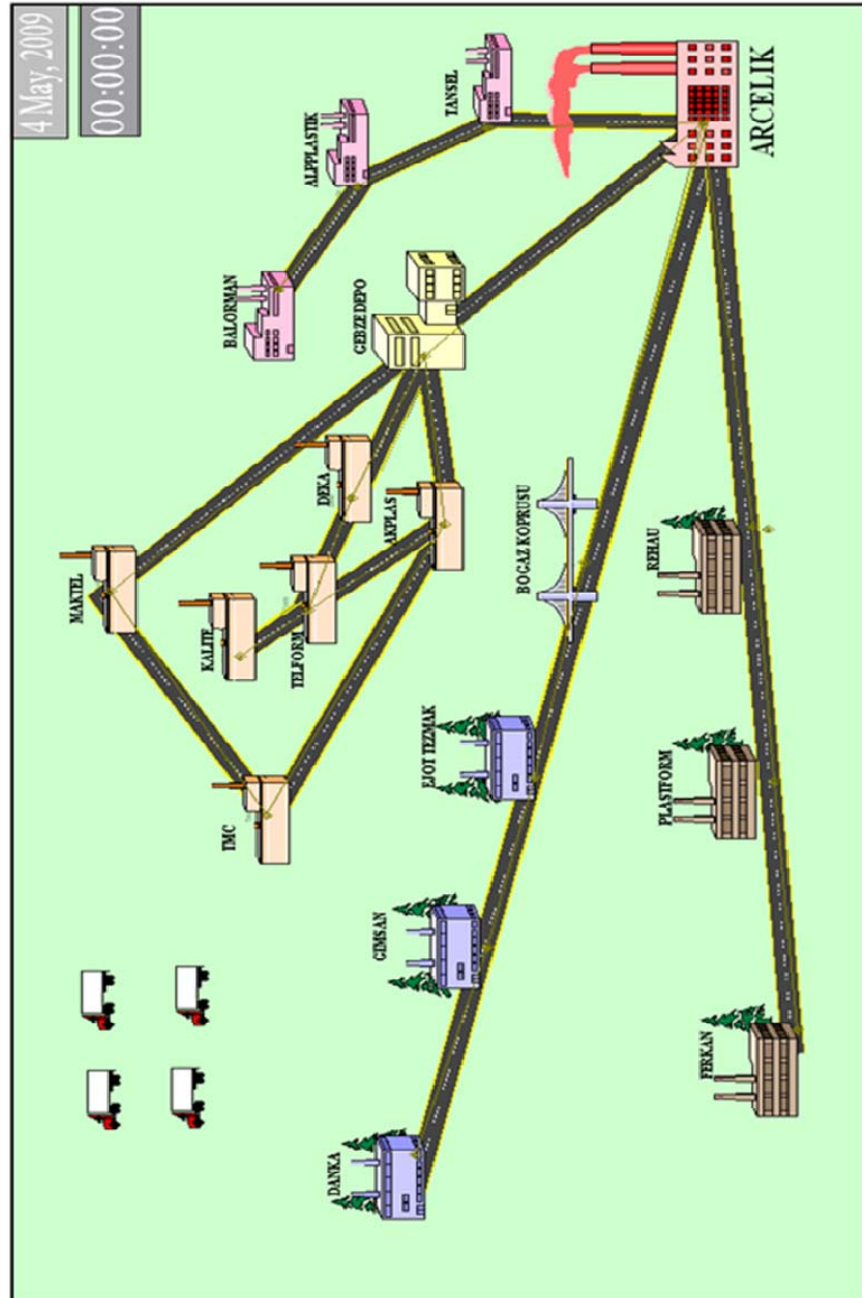
- Desrochers, M., Desrosiers, J., Solomon, M. (1992). "A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows", *Operations Research*, 40(2), 342-354.
- Haghani, A., Jung, S. (2005). "A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times", *Computers & Operations Research*, 32(11), 2959-2986.
- Ioannou, G., Kritikos, M., Prastacos, G. (2001). "A greedy look-ahead heuristics for the vehicle routing problem with time windows", *Journal of the Operational Research Society*, 52, 523-537.
- Miller, C., Tucker, A., Zemlin, R. (1960). "Integer programming formulation of travelling salesman problems", *Journal of the ACM*, 7(4), 326-329.
- Tansel, B.C. (2009). "Mathematical programming models for milk-run problem", *Araştırma Notları*, Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800 Bilkent, Ankara, Türkiye.

EKLER

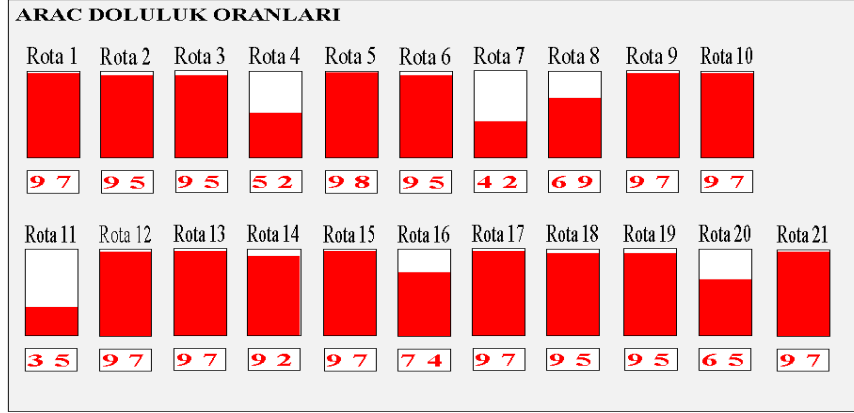
Ek 1. Mevcut rota bilgileri

Rota No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rota Bölgesi	İstanbul Anadolu	İstanbul Anadolu	İstanbul Avrupa	İstanbul Avrupa	Çerkez köyü	Bolu	Bolu	Bolu	Bursa	Bolu
Taşıyıcı Tipi	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Tır	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Tır
Uçranılan Tedarikçi Sırası	Maktel	Maktel	Danka	Danka	Şiteks	Balorman	Alp Plastik	Alp Plastik	Ferkan	Balorman
	Kalite	Telform	Gimsan	Gimsan	Arçelik Motor	BMI	BMI	Tansel	Plastform	BMI
	Telform	Deka	Deka	Ejot	BMI			BMI	Rehau	
	Deka	TMC	Akplas	Deka					BMI	
	Akplas	Akplas	Telform	Akplas						
	BMI	BMI	BMI	Telform						
Haftalık Sipariş Sıklığı	1	1	1	1	3	5	4	2	1	6
Katedilen Mesafe (km)	500	495	660	685	1592	800	680	350	530	960

Ek 2. Benzetim modeli animasyonu



Ek 3. Benzetim modeli performans analizi çıktıları



Katedilen KM

Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8	Rota 9	Rota 10	Rota 11
190	190	30	440	190	90	530	440	175	190	640

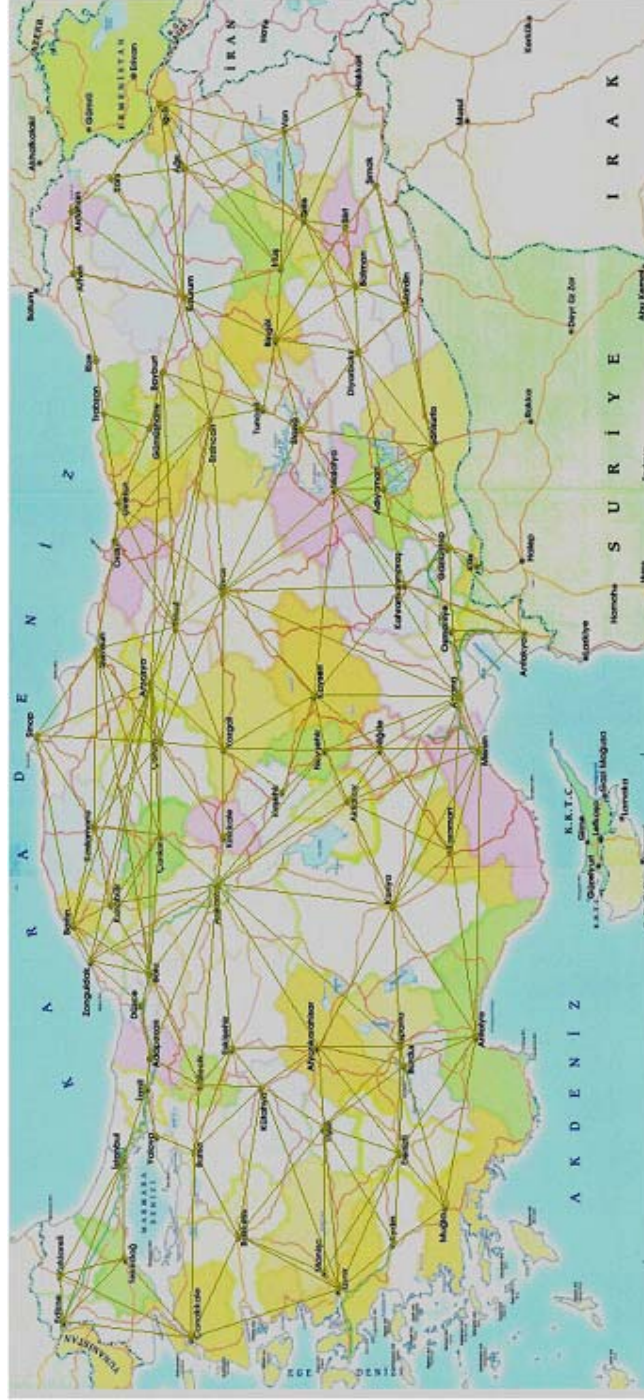
Rota 12	Rota 13	Rota 14	Rota 15	Rota 16	Rota 17	Rota 18	Rota 19	Rota 20	Rota 21
175	190	35	160	190	190	5	5	190	190

Rota Sureleri

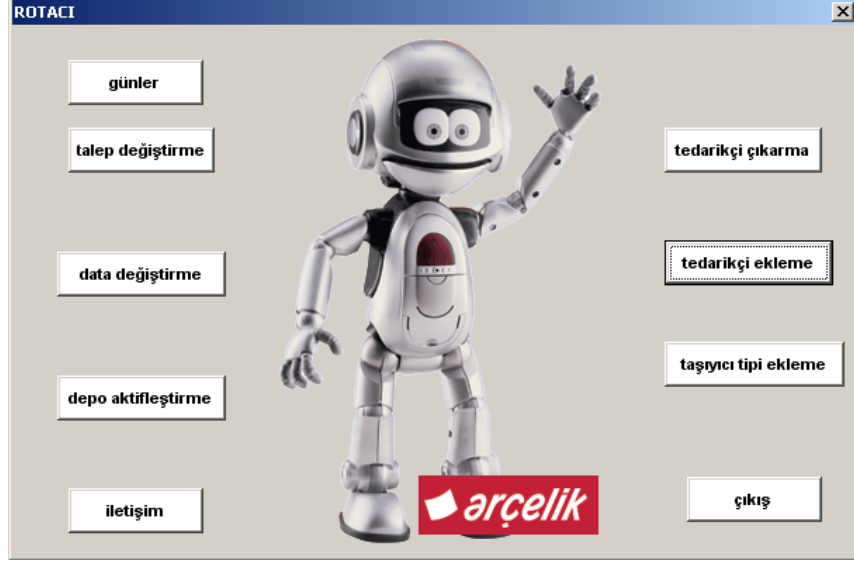
Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8	Rota 9	Rota 10	Rota 11
6.71	6.71	3.43	8.29	5.71	5.29	11.57	8.29	5.50	5.71	14.14

Rota 12	Rota 13	Rota 14	Rota 15	Rota 16	Rota 17	Rota 18	Rota 19	Rota 20	Rota 21
5.50	5.71	4.50	4.29	5.71	5.71	2.07	2.07	5.71	5.71

Ek 4. 81 ilin yer aldığı Arena ağı



Ek 5. Arayüz



Afet Acil Eylem Planı

Kaynak Atama, Takip ve Geçici Depolama Sistemi

Bakırköy Belediyesi

Proje Ekibi

Elif Kübra Durukan
Begül Eray
Duygu Karaboncuk
Pınar Karakaş
Burak Koç
Ertan Tok

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Danışmanlar

Burak Pehlivanlı, Bakırköy Belediyesi Bilgi İşlem Yöneticisi
Özden Işık, Bakırköy Afet Yönetim Genel Koordinatörü
Yrd. Doç. Dr. Oğuz Gündoğdu, İstanbul Üniversitesi Jeofizik
Mühendisliği Bölümü

Akademik Danışman

Doç. Dr. Bahar Yetiş Kara, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projenin amacı, afet sonrasında ilk 72 saat kapsamında akıllı ve hızlı bir şekilde işleyebilecek bir afet yönetim sistemi tasarlayarak olası bir afet anında yaşanacak sorunları en aza indirmektir. Bunun için Durum Tespit ve İletişim Sistemi ile Kaynak Atama ve Takip Sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerin sonucu olarak geçen depremlerde gözlemlenen organizasyon eksikliklerine çözümler bulunmuş ve iş akışı hızlandırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Afet Kaynak Yönetimi, Veritabanı, Depo yönetimi, ABC analizi, İletişim Yönergeleri

1. Bakırköy Belediyesi

Bakırköy demiryolu, havalimanı, karayolu ve limanlarıyla İstanbul'un Avrupa yakasının birincil afet lojistik merkezidir. Aynı zamanda olası bir İstanbul depreminde en çok etkilenecek bölgelerin başında gelmektedir. 20 yıl içinde İstanbul merkezli sarsıcı 6-10 şiddetinde bir deprem beklenmektedir ve tahminlere göre bu ilçedeki binaların %80'nin bu olası depremde ciddi hasar görebileceği ve çok miktarda can kaybının olabileceği öngörülmektedir (Le Suroit, 2005).

Bakırköy Belediyesi, BAKOP (Bakırköy Kentsel Otomasyon Projesi) ile karşılaşılan acil durumların en etkin şekilde yönetilebilmesi için gerekli olan bilgileri toplamıştır. Bu bilgiler bölgede yaşayan insanların yaşı, sağlık durumu, öğrenimi, mesleği, oturdukları binanın deprem şiddetine olan hassasiyeti, bölgenin deprem haritası gibi birçok özelliği kapsamaktadır. Bunun yanı sıra Bakırköy'de, afet anında gerekli koordinasyonun tek bir elden yönetilebilmesini sağlayacak bir Afet Yönetim Merkezi kurulmuştur. Bu merkez afetlerden sonra oluşturulacak Kriz Masasının bir üyesi olacak ve karar mekanizmasında etkin rol oynayacaktır.

2. Projenin Tanımı

2.1 Depremlerde gözlenen organizasyon eksiklikleri

Depremlerden sonraki süreçle ilgili yapılan araştırmalar, çeşitli kişi ve kurumlarla olan görüşmeler sonucunda depremlerde gözlenen beş ana organizasyon eksikliği tanımlanmıştır.[Bağcı,2009; Kurtul,2008; Kökçü, 2008; Le Suroit, 2005; Altay, Prasad, & Sounderpandian, 2006; Dündar, 2000] Bunlar;

1. *İletişim Teknolojisinin Eksikliği:* GSM operatörlerinin etkisiz kalması sebebiyle iletişim uzun süre kesintiye uğramıştır. Bu yüzden karar mekanizmasına dahil insanlar iletişim kopukluğundan ötürü görevlerini etkin bir biçimde yerine getirememişlerdir.
2. *Kaynak Sınıflandırmasının Eksikliği:* Kaynak sınıflandırılması yapılmadığı için gerekli malzemeler uygun şekilde listelenememiş, depolanamamış ve dağıtılamamıştır.
3. *Kaynak Yönlendirme Mekanizması Eksikliği:* Afet anında talep edilen yardım malzemelerinin hangi bölgeye, ne sıklıkla ve nasıl bir sıraya göre gönderilmesi gerektiği belirlenememiştir.
4. *Yardım Malzemelerinin Takibinin Yetersizliği:* Deprem bölgelerine gönderilen malzemeler sorumlu kişilere ulaştırılmadığı için depremedeler tarafından kullanılamamış ve zamanla bozulup atılmak zorunda kalmıştır.
5. *Talep Karşılamadaki Yetersizlik:* İhtiyaç duyulan temel yardım malzemelerinin az miktarda yollanması ile gereksiz malzemelerin

bölgeye daha çok gönderilmesi depremzedelerin taleplerinin karşılanamamasına yol açmıştır.

2.2 Proje tanımı ve kapsamı

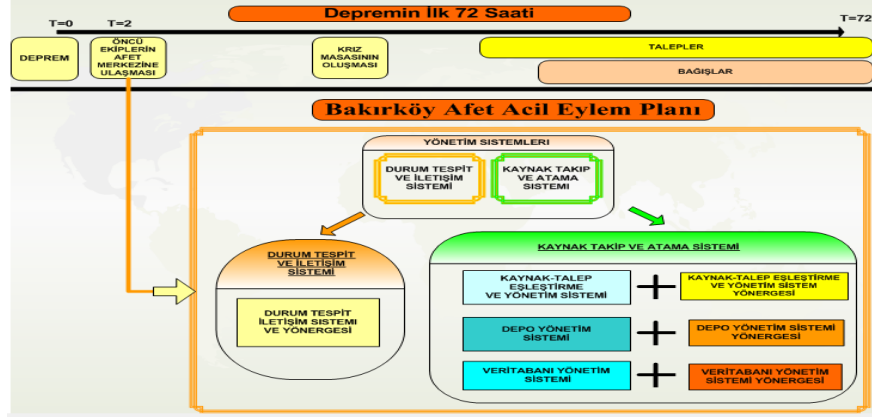
Bakırköy Belediyesi depreme hazırlık konusunda BAKOP projesi ile Afet Merkezinin oluşturulması gibi çeşitli çalışmalar yaparak bu konuya olan hassasiyetini göstermiştir. Ancak belediyenin olası bir İstanbul depreminde ortaya çıkabilecek organizasyon bozukluklarını giderecek bir Afet Yönetim Sistemi bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu projede Bakırköy Belediyesi için ilk 72 saate odaklı bir Afet Acil Eylem Planı geliştirilmiştir. Belediye bu plan kapsamında, yardımlar yollanmadan talep yönlendirmesi yaparak gelecek yardım malzemelerinin daha çok ihtiyaca yönelik gelmesini sağlayacak, gelen malzemeleri mahallelerin ihtiyaç durumlarına göre yönlendirebilecek, oluşturulan veritabanında bu malzeme hareketlerini rahatlıkla takip edebilecek, gerektiğinde geçici depolar oluşturabilecek ve tüm bu sistemi her eğitim seviyesinden insanın anlayabileceği basit bir dille yazılmış olan yönergeler eşliğinde yönetebilecektir. Afet sonrasında yönlendirilecek insan ve araç kaynaklarının yönetimi ise Takım 7'nin proje kapsamındadır.

3. Mevcut Sistemin Analizi ve Önerilen Yöntem

Depremlerdeki ilk 72 saatte yapılan müdahaleler göçük altında kalan insanlara hızlıca ulaşip, yaralıları müdahale ederek can kaybını önlemek açısından çok kritiktir. Bakırköy özelinde ilk 72 saati incelemek gerekirse (Şekil 1); depremi takip eden ilk iki saate öncü ekipler Bakırköy Afet Merkezine ulaşması beklenmektedir. İlerleyen saatlerde dokuz kurum temsilcisinin meydana getirdiği kriz masası oluşmaktadır. Kriz masasının en önemli görevi mahallelerle iletişime geçip durum tespit bilgilerini alarak kaynak yönlendirmesi yapmak ve olası can kayıplarını azaltmaktır. Bu görevini yerine getirebilmesi için de 72 saatteki süreci etkin bir biçimde yönetmesi gerekmektedir, aksi takdirde talepler yığılacak ve yardımlar mahallelere düzgün yönlendirilemeyecektir.

Bu proje kapsamında Kriz Masasındaki dokuz kurumdan biri olan Bakırköy Belediyesi ele alınmış, onların 72 saatteki süreçlerini etkin bir şekilde yönetebilmeleri için bir sistem tasarlanmıştır. Belediyenin 72 saatte geçirdiği süreç oluşturulan sistemde 2 ana çatı altında toplanmıştır; i)Durum Tespit, İletişim Sistemi ii)Kaynak Takip ve Atama Sistemi. Bu sürecin ilk kısmında belediyenin iletişimi sağlaması ve mahallelerin durumunu öğrenmesi gerektiği belirlenmiştir. İkinci kısımda yapılması gerekenler ise gelen yardımları mahallelere ulaştırmak, gerektiğinde depolamak ve bunların kayıtlarını tutmak olarak belirlenmiştir. Kısacası sürecin ilk kısmında durum tespiti yapılmalı ikinci kısımda ise durumla ilgili harekete geçilmelidir.

Aşağıdaki şekilde bu iki süreci yönetmek amacıyla oluşturulan Afet Acil Eylem Planı bulunmaktadır (Şekil1).



Şekil 1. Deprem sonrası sürecin işleyişi.

Şekilde de gösterildiği üzere Durum Tespit ve İletişim Sistemi'nin amacı iletişimi sağlayıp mahalle bilgilerinin alınarak durum tespit bilgilerinin elde edilmesini sağlamaktır.

Kaynak Takip ve Atama Sistemi'nin amacı ise, veritabanı yardımıyla kaynak envanterini tutarak mahallelerin kaynak taleplerini web sitesi aracılığıyla duyurmak, gelen yardımları ihtiyaç duyan mahallelere yönlendirmek, bunları gerektiğinde geçici olarak depolayabilmek ve bu giren ve çıkan kaynakları veritabanı sistemi altında takip etmektir.

Sonuçta bu iki ana sistem ile oluşturulan Bakırköy Afet Acil Eylem Planı ile öncelikle iletişim ağı kurulmuş, web sitesi aracılığıyla afeti takiben gelecek malzemelerin daha çok ihtiyaca yönelik gelmesi sağlanmış, elde bulunan kaynaklar veritabanı sayesinde takip edilebilmiş, gerektiğinde geçici depolama alanlarına yönlendirilip etkin bir depo yönetimi sağlanmış, gelen kaynaklar bunlara en çok ihtiyaç duyan mahalle talepleriyle eşleştirilebilmiş ve tüm bu sistem herkesin anlayabileceği bir dilde yazılmış olan yönergelerle yönetilebilir hale getirilmiştir.

4. Geliştirilen Modeller ve Çözüm Yöntemleri

Deprem yönetimini kolaylaştıracak dört ana temel sistem, Kaynak-Talep Eşleştirme Sistemi, Depo Yönetim Sistemi, Veritabanı Yönetim Sistemi ve bu sistemlerin işlemelerini sağlayacak yönergeler oluşturularak Afet Acil Eylem Planı Bakırköy özelinde yapılmıştır.

4.1 Kaynak - talep eşleştirme ve yönetim sistemi

Önceki depremlerde ilk 72 saat süresince yardımlar, taleplere kıyasla yetersiz kalmıştır ve her talepte bulunmuş olan mahallenin

ihtiyacı karşılanamamıştır. Bazı mahallelere ihtiyacından fazla yardım malzemesi giderken bazılarında da hiç malzeme gönderilememiştir. Bakırköy’de 15 mahalle bulunmaktadır ve ilk 72 saat içerisinde olası bir depremde bu mahalleler, Bakırköy Belediyesi ve Afet Koordinasyon Merkezinden arama-kurtarma ve ilkyardım malzemelerinin yoğunluklu olduğu kaynaklar talep edecektir. Bu sebepten ötürü, Bakırköy Belediyesi’nin elinde bulunan sınırlı sayıda yardım malzemesini mahallelerin ihtiyaçlarına göre adil bir şekilde yönlendirebileceği bir karar mekanizmasına ihtiyacı olduğu belirlenmiş ve Kaynak-Talep Eşleştirme ve Yönetim Sistemi tasarlanmıştır.

Bu mekanizmayı geliştirirken öncelikle 72 saat içerisinde gelebilecek yardım malzemelerinin tiplerini belirleyebilmek için kaynak sınıflandırması yapılmıştır (Ek 1). Bu sınıflandırmaya göre, altı temel kaynak sınıfı oluşturulmuş ve yardım malzemeleri bu altı sınıftan birine atanmıştır. Bazı kategorilerin alt kısımları bulunmaktadır, örneğin Barınma-Giyim Malzemeleri kategorisinde malzeme listesi mevsime bağlı olarak değiştiği için, yaz ayları ile kış ayları olmak üzere mevsim kısımları oluşturulmuştur. Ayrıca Temizlik Malzemeleri kategorisinde malzeme listesi cinsiyet ve yaşa göre değişiklik gösterdiğinden kadın, erkek ve çocukların ihtiyaçlarına göre de farklı alt kısımlar oluşturulmuştur. Gıda Kategorisinde ise gelecek gıdaların saklanabilirlik koşullarına göre dayanıklı ve dayanıksız gıdalar olmak üzere iki kısıma gidilmiştir. Tüm bu çalışmaların sonucunda her malzeme tipi bir kategoriye dahil edilerek, farklı alt kısımlarıyla “72 Saat için Öncelikli Kaynaklar Listesi” oluşturulmuştur (Ek 1).

Daha sonrasında BAKOP kapsamında elde edilen Mahalle Risk Analiz Değerleri incelenmiştir. Mahallelerin içerisinde bulunan riskli bina sayılarına göre her bir mahallenin ortalama risk değeri çıkarılmıştır. Bütün muhtarlarla iletişime geçilerek her bir mahalledeki nüfusun tatile gitme oranı, yaşlı, orta yaşlı, genç ve çocuk nüfus yüzdeleri öğrenilmiştir (Ek 2). Her bir nüfus kategorisinin Bakırköy’de ikamet etme zamanlarına göre mahalle bazında nüfus artışına veya azalışına neden olduğu saptanmıştır. Bu nedenle de nüfusun hafta içi, hafta sonu, gece, gündüz ve tatillerdeki değerleri tespit edilmiştir ve böylelikle herhangi bir zamanda herhangi bir mahalledeki nüfus sayısına ulaşabilmemiz mümkün olmuştur. Ayrıca, mahallelerin hesaplanan risk ortalamaları ile edinilen nüfus yoğunluk bilgileri karşılaştırılarak aralarında doğru orantı olmadığı saptanmıştır (Ek 3). Örneğin en fazla nüfusa sahip Kartaltepe mahallesinin ortalama risk değeri bakımından sonlarda yer aldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada sadece nüfus yoğunluğu ve risk değerlerine bakılarak kaynak talep eşleştirilmesi yapılamayacağı dolayısıyla da bir yardım talebi

geldiğinde mahalleleri önceliklendirebilmek için daha detaylı kırılımlara gidilmesi gerektiği saptanmıştır.

Bir sonraki adımda ise her bir mahallede bulunan kurumların çeşit ve sayılarının da karar mekanizmasında etkili olmasının mahalle bazında kaynak talep eşleştirmesinin güvenilirliğini arttıracığı düşünülmüştür. Çok sayıda insan bulunduran kurumlar öncelikli olarak belirlenmiştir. Buna göre öncelikli kurumlar; eğitim kurumları (okul, yuva ve dershaneler), sağlık kurumları (hastane, poliklinik ve huzurevleri), ibadet kurumları (cami, kilise ve sinagoglar) ve sosyal kurumlar (sinema, tiyatro, AVM ve oteller) olmak üzere dört ana kategoriye ayrılmıştır. Bütün kurumların açık ve kapalı olduğu zaman dilimleri bilindiği için, 15 mahalle bazında bu kurumların her birinin hangi saatlerde, haftanın hangi günlerinde ve hangi aylarda daha çok önem kazanacağı saptanmıştır (Ek 4). Daha sonra da bu kurumların bünyesindeki nüfusun niteliğine ve niceliğine göre olası bir afet anında kendi aralarında servis edilme sıraları belirlenmiştir. Eğitim kurumları ile Sağlık kurumları 1. sırada, AVM'leri 2. sırada, geri kalan İbadet Kurumları ile Sosyal Kurumlar ise 3. sırada yerlerini almışlardır (Ek 5). (Oğuz, 2008). Örneğin 1. Sırada servis edilecek kurum kategorisine dahil okullar yaz aylarında öncelikli kurum olarak sayılmamaktadırlar çünkü o zaman diliminde öğrenciler okullarda bulunmamaktadırlar. Bu öncelikli kurum çalışması ile her bir zaman diliminde ve her bir mahallede açık olan öncelikli kurumları belirleyebilecek veriler toplanmıştır.

Tüm Bakırköy mahallelerine ait nüfus ve kurum bilgileri oluşturulan sistemde kullanılmış ve sonucunda da mahalleleri sıralayarak, yardımların adil bir biçimde dağıtılmasını sağlayan bir Kaynak - Talep Eşleştirme Yönetim Sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem mahalleleri aşağıda açıklanan 3 ana kriter kapsamında sıralamaktadır.

4.1.1 Yıkılan konutlardaki demografik dağılım (YKDm(t))

Bu kriter bir mahallenin (m) Demografik Dağılım ($Dm(t)$) bilgilerini Durum Tespit ($DTm(t)$) bilgileriyle birleştirerek bize her mahallenin Yıkılan Konutlardaki Demografik Dağılımını ($YKDm(t)$) vermektedir. Örneğin, Kartaltepe Mahallesi için t zamanındaki formülasyon şu şekildedir: $YKD_{kartaltepe}(t) = D_{kartaltepe}(t) * DT_{kartaltepe}(t)$. Böylelikle bu kriterle yıkılan konutlardaki nüfus dağılımı tespit edilmektedir.

• *Demografik Dağılım ($Dm(t)$):* Mahallelerdeki nüfus yaş kategorilerine göre farklı şekillerde hareket ettiği için herhangi bir zamanda herhangi bir mahallede bulunan nüfusu bulmak amacıyla *Demografik Dağılım Fonksiyonu* geliştirilmiştir. Bu fonksiyon depremin olduğu herhangi bir saatte 15 mahallenin her birinin nüfusunu tespit edebilmektedir. Örneğin nüfusun %60'ının yaşlı, %10'unun orta

yaşlı, %30'unun genç olduğu Kartaltepe Mahallesinde, nüfusun %20 sinin yaz aylarında tatile gittiği 10.263 oturmanı ve 963 çalışmanı olduğu göz önüne alınır; Ekim ayının Cuma günü saat 13.00'te olabilecek bir deprem $D_m(t)$ fonksiyonu 7104 kişinin bölgede olabileceği bilgisini verir. (Ek 6) $[D_{Kartaltepe}(Ekim, Cuma, 13.00)=10236*[1+(1-1)*(1-0,20)]*[0*0,30+0*0,10+1*0,60]+(1*963)=7104$ kişi]

- *Durum Tespit Bilgileri (DT_{m(t)})*: Bu fonksiyon depremin verdiği hasarı Durum Tespit ve İletişim Zarfı'nı takiben her bir mahalleden edinilen hasar tespit bilgilerini kullanır. Bu fonksiyon depremin verdiği hasarı, oluşturulan programa yansıtacaktır. Her bir mahallenin ortalama aldığı yıkım yüzdesi Mahalle Durum Tespit Bilgisini oluşturmaktadır. Bir mahallenin Durum Tespit yüzdesi o mahallenin Demografik Dağılım Fonksiyonuyla çarpılarak, mahalle bazında bize Yıkılan Konutlarındaki Demografik Dağılım sayısını vermektedir. Bu durumda örneğin ekim ayının bir cuma günü saat 13.00'te, Kartaltepe'nin Durum Tespit [DRT(t)] bilgileri bulunan evlerin %50 sinin yüksek zarar gördüğü yönünde;

$$YK_{Kartaltepe}(Ekim, Cuma, 13.00)=D_{Kartaltepe}(Ekim, Cuma, 13.00)*DT_{Kartaltepe}$$

(Ekim, Cuma, 13.00) =7104 x 0.5=3552 kişiyle bize Yıkılan Konutlardaki Demografik dağılımı mahalle bazında bu kriter altında sıralanacaklardır.

- *Yıkılan Öncelikli Kurumlar (YK_{m(t)})*: Bu kriter depremin olduğu zaman diliminde açık olan ve zarar gören öncelikli kurumların sayısını verecek, mahalleler bu kriter altında sıralanacaklardır. Açık olan öncelikli kurum sayılarını elde edebilmek için geliştirdiğimiz Öncelikli Kurumlar fonksiyonu şu şekildedir: $YK_m(t) = \sum_{k=1}^n y_k * w_k * P_k(t)$

Örneğin Kartaltepe mahallesinde ekim ayının bir cuma günü saat 13.00'te 1. derece önemli 35 açık kurum, 2. derece önemli sıfır kurum ve 3. derece önemli dokuz kurum bulunmaktadır (Ek 7). Ayrıca durum tespit bilgileri 1. derece önemli kurumlardan 15'inin ve 3. derece önemli kurumlardan üçünün zarar aldığı yönündedir. Bu durumda $YK_{Kartaltepe}(Ekim, Cuma, 13.00)=15*4+0*3+3*2=66$ olarak hesaplanmaktadır. Bu fonksiyon sayesinde mahalleler Yıkılan Öncelikli Kurumlar kriteri altında sıralanacaklardır.

- *Servis Etme Yüzdesi (S_{m(t)})*: Bu kriter gere göre daha önce servis edilen mahallelerin listelerde alt sıralara düşmesi ve servis göremeyen mahallelerin listelerde daha üst sıralara çıkması sağlanmıştır. Böylece hep aynı mahallelere servis edilmesi engellenecektir. Bu kriterin nasıl işlediği derecelendirme karar mekanizmasında daha detaylı anlatılmaktadır.

4.1.2 Derecelendirme karar mekanizması

Bu sistemin birbirinden farklı matematiksel değerler veren kriterlerini (*Yıkılan konutlardaki demografik dağılım [YKD_m(t)]*, *Servis etme yüzdesi [Sm(t)]*, *Yıkılan Öncelikli kurumlar [YK_m(t)]*) bir araya getirebilmek adına karar mekanizmasının temelinde ABC adı verilen bir derecelendirme sistemi geliştirildi (Ek 8). Buna göre 6 ana malzeme kalemi için 6 adet ABC listesi oluşturuldu ve böylelikle mahallelerden gelen malzeme talepleri ait oldukları malzemelerin kategorilerine göre listelerde önceliklendirildiler. Bu sisteme göre mahalleler üç ana kriter altında ABC listelerinde sıralandı. Bu derecelendirme sistemine göre her kriter bazında A kategorisine atanan mahalleler B kategorisinden, B'ler ise C kategorisinden daha öncelikli olacak şekilde tasarlandı. Örneğin servis etme yüzdesi kriterinde ilk anda hiç bir mahalle servis alamadığından ötürü tüm mahalleler A kategorisine atanacaklardır. Öncelik talebinin %50'si karşılanana kadar bu kriterde mahalleler A kategorisinde kalacaklardır, %50-%80 arası karşılanınca B'de bulunacak, %80'i karşılanınca da C kategorisinde geçeceklerdir. Servis etme yüzdesi kriteriyle de hep aynı mahallelere servis edilmesi engellenecektir. Başka bir örnek vermek gerekirse eylül ayının cuma günü saat 13.00'da olan bir depremde aldığı hasar bilgilerinin sisteme ulaşması sonucunda Kartaltepe Mahallesi YKD_{kartaltepe}(t) fonksiyonuna göre B kategorisinde, S_{kartaltepe}(t) fonksiyonuna göre A kategorisinde ve de YK_{kartaltepe}(t) fonksiyonuna göre C kategorisinde ise aciliyet kategorisi sistem tarafından 4 olarak belirlenecektir (Ek 8). Aynı şekilde diğer mahalleler de hesaplanacak ve aldıkları değerler doğrultusunda derecelendirme listelerinde sıralanacaklardır. Dolayısıyla bu mekanizmaya göre ilk anda bu listelerde ilk sıralarda bulunan mahalleler, yıkılan konutlarındaki en fazla nüfusun bulunduğu ve en çok zarar almış olan öncelikli kurumları içerisinde barındıran mahalleler olacaktır. Talepler karşılandıkça servis etme yüzdeleri artacak ve dolayısıyla listelerde alt sıralara düşeceklerdir. Böylelikle kaynakların gerekli mahallelere adil yönlendirilmesi sağlanacaktır. Bu sıralanma sistemi Java'da yazılan bir program desteğiyle çalışır duruma getirilmiştir (EK 9). Bu program ile herhangi bir zamanda mahalleler ABC sistemi kapsamında sıralandırılmaktadırlar. Sonuç olarak Kaynak - Talep Eşleştirme ve Yönetim Sistemi zamana ve depremin şiddetine bağlı farklı kriterleri bir araya getiren; adil, hızlı, dinamik ve analitik bir karar mekanizmasına sahip bir sistemdir. Böylelikle deprem anından sonraki ilk 72 saatteki karar süreci hızlandırılmış ve kaynaklar doğru ve etkin yönlendirilmiştir.

4.2 Veritabanı yönetim sistemi

Bu veritabanı sisteminin amacı, gelen kaynakların takibini yaparak stok seviyelerini kontrol etmektir. Aynı zamanda kaynakların

sisteme giriş ve çıkışının yapılmasının, kaynak listelerindeki önem sıralarına giriş yapan kaynakların hangi depo alanında depolanacaklarını da gösterilmektedir. Veritabanının oluşturulmasının yanı sıra kolay bir şekilde kullanabilmesi için sistemin nasıl işleyeceğini anlatan yönergeler de hazırlanmıştır. Bunun yanı sıra, ihtiyaç duyulan malzemeler listesi veritabanıyla eş zamanlı olarak Belediyenin resmi web sitesinde yayınlanacak şekilde tasarlanmıştır. Veritabanının oluşturulduğu program olan Access Afet Merkezindeki bilgisayarlarda yüklüdür. Aynı zamanda, veritabanına çok basit ve kullanışlı bir kullanıcı ara yüzü hazırlanmıştır.

4.3 Geçici depo modeli

Afet sonrası dağıtılmak üzere yollanan bağışlar, kriz masası birimlerinin mevcut olan kaynaklar depremzedelere ulaştırılmadan önce geçici bir süreliğine depolanabilmesi için tasarlanmış bir modeldir. ABC analizi baz alınarak yapılan bu çalışma; deprem anında kaynakların en doğru şekilde depolanarak, en hızlı şekilde gönderilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, A bölgesinde bulunan kaynaklar ilk 72 saatte en aciliyeti olan malzemelerdir arama kurtarma ve ilk yardım malzemeleridir. B bölgesinde bulunan kaynaklar ise daha az aciliyeti olan barınma ve gıda kategorisindeki malzemelerdir. C bölgesinde bulunanlar ise en az aciliyeti olan temizlik, giyinme ve bunun gibi benzeri kaynakları içermektedir.

4.4 Yönergeler

Durum Tespit, İletişim ve Yönergeler Sisteminde herhangi bir afet anında ilk 72 saati göz önüne aldığımızda, afeti etkin bir şekilde yönetebilmek için yapılması gerekli prosedürleri barındıran yönetim yönergeleri hazırlanmıştır. Bu yönergelerin özelliği, içindeki prosedürleri en düşük eğitim seviyesine sahip bir insanın bile uygulayabilmesi için mümkün olan en basit ve en açık biçimde hazırlanmış olmasıdır. Böylelikle amaç, herhangi bir depremde ilk 72 saatte yetkililerin afet merkezine gelmelerini bekleyerek vakit kaybetmek yerine, afet merkezine ilk ulaşan kişinin gerekli prosedürleri gerçekleştirebilmesini sağlamak ve bu süreci olabildiğince verimli geçirmektir. Bu yönergenin içindeki zarflar Durum Tespit ve İletişim Sisteminin Zarfı ve Kaynak Takip ve Atama Sistemi Zarfı'dır.

Durum Tespit ve İletişim Zarfı, herhangi bir deprem anında afet merkezine ilk ulaşan kişinin açması gereken zarftır. Bu zarfta belirtilen prosedürler genel olarak deprem anında iletişimi sağlamak adına yapılması gereken yasal işlemleri barındırır. Buna göre kaymakama veya kriz masasına ulaşılarak, mahallelerden elde edilen durum tespit bilgileri aktarılır ve azami miktarda arama kurtarma ve ilkyardım ekiplerinin gönderilmesi sağlanır. Afet anında verimli bir şekilde iletişimin sağlanması hayati açıdan büyük önem taşımaktadır,

dolayısıyla afet merkezinde kullanılması için mobil telsiz istasyonunun kurulmasıyla iletişimin hiçbir şekilde aksamaması iletişim sağlanması için bir B planı olabilir. Mobil telsiz istasyonu coğrafi koşulların elverişsizliği sebebiyle telefon servisi götürülemeyen yerlere servis sağlamasında kullanılmaktadır. Mobil telsiz istasyonunun mahallelerden verimli bir şekilde bilgi alabilmesi için, her bir istasyon için telsiz talep edilmelidir. Mahalleleri temel olarak aldığımızda mobil istasyon 15 şebeke içermektedir bu sayede sistemin yoğunluktan dolayı aksamaması mümkün olmayacaktır. Ayrıca, taleplerin duyurulması için internetin önemi göz önünde bulundurulmalı ve internet ağının aksamaması gerekmektedir. Buna bir önlem olarak uydu telefonlarının modem vazifesi görebileceğini göz önünde bulundurabilir. Bu sayede afet anında gerekli olan taleplerin duyurulmasında bir aksama olmayacağı düşünülmektedir.

Kaynak Takip ve Atama Sistemi Zarfı içindeki *Veritabanı Yönetim Yönergesi* bilgisayarın nasıl açılacağından başlayarak envanter takibinin nasıl yapılacağına kadar tüm prosedürleri tek tek açıklamaktadır. *Geçici Depo Yönergesinde* ise kış aylarında kapalı mekanlar için tasarlanmış depo yerleşim planları bulunurken, yaz aylarında açık alanda kurulabilecek depo yerleşim planları bulunmaktadır. Bunların yanı sıra bu yönerge, depo alanını belirlemek için şerit, kaynakların stokunu tutabilmek için depo stok kartları ve depo görevlileri için yaka kartlarını da içermektedir.

5. Duyarlılık Analizleri, Sistem Performansı ve Test

Endüstriyel danışmanlarımızla yaptığımız toplantılar sonucunda Kaynak-Talep Eşleştirme ve Yönetim Sistemindeki demografik dağılım ve yıkılan öncelikli kurumlar fonksiyonlarının veri kırılımları belirlenmiş, aynı zamanda kurumlara atanan ağırlıklar saptanmıştır. Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda derecelendirme sistemindeki fonksiyonlara atanan veri kırılımlarının yüzdelerinin uygun olduğu saptanmıştır (Ek 10). Hazırlanan yönerge zarfları, kolaylıkla anlaşılabilir ve uygulanabilir olup olmadıklarını test edebilmek amacıyla toplumun hem farklı eğitim düzeylerine sahip kişilere hem de bu konuda yetki sahibi kişilere okutulmuş ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır [Gündoğdu, 2009; Işık, 2009]. Ayrıca Bakırköy Afet Merkezinde bir tatbikat gerçekleştirilerek sistemin uygulanabilirliği ölçülmüştür (Ek 11). Bu tatbikatta; yönergelerin ne derecede anlaşılabilir ve uygulanabilir olduğu, veritabanının kullanılabilirliği, iletişim ağının akış hızı, depo yönetim sisteminin işlevselliği test edilmiştir ve sistem hakkında hiç bir fikri olmayan insanların dahi kaos ortamında işleyişi yürütebildikleri gözlemlenmiştir. (Ek 12)

Bu projede önerdiğimiz sistemin işleyişi tatbikatlar ile bir dereceye kadar ölçülmüştür, ancak gerçek bir deprem oluncaya dek tam

olarak performans değerlendirmesi yapılamayacaktır. Mahallelere yönlendirilecek olan kaynakların daha adilane ve ihtiyaca yönelik bir biçimde gönderilebilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen ABC derecelendirme mekanizmasının istenilen biçimde çalıştığını görebilmek için çeşitli performans kriterlerine bağlı olarak kapsamlı bir simülasyonun yapılması gerekmektedir; böylelikle geliştirilen bu karar mekanizmasının etkin bir biçimde çalışıp çalışmadığı gözlemlenebilir. Bu karar mekanizmasının içinde depremin oluş zamanına göre değişkenlik gösteren birçok kriter olduğu için böyle bir simülasyon ancak çok kapsamlı bir IT desteği ile gerçekleştirilebilir, dolayısıyla böyle bir simülasyon bu proje kapsamında gerçekleştirilememiştir.

6. Sistemin Uygulaması ve Genel Değerlendirme

Bakırköy Belediyesi BAKOP kapsamında oluşturduğu veritabanında mahalle ve hane bazında çeşitli demografik bilgiler toplamıştır, fakat bu veriler ancak uygun bir sisteme entegre edildiğinde anlam kazanabilir. Bu projede gerçekleştirdiğimiz çalışmalar bir bütün halinde çalışacak tek bir sistemin alt modüllerini oluşturmaktadır. Kullanıcı, sistemler arka planda çalışırken mahalle durum tespit bilgilerinin aldıktan sonra bunlara göre kaynak yönlendirmesi yapabilecek, ihtiyaç duyulan kaynakların listesini resmi web sitesinde yayınlayabilecek, depo kaydı tutabilecektir. Ayrıca, hazırladığımız yönetim yönergeleri kriz masasının afet anında kullanacağı resmi prosedür olacaktır. Depremin ilk 72 saati özelinde tasarladığımız bu proje olası bir afete karşı mağdur kalan insanların ihtiyaçları tespit edebilecek, kaynak talebini hızlı bir şekilde karşılayabilecek bir sistemdir. Kapsamı ve uygulanabilirliği açısından Türkiye’de afet yönetimi konusunda yapılmış öncü bir projedir. Bu uzun ve zorlu çalışmanın diğer belediyelerin de insan hayatına verilen değer adına önemseyeceğini ve örnek teşkil edeceğini umuyoruz.

KAYNAKÇA

- Bağcı, A. (2009). Kızılhaç Asya-Pasifik Bölgesel Lojistik Birimi Delegatesi . (E. K. Durukan, Röportajı Yapan)
- Gündoğdu, O. (2009). (D. Karaboncuk, Röportajı Yapan)
- Korkut, H. (2009). AKUT Ankara Takım Lideri. (E. K. Durukan, & P. Karakaş, Röportajı Yapanlar)
- Kurtul, K. (2008). Kızılay İç Anadolu Bölge Afet Müdahale ve Lojistik Merkezi Uzmanı. (P. Karakaş, & B. Koç, Röportajı Yapanlar)
- Kökçü, A. (2008). Kızılay Marmara Bölge Afet Müdahale ve Lojistik Merkezi Uzmanı. (B. Eray, Röportajı Yapan)
- Le Suroit'in Raporu: İstanbul'da 8 şiddetinde deprem bekleniyor. (2005). Ocak 5, 2009 tarihinde Deprem Analiz Sitesi: <http://www.numberonestars.com/alternatifsite/deprem/rapor.htm>
- Altay, N., Prasad, S. & Sounderpandian, J. (2006). Strategic Planning for International Disaster Relief Logistics: Implications for Research and Practice. Whitewater: University of Wisconsin.
- Dündar, C. (Yöneten). (2000). Orada Kimse Var mı? [Sinema Filmi].

EKLER

Ek 1. 72 saat için öncelikli kaynaklar

GIDA	BARINMA / GIYİM		TEMİZLİK	GENEL	TIBBİ MALZEMELER
DAYANIKSIZ	KIŞ	YAZ	KADIN	AYDINLATIÇILAR	İLAC GRUPLARI
Meyve(X)	BARINMA	BARINMA	Hijyenik Ped	Pil	SOLUNUM SİSTEMİ İLAÇLARI
Sebze(X)	Uyku Tulumu	Uyku Tulumu	ERKEK	El feneri	ANALJEZİK VE ANESTEZİK
Paketlenmiş Peynir	Yatak	Yatak	Tıraş Bıçağı	Mum	ETKİLİ İLAÇLAR
EkmeK	Battaniye	Battaniye	Tras Kopuğu	Işıkdak	KEMOTERAPÖTİK (TEDAVİ
Yumurta	Katlanabilir Sezlong	Katlanabilir Sezlong	Çocuk Bezi	Çadır Projektörü	EDİCİ) İLAÇLAR
Et	Plastik masa	Plastik masa	GENEL	Jeneratör	SİNİR SİSTEMİNE ETKİLİ
DAYANIKLI	Plastik Sandalye	Plastik Sandalye	Diş Macunu	GÜNDELİK	İLACLAR
SIVI	Somya	Somya	Diş Fırçası	Çeset Torbası	İLK YARDIM GEREÇLERİ
Su	Buyuk Şemsiye	Buyuk Şemsiye	Sampuan	Diş Fırçası	Üçgen sargı
Uzun Ömürlü Süt	Branda	Branda	Sabun	Kireç Kaymağı	Steril gazlı bez
Meyve Suyu	Muşamba	Muşamba	Tuvalet Kağıdı	Kler	Hidrofil pamuk
Sıvı Yağ	Soba	GIYIM	Islak Mendil	Çöp Torbası	Esmerk bandı
KATI	Kışlık Cadır	TIŞÖRT	Mendil	Naylon	Plaster
Hazır Konserve	GIYIM	Sort	Temizlik Bezi Kolonyalı	Sinek Kovucu	Yara bandı
Sağca	Yağmurluk	Esorfan	Kolonya	Fare Zehiri	Turnike
Saklilyat	TIŞÖRT	İç Çamaşın	Tırnak Makası	Kibrit	Çengelili iğne
Makarna	Pantolon	Kapalı Ayakkabı	Toz deterjan	Oyuncak	Makas
Bulgur	Esorfan		Sivı deterjan	Kirtasiye	Plastik örtü
Pirinç	Mont		Çamaşır Suyu	Pense	Buz torbası
Un	İç Çamaşın		Makas	Kontrol Kalemi	Vücut termometresi
Bisküvi / Cikolata	Yün Çorap		Ayna		Atel
Kuruyemis	Çocuk Çizmesi		Profablik Tuvalet		Alçılı Sargı
Çay	Çocuk Botu		Profablik Banyo		Batican
Hazır corba	Çocuk Yağmurluğu		Kova		Bio-cadin
Kahve	Lastik Çizme		Maşrapa		Sargı Bezi
Şeker	Kapalı Ayakkabı		Havlü		Şişme Atel
Bebek maması	Eldiven		Tarak		Pamuk
Tuz			Leğen		Solusyon
Karabiber			Vazelin		Flaster
Zeytin			İğne / İplik		Pomat
MUTFAK GEREÇLERİ			Musluklu Bidon		Zafran
Kirinmaz Bardak			Masko		Sirt Tahtası
Kirinmaz Tabak					Kaşık Sedyo
Çatal-Kaşık-Bıçak					Oksijen tüpü
Huni					Oksijenli su
Çaydanlık					Gazlı Bez
Tencere					Gauzi
Gıda Saklama Kabı					50 cc'lik Enjektör
Kucuk Tup					60 cc'lik Enjektör
Tava					Ameliyat Eldiveni
Su Isıtıcısı					Tentürdiyot
					Pişik Kremi

Ek 2. Mahalle demografik dağılım

Mahalle	Muharrik Bilgileri		İSTATİSTİKLER				
	Ad Sayısı	Tel. No.	Taahhüt Yüzdeleri	Yaşlı Yüzdeleri	Orta Yaşlı Yüzdeleri	Genç Yüzdeleri	Nüfus Sayısı
ATAKÖY 1.KISIM MAHALLE	KASIM YILMAZ	0 212 559 38 84	60%	65%	20%	15%	1500
ATAKÖY 2-5-6 KISIM MAHALLE	CANAN ERGÜN	0 212 661 56 12	60%	65%	20%	15%	11000
ATAKÖY 3-4-11 KISIM MAHALLE	HÜLYA ALTAN	0 212 359 84 59	40%	50%	30%	20%	9000
ATAKÖY 7-8-9-10 KISIM MAHALLE	AYLİN KESEKAYA	0 212 559 77 77	55%	60%	25%	15%	30000
BASINKÖY MAHALLESİ	MUSTAFA AYTEKİN	0 212 598 28 31	30%	50%	30%	20%	6000
CEVİZLİK MAHALLESİ	GÖNÜL ÇAVUŞOĞLU	0 212 570 20 22	5%	55%	35%	10%	6500
KARTALTEPE MAHALLESİ	YILMAZ UFLUK	0 212 573 30 00	20%	60%	10%	30%	50000
OSMANIYE MAHALLESİ	YAKUP ÖZENSES	0 212 542 59 59	45%	45%	35%	20%	23100
SAKIZGAÇI MAHALLESİ	SABRİ AMANAT	0 212 583 43 52	45%	60%	20%	20%	13500
ŞENLİKÖY MAHALLESİ	SEPER TIRYAKI	0 212 663 77 88	60%	65%	20%	15%	11000
YENİMAHALLE	NİHAT ŞAHİN	0 212 571 21 85	30%	60%	30%	10%	12000
YEŞİLKÖY MAHALLESİ	BÜLENT NURTEVEN	0 212 573 03 82	60%	45%	35%	20%	7500
YEŞİL YURT MAHALLESİ	SEBAT MUMCUOĞLU	0 212 573 35 35	30%	60%	10%	20%	11000
ZEYTİNLİK MAHALLESİ	EMEL ÇELİK	0 212 560 08 93	30%	50%	20%	30%	7500
ZUHURATBARA MAHALLESİ	ÜNAL EROL	0 212 571 37 01	30%	45%	40%	15%	3500

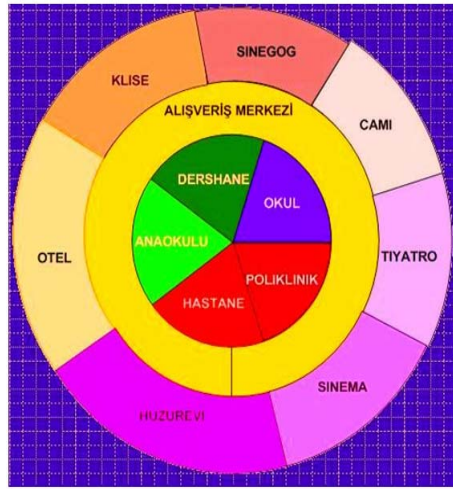
Ek 3. Mahalle risk yüzdeleri ve nüfus karşılaştırması

Mahalle Adı	Toplam Daire Adedi	Mahalle Adı	Ortalama Risk
KARTALTEPE MAHALLESİ	17182	CEVİZLİK MAHALLESİ	5,707124
YEŞİLKÖY MAHALLESİ	11783	ZEYTİNLİK MAHALLESİ	5,661829
ATAKÖY 7-8-9-10 KISIM MAHALLE	10475	SAKIZGAÇI MAHALLESİ	5,650759
ZUHURATBARA MAHALLESİ	10452	YENİMAHALLE	5,466411
OSMANIYE MAHALLESİ	10408	ZUHURATBARA MAHALLESİ	5,097287
ŞENLİKÖY MAHALLESİ	10064	KARTALTEPE MAHALLESİ	4,819876
ZEYTİNLİK MAHALLESİ	5920	OSMANIYE MAHALLESİ	4,273902
CEVİZLİK MAHALLESİ	5660	YEŞİL YURT MAHALLESİ	4,256545
ATAKÖY 2-5-6 KISIM MAHALLE	5208	BASINKÖY MAHALLESİ	4,182909
SAKIZGAÇI MAHALLESİ	4416	ATAKÖY 3-4-11 KISIM MAHALLE	4,073107
ATAKÖY 3-4-11 KISIM MAHALLE	3576	ATAKÖY 1.KISIM MAHALLE	3,920455
YENİMAHALLE	3485	YEŞİLKÖY MAHALLESİ	3,804302
YEŞİL YURT MAHALLESİ	2955	ATAKÖY 2-5-6 KISIM MAHALLE	3,682927
BASINKÖY MAHALLESİ	2303	ŞENLİKÖY MAHALLESİ	2,713747
ATAKÖY 1.KISIM MAHALLE	925	ATAKÖY 7-8-9-10 KISIM MAHALLE	0,876524

Ek 4. Kurum zaman tablosu

KURUM ADI	ZAMAN			PAZARTESİ-PERSEMBE			CUMARTESİ		
	AY	GÜN	SAAT	SAAT	AÇILAN KURUM	KAPANAN KURUM	SAAT	AÇILAN KURUM	KAPANAN KURUM
ÇOCUK YUVASI	12 AY BOYUNCA	PAZARTESİ-CUMARTESİ	08.00-18.30	08.00-08.30	ÇOCUK YUVASI		08.00-08.30	ÇOCUK YUVASI	
OKUL	YAZ MEYSİMİ HARİÇ	PAZARTESİ-CUMA	8.30 - 17.30	8.30 - 10.00	OKUL, DERSHANE		8.30 - 10.00	SİNEGOG, DERSHANE	
DERSHANE	YAZ MEYSİMİ HARİÇ	HER GÜN	8.30 - 21.00	10.00 - 11.00	ALİŞVERİS MERKEZİ		10.00 - 11.00	ALİŞVERİS MERKEZİ	
HASTAHANE	12 AY BOYUNCA	HER GÜN	24 SAAT	11.00 - 12.00	SİNEMA		11.00 - 12.00	SİNEMA	
POLIKLINİK	12 AY BOYUNCA	HER GÜN	24 SAAT	12.00 - 13.00	TIYATRO		12.00 - 13.00	TIYATRO	SİNEGOG
HUZUREVİ	12 AY BOYUNCA	HER GÜN	24 SAAT	13.00 - 14.00			13.00 - 14.00		
KLİSE	12 AY BOYUNCA	PAZAR	8.30-12.00	14.00 - 17.30	OKUL		14.00 - 17.30		
CAMI	12 AY BOYUNCA	CUMA	13.00 - 14.00	17.30 - 18.30	ÇOCUK YUVASI		17.30 - 18.30		ÇOCUK YUVASI
SİNEGOG	12 AY BOYUNCA	CUMARTESİ	8.30 - 12.00	18.30 - 21.00	DERSHANE		18.30 - 21.00		DERSHANE
OTEL	12 AY BOYUNCA	HER GÜN	24 SAAT	21.00 - 22.00	ALİŞVERİS MERKEZİ		21.00 - 22.00		ALİŞVERİS MERKEZİ
SİNEMA	12 AY BOYUNCA	PAZAR-PERSEMBE	11.00- 01.00	22.00 - 01.00	TIYATRO, SİNEMA		22.00 - 01.00		TIYATRO, SİNEMA
TIYATRO	YAZ MEYSİMİ HARİÇ	HER GÜN	12.00- 01.00	01.00 - 03.00			01.00 - 03.00		
ALİŞVERİS MERKEZİ	12 AY BOYUNCA	HER GÜN	10.00-22.00	03.00 - 08.00			03.00 - 08.00		
CUMA									
RAMAZAN BAYRAMI	AÇILAN KURUM	KAPANAN KURUM		SAAT	AÇILAN KURUM	KAPANAN KURUM	SAAT	AÇILAN KURUM	KAPANAN KURUM
1. GÜN	CAMI(BAYRAM NAM)	ÇOCUK YUVASI		08.00-08.30	ÇOCUK YUVASI		08.00-08.30		
		OKUL		8.30-10.00	OKUL, DERSHANE		8.30-10.00	KLİSE, DERSHANE	
		DERSHANE		10.00-11.00	ALİŞVERİS MERKEZİ		10.00-11.00	ALİŞVERİS MERKEZİ	
2. GÜN	ÇOCUK YUVASI	CAMI		11.00-12.00	SİNEMA		11.00-12.00	SİNEMA	
		DERSHANE		12.00-13.00	TIYATRO, CAMI		12.00-13.00	TIYATRO	KLİSE
		ALİŞVERİS MERKEZİ		13.00-14.00		CAMI	13.00-14.00		
3. GÜN				14.00-17.30		OKUL	14.00-17.30		
BAYRAM BİTER (4.GÜN)	OKUL			17.30-18.30		ÇOCUK YUVASI	17.30-18.30		
				18.30-21.00		DERSHANE	18.30-21.00		DERSHANE
KURBAN BAYRAMI	AÇILAN KURUM	KAPANAN KURUM		21.00-22.00	ALİŞVERİS MERKEZİ		21.00-22.00		ALİŞVERİS MERKEZİ
1. GÜN	CAMI(BAYRAM NAM)	ÇOCUK YUVASI		22.00-01.00	TIYATRO, SİNEMA		22.00-01.00		TIYATRO, SİNEMA
		OKUL		01.00-03.00			01.00-03.00		
2. GÜN	ÇOCUK YUVASI	CAMI		03.00-08.00			03.00-08.00		
		DERSHANE							
		ALİŞVERİS MERKEZİ							
3. GÜN									
4. GÜN									
BAYRAM BİTER (5.GÜN)	OKUL								

Ek 5. Kurumların önceliklendirilmesi



Ek 6. Demografik dağılım fonksiyonu

Demografik Dağılım fonksiyonu:				
$D_m(t) = P * [T(t) + (1-T(t))*(1-T_y)] * [G(t)*G_y + O(t)*O_y + Y(t)*Y_y] + (C* C(t))$				
C(t) = Çalışanların mahallede olup olmaması	C(t) = 1 t = Pzt...Cmts 08.00-18.30 0 değil ise			
T(t)= Mahalle halkının tatilde olup olmaması	T(t) = 1 t = Eylül,...Mayıs (tatil zamanı değil) 0 değil ise			
O(t) = Orta yaşlıların mahallede olup olmaması	O(t) = 1 t = Her gece, pazar günü 0 değil ise			
G(t) = Gençlerin ve çocukların mahallede olup olmaması	G(t) = 1 t = Gece, cmtsi ve pazar günü 0 değil ise			
Y(t)= Yaşlıların mahallede olup olmaması	Y(t) = 1 t = Her zaman			
Ty = Mahallelinin tatile gitme yüzdesi	Yy = Mahalledeki yaşlı nüfus yüzdesi	P = Mahalle nüfusu	C = Mahalledeki çalışan sayısı	Oy = Mahalledeki orta yaşlı nüfus yüzdesi
ÖRNEK:				
DAtaköy (Ekim, Cuma, 13.00) = 30000*[1+ (1-1) * (1-0,55)]*[0*0,15+0*0,25+1*0,60] + (1*545)		D_m(t)	Nüfus Bazında Mahalle Önceliği	
		180545		
Dıkartaltepe (Ekim, Cuma, 13.00) = 10236*[1+ (1-1) * (1-0,20)]*[0*0,30+0*0,10+1*0,60] + (1*963)		7104,6		
DSakızağacı (Ekim, Cuma, 13.00) = 13513*[1+(1-1) * (1-0,45)]*[0*0,20+0*0,20+1*0,60] + (1*3256)		11363,8		

Ek 7. Yıkılan öncelikli kurumlar fonksiyonu

Bk(t) = 1 eğer kurum açık ise 0 değil ise		ÖRNEK: EKİM AYI, CUMA GÜNÜ, SAAT: 13.00		
		Kurumlar: Okullar, Dershaneler, Yuvalar, Hastahaneler, Poliklinikler		
KURUMLAR, Bk(t)	Weights: w _k	MAHALLELER	1. Derece Önemli Kurumlar TOPLAM	Hasar Tespit Sonucu Yıkılan Kurum Sayısı, yk
B1(t) = ÇOCUK YUVASI	4	ATAKÖY 7-8-9-10.KISIM MAHALLE	9	0
B2(t) = OKUL	4	KARTALTEPE MAHALLESİ	35	15
B3(t) = DERSHANE	4	SAKIZAĞACI MAHALLESİ	3	2
B4(t) = HASTAHANE	4	Kurumlar: Alışveriş Merkezleri		
B5(t) = POLİKLİNİK	4	MAHALLELER	2. Derece Önemli Kurumlar TOPLAM	Hasar Tespit Sonucu Yıkılan Kurum Sayısı, yk
B6(t) = ALIŞVERİŞ	3	ATAKÖY 7-8-9-10.KISIM MAHALLE	1	0
B7(t) = HUZUREVİ	2	KARTALTEPE MAHALLESİ	0	0
B8(t) = KİLİSE	2	SAKIZAĞACI MAHALLESİ	0	0
B9(t) = CAMİ	2	Kurumlar: Otel, Sinema, Tiyatro, Cami, Huzurevi		
B10(t) = SİNEGOG	2	MAHALLELER	3. Derece Önemli Kurumlar TOPLAM	Hasar Tespit Sonucu Yıkılan Kurum Sayısı, yk
B11(t) = OTEL	2	ATAKÖY 7-8-9-10.KISIM MAHALLE	3	1
B12(t) = SİNEMA	2	KARTALTEPE MAHALLESİ	9	3
B13(t) = TİYATRO	2	SAKIZAĞACI MAHALLESİ	3	3
YKm(t) = $\sum_{k=1}^{13} yk * wk * Bk(t)$			YKm(t)	KURUM BAZINDA MAHALLE ÖNCELİKLERİ
		YKataköy (Ekim, Cuma, 13.00) = 0x4+0x3+1x2	= 2	C
		YKkartaltepe (Ekim, Cuma, 13.00) = 15x4+0x3+3x2	= 66	A
		YKsakızağacı (Ekim, Cuma, 13.00) = 2x4+0x3+3x2	= 14	B

Ek 10. Yıkılan konutlardaki demografik dağılımın mahalle bazında derecelendirilme hesaplamaları duyarlılık analizleri (yüzdeler 20-30-50)

Demografik	ABK_20_30_50	18-24	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
18-24	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
20-29	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
30-39	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
40-49	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
50-59	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
60-69	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
70-79	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
80-89	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
90-99	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000

Ek 11. Tatbikattan kareler



Ek 12. Deprem tatbikat raporu özet

18.04.2009

Bakırköy Belediyesi'nde İmar Bölümünde Harita Kadastro üzerine çalışan Şükriye Hanım tatbikatımızı gerçekleştirebilmemiz için bize yardımcı olmuştur. Zarfların açılması ve yönergelerin uygulanması konusunda yeterlilik ölçümü gözlemler sonucunda yapılacaktır. Bu sırada kamera görüntüleriyle bu çalışma görsel bir simülasyona dönüştürülmüştür.

Afet Sonrası İnsan ve Araç Kaynakları Yönetim Sistemi Tasarımı

Bakırköy Belediyesi

Proje Ekibi

Neslihan Cenk
Ceyda Elbaşıoğlu
Tuğçe Tali
Zeynep Yetiş
Fevzi Yılmaz
Görkem Yurtlu

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Danışmanlar

Burak Pehlivanlı, Bakırköy Belediyesi, Bilgi İşlem Koordinatörü
Özden Işık, Bakırköy Afet Yönetim Merkezi Koordinatörü
Yrd. Doç. Dr. Oğuz Gündoğdu, İstanbul Üniversitesi,
Jeofizik Mühendisliği Bölümü

Akademik Danışman

Prof. Dr. İhsan Sabuncuoğlu, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede, olası bir İstanbul depremi sonrasında Bakırköy Belediyesi insan ve araç kaynakları ile sivil toplum örgütlerini deprem sonrası en kritik zaman olan ilk 72 saatte en verimli şekilde yönetmek, böylece afetzedelere yardımları en hızlı şekilde ulaştırmak ve daha çok hayat kurtarmak hedeflenmiştir. Proje kapsamında afet sonrasında kullanılacak acil yol güzergahı ile mahallelerin durum tespiti için süreçler tasarlanmıştır. Gelen durum bilgileriyle başlayan süreçte, kaynakların yönlendirilmesini ve takibini sağlayacak kaynak takip ve atama sistemi geliştirilmiş, kaynakların talep noktalarına ulaştırılması için yol belirleme çalışmaları yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Deprem, karar-destek sistemi, kaynak yönetimi, durum tespiti.

1. Bakırköy Belediyesi

Bakırköy Belediyesi y z l m  ve nüfusu bakımından İstanbul'un en büyük belediyelerinden birisidir. Resmi nüfusu yaklaşık 210.000 (Türkiye İstatistik Kurumu, 2009) olmasına rağmen, İstanbul ekonomisindeki rolü ve merkezi konumu nedeni ile Bakırköy Belediyesi'nin nüfusu gün içinde iki milyona kadar ulaşmaktadır. Bu nedenle, burada gerçekleşecek ciddi bir yıkım, Türkiye'nin sosyo-ekonomik gelişimi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca belediye sınırları içerisindeki nüfus yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda, olası bir depremin çok sayıda insan kaybına neden olacağı öngörülmektedir. Bu durumla ilgili tedbirler almak ve bu riski azaltmak için Bakırköy Belediyesi çeşitli projelerde yer almıştır.

Bakırköy Afet Koordinasyon Merkezi (BAKOM) afetin etkilerini mümkün olduğunca hafifletmek için, afet öncesinde ve sonrasında Bakırköy Belediyesi'ne ait olan birimler ve ilgili hizmet grupları ile koordinasyon sağlamaktadır. Olası bir afet sonrasında ilgili hizmet grupları, arama kurtarma ve ilk yardım operasyonlarını koordine etmek üzere kriz masasında toplanır. Kriz masası aldığı kararları BAKOM'a iletir. Bu yapı içerisinde Bakırköy Belediyesi'nin rolü kendi kaynaklarını yönetmek ve diğer hizmet gruplarına lojistik destek sağlamaktır.

2. Projenin Tanımı

2.1 Projenin kapsamı

Afet Yönetimi, tedbir alma veya zarar azaltma amacıyla afet öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılması gereken çalışmaların planlanması ve uygulanması için toplumun tüm kaynaklarını ve kurumlarını sürece katarak yönetme işidir. Afet Yönetimi,  nleme ve Zarar Azaltma, Hazırlık, Müdahale ve İyileştirme olarak adlandırılan dört aşamadan oluşmaktadır (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007).

Bu proje kapsamında Marmara Fay Hattı'nın Bakırköy'de oluşturduğu risk göz önünde bulundurularak olası bir deprem senaryosu üzerinde yoğunlaşılmıştır. Özellikle can kayıplarının ve karmaşanın daha yoğun olarak yaşandığı ilk 72 saatlik kritik süreyi temel alan deprem müdahale safhasının incelenmesi hedeflenmiştir. Müdahale safhası depremin oluşundan hemen sonraki acil hizmetler olan iletişim, arama-kurtarma, ilk yardım, geçici iskan ve beslenme hizmetlerini içermektedir.

Bu hizmetlerin verilebilmesi için ilgili kaynakların etkin biçimde afetzedelere dağıtılmasında kullanılacak karar-destek sistemi iki farklı proje grubu tarafından ele alınmıştır. Proje 1 Takım 7, Proje 2 ise Takım 4 tarafından tasarlanmıştır. Tarafımızdan hazırlanan Proje 1'de insan ve araç kaynaklarının yönetimi, Proje 2'de ("Afet Acil Eylem Planı", 2009) ise yiyecek, barınma, vb. malzemelerin yönetimi incelenmiştir.

2.2 Semptomlar

Proje, gerçekleşmesi muhtemel bir deprem sonrasında uygulanacağı için problemin semptomları önceden yaşanmış depremlerdeki süreçlerin analizi ile saptanmıştır. 17 Ağustos 1999 tarihinde gerçekleşen İzmit depremiyle ilgili belgeleri incelememiz ve deprem sonrası süreçleri yaşamış kişi ve kurumlar ile konuya vakıf akademisyenlerle görüşmemiz problemin semptomları ile ilgili fikir edinmemizi ve süreçleri anlamamızı sağlamıştır. İçişleri Bakanlığı'ndan alınan resmi bilgilere göre, ilk iki gün içerisinde deprem nedeniyle ölen ve yaralanan kişi sayısı Tablo 1'de (Özdamar vd., 2004) belirtilmiştir.

Tablo 1. İzmit depremi sonrasında ilk iki gün için ölü ve yaralı sayıları.

Konum	İlk Gün			İkinci Gün		
	Ölü	Yaralı	Etkilenen Nüfus	Ölü	Yaralı	Etkilenen Nüfus
Adapazarı	2189	4237	243241	239	462	26535
İzmit	3403	3458	680500	371	377	74236
Gölcük	3690	4220	246000	403	460	26836
Yalova	2080	3727	416000	227	407	45382
Avclar	813	2956	162667	89	322	17745
Toplam	12175	18599	1748408	1329	2028	190734

Deprem sonrası gözlemlenen semptomlar aşağıda sıralanmıştır:

- Deprem bölgesinde koordinasyon eksikliği gözlenmiştir.
- İzmit depremi sonrasında farklı kategorilere göre ihtiyaç duyulan ve tedarik edilen yardım miktarları Tablo 2'de (Özdamar vd., 2004) gösterilmiştir. Buna göre deprem sonrasında;
 - İlk gün yeteri kadar yardım bölgeye ulaştırılamamıştır.
 - İkinci gün ise bölgeye ihtiyaç miktarından daha fazla yardım ulaşmasına rağmen, dağıtım süreçlerinde oluşan aksaklıklar nedeniyle yardımlar talep noktalarına ulaştırılamamıştır.

Tablo 2. İzmit depremi sonrasında ihtiyaç duyulan ve tedarik edilen yardım miktarları.

İlk Gün	Yiyecek	Çadır	Giyecek	İlaç	Serum	Arama-Kurtarma Ekipmanı	Toplam (ton)
İhtiyaç Miktarı	2622,6	32782,3	6993,6	27,9	13,9	262,2	42702,5
Tedarik Edilen Miktar	2098,1	26226,1	5594,9	22,4	11,2	209,8	34162,5
İkinci Gün							
İhtiyaç Miktarı	2908,7	3576,3	762,9	31,0	15,5	28,6	7323,0
Tedarik Edilen Miktar	3199,6	3933,9	839,2	34,1	17,1	31,5	8055,4

- Bazı bölgelere yardım ulaştırılamamasına rağmen, bazı bölgelere ihtiyaçtan fazla miktarda yardım götürülmüştür.
- Ulaştırılamayan yardımlar zayiata uğramıştır.

- Dağıtım için kullanılan araçların etkin ve hızlı bir biçimde görevlendirilmesinde ve takip edilmesinde sıkıntılar yaşanmıştır.
- Gönüllü kişiler ve Sivil Toplum Kuruluşları (STK) ihtiyaç duyulan noktalarda etkin bir biçimde görevlendirilememiştir.

2.3 Mevcut durum analizi

Mevcut durumda detaylar bazında bir sistem tanımlanmamıştır. Bu durum hız gerektiren kritik kararları karar vericinin insiyatifine bırakmaktadır. Olası bir deprem sonrasında durum tespitinin nasıl yapılacağı, kaynakların ihtiyaç noktalarına ne şekilde ve hangi miktarda ulaştırılacağı belirli değildir.

2.4 Problem tanımı

Araştırmalarımız ve danışmanlarımızla yaptığımız görüşmeler sonucunda belirlenen problem, deprem sonrasında kriz masanındaki karar vericilerin, insan ve araç kaynaklarının taleplere atanması ve talep noktalarına dağıtılmasında hızlı ve doğru karar vermesini sağlayacak bir karar destek sisteminin bulunmamasıdır.

3. Amaçlar

Deprem sonrasında yardımların afetzedelere ulaştırılması için gerekli insan ve araç kaynaklarının etkin ve hızlı bir şekilde atanması projenin öncelikli hedefidir. İnsan ve araç kaynakları atandıkları görevlerini tamamladıktan sonra yeni görevlere atanacakları için, tasarlanan sistemin sözkonusu kaynakların durum takibini yapabilmesi gerekmektedir.

Afet bölgesinde oluşacak hasar ve kargaşa ortamı düşünülürse, tasarlanacak sistemin basit, kolay ve hızlı bir şekilde uygulanabilir olması gerekmekte ve afet yönetimi konusunda deneyimsiz kişiler tarafından da kullanılabilmesi amaçlanmaktadır.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

4.1.1 Sistemdeki kaynakların tanımlanması

Sistemdeki kaynaklar ilk 72 saatteki aciliyet durumu ve ihtiyaç oranları düşünülerek tarafımızdan sınıflandırılmıştır. Buna göre en çok talep edilecek araç kaynakları ambulans, iş makineleri ve nakliye araçları; insan kaynakları ise arama kurtarma ekipleri ve geri hizmette görev alacak kişiler olarak belirlenmiştir. Sağlık ekipleri de önemli kaynaklar arasında bulunmasına rağmen yalnızca Sağlık Bakanlığı'nın yetkisi dahilinde yönlendirilebildiği için sistemimizde yer almamaktadır.

4.1.2 Sistemi oluşturan modüller

Sistemde kaynakların etkin ve hızlı bir biçimde koordinasyon ve dağıtımının sağlanması hedeflenerek, bu doğrultuda kullanılacak ana modüller aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

1. Durum Tespit Alt Sistemi

2. Kaynak Atama Alt Sistemi
3. Kaynak Dağıtım Alt Sistemi

Afet sonrasında dağıtım kanallarının açık olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla afet sonrası süreçte ilk olarak durum tespit ekipleri görevlendirilecek ve Bakırköy Belediyesi sınırları içerisindeki acil yol güzergahları ve mahallelere göre bina hasar durumları kontrolü yapılacaktır.

Deprem sonrasında afet merkezine birçok kaynak talebi geleceği için alınan talep bilgileri üzerinde çok hedefli karar analizi yapılarak taleplerin önceliklendirilmesi gerekmektedir. Bu önceliklendirmeye göre kaynak-talep eşleşmesi gerçekleştirilecektir.

İhtiyaç noktalarına atanan kaynakların ulaşımı ve BAKOM'a gelen yardımların dağıtımı için belirlenen güzergahlar ve prosedürler kullanılacaktır.

4.2 Sistemin girdileri, çıktıları ve mimarisi

Olası bir deprem sonrasında BAKOM'a gelen ve sistemi yürütme yetkisini alabilecek kişiler afet yönetim sürecini başlatacaklardır. Ek 1'deki sistem mimarisinde de görüldüğü gibi öncelikli olarak motosikletli ekipler acil yol güzergah ve mahalle durum tespit bilgilerini BAKOM'a ileteceklerdir. Aynı zamanda mahalle muhtarları ve hizmet gruplarından gelen durum tespit bilgileri de kriz masasında toplanacaktır. Bu bilgiler sistemin ilk talep girdilerini oluşturacaktır. İlerleyen süreçte yardımlar, bağışlar, kaynaklar ve talepler BAKOM'a gelmeye başlayacaktır.

Gelen talepler, tasarlanan çok hedefli karar analizi kriterlerine göre sıralanacak ve kaynak atama alt sistemi kullanılarak kaynak-talep eşleşmesi yapılacaktır. İhtiyaç duyulan kaynağın sistemde bulunmaması durumunda talebe uygun bir kaynak gelene kadar talep sistemde bekletilecektir.

Kaynağın ihtiyaç noktasına ulaşımı sırasında kullanılacak olan güzergah, motosikletli ekipler tarafından merkeze iletilen yol açıklık durumuna göre belirlenecektir. Talebin istenilen miktarda ve mümkün olan en kısa zamanda karşılanması sistemin en önemli çıktısıdır.

Sistem kullanıcılarını yönlendirmek için dört farklı yönerge Ek 2'de gösterildiği şekilde tasarlanmıştır.

4.3 Geliştirilen alt sistemler ve prosedürler

4.3.1 Durum tespit alt sistemi

Durum tespit çalışması, Bakırköy Belediyesi sınırları içerisindeki acil yol güzergahının ve binaların hasar durumlarının kontrolünü yaparak BAKOM'a iletmeyi amaçlamaktadır.

Durum tespit çalışmasının her şartta (dar alanlar, bozulmuş yollar vb.) hızlı bir biçimde tamamlanabilmesi için motosikletli ekiplerin kullanılması planlanmıştır.

Önerdiğimiz sistemde motosikletli ekiplerin “Acil Yol Güzergahı Durum Tespiti” ve “Mahalle Durum Tespiti” olmak üzere iki temel görevi bulunmaktadır.

Acil Yol Güzergahı Durum Tespiti: Herhangi bir afet durumunda, Bakırköy ilçesi içerisindeki ulaşım ve tahliyenin sağlanabilmesi için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Müdürlüğü tarafınca belirlenen acil yol güzergahı kontrol edilecektir. Bu kontrolün hızlı ve etkin bir biçimde gerçekleştirilmesi için Ek 3’teki motosikletli ekip sayısı belirleme analizi ile gerekli motosiklet sayısı saptanmıştır. Bu analizde değişen motosiklet sayısına göre acil yol güzergahı tarama ortalama süreleri hesaplanmış ve sürenin motosiklet sayısının artmasıyla üstel (exponential) olarak azaldığı gözlenmiştir. Altı motosiklete kadar, motosiklet sayısındaki her bir artış acil yol güzergahının tarama süresini %10’dan fazla azaltırken, altı motosikletten sonra gelen her bir motosikletin bu süreye etkisi %10’un altında olmuştur. Her bir motosikletin izlemesi gereken güzergahın belirlenmesinde, katedilecek yolun motosikletlere orantılı dağılımını amaçlayan sezgisel bir yöntem uygulanmıştır.

Motosikletli ekipler, Acil Yol Güzergahı Durum Tespit Yönergesi’nde belirtildiği gibi görevli oldukları acil yol güzergahlarını tarayarak yollardaki hasar durum bilgilerini BAKOM’a iletmekle yükümlüdürler. Bu bilgileri telsizle ya da telsizlerin çalışmadığı durumlarda Kişisel Dijital Asistanlara (PDA) işaretleyerek, PDA’lerle çalışmanın mümkün olmadığı durumlarda ise bu proje kapsamında hazırladığımız kitapçıktaki formlara kayıt ederek ileteceklerdir. Ayrıca motosikletli ekipler, acil yol güzergahı üzerinde kapalı bölgeler varsa, bunlar için alternatif yol belirlemekle de yükümlüdürler.

Mahalle Durum Tespiti: Deprem sonrasında acil müdahale gereken yerlerin tespit edilmesi amacıyla ilçe sınırları içerisindeki bütün sokaklar taranacaktır. Bu tarama için gerekli olan ideal motosiklet sayısı belirleme analizinde (Ek 4) taranacak toplam yol uzunluğu ve değişen motosiklet sayısına göre mahalle tarama ortalama süreleri hesaplanmış ve sürenin motosiklet sayısının artmasıyla üstel (exponential) olarak azaldığı gözlenmiştir. Altı motosiklete kadar, motosiklet sayısındaki her bir artış mahalleleri taramak için gerekli olan zamanı %20’den fazla azaltırken, altı motosikletten sonra gelen her bir motosikletin bu süreye etkisi %10 civarında olmuştur. Her bir motosikletin tarayacağı mahalleler, bu motosikletlerin acil yol güzergahlarını kontrol ettikten sonraki konumları, katedecekleri mesafelerin orantılı dağılması ve mahallelerin nüfus yoğunlukları ile risk durumları göz önünde bulundurularak sezgisel bir yöntem ile belirlenmiş ve motosikletler bu mahallelere atanmıştır.

Motosikletli ekipler, Mahalle Durum Tespit Yönergesi'nde belirtildiği gibi görevli oldukları mahallelerdeki sokak ve caddeleri tarayarak binalardaki hasar durum bilgilerini Acil Yol Güzergahı Durum Tespitinde belirtildiği gibi BAKOM'a iletmekle yükümlü olacaklardır.

4.3.2 Kaynak atama alt sistemi

Bu alt sistemin amacı kaynak ve taleplerin durum takibini yapmak, taleplerin önceliklerini belirleyerek kaynak-talep eşleşmesini sağlamaktır.

Taleplerin önceliklerine göre sıralanmasında çok hedefli karar analizi kullanılacaktır. Her kaynak türü için aşağıda belirtildiği gibi farklı önceliklendirme kriterleri tanımlanmıştır:

Arama kurtarma ekibi talepleri: Bu talep türü için talebin geldiği binanın işlevi önem taşımaktadır. Bunun nedeni, depremin oluş günü ve saatine göre binanın doluluk oranının değişmesi ve binada bulunan nüfusun karakteristiğinin (çocuk, yaşlı, hasta vb.) belirlenebilmesidir.

Önceliklendirme yapılırken farklı bina işlev türleri için Ek 5'te gösterildiği gibi farklı senaryolar düşünülmüştür. Bina işlevine göre nüfus oranları hafta içi, haftasonu, okulların açık veya kapalı olma durumu ve resmi tatiller için ayrı ayrı belirlenmiş; günler kendi içlerinde beş farklı saat dilimi altında incelenmiştir. Böylelikle yirmi farklı senaryo saptanmış olup kaynak atamalarındaki önceliklendirme, depremin meydana geldiği gün ve saate göre bu senaryolar üzerinden yapılacaktır. Bunun dışında talebin geliş zamanı, talep eden kişi ve kurumlar (hizmet grupları, STK'lar, halk), talebin geldiği binanın hasar durumu ve mahallelerin önceden bilinen risk durumu ile ilgili bilgiler de sıralamada kullanılacak diğer kriterlerdir.

Geri hizmet görevi talepleri: Bu talep türü için belirlenen kriterler talebin geliş zamanı ile talep eden kişi ve kurumlardır.

Ambulans talepleri: Bu talep türünün kriterleri arama kurtarma ekibi talepleri ile aynıdır.

İş makinaları talepleri: Bu talep türünde talebin geliş zamanı ile talep eden kişi ve kurumların yanısıra talep noktasının acil yol güzergahı üzerinde bulunup bulunmadığı da önem kazanmaktadır.

Nakliye aracı talepleri: Bu talep türünde talebin geliş zamanı ile talep eden kişi ve kurumların yanısıra Proje 2 tarafından belirlenen taşınacak malzeme kategorisi de önem kazanmaktadır.

Her kaynak türü için kriter değerleri kendi içlerinde farklılık gösterdiğinden, her birine uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda ağırlıklar atanmıştır. Bu ağırlıklar bir toplamsal değer fonksiyonunda (additive value function) kullanılacak, bu fonksiyonla talepler için bir öncelik değeri belirlenecek ve talepler bu değere göre sıralanacaktır. Bu

mekanizma, sisteme her yeni talep girişinde talep sıralaması güncellenecek şekilde tasarlanmıştır.

Atanan ağırlıkların gerçeğe uygunluğu ve hassasiyeti, Ek 6'daki şekilde farklı talep senaryoları yaratılarak oluşturulan benzetim modelinin MS Excel programında uygulanmasıyla test edilmiştir. Alınan sonuçlar doğrultusunda, ağırlık değerlerinde, talepleri etkin biçimde karşılamaya yönelik ayarlamalar yapılmıştır. Sonuçta, kaynak atama alt sisteminin nüfus ile ilgili bilgilere daha duyarlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, taleplerin doğruluğu konusu düşünülerek talebi ileten kişi ve kuruluşlar sınıflandırılmış ve resmi kurumlar ile sivil toplum kuruluşlarından gelen taleplerin ağırlığı artırılmıştır.

Tüm bu kaynak durum takibi, talep önceliklendirme hesapları ve kaynak-talep eşleşmesi, MS Access tabanlı veritabanı uygulaması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veritabanının Kullanım Yönergesi'nde gerekli bilgiler yer almaktadır.

4.3.1 Kaynak dağıtım alt sistemi

İnsan ve araç kaynaklarının dağıtımı: Bu alt sistemin amacı kaynakların ihtiyaç noktalarına en hızlı şekilde ulaşmasını sağlamaktır. Kaynak-talep eşleşmesinin hemen ardından kaynak talep noktasına yönlendirilecektir.

Kaynağın bulunduğu noktadan talep noktasına olan güzergahı belirlemek için en kısa yol algoritmaları üzerinde çalışılmıştır. Ancak hesaplamada kullanılacak olan yol sayısı göz önünde bulundurulduğunda sonuca ulaşmak uzun zaman almaktadır. Böyle bir yöntemin deprem sonrası süreçte kullanılması verimsizdir. Bu nedenle, insan kaynaklarına ve araç kullanıcılarına üzerinde referans noktaları işaretlenmiş olan haritalar verilecektir ve ulaşmaları bu şekilde sağlanacaktır.

Proje 2 kaynakları dağıtımı: Bu alt sistemde Proje 2'de yer alan kaynakların dağıtımı yine Proje 2 tarafından belirlenen malzeme ve ekipman kategorilerine göre tasarlanmıştır. Bu kategoriler şu şekildedir:

Tablo 3. Proje 2 tarafından belirlenen kategoriler.

	Mayıs - Ekim ayları arası	Kasım - Nisan ayları arası
A	Arama kurtarma, ilk yardım	Arama kurtarma, ilk yardım, barınma
B	Barınma, gıda	Gıda, giyecek
C	Giyecek, temizlik	Temizlik

Kategorilendirilmiş bu malzeme ve ekipmanların dağıtımı nakliye araçlarıyla Bakırköy ilçesi mahalle muhtarlıklarına yapılacaktır.

Araç sıkıntısı yaşanabileceği düşünülerek, birden fazla mahallenin talebini birlikte gönderebilmek amacıyla, Bakırköy ilçesi matematiksel

tabanlı bir “çok araçlı rotalama problemi” (Laporte, 1992) modeli (Ek 7) kullanılarak bölgelere ayrılmıştır. Bu modelde mahalle muhtarlıklarının birbirlerine olan uzaklıkları dikkate alınarak, BAKOM’dan başlayarak Bakırköy İlçesine dağılıp bütün mahalle muhtarlıklarına uğrayacak kamyonların, toplamda en kısa yolu almaları amaçlanmaktadır. Modelin sonucunda her kamyonun sahip olduğu rota, o rotanın üzerinde bulunan mahalle muhtarlıkları ile oluşacak bölgeleri belirleyecektir. İdeal bölge sayısı bu model kullanılarak elde edilen sonuçların analiziyle altı olarak belirlenmiştir. Modelin çözümünde Xpress-MP optimizasyon programından yararlanılmıştır.

Kaynakların bulunduğu depodan, kümelenen bölgelere acil yol güzergahları üzerinden rotalar belirlenmiştir. Kaynaklar çekme esaslı dağıtım sistemine (milkrun) göre bölge içindeki talep noktalarına ulaştırılacaktır.

A kategorisindeki kaynaklar hayati önem taşıdığı için araç bulunduğu takdirde derhal gönderilmelidir. Buna karşın B ve C kategorisindeki kaynaklar belirli aralıklarla dağıtılacaktır. Kaynak kategorilerine göre tasarlanan prosedürler aşağıdaki gibidir:

A kategorisi dağıtım prosedürü:

1. Elde araç bulunması durumunda bu kategoriye gelen talep mümkün olan en küçük kapasiteli araçla derhal talep edilen mahalle muhtarlığına yollanır.
2. Elde araç bulunmaması durumunda, talep geldikçe, talep edilen malzemeler gidecekleri bölgelere göre gruplandırılacaktır.
3. Araç geldiği anda en erken gelen talep ve içinde olduğu grup araca yüklenecek ve bekletilmeden ihtiyaç bölgesine gönderilecektir.
4. Araç kullanıcıları kendilerine verilen güzergah haritasını takip edeceklerdir.

B kategorisi dağıtım prosedürü:

1. Sphere Projesi’nde (The Sphere Project, 2000) afet sonrasında insanların günlük ihtiyaç gereksinimleriyle ilgili belirlenen kriterlere göre bu kategorideki malzemelerin günde dört kez gerçekleşecek rutin turlarla dağıtılması kararlaştırılmıştır.
2. Tur saatleri 06:00 / 12:00 / 18:00 / 00:00 olarak belirlenmiştir. Bu saatler dışında araçların A kategorisine cevap verebilmesi için dağıtım yapılmayacaktır.
3. Elde araç bulunması durumunda talepler belirlenen saatlerde mümkün olan en küçük kapasiteli araçlarla bölgelere göre gruplandırılarak gönderilecektir.
4. Elde araç bulunmaması durumunda tur için belirlenen saatlerden itibaren araç geldiği anda en erken gelen talep ve içinde olduğu grup araca yüklenecek ve bekletilmeden gönderilecektir.

5. Araç kullanıcıları kendilerine verilen güzergah haritasını takip edeceklerdir.

C kategorisi dağıtım prosedürü:

1. İnsanları ihtiyaçları göz önünde bulundurularak bu kategorideki malzemelerin günde bir kez gerçekleştirilecek rutin turla dağıtılması kararlaştırılmıştır.
2. Tur saati 09:00 olarak belirlenmiştir.
3. Dağıtımda B kategorisi dağıtım prosedüründeki maddeler izlenecektir.

4.4 Benzetim modeli

Durum tespit alt sisteminde önerilen iki farklı senaryonun analizini yapmak ve elde edilen sonuçları denemek amacıyla ayrık olaylı benzetim (discrete event simulation) modeli oluşturulmuş ve Arena benzetim programı kullanılarak test edilmiştir. Bakırköy Belediyesi'nin planladığı üç motosiklet ve yaptığımız motosikletli ekip sayısı belirleme analizi ile saptanan altı motosiklet için modelin koşurumu yapılmıştır.

Bu modelde önce acil yol güzergahı durum tespiti, hemen ardından mahalle durum tespiti yapılmıştır. Motosikletlerin en düşük hızı, yürüme hızı olan 3 km/saat, en yüksek hız ise 60 km/saat olarak kabul edilmiştir. Motosikletlerin hızı depremin yolları etkileme durumuna göre rassallık göstereceğinden, 3 km/saat ile 60 km/saat arasında düzgün dağılımlı olduğu varsayılmıştır. Modellerin 20 defa tekrarlanmasıyla elde edilen sonuçlara göre altı motosikletli modelin süreci 3,06 saat daha erken tamamladığı ve %51'lik performans artışına ulaşıldığı görülmektedir (Ek 8).

5. Sonuçlar

- Tasarlanan karar-destek mekanizması sayesinde doğru ve hızlı bir şekilde karar verilebilecek ve müdahalelerin gerçekleşmesi hızlanacaktır.
- Acil yol güzergahları ve mahalle bina hasar durumları hızla belirlenecektir.
- Talep gelmesi beklenmeden kaynak ihtiyacı olan yerlerin tespitine başlanacaktır.
- Kaynakların talepler karşısında yetersiz kaldığı durumlarda ilk olarak hangi talebe cevap verileceği kolaylıkla belirlenecektir.
- Acil durumlara verilen öncelik sayesinde can kaybı azalacaktır.
- Güzergah belirleme çalışması sonucu yardımların nakliyesi kolaylaşacak yardımlar ihtiyaç noktalarına daha hızlı ulaşacaktır.
- Kaynakların ihtiyaç noktalarında talep edilen miktarlarda gönderilmesi sonucunda zaiyatı engellenecektir

- Hazırlanan detaylı kitapçık ve haritalar sayesinde bölgeyi tanımayan kişilerin gerekli bilgilere erişimi ve bölgeyi tanımasını sağlayacak, böylelikle çalışmalar daha verimli sürdürülecektir.
- Detaylı yönergelerle afet yönetimi konusunda deneyimsiz kişiler de tasarlanan sistemi rahatlıkla anlayıp kullanabilecektir.

6. Uygulama

6.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Önerilen sistemin uygulanabilmesi için öncelikle BAKOM'da bulunan bilgisayarlara kaynak takip ve atama sistemi kurulmalıdır. Buna ek olarak, hazırlanmış olan yönergeler deprem sonrasında kolaylıkla görülüp ulaşılabilecek bir yerde muhafaza edilmelidir. Son olarak, durum tespit alt sisteminde ideal motosiklet sayısı altı olarak önerilmiştir. Bu alt sistemin tasarlandığı şekilde uygulanabilmesi için altı motosiklet Bakırköy Belediyesi tarafından temin edilmelidir.

6.2 Uygulama planı

Sistem deprem sonrasında yönergelerde anlatılan şekilde uygulanacaktır. Mayıs 2009'da ise Bakırköy Belediyesi ile ortaklaşa belirlenecek bir tarihte önerilen sistemin tatbikatı gerçekleştirilecektir.

7. İleriye dönük geliştirme konularında öneriler

Sistemin gelişmesi ve yaygınlaşabilmesi için sistemin bütünlüğü ile sistemin kullanıcıları arasındaki iletişim ve koordinasyon çok önemlidir. Bunları sağlamak için aşağıdaki öneriler uygulanabilir:

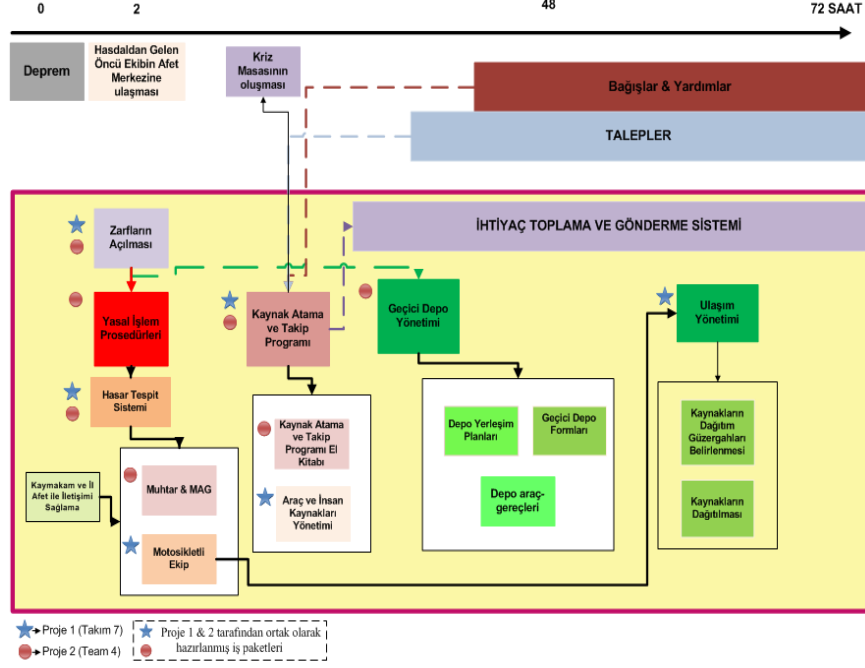
- Sistemin Proje 2 ile birlikte işleyişi, benzetim modeli oluşturularak test edilmelidir. Duyarlılık analizleri doğrultusunda gerekli değişiklikler yapılarak iki proje bütünleştirilmelidir.
- Proje telsiz iletişimin kesintiye uğradığı zamanlarda da uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak, böyle durumlarda bilgi akışı ve müdahale hızı azalmaktadır. Günümüzde kesintisiz telsiz iletişimi için kullanılan geniş alan kaplama telsiz sistemleri bulunmaktadır. İletişimin kesintisiz sağlanması bu sistemin kurulumuyla mümkün olacaktır.
- Tasarlanan veritabanının sisteme dahil kişi ve kurumlar tarafından eşzamanlı kullanılabilmesi için BAKOM, muhtarlıklar ve depo arasında veritabanına bağlanmayı sağlayacak bir ağ sistemi oluşturulmalıdır.
- Sisteme dahil kişiler arasında koordinasyonun güçlenmesi, sistemin hatasız yürütülmesi ve taleplere yeterli kaynak sağlanabilmesi için yöre halkı ve sivil toplum kuruluşları müdahale konusunda eğitilmeli ve bilinçlendirilmelidir. Yardıma katılımı artırıcı çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Afet Acil Eylem Planı, Kaynak Atama, Takip ve Geçici Depolama Sistemi (2009) <http://proje.ie.bilkent.edu.tr/~team4/> Son erişim tarihi: 23 Nisan 2009.
- Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi (2007). “Afet Yönetimi”, <http://www.deprem.gov.tr/afetyon.htm>. Son erişim tarihi: 19 Nisan 2009.
- Laporte G (1992) . “The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms”, *European Journal of Operational Research* 59 (3), 345-358.
- Ozdamar L., Ekinci E., Kucukyazıcı B. (2004). “Emergency Logistics Planning in Natural Disasters”, *Annals of Operations Research* 129, 217–245.
- The Sphere Project 2000. “Afete Müdahalede Asgari Standartlar ve İnsani Yardım Sözleşmesi”, <http://www.sphereproject.org>. Son erişim tarihi: 19 Nisan 2009.
- Türkiye İstatistik Kurumu 2009. <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> . Son erişim tarihi: 10 Nisan 2009.

EKLER

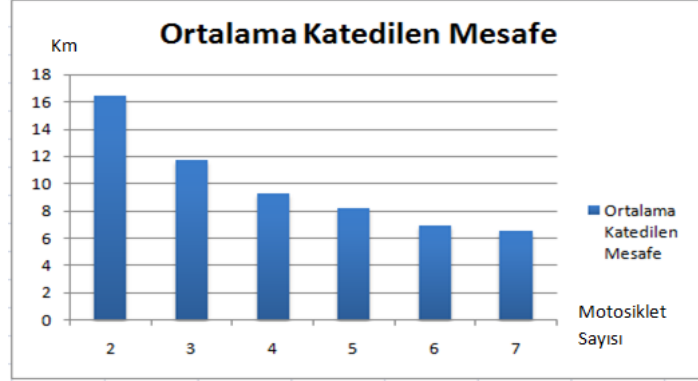
Ek 1. Sistem mimarisi



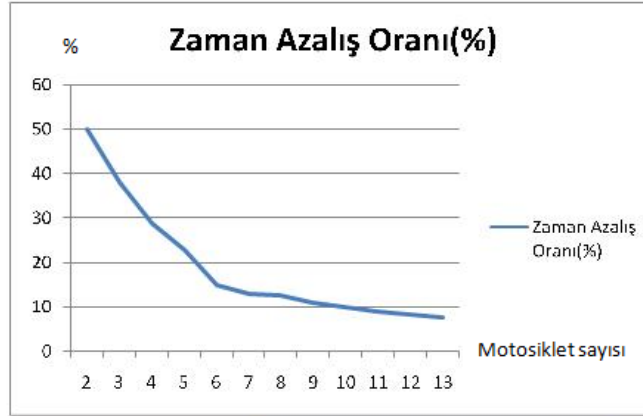
Ek 2. Yönerge örnekleri



Ek 3. Acil yol güzergah durum tespiti motosikletli ekip sayısı analizi



Ek 4. Mahalle durum tespiti motosikletli ekip sayısı belirleme analizi



Ek 5. Senaryolara göre nüfus dağılım sınıflandırma tablosu

Senaryolara göre binaların doluluk oranları

Bina Tipi	Zaman Dilimi	İş günleri										Haftasonları					Resmi Tatiller				
		Okullar Açık					Okullar Kapalı					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Hastane, Sağlık Merkezleri		B	A	A	C	C	B	A	A	A	B	B	A	A	A	B	C	B	B	B	C
Yuva		A	A	E	E	E	A	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
İlkokul		A	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Lise		A	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Üniversite		A	A	E	E	E	A	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Dershane		C	A	A	E	E	C	A	A	E	E	C	A	A	E	E	E	E	E	E	E
Konutlar, Oteller, Yurtlar		B	C	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Özel İş Merkezleri		B	A	A	C	E	B	A	A	C	E	B	A	A	C	E	D	C	C	E	E
Kamu Binaları		B	A	D	E	E	B	A	D	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Akışveriş Merkezleri		E	A	A	B	E	E	A	A	B	E	E	A	A	A	E	E	C	C	C	E
Metro		A	B	A	C	D	A	B	A	C	D	B	B	B	B	C	B	B	B	B	C
Eğlence Merkezleri		E	A	A	A	C	E	A	A	A	C	E	A	A	A	A	E	B	B	A	A
İbadethaneler		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Aciliyet Sınıflandırması	
A	%100 Dolu
B	%75 Dolu
C	%50 Dolu
D	%25 Dolu
E	Boş

Zaman Dilimleri	
1	07-09
2	09-18
3	18-20
4	20-22
5	22-07

Ek 6. Kaynak atama alt sistemi örneği

Senaryolara göre doluluk oranı	Değer	Nüfus	Değer
A	1	1000>	0.45
B	0.75	500-1000	0.35
C	0.5	100-500	0.15
D	0.25	0-100	0.05
E	0		
Talep eden kişi/kuruluş	Değer	Hasar durumu	Değer
Hizmet Grupları ve Muhtarlar	0.45	Çökmüş	0.80
STK	0.35	Ağır Hasarlı	0.20
Halk	0.20		
Sistemde bekleme süresi	Değer	Nüfus karakteristiği	Değer
0-15dk	0.5	Yaşlı/Genç/Hasta	0.60
15-60dk	0.3	Diğer	0.40
60dk>	0.2		
		Mahalleye göre önceden bilinen risk	
		Belediyeden alınan risk değerleri	

Ek 6. Kaynak atama alt sistemi örneği (Devamı)

Şu anki zaman 21:47

Deprem Oluş Zamanı: 14 Nisan 2009 Salı, 07:23		Arama Kurtarma Ekip & Ekipman Talepleri						
	Talebin geldiği bina işlevi	Nüfus karakteristiği	Bina nüfusu	Hasar Durumu	Talebin geldiği mahalle	Talep eden kişi/kuruluş	Talebin geldiği zaman	Talebin sistemde bekleme
Talep 1	Hastane, Sağlık Merkezleri	Hasta	1100	Çökmüş	Cevizlik	Akut	21:30	0:17
Talep 2	Yuva	Çocuk	1000	Çökmüş	Zuhuratbaba	Halk	21:25	0:22
Talep 3	İlkokul	Çocuk	2000	Hasarlı	Osmaniye	Akut	21:01	0:46
Talep 4	Lise	Genç	30	Çökmüş	Kartaltepe	Hizmet grupları	21:35	0:12
Talep 5	Üniversite	Genç	300	Hasarlı	Yenimahalle	Akut	21:03	0:44
Talep 6	Dershane	Genç	50	Çökmüş	Zuhuratbaba	Halk	21:39	0:08
Talep 7	Konutlar, Oteller, Yurtlar	Diğer	300	Çökmüş	Şenlikköy	Hizmet grupları	21:30	0:17
Talep 8	Özel İş Merkezleri	Diğer	400	Hasarlı	Ataköy 7-8-910	Halk	21:25	0:22
Talep 9	Kamu Binaları	Diğer	200	Hasarlı	Yeşilyurt	Akut	21:37	0:10
Talep 10	Alışveriş Merkezleri	Diğer	700	Çökmüş	Basıncıköy	Halk	21:35	0:12
Talep 11	Metro	Diğer	100	Çökmüş	Yeşilköy	Hizmet grupları	21:31	0:16
Talep 12	Eğlence Merkezleri	Diğer	800	Hasarlı	Zeytinlik	Halk	21:20	0:27

	Senaryoya göre binadaki nüfus	Nüfus karakteristiği	Hasar durumu	Mahalleye göre önceden bilinen risk	Talep eden kişi/kuruluş	Talebin sistemde bekleme süresi	Değer	Sıralama
	0.3	0.2	0.25	0.05	0.1	0.1	1	
Talep 1	0.35	0.6	0.8	0.089	0.35	0.30	0.494	2
Talep 2	0.45	0.6	0.8	0.079	0.20	0.30	0.509	1
Talep 3	0.45	0.6	0.2	0.067	0.35	0.30	0.373	7
Talep 4	0.05	0.6	0.8	0.075	0.45	0.40	0.424	3
Talep 5	0.15	0.6	0.2	0.085	0.35	0.30	0.284	9
Talep 6	0.05	0.6	0.8	0.079	0.20	0.50	0.409	4
Talep 7	0.15	0.4	0.8	0.042	0.45	0.30	0.402	6
Talep 8	0.15	0.4	0.2	0.014	0.20	0.30	0.226	11
Talep 9	0.15	0.4	0.2	0.066	0.35	0.50	0.263	10
Talep 10	0.05	0.4	0.8	0.065	0.20	0.50	0.368	8
Talep 11	0.15	0.4	0.8	0.059	0.45	0.30	0.403	5
Talep 12	0.05	0.4	0.2	0.088	0.20	0.30	0.199	12

Ek 7. Kümeleme Modeli

$G = (N, E)$ bir “yönsüz ağdır” ve Bakırköy İlçesi’ni temsil etmektedir. $N = \{1, \dots, n\}$ bir “düğümler” kümesidir ve mahalle muhtarlıklarını temsil etmektedir. $E = \{(i, j) : i, j \in N\}$ ise bir ayrıtlar kümesidir ve mahalle muhtarlıkları arasındaki yolları belirtmektedir. $C = (c_{ij})$, (i, j) ayrıtlarının uzunluklar kümesi olarak tanımlanmıştır. $T = \{1, \dots, t\}$ ise kamyonların mahalle muhtarlıklarına uğrarken izleyecekleri sırayı gösteren zaman birimidir. Planlama t zaman birimi için yapılacaktır ve m kamyon için rota verilecektir. Modeldeki ilk düğüm noktası, BAKOM’u göstermektedir. Sistemde m bölgenin bulunduğu durumda; m kamyon, turlarına BAKOM’dan başlayıp orada bitirmelidir.

Ek 7. Kümeleme Modeli (Devamı)

Karar Değişkenleri ve Parametreler:

$X_{tjd} = \begin{cases} 1, & \text{eğer kamyon } d \text{ anında } t \text{ düğümünden } j \text{ düğüme gidiyorsa} \\ 0 & \end{cases}$

$z_{jd} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d \text{ anında } j \text{ düğümü ziyaret ediliyorsa} \\ 0 & \end{cases}$

U_t = Kamyon rotalarında alttur oluşumunu engellemek için kullanılan sürekli değişken

m Bölge sayısı

$$Min \sum_t \sum_j \sum_d X_{tjd} G_{tj}$$

Kısıtlamalar:

$$\sum_t X_{tjd} = z_{jd} \quad j = 2, \dots, n, d = 1, \dots, T-1$$

$$\sum_d z_{jd} = 1 \quad j = 2, \dots, n$$

$$\sum_t X_{tjd} = \sum_t X_{tj(a+1)} \quad j = 2, \dots, n, d = 1, \dots, T-1$$

$$\sum_t X_{tj1} = m \quad j \in N$$

$$\sum_{i=1}^T \sum_{j=2}^n X_{tj1} = 0 \quad \sum_{i=1}^T \sum_{j=2}^n \sum_d X_{tjd} = m \quad \sum_{i=1}^T \sum_d \sum_{j=2}^n X_{tjd} = m$$

$$U_t - U_j + mX_{tjd} \leq m - 1 \quad i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, d \in T$$

Ek 8. Benzetim modeli sonuçları

	Transfer Süresi	Ortalama değer (saat)	En düşük değer (saat)	En yüksek değer (saat)	Durum tespiti tamamlanma süresi (saat)
3 Motosiklet	M 1	5,98	2,73	15,38	5,98
	M 2	3,92	1,96	7,03	
	M 3	3,41	1,48	9,36	
6 Motosiklet	M 1	1,97	0,71	5,98	2,92
	M 2	1,78	0,88	4,15	
	M 3	2,32	0,74	8,34	
	M 4	2,48	0,97	7,32	
	M 5	2,92	1,09	9,18	
	M 6	2,53	1,12	7,19	

Geri Dönüşümlü Palet Üretimi için Karar Destek Sistemi Tasarımı

Benli Geri Dönüşüm

Proje Ekibi

Bahar Aydın
Orhan Birol
Bahadır Erdem
Fırat Kılıcı
Tutku Okul
Coşkan Yetginer

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

A.Serkan Sepin, Benli Geri Dönüşüm, Firma Müdürü

Akademik Danışman

Doç. Dr. Osman Oğuz, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Benli Geri Dönüşüm mevcut sistemi gelen taleplerin zamanında karşılanıp karşılanamayacağına karar verebilecek yeterli donanımına sahip değildir. Projenin amacı, palet geri dönüşümü için gerekli olan tüm verileri toplayan, bu veriler ışığında mevcut palet üretiminin gelen talebe cevap verip veremeyeceğini belirtebilen, bununla birlikte eğer talep mevcut mamul stokundan karşılanamıyorsa, talebi karşılamak için matematiksel model yardımıyla hangi tahtalardan kaç adet kesileceğini belirten ve bu sayede atık tahta miktarını minimize edebilen bir karar destek sistemi tasarlamaktır. Karar destek sisteminin temellendiği lineer programlama Excel Solver da çalışmaktadır, gerekli veritabanı da Microsoft Access programı ile oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Üretim Planlama, Bilgi Veritabanı, Matematiksel Modelleme, Karar Destek Sistemi, Tedarikçi Değerlendirmesi.

1. Firma Tanıtımı

Günümüzde sürekli büyümekte olan sanayi, kullanılabilir hammaddelerini hızla azaltmakta ve çevre kirliliği yaratmaktadır. Hammaddelerin yeniden kullanımını sağlayan ve çevreyi korumayı amaçlayan projeler küresel bir önem kazanmıştır. Sadece ABD’de her yıl yaklaşık 150.000.000 ahşap palet hurda olarak atılmaktadır (Valerio, *Recycle Pallets Skid Into US*). Bu gerçek ışığında günümüzde evlerden ve sanayiden topladığı plastik ve tahtaların geri dönüşümünü yapan Benli Geri Dönüşüm’ün yararları ülkemiz için de kritik bir önem arz etmektedir. Benli Geri Dönüşüm 1968 yılında “İtimat Hurda Ticaret” adıyla kurulmuş, 35 yıl boyunca hurda ticareti yaptıktan sonra 2002 yılından itibaren geri dönüşüm sektöründe aktif rol almıştır. Şirket, 2005 yılında profesyonel atık yönetimi hizmeti vermek amacıyla Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi’ne (EOSB) Benli Geri Dönüşüm Tesislerini kurmuştur. Benli Geri Dönüşüm, 2006 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı’ndan aldığı lisans ile ambalaj atığı ayrıştırma ve plastik geri dönüştürme işlerine başlamıştır. 2007 yılında Eskişehir Odunpazarı Geri Kazanım Projesini başlatan Benli Geri Dönüşüm, böylelikle sanayinin yanısıra evlerden de atık toplamakta, plastik ve ahşap paletlerin geri dönüşümünü, kâğıt ve şişelerin sıkıştırılıp ilgili geri dönüşüm şirketlerine gönderilmesini sağlamaktadır.

2. Projenin Tanımı

Benli Geri Dönüşüm tedarikçilerden gelen kullanılmış paletleri gerekli işlemleri uygulayarak tekrar kullanılabilir hale getirmekte ve satmaktadır. Şirketin palet geri dönüşüm kısmında üretim planlama sistemi olmayışı dolayısı ile gelen siparişlere sağlıklı bir cevap verilememektedir. Şirket eldeki hammadde ve bitmiş ürün stoklarına dair sağlıklı veriler tutmamaktadır. Verilen siparişlere göre hangi tahta cinsinden hangi miktarda kesileceği ise palet atölyesinde çalışan işçilerin inisiyatiflerine bırakılmış durumdadır. Bu da yapılan üretimin verimliliğinin düşük olması ve ortaya çıkan atık tahtaların fazla olması sonuçlarını doğurmaktadır.

Bunlara ek olarak firmanın stok alanında görülen düzensizlikten kaynaklanabilecek üretim aksaklıkları ve bu alandan sorumlu kişinin eksikliğinde oluşabilecek vakit kayıpları da stok takip sistemi ile ilgili bir bulgu olmuştur.

Şirkete yapılan ziyaretler sonucunda karşılaştığımız bu belirtiler göz önüne alındığında, palet geri dönüşüm işinin verimli bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle eldeki hammadde ve bitmiş ürün verilerini tam olarak bilinmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca üretim yapılması durumunda eldeki tahtalardan çıkan atığı en aza indirecek şekilde kesmesini sağlayacak bir sisteme ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Bunlara ek olarak, stok takibini kolaylaştıracak bir stok alanı uygulamasına da ihtiyaç olduğu saptanmıştır.

Tüm bunlar ele alındığında yapılması gerekeni şöyle tanımlayabiliriz. Palet geri dönüşümü için gerekli olan tüm verileri toplayan, bu veriler ışığında mevcut palet üretiminin gelen talebe cevap verip veremeyeceğini belirtebilen, bununla birlikte eğer talep mevcut mamul stokundan karşılanamıyorsa, talebi karşılamak için matematiksel model yardımıyla hangi tahtalardan kaç adet kesileceğini belirten ve bu sayede atık tahta miktarını minimize edebilen bir karar destek sistemi tasarlamaktır. Buna ek olarak, stok takibini kolaylaştırmak amacıyla yeni bir stok kontrol stratejisi geliştirmektir.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

Benli Geri Dönüşüm’de hali hazırda işlemekte olan sisteme göre gelen palet siparişleri şu şekilde karşılanmaktadır: Sipariş şirket üretim müdürüne ulaşmakta, üretim müdürü stoktan sorumlu işçiyi çağırmakta ve stokta sipariş edilen üründen olup olmadığını, var ise adedini sormaktadır. Stoktan sorumlu işçi stok alanına gidip burada ilk olarak istenen ürünü stok alanında aramaktadır. Bulduktan sonra sayım yapıp üretim müdürüne gerekli bilgileri ulaştırmaktadır. Stok alanının dağınık olması ve bir kaydının tutulmaması sebebiyle bu bilgiler sağlıklıdır. Üretim müdürü gerekli bilgileri aldıktan sonra siparişi karşılayıp karşılayamayacağına bakıp, eğer mamul stoktan talep karşılanamıyorsa üretim emri vermekte ve kaç adet üretileceğini işçilere bildirmektedir. İşçiler belli bir miktar malzemeyi stoktan alıp inisiyatiflerini kullanarak üretimi başlatmaktadırlar. Elde yeterli malzeme var ise üretim bu şekilde tamamlanmakta ve talep karşılanmaktadır. Malzeme stokunda yeterli malzeme bulunmadığı zaman işçiler hangi tahtayı keserek eksik tahtanın yerini dolduracaklarına kendileri karar vermektedir. Görüldüğü gibi karar verilirken kullanılan depo bilgileri kesin ve güvenilir değildir. Ayrıca eğer üretim yapılacaksa hangi tahtadan ne kadar olduğu bilinmediği için sistematik bir şekilde değil tamamen işçilerin seçimleri ile kesim yapılmaktadır. Bu durum da atık tahtaların fazla olması sonucunu doğurmaktadır.

Bu durumun temelindeki sebep gelen ve giden palet, hammadde ve sipariş verilerinin tutulmamasıdır. Tedarikçilerden gelen kamyonlar şirkete ulaştığında içindeki paletlerin yalnızca ton cinsinden bilgisi tutulmakta, hangi cinsten ne kadar olduğu ve ne kadarının kullanılabilir ne kadarının kullanılamaz durumda olduğu bilgileri toplanmamakta ve kayıt altında tutulmamaktadır. Bu plansızlıktan ve veri eksikliğinden dolayı siparişlerin karşılanıp karşılanamayacağına güvenilir olmayan bir şekilde karar verilmektedir. Bunun sonucunda yapılan üretimde de verimsizlikler meydana gelmektedir.

3.2 Performans ölçütleri

Artık tahta miktarı, stok kontrol zamanı, üretim gecikmesi ve sistemde kullanılan kişi sayısı geliştirilen sistemi mevcut sistemle karşılaştırdığımız performans ölçütleridir.

3.3 Hedefler

Geliştirilen sistemin öncelikli hedefi plansız yapılan kesimler sonucu ortaya çıkan atık tahtaların en aza indirgenmesidir. Hazırlanan matematiksel model de bu amaç doğrultusunda hangi tahtalardan ne kadar kesilmesi gerektiği sonucunu vermektedir. Böylelikle eldeki malzemelerin en verimli şekilde kullanılması mümkün olacaktır. Bu matematiksel model ile karar verme dinamiklerinde önemli bir yeri olan zamandan tasarruf etmek de mümkün olacaktır.

Benli Geri Dönüşüm için hazırlanan sistemde şirketin tüm kararlarını gerçek veriler doğrultusunda vermesi amaçlanmaktadır. Geliştirilen karar destek sistemiyle şirkete giren ve çıkan her kamyonun, hammaddenin, gelen her siparişin ve yapılan üretimin tüm verileri düzenle tutulacak, bu bilgilere ulaşım kolaylaştırılmış olacaktır. Ek olarak stok işlemlerinin elle yapılması sonucu kaybedilen zaman ve işgücü azaltılacaktır. Ayrıca geliştirilen bu veritabanının, matematiksel model için de yardımcı bir araç olarak kullanılması planlanmaktadır.

Ayrıca gelen kamyonların mal sayımı yapılması ile gelen malların kullanılabilir/kullanılmaz oranı belirlenecektir. Bu verilerle tedarikçi güvenilirlik değerlendirmesi yapılabilecek olup, buna göre gönderdikleri paletlerin durumuna göre tedarikçilerle anlaşmaların yenilenmesi ve fiyat çalışmalarının yapılması hedeflenmektedir. Tedarikçiden gelen hammaddenin incelenmesi sonucunda elde edilen bilgilere göre bir yüzde hesabı yapılarak tedarikçinin kar sağlayıp sağlamadığına karar verilebilecektir.

3.4 Literatür taraması

Tasarlanan sistemin farklı parçaları için farklı kaynaklardan araştırmalar yapılmıştır. Matematiksel model için “Tek boyutlu stok kesme problemi” modelleri incelenmiş mevcut sistemle benzer özellikler gösteren kısımlarında bu modelden yararlanılmıştır.

Bitmiş ürün stok alanı için yurtdışında faaliyet gösteren palet geri dönüşüm şirketleri ile iletişime geçilmiş ve onların kullandığı sistem incelenmiş benzer fikirler geliştirilmiştir. Bu şirketlerden en önemlileri The Pallet Recycling Company (Pallet Recycling,2008) ve Ph Pallets Company (Total Pallet Management,2009)’ dir.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

Şirketin problemlerini en aza indirmek amacıyla üretim planlaması için bir matematiksel model, veri toplama ve depolama için de bir veritabanı ve veri toplama sürecinin verimli hale getirilmesi için

yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde öncelikle sistemi oluşturan temel parçalar yani veritabanı ve matematiksel model açıklanmıştır. 4.4'te sistemin genel mimarisine yer verilmiştir(Ek 1).

4.2 Veritabanı

Şirketin verimli bir üretim planlaması yapabilmesi için tüm verileri sağlıklı çalışan bir sistemde tutması ve bir bilgiye ihtiyaç olduğunda çalışanlardan değil, bu sistemden görmesi gerekmektedir. Tasarlanan veritabanı şirkete gelen tüm malların içeriğini, tüm siparişleri, üretim verilerini, palet, tahta, takoz ve çivi stok miktarlarını, lojistikte kullanılan kamyonları tutmaktadır.

Veritabanına verilerin hangi durumda girileceği ve veritabanının nasıl kullanılacağı sistem akışı şemasında görülebilir (Ek 2).

Veritabanının şirkete kolay ve masrafsız uygulanmasının mümkün olması için MS-Access programında hazırlanmış olup, ayrıca tasarlanan kullanıcı arayüzleri ile kullanımın kolay olması amaçlanmıştır. Bu tasarım müşteri, tedarikçi, stok işlemleri ve üretim olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır.

Müşteri bölümünde, müşterilerle ilgili her türlü bilgiye kolayca ulaşılabilmesi ve bir satış yapılması durumunda bu bölümden yapılması ile çalışan hataları ortadan kaldırılması hedeflenmiş ve sistem otomatikleştirilmiştir. Sipariş verildiğinde sistem, stoktan sipariş verilen palet miktarını otomatik olarak düşürmektedir. Eğer sistemde siparişi karşılayacak kadar mamul yoksa ne kadar üretilmesi gerektiğini de göstermektedir (Ek 3.1).

Stok işlemleri bölümünde her türlü malzeme, mamul ve hammadde stokları ürün koduna göre detaylı bir şekilde ve kolayca görülebilmektedir (Ek 3.2).

Tedarikçi sayfasında bütün tedarikçileri ve hangi tarihte ne kadar malzeme yolladıklarını, yollanan malzemelerin odun palet oranını ve bunun gibi bilgileri görmek mümkündür(Ek 3.3).

Üretim kısmına girildiğinde ise üretim emri verildikten sonra üretim yapılması durumunda sistem otomatik olarak kullanılan malzemeleri stoktan düşmektedir(Ek 3.4).

4.3 Matematiksel model

Şirketin matematiksel modeli (Ek 4) kullanıp üretimini planlayabilmesi için bir Microsoft Excel dosyası geliştirilmiştir. Bu Excel dosyası ile kullanıcı stokundaki tahta ve takozlar ile her paletten ne kadar üreteceğini ve gerekirse matematiksel modeli çalıştırıp hangi tahtayı kısaltarak üretimi tamamlayacağını görebilecektir. Excel dosyası iki sayfadan oluşmaktadır ve kullanımı aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

İlk sayfada palet tipleri, tahta tipleri ve takoz tipleri ve açıklamaları bulunmaktadır. Kullanıcı bu sayfaya ilgili yerlere palet

stok miktarı, üretim sonrası stokta bulunması istenen palet miktarı, palet talep miktarı, tahtaların stok miktarları ve takozların stok miktarlarını girmelidir. Bu alanlar doldurduktan sonra girilen miktarlara göre Excel dosyası otomatik olarak kaç palet üretilmesi gerektiğini, her tahtadan ve takozdan kaç tane ihtiyaç duyulduğunu hesaplamaktadır. Bu hesaplamaların yanısıra eğer üretim sonrası bir tahta veya takozdan stokta kaldıysa kaç tane kaldığını, stoktaki tahta veya takoz üretim için yetersiz ise kaç tane fazladan tahta ya da takoz elde edilmesi gerektiği bilgilerini kullanıcıya sunmaktadır.

İkinci sayfada ise matematiksel modelin uygulaması bulunmaktadır. Eğer ilk sayfada tüm hesaplamalar yapıldıktan sonra “Kesilmesi Gereken Miktar” sütununda pozitif sayılar bulunuyorsa kesim işlemi yapılması ve bunun için de matematiksel modelin çalıştırılması gerekmektedir. Kullanıcı ilk sayfadan “Üretim Sonrası Fazla Miktar” ve “Kesilmesi Gereken Miktar” sütunlarını ikinci sayfada ilgili yerlere kopyalamalıdır. Kopyalanan bu iki sütun matematiksel model için sırasıyla tahta stok miktarı ve tahta ihtiyaç miktarlarını belirtmektedir. Sayfanın sağ üstünde tüm tahtaları içeren bir tahta uyumluluk matrisi bulunmaktadır. Bu matris 0 ve 1’lerden oluşmaktadır. Matriste bir değer 1 olması demek, kesişimi olduğu iki paletten soldakinin üstteğine kesilebileceği demektir. Bu uyumluluk matrisinin hemen altında modelin değişkenlerinin bulunduğu matris bulunmaktadır. Bu matriste bir değer sıfırdan farklı olması demek kesişimde soldaki paletten o değer kadar sağdaki palete kesilmesi demektir. Değişken matrisinin sağında stok sınırlaması, altında ise talep karşılama sınırlaması bulunmaktadır. Gerekli kopyalama işlemi bittikten sonra kullanıcı çalıştır butonuna basarak hangi tahtayı nasıl kısaltarak en az artık ile üretim yapabileceğini görebilmektedir.

Modele girilmesi gereken yeni bir palet ya da tahta çeşidi olduğunda belirtilen Excel sayfalarına yapılan bir ekleme yeterli olacaktır.

4.4 Tasarlanan sistemin mimarisi

Ek 2’de bulunan sistem akış şeması ayrıntılı olarak şu şekilde işlemektedir:

Tedarikçi, elinde şirkete satılabilecek kullanılmış paletlerin olduğunu bildirdiğinde, şirket tedarikçiye kamyon yollayarak paletleri almaktadır. Sorumlu kişi tedarikçiye kamyon yollanmadan önce, “Gelen Kamyon Formu”nun (Ek 5.1) ‘tedarikçi no’, ‘konteynır no’, ‘kamyon no’ ve ‘çıkış km’ bölümlerini doldurmaktadır. Palet taşıyan kamyon geldikten sonra kantara girer ve tartıldıktan sonra formun ‘Toplam KG’ kısmı doldurulmaktadır.

Kamyondaki paletlerin boşaltılması için kamyon, boşaltım alanına çekilmektedir. Sorumlu kişi, inen paletleri sağlam, az hasarlı ve

çok hasarlı olarak üç ayrı bölümde toplamaktadır. Sağlam paletler öncelikle boyutlarının ölçülmesi için yere çizilmiş olan metrik ölçek üzerine konmaktadır. Boyut ve cinsine göre ayrıldıktan sonra paletler uygun renge boyanmakta ve sayılmakta, daha sonra da stok alanına konmaktadır. Stok alanına konan paletlerin bilgileri “Gelen Kamyon Formu”nun boşaltım bölümündeki sağlam paletler kısmına yazılmaktadır. Sağlam palet sayısı ortalama palet ağırlığıyla çarpıldıktan ve toplam palet ağırlığından çıkarıldıktan sonra elde edilecek olan hurda ağırlığı da ayrıca “Gelen Kamyon Formu”na yazılmaktadır. Bu form daha sonra veritabanının güncellenmesi için ofise yollanmaktadır. Az hasarlı paletler yere çizilmiş olan metrik doğruya oturtularak boyut ve cinsine göre ayrılmaktadır. Tamirat gerektiren paletler takozu veya tahtası eksik, tahtası kırık paletlerdir. Bu paletlere gereken takozlar veya tahtalar ‘malzeme stoktan’ alınır ve montaj işlemi tamirat bölümünde havalı çivi tabancalarıyla gerçekleştirilir. Malzeme stoktan alınan ürünler ve tamirat bitiminde hazır olan paletlerin adetleri ‘Tamirat Formuna’ girilmektedir. Bu paletler daha sonra cinslerine göre renklendirilmektedir. Vardiya bitiminde sorumlu kişiye ulaşan bütün formların yardımıyla stok veritabanı güncellenmektedir.

Çok hasarlı paletler parçalanacak ve satılacak olarak yükleyici tarafından ayrılmaktadır. Hurdalar ilgili stok alanına gönderilmektedir. Parçalanması gereken paletler, eksik ve kırık tahtaların ve takozların yenilenmesiyle satılabilecek hale getirilemeyecek olan paletlerdir. Bu paletlerin takozları ve tahtaları çivileri kesen bir makine yardımıyla birbirinden ayrılmaktadır. Çivi kesen makinenin yanına toplanan parçalar, malzeme sayım makinesi ile sayılmakta ve boyutlarına göre ayrılmaktadır. Malzeme sayım makinesi Benli Geri Dönüşüm ve TÜBİTAK tarafından tasarlanıp üretilmiştir. Kaynak yetersizliği sebebiyle tamamlanamayan makine yoğun ısrarlarımız ve malzeme sayımında karşılaşılan zorluklar nedeniyle bu alana daha çok maddi kaynak ayrılarak mart sonu itibariyle kullanıma sokulmuştur. Makine parçalanmış paletlerden çıkan tahta ve takozları boyutlarına göre ayırarak güvenilir bir şekilde sayıp bize sonuç vermektedir. Makinenin hızı 3sn.de bir palettir. Bu hız işçilerin yükleme hızından çok daha yüksek olduğu için makede hiçbir birikme olmamaktadır. Ayrıca bu makinenin işleme girmesiyle birlikte veritabanına girilecek bilgilerin elde edilmesinde de büyük bir kolaylık sağlanmıştır. Vardiya sonunda bu makineden alınan bilgiler ‘Malzeme Formuna’ (Ek 5.2) aktarılmakta ve veritabanı güncellenmektedir.

Sipariş geldiğinde ‘Sipariş Formu’ (Ek 5.3) açılır, eğer sipariş stoktan karşılanamıyorsa sorumlu kişi siparişin karşılanması için matematiksel modeli çalıştırıp, kullanılacak tahta cins ve sayılarını çıktı olarak almaktadır. Miktar sorumlu kişi tarafından üretim şefine

bildirilmektedir. Üretim aşamasında stoktan belirtildiği miktarda mal alınmakta ve bu 'Üretim Formuna' girilmektedir. Sipariş doğrultusunda gelen malzemelerle montaj yapılmakta ve paletler forklift ile kamyonlara yüklenip sipariş karşılanmaktadır. Vardiya sonunda 'Üretim Formu' (Ek 5.4) doğrultusunda veritabanı sorumlu tarafından güncellenmektedir.

5. Sonuçlar

5.1 Sistem performansı ve mevcut durumla karşılaştırma

Ayrıca şirkette yapılan iş etütleri sonucunda stok kontrolü için harcanan süre ve bu durumun üretime başlangıç zamanında yol açtığı gecikme Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de mevcut durum ve tasarlanan sistemle oluşan yeni durum arasındaki kıyaslama da bulunmaktadır.

Tablo 1. Mevcut ve yeni sistem sipariş tepki karşılaştırması.

	Stok Kontrol Zamanı	Üretim Gecikmesi	Sistemde Kullanılan Kişi Sayısı
Mevcut Durum	15dk	30dk	3
Yeni Durum	1dk	6dk	1
Yüzdesel Fark	%85 azalma	%80 azalma	%66.7 azalma

Bunların yanı sıra, modelin şirkete katkısı ile ilgili şöyle bir örnek vermek mümkündür.

10.000 adet 80x120 ince çam palet siparişi için 80.000 tane 80 cm ince çam tahta gerekmektedir. Stokta 50.000 tane 80 cm tahta olduğu varsayılırsa 30.000 adet daha bu tahtaya ihtiyaç duyulmaktadır. Şu anda stokta 80 santimetrelik tahta elde edilebilecek 90, 100 ve 120 cm.lik tahtalardan 20.000'er adet bulunmaktadır.

Problemi tasarladığımız Excel dosyası ile çözdüğümüzde program 20.000 adet 90cm.'lik tahtadan, 10.000 adet de 100 cm.'lik tahtadan kesmekte ve artık miktarı 400.000 cm olmaktadır.

Ancak mevcut sistemde üretim yapılması gerektiğinde işçiler hangi tahtayı keseceğine kendileri karar vermektedir. İşçi kendi kararı doğrultusunda 20.000 adet 90cm'den kesip, 10.000 adet ise 120 cm den keserek 80 cm tahta elde ederse artık tahta miktarı 600.000 cm olmaktadır. Burada da görüldüğü gibi, işçi 90 cm.lik tahtaları kesme konusunda modelle aynı kararı verip yalnızca 110 yerine 120 cm'likleri kestiği zaman bile 200.000cm artık tahtalarda fazlalık olmaktadır.

6. Uygulama

6.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Şirket için tasarlanan sistemin sağlıklı bir şekilde çalışması için veritabanında tutulan bilgilerin sıklıkla ve düzenli bir şekilde güncellenmesi gerekmektedir. Sistemin en duyarlı olduğu nokta

verilerdir. Veritabanındaki bilgiler doğru olmadığı takdirde siparişlere kesin ve sağlıklı cevaplar vermek mümkün olmayacak, şirketin mevcut işleyişinden öteye gidilememiş olacaktır.

Bu bağlamda, Ek 2' de belirtilen tüm durumlarda Ek 3'te gösterilen formların doldurulması ve gün sonunda tüm bu formlarla veritabanının güncellenmesi sistemin çalışması için olmazsa olmazlardandır. Bunu sağlayabilmek için bu konuyla ilgilenen çalışanların bilinçlendirilmesi ve bu uygulamayı her işlemde tekrarlamaya teşvik edilmesi gerekmektedir. Bunun için Ek 3'teki her formun altına yetkili kişinin imza atması ve gün sonunda bunların kontrol edilmesi gerekmektedir. Sorumlu kişinin yapacağı bu kontroller sonucunda çalışanlar bu formları doldurmanın gerekliliğini ve zorunluluğunu anlayacak ve sistemin yürümesi sağlanmış olacaktır.

6.2 Uygulama planı

Projenin sürdürülmesi sırasında sıklıkla şirket ziyaret edilmiş, hazırlanan veritabanı ve matematiksel modelin kullanımı için geri bildirimler alınmıştır. Tasarlanan veritabanı ve model bu bilgiler yoluyla şirket yetkililerinin istediği düzeye getirilmiştir.

Matematiksel model, şirkette kullanılmaya uygun duruma getirilmiştir; ancak gereken verilerin girileceği alanların kolaylaştırılması için çalışmalar sürmektedir. Ayrıca matematiksel problemi çözdürecek olan Premium Solver isimli çözücü yazılım da şirket tarafından daha sonra tedarik edilecek olup, deneme sürümleriyle yapılan çalıştırmalarda doğru sonuç vermiştir. Geline aşamada şirket bu yazılımı aldığı anda matematiksel modeli de çözmeye başlayacaktır. Şu anda matematiksel model doğru çalışmakta ve istenilen sonuçları vermektedir. Matematiksel model kullanıldığında 4 senaryo ile karşılaşılabılır. Bu senaryolar aşağıda sıralanmıştır.

1. Tüm talepler mevcut palet stoku ile karşılanabilmektedir. Bu durumda tüm paletler için üretilmesi gereken miktarlar sıfır olmakta ve programda tahta ve takoz kısımlarında bu hammaddelere gerek duymadığını yine sıfır rakamları ile gösterilmektedir. Bu durumda üretim için tahta kesilmesi gerekmeyeceği için ikinci sayfadaki modeli çalıştırmaya gerek duyulmamaktadır.

2. Talepleri karşılamak için stokun yanı sıra üretim de yapmak gerekir. Bu durumda bir ya da birden çok palet için üretilmesi gereken miktar sıfırdan farklı olur, bunu takiben programda ilgili tahta ve takozlara ihtiyaç olduğu gösterilmekte, ancak mevcut stok miktarı ihtiyacı karşıladığı için kesilmesi gereken miktarlar sıfır olarak gösterilmektedir. Bu durumda kesilmesi gereken miktarlar sıfır olduğu için kullanıcı üretimi tamamlamak için kesime gerek duymayacak ve bunu takiben modeli çalıştırma ihtiyacı hissetmeyecektir.

3. Talepleri karşılamak için üretim yapmak gerekir, üretim için de uzun tahtaları kısaltmak gerekmektedir. Böyle bir durumda palet üretim sütununda birden fazla için sıfırdan farklı rakamlar görünmekte ve tahta ihtiyacı birden fazla tahta tipi için mevcut stok miktarını aşmaktadır. Böyle bir durumda kullanıcı tahta için “üretim sonrası fazla kalan miktar” ve “kesilmesi gereken miktar” sütunlarını ikinci sayfaya kopyalayıp matematiksel modeli çalıştırmalı ve hangi tahtayı kısaltarak üretimi en az artırı ile yapabileceğini görmelidir.

4. Talepleri karşılamak için ne stoktaki paletler ne de kesim işlemi dâhil stoktaki tahtalar yetmemektedir. Böyle bir durumda kullanıcı üçüncü senaryodaki adımları aynen yerine getirmelidir. Ancak kesim işlemi talebi karşılamak için yetersiz kalırsa model bir sonuç veremeyecektir. Böyle bir durumda kullanıcı birinci sayfaya dönüp manuel bir analiz ile hangi tahtadan ne kadar gerek olduğunu çıkartmalı ve gelen hammaddeyi bu analize göre değerlendirmelidir.

Son olarak bitmiş ürün stoklarının tutulacağı alan için geliştirilen çözüme yönelik şirketle anlaşmaya varılmıştır. Şu anda ellerinde olan bitmiş ürünlerin sayımının yapılması ile birlikte yeniden yerleştirme ve ürün tiplerine göre renklerle belirtilme işlemi başlayacaktır.

7. Genel Değerlendirme

7.1 Projenin firmaya getirmesi beklenen katkılar

Benli Geri Dönüşüm için tasarlanan karar destek sistemi ile şirket sistematik bir şekilde veri tutmaya başlamıştır. Bunun en önemli katkısı şirkette verilecek kararların insan hatasını en aza indirgeyecek şekilde verilmesini sağlamak olmuştur. Şirketin ölçemediği bir şeyi yönetmesi de mümkün değildir. Tasarlanan sistemle şirkete, müşterilerine daha hızlı ve daha güvenilir bilgi sunma olanağı yaratılmıştır. Bunlara ek olarak, üretim yapılmasını gerektiren durumlarda şirket en verimli üretimi yapacak, böylelikle malzemeleri en verimli şekilde kullanmış olacaklardır.

7.2. İleriye dönük güncelleme ve geliştirme konusunda öneriler

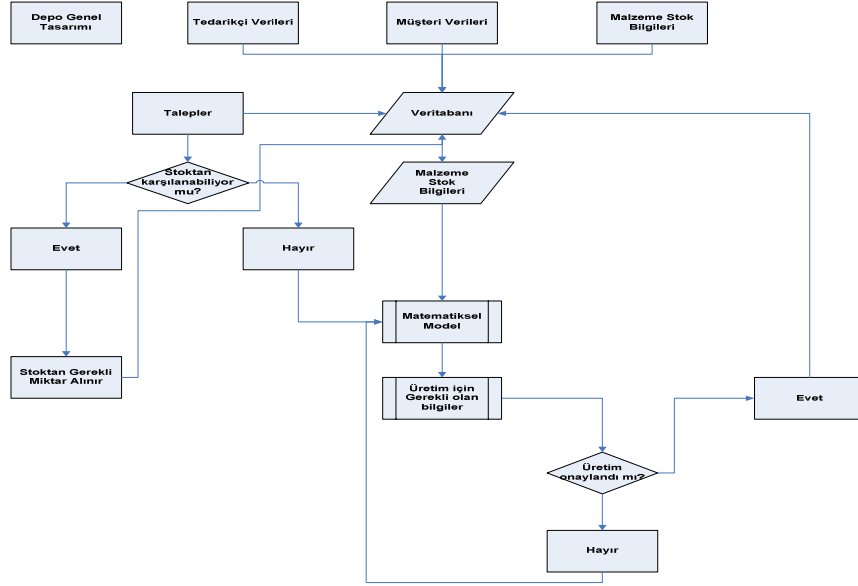
Kurulan sistem yeni bir ürünü tanıtmaya ve bu ürünü hesaplamalara entegre etmeye uygundur. Yukarıda da belirtildiği gibi bu sistem şirket için sistematik bir veri tutma aracı ve bir üretim planlama aracı olup olası bir MRP veya ERP uygulaması için iyi bir başlangıç olacaktır.

KAYNAKÇA

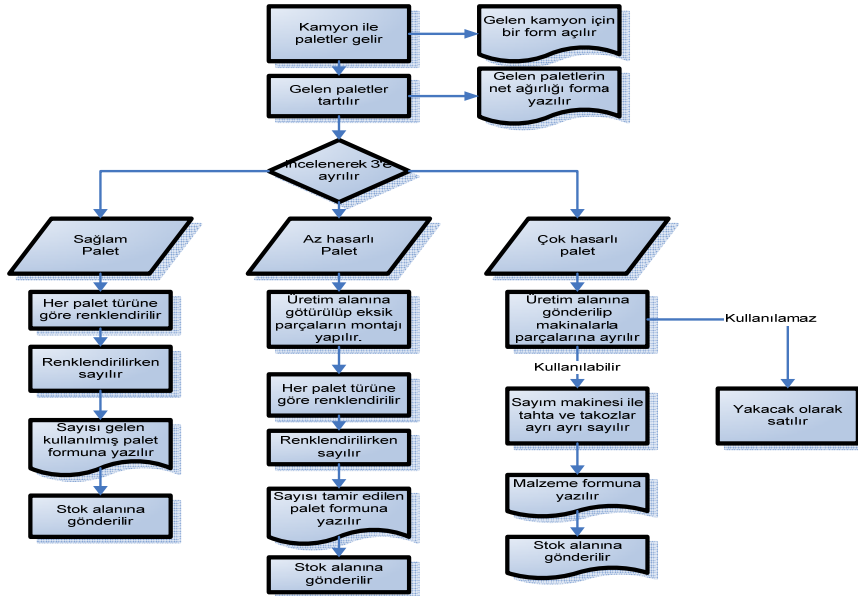
- PH Pallets, Manchester, United Kingdom, 2008.
<http://www.phpallets.co.uk> (29 Nisan 2009)
- The Cutting-Stock Problem. <http://www.new.mcs.anl.gov/otc/Guide/CaseStudies/cutting/index.html> (29 Nisan 2009)
- The Pallet Recycling Company, Hertfordshire, United Kingdom, 2009. <http://www.thepalletrecyclingcompany.co.uk/> (29 Nisan 2009).
- Valerio, Gerry. "Recycle pallets skid into U.S." , Haziran 1997.
<http://www.newsandtech.com/issues/1998/07-98/pallets0798.html> (29 Nisan 2009)

EKLER

Ek 1. Sistemin genel mimarisi



Ek 2. Sistem akış şeması



Ek 3. Veritabanı kullanıcı arayüzü

Ek 3.1 Müşteri bilgileri arayüzü

Müşteri Kodu:	1	Müşteri Adı	Eti
Müşteri Adı:	Eti		Arçelik
Adres:	EOSB		Otosan
Telefon:	02221234567		Paşabahçe
E-mail:	x@eti.com.tr		
Yetkili Kişi:	Bay X		

Üretim işlemleri Satis

Üretim Kodu:	18		
Mamül Kodu:	P2		
Üretim Miktarı:	50		
Tarih:	04/19/2009		
Açıklama:		Yolla	
Müşteri No:	1		

Üretim Tamamlandı

Ek 3.2 Mamul stok bilgileri arayüzü

Mamul Kodu	Boy	En		P1
P3	80	120		P2
Ağaç Tipi	En Tahita Tipi	En Tahita Adet		P3
İnce Çam	T1		8	P4
Boy Tahita Tip	Boy Tahita Adet	Takoz Tipi	Takoz Adet	P5
T17		8/A1		
Çivi Tipi	Çivi Adet	Birim Ağrnlk		
	0			

Yeni Mamul

Ek 3.3 Tedarikçi bilgileri arayüzü

Geliş Kodu:		Tedarikçi Kodu	1	19.04.2009
Tedarikçi Kodu:	1			
Tarih:	19.04.2009			
İrsaliye No:	401981			
Miktar (kg):	4500			
Birim Fiyat:	25			
Sağlam Palet Miktar:	100			
Tamir Edilecek Palet:	150			
Parçalanacak Palet:	50			
Odun Miktarı:	1000			
Toplam Fiyat:	0,00 YTL			
Araç Kodu:				
Çıkış KM:				
Giriş KM:				

5

Hammade_Adi:		Hamm	
Miktar:			

Ek 3.4 Üretim arayüzü

Üretim Kodu:	19		
Mamul Kodu:	P2		
Üretim Miktarı:	100		
Emir Tarihi:	20.04.2009		
Açıklama:	Sıfır Çakım		
Müşteri No:	1		

Save Record

Ek 4. Matematiksel model formulasyonu

Kümeler:

N: kullanılan tahtalar

Parametreler:

L_i : i tahtasının uzunluğu $i \in N$

D_i : i tahtasının ihtiyaç miktarı $i \in N$

I_i : i tahtasının stoktaki miktarı $i \in N$

Karar Değişkenleri:

X_{ij} : j tahtasını elde etmek için i tahtasından kullanılan miktar
 $i, j \in N$

Hedef Fonksiyonu:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (L_i - L_j) \times X_{ij}$$

Sınırlayıcılar:

* Bir tahtadan kesilen miktar o tahtanın stoktaki miktarından fazla olamaz

$$\sum_{j \in N} X_{ij} \leq I_i \quad i \in N$$

* Bir tahta için kesilen miktar o tahtanın ihtiyacını karşılamalıdır


$$\sum_{i \in N} X_{ij} \geq D_j \quad j \in N$$

* Kesilen miktarlar sıfırdan küçük olamaz

$$X_{ij} \geq 0 \quad i, j \in N$$

Ek 5. Formlar

Ek 5.1 Gelen Kamyon Formu

 İstem Başlangıç Tarihi / /
İstem Başlangıç Saati :

Gelen Kamyon Formu


Trafik No:
Genişletme No:
Kamyon No: Çukru KKK: Şişir KKK:
Toplam Ağırlık: Regülasyon Bölümü:
Paletler: Çevre: Adet:

Tamir Sorumlusu Paletler, Parçaları ve Paletler ve Hurdeler: İlgili:
Adres: Telefon: E-posta: Sigorta No:

İstem Bitiş Tarihi / /
İstem Bitiş Saati :

Kullanılmadık alanlar boş bırakılmalıdır.

Ek 5.2 Malzeme Formu

 İstem Tarihi / /


Malzeme Formu

Talep Tarihi: Adet: Talep Tarihi: Adet:

İstem Bitiş Tarihi / /
İstem Bitiş Saati :

Kullanılmadık alanlar boş bırakılmalıdır.

Ek 5.3 Sipariş Formu

 İstem Başlangıç Tarihi / /
İstem Başlangıç Saati :

Sipariş Formu

Sipariş Kodu:
Müşteri No:
Müşteri Adı:
Kamyon No: Çukru KKK: Şişir KKK:
Palet Tipi: Adet: Stoktan Kamyon Palet Adet: Birim Kg: Toplam Kg:

Sipariş Üretim Hesabı m.7: EVET HAYIR
Env. Y. İstemi/İstemi:
Üretim Palet Tipi: Üretim Palet Adet:


Sipariş Teslim Tarihi:

Onaylayan: İmza:

İstem Bitiş Tarihi / /
İstem Bitiş Saati :

Kullanılmadık alanlar boş bırakılmalıdır.

Ek 5.4 Üretim Formu

 İstem Başlangıç Tarihi / /
İstem Başlangıç Saati :

Üretim Formu

Üretim Kodu:
Üretim Emri No:
Üretim Emri Tarihi:
Üretim Emri Üretim Bölümü: Stok Yeri/İstemi / Sipariş Hesabı:
Üretim Palet Tipi: Adet:

Üretimde Kullanılacak Malzemeler:
Kullanılan Talep Tipi: Adet: Kullanılan Çukru Tipi: Adet:

Kullanılan Talep Tipi: Adet:

İstem Bitiş Tarihi / /
İstem Bitiş Saati :

Kullanılmadık alanlar boş bırakılmalıdır.

Ankara Satış ve Dağıtım Operasyonlarının Entegrasyonu

Coca-Cola İçecek A.Ş.

Proje Ekibi

Ali Deniz Gülaçtı
İrem Kılınç
Zeynep Oto
Zeynep Seferoğlu
Çağrı Turhan
Can Tümer

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Murat Arslanbulut, Coca-Cola İçecek A.Ş.
Ankara Dağıtım Müdürü

Akademik Danışman

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

ÖZET

Coca-Cola İçecek A.Ş.'de farklı anlayışlarla yürütülen satış ve dağıtım operasyonları arasındaki koordinasyon eksikliği sebebiyle dağıtım maliyetleri artmakta ve dağıtım operasyonlarının verimi düşmektedir. Bu projenin amacı satış ve dağıtım süreçlerini entegre ederek, bu süreçlerin ayrı ayrı işliyor olmasından kaynaklanan verimsizliği gidermek ve şirketin Ankara dağıtım ağını en iyilemektir. Önerilen sezgisel algoritmayla oluşturulan sistem seçilmiş pilot bölge için uygulanmış ve uygulama sonucunda değişken ve sabit maliyetlerden oluşan toplam maliyette %30'luk kazanç sağlanmıştır. Ankara uygulaması için veri hazırlama çalışmaları sürmektedir. Ankara genelinde ortaya çıkacak sonuçların pilot bölge çözümüne göre daha iyi olması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Satış ve dağıtım operasyonları, verimlilik, kapasiteli araç rotalama, gezgin satıcı modeli.

1. İşletme Tanıtımı

Coca-Cola ürünlerinin şişeleme ve dağıtım hakkı Türkiye'ye ilk olarak 1964 yılında verilmiştir. Türkiye, Coca-Cola'nın Avrupa'da 4, dünyada ise 13. büyük pazarıdır. Türkiye genelinde Çorlu, Ankara, Mersin, Bursa, İzmir ve Sakarya'da olmak üzere altı fabrika, İstanbul, İzmir ve Ankara'daki üç ana satış bölgeleriyle faaliyetini sürdüren Coca-Cola İçecek A.Ş.(CCİ) bunun yanında birçok Orta Doğu ülkesine de Coca-Cola ürünlerinin satış ve dağıtımını gerçekleştirmektedir. Tüm dünyadaki gazlı meşrubat tüketiminin %52'sine sahip Coca-Cola'nın gazlı ve gazsız içecek kategorilerinde toplam 15 adet ürünü bulunmaktadır. (Coca-Cola İçecek, 2009).

2. Proje Tanımı

CCİ Ankara'da satış, dağıtım ve üretim olmak üzere üç ayrı operasyon yürütmektedir. Projenin kapsamında satış ve dağıtım operasyonları ve bu operasyonların entegrasyonu yer almaktadır. Satış operasyonları müşteri kategorisine göre belirlenen kanallar bazında satış temsilcileri (*preseller*) tarafından gerçekleştirilmektedir. Satış temsilcisi tarafından alınan siparişlerin dağıtımını mutlaka bir sonraki iş günü gerçekleştirilmek üzere, müşterilerin coğrafi yakınlığı baz alınarak dağıtımdan sorumlu bayiler tarafından yapılmaktadır. Yani satış temsilcilerinin müşteri ziyaret gününün belirlenmesi, o müşterilerden sorumlu olan temsilcilerin günlük ziyaret edebileceği en fazla müşteri sayısına göre yapılırken, dağıtım operasyonunu gerçekleştiren kamyonların müşterilere atanması coğrafi bölgelere göre yapılmaktadır. Ana problem, satış ve dağıtım operasyonları arasındaki bu koordinasyon eksikliği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan verimsizliktir. Ankara genelinde, aynı coğrafi bölge içerisinde birçok farklı kanaldan müşteri bulunmakta ve bu farklı kanallardan sorumlu olan satış temsilcilerinin haftalık ziyaret programları farklılık göstermektedir. Buna ek olarak bazı müşterilerin, haftalık ziyaret sayılarının da birden daha fazla olması dağıtımını gerçekleştiren kamyonların aynı sokağa ya da caddeye aynı hafta içerisinde birden çok uğramalarına sebep olmaktadır. Proje kapsamında azaltmayı amaçladığımız dağıtım maliyeti kamyonların sabit ve değişken maliyetlerinden oluşmaktadır. Kamyonların bakım, vergi, amortisman ve kamyon başına iki kişi olan personel giderleri sabit, mazot giderleri ise değişken maliyetleri oluşturmaktadır. Özetlemek gerekirse, firmanın belirttiği semptomlar ile yapmış olduğumuz mevcut sistem analizi, esas problemin satış ve dağıtım operasyonlarının entegre bir şekilde yürütülmemesinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

CCİ “Ankara Hibrit” adı verilen bir satış sistemi uygulamaktadır. Bu sistemde satış, tanzim-teşhir, depolama, pazar ve iş geliştirme operasyonları CCİ tarafından; faturalandırma, dağıtım, teslimat, tahsilat bayiler tarafından; müşteri ilişkileri ise CCİ ve bayi tarafından ortak olarak yürütülmektedir.

Müşterileri ziyaret edip siparişleri alan ve tanzim/teşhir çalışmalarını yürüten müşteri temsilcileri CCİ'nin kendi elemanlarıdır. Satış temsilcilerinin bağlı olduğu üç ana satış kanalı bulunmaktadır. *Key Account* adı verilen kanal süpermarket, hipermarket ve perakende zincirlerinden oluşan alt kanalları, *Cold Drink (Yerinde Tüketim)* kanalı cafe-bar, lokanta, okul kantinleri gibi ürünlerin yerinde tüketildiği noktalardan oluşan alt kanalları, *Traditional (Geleneksel)* kanalı ise küçük ve orta ölçekli marketlerden oluşan alt kanalları kapsamaktadır. Satış temsilcilerinin bağlı oldukları kanala ait, kendisinin sorumlu olduğu müşterileri ziyaret ederek aldıkları müşteri siparişleri, bir iş günü sonra bayilere ait kamyonlarla teslim edilmektedir. *Müşteri rutü*, CCİ tarafından ana satış kanallarının alt kanalları, yani her bir satış temsilcisinin haftalık müşteri portföyü olarak tanımlanmaktadır. *Müşteri frekansı* bir müşterinin haftada kaç kere ziyaret edileceğini belirtmektedir. *Müşteri frekansı* birden fazla olan bazı müşterileri, satış temsilcileri haftada iki defa ziyaret etmekte, bazı müşterilerin ise ikinci frekanstaki siparişleri telefonda alınmaktadır. Gün boyunca müşterileri ziyaret edip siparişlerini alan satış temsilcileri Ankara satış merkezine dönüp siparişleri sisteme aktardıktan sonra siparişlerin faturalarının kesilip kamyonlara atanması işlemi yapılmaktadır. *Dispatching* adı verilen sistem Ankara haritasına bakmak suretiyle birbirine yakın noktalara göre siparişleri kamyonlara atamaktadır. Bu sistem, müşterilerin siparişlerini düzenli olarak vermemesi, dağıtım ağına yeni bir müşteri eklenmesi ya da mevcut müşterinin dağıtım ağından çıkması durumunda güncelliğini yitirmekte bu nedenle de manuel müdahale gerektirmektedir.

Problemi en iyi şekilde teşhis edebilmek için mevcut sistemin bir bütün olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Sistemi yakından tanımak aksaklıkları daha kolay tayin edebilmemizi sağlayacak, böylece potansiyel problemleri yakından görebilecektik. Bu süreçte iki hafta süreyle hem satış temsilcileriyle satışa çıkmış hem de bayi kamyonlarıyla dağıtıma çıkmıştır.

Mevcut sistem analizinin ardından problem tanımı yapıldıktan sonra projemizin kapsamı *Geleneksel* ve *Yerinde Tüketim* kanalları olarak belirlenmiştir.

3.2 Problem tanımı

Müşteri ilişkilerinin sektördeki önemi açısından satış departmanı, müşteri tipine yönelik hizmet verirken ürünlerin müşterilere teslim edilmesi sürecindeki aracı kurum olan bayiler dağıtımını coğrafi yakınlık esasına göre düzenlemektedir. Hizmet anlayışındaki bu farklılık sistemin genelinde verimsizliğe sebep olmaktadır.

4. Önerilen Yöntem

Problem tanımı yapıldıktan sonra ilk olarak optimal çözüme ulaşmak için bir matematiksel model tasarlanmıştır. Ancak matematiksel modelin sonuç alınması gereken veri miktarı için makul zamanda çözüm vermesi mümkün olmamıştır. Bunun üzerine yapılmış olan araştırmalar sonucunda sezgisel bir yaklaşımla yeni bir algoritma geliştirilmiştir.

4.1 Geliştirilen modeller ve çözüm önerileri

4.1.1 Matematiksel model

Firma yetkilileri ile yapılan toplantılar ve süreç analizi sonucunda problem tanımı kesinleştirilmiş ve literatür taraması yapılmıştır. Gerek bu araştırmalar gerek akademik danışmanlarımızın yönlendirmesiyle sistem mimarisi oluşturulmuştur. Firmanın var olan satış ve dağıtım politikaları göz önünde bulundurularak tasarladığımız sistem; müşteri, satış temsilcileri ve kamyon bilgileri ile müşteriler arası mesafeleri girdi olarak alıp kamyon-müşteri siparişi teslimat günü eşleşmesini vermektedir. Bu sonuç kullanılarak her bir müşteri için o müşteriden sorumlu olan satış temsilcisinin ziyaret günü belirlenmektedir. Amacımız depodan müşterilere teslimat işlemlerini gerçekleştiren kamyonların müşterilere dağıtımını en az maliyetle gerçekleştirmeleri için gerekli olan en uygun rotaları tespit etmektir. Sistemimizde kullanacağımız modeli belirleme aşamasında literatürde yer alan benzer problemler incelenmiş, farklı yaklaşımların geliştirildiği pek çok modele rastlanmış fakat kendi problemimizi birebir temsil eden araştırmalar bulunamamıştır. Bu nedenle karşılaştığımız benzer modellerin farklı aşamaları alınarak kendi modelimize adaptasyonu sağlanmıştır. İlk olarak Dantzig ve Ramser'in 1959 yılında yayımladığı araştırmadan yola çıkılarak *Araç Rotalama Problemleri(ARP)* ayrıntılarıyla incelenmeye başlanmıştır. Farklı *ARP* tipleri içinden kamyon kapasitelerini göz önünde bulundurarak rotalamayı yapan *Kapasiteli Araç Rotalama Problemi(KARP)* üzerinde detaylı çalışmalar yapılmıştır (Kopman vd.,2001). Laporte'un 1992'de yayımladığı makaleden yola çıkarak ise *Gezgin Satıcı Problemi(GSP)*'nin *KARP* ile birlikte kullanılmasıyla en uygun şekilde problemimiz modellenmiştir (Laporte, 1992). Böylelikle, *KARP* (Kopman vd.,2001) üzerinden model oluşturulmaya başlanmış, fakat *KARP*'nin rotalama dışındaki kısıtları kullanılmıştır. Buna ek olarak mevcut sistem analizi sonucunda

belirlediğimiz bir satış temsilcisinin gün içerisinde ziyaret edebileceği en fazla müşteri sayısı, haftada birden fazla *ziyaret gününe* sahip olan müşterilerin ziyaret günleri arasında en az bir gün olması, günlük çalışma saati sınırı gibi durumları içeren kısıtlar ve sırasıyla bütün müşterilerin diğer müşterilerle arasındaki uzaklığı, iki müşteri arası gidilebilecek en fazla mesafe sınırına göre kontrol eden kısıt da modele eklenerek *KARP* modifiye edilmiştir. Firmadan adres listeleri alınan müşterilerin koordinatları *Google Earth* yazılımı üzerinde işaretlenerek belirlenmiştir. *Java* ile yazılan kod sayesinde bu koordinat bilgileri kullanılarak müşteriler arası doğrusal uzaklık hesaplanmış ve bu uzaklıklar girdi olarak matematiksel modele verilmiştir. Matematiksel modelimiz ilk önce müşterileri güne ve sefere atamaktadır. İkinci aşamada ise çıktılar *Excel* dosyasında aynı günün aynı seferine ait olan müşteriler tek bir küme oluşturacak şekilde düzenlenerek, belirlenmiş olan her bir küme için *GSP* modeli çalıştırılmaktadır. *GSP* ile aynı sefere eşlenmiş olan müşterilerin ziyaret edilme sıraları belirlenmektedir. Matematiksel modelimizin ayrıntıları Ek 1’de yer almaktadır.

En iyi çözüm verecek şekilde tasarlanan ve karışık tam sayılı programlama tekniği ile kodlanmış olan modelimiz *GAMS* yazılımında *Cplex* algoritmasıyla akademik ve endüstriyel danışmanlarımızla birlikte belirlenmiş olan pilot bölgede bulunan 50 müşteri için test edilmiştir. Program yaklaşık olarak 10 saat kadar çalıştıktan sonra çözüm vermiştir. Ankara geneli için önereceğimiz çözümde yaklaşık 8700 müşteri olacağından daha hızlı sonuç alabileceğimiz yeni bir algoritma geliştirilmesine karar verilmiştir.

4.1.2 Sezgisel algoritma

Literatür taramasından edindiğimiz bilgiye göre *KARP* genellikle NP-Zor tip problemdir. Bu tarz problemlerin kısa sürede kesin çözümüne ulaşmak genellikle az sayıda değişkenle mümkün olmaktadır (Christofides, 1974). Genellikle sezgisel metodlar uygulanarak kısa sürede ve kullanılabilir çözümler elde edilmektedir. Bu amaçla yapılan araştırmalarla *Önce Kümeleme Sonra Rotalama Algoritması*’nın önerilen sezgisel algoritmamıza en yakın yaklaşım olduğu belirlenmiştir (Larson C.R., Odoni A.R., 1981). Tasarlamış olduğumuz sezgisel algoritma üç ana modülden oluşmaktadır. Müşterilerin coğrafi koordinatları ve siparişleri, kamyon kapasiteleri, satış temsilcilerinin sorumlu oldukları müşteri bilgileri ve günlük ziyaret edebilecekleri müşteri sayısı bilgilerini girdi olarak alan *kümeleme* modülü, birbirine en yakın müşterileri, o müşterileri ziyaret edecek olan satış temsilcilerinin kapasitesine bakarak ve kamyon kapasitesini kontrol ederek aynı kümenin içine yerleştirmektedir. Modül birbirine en yakın müşterileri belirlerken o kümeye atanmış olan müşterilerin

kümelenmemiş her bir müşteriyle arasındaki mesafeleri kontrol edip hesaplanan bu mesafeler içerisinde en kısa uzaklıkta bulunan müşteriye o kümeye atamaktadır. Yani *kümeleme* modülü kamyonun tek bir seferde dağıtım yapabileceği birbirine yakın ve dağıtımdan önceki gün siparişi alacak satış temsilcilerinin günlük ziyaret edebilecekleri en fazla müşteri sayısını aşmayacak sayıda müşteri içeren müşteri kümeleri oluşturmaktadır. *Ziyaret günü atama* modülü satış temsilcilerinin kümeleme modülü ile belirlenmiş olan kümeleri haftanın hangi günü ziyaret edeceklerini bulmaktadır. Aynı güne atanacak olan kümeler ise satış temsilcilerinin günlük ziyaret edebilecekleri müşteri sayısı kısıtı göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Son olarak *GSP* modülüyle her bir küme içindeki müşterilerin kamyon dağıtımındaki teslimat sırası belirlenmektedir. Kümeleme modülüyle ortaya çıkan her bir küme, kamyonların tek seferde dağıtım yapacağı müşterileri içermektedir. Satış temsilcilerinin bu kümeleri hangi gün ziyaret edeceklerinin belirlenmesi ise projenin amacı olan satış ve dağıtım operasyonlarının entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu entegrasyonu gösteren sezgisel sistem mimarimiz Ek 2’de, sistem algoritması ise Ek 3’te yer almaktadır.

4.2 Data transformasyonu

Sistem tasarımı tamamlandıktan sonra en önemli aşama gerekli kümelerin modellemeyi yaptığımız platformlara uygun hale getirilmesiydi. Bunun için öncelikle tüm Ankara’ya ait müşteri, kamyon ve satış temsilcisi bilgileri içerisinde sadece pilot bölgeye ait olanlarını içeren Excel dosyası hazırlanmıştır. Pilot bölge müşterilerinin son bir yıla ait ürün cinsinden talep miktarları SAP BW modülünden alınarak Excel dosyasına aktarılmıştır. Aktarılan talep miktarları ve her ürünün palette kapladığı hacim kullanılarak müşterilerin tahmini talep miktarlarını palet hacmi cinsinden içeren Excel dosyası oluşturulmuştur. Son olarak gerekli olan müşteri koordinatları *Google Earth* programı üzerinden işaretlenip, daha sonra hepsi aynı birime dönüştürülerek “müşteri koordinatları” dosyası oluşturulmuştur. Bütün bu bilgiler kullanarak müşteri numaralarını, rutlarını, talep miktarlarını, frekans bilgilerini ve koordinatlarını içeren “müşteri bilgileri” dosyası hazırlanmıştır. Rutları ve satış temsilcilerinin günlük ziyaret edebilecekleri müşteri sayısı kapasitelerini içeren “satış temsilcisi bilgileri” dosyası için ise öncelikle tüm Ankara’ya ait satış temsilcisi bilgileri içerisinde pilot bölge müşterilerine bakan satış temsilcileri seçilmiştir. Bu sayede satış temsilcisi numaraları elde edilmiştir. Bu satış temsilcilerinin pilot bölgede sorumlu oldukları müşteri sayısı ile tüm Ankara’da sorumlu oldukları müşteri sayısı oranlanarak tahmini olarak satış temsilcilerinin günlük ziyaret edebilecekleri müşteri sayısı kapasiteleri belirlenmiştir. “Müşteri bilgileri” ve “satış temsilcileri

bilgileri” dosyaları matematiksel modelde girdi olarak kullanılmıştır. Sezgisel algoritma için ise bu dosyalar kullanılarak elde edilmiş; müşteri numaraları, koordinatları, talep miktarları ve rutları ile bu müşterilere bakan satış temsilcilerinin günlük ziyaret edebilecekleri müşteri sayısı kapasitelerini içeren tek bir girdi dosyası oluşturulmuştur.

5. Sonuçlar

5.1 Sistem performansı ve mevcut durumla karşılaştırma

Daha önce “Geliştirilen Modeller ve Çözüm Yöntemleri” kısmında da açıklandığı gibi proje kapsamında aynı çözüm yöntemi için matematiksel model ve sezgisel algoritma olmak üzere iki ayrı yaklaşım benimsenmiştir.

Matematiksel modelin tüm Ankara için çözdürülmesinde karşılaşılan zorluklardan dolayı alternatif bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Söz konusu modelin matematiksel model ile karşılaştırılabilmesi amacıyla model, matematiksel modelin çalıştırıldığı aynı 50 müşteri için çalıştırılmış ve sonuçları alınmıştır. Bu sonuçlar Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Oluşturulan iki farklı sistem karşılaştırması.

	Gidilen Toplam Mesafe	Toplam Maliyet
Matematiksel Model	65,7 km	1.479,1 TL
Sezgisel Algoritma	74,9 km	1.664,8 TL

Matematiksel model ve sezgisel algoritma karşılaştırılması sonucunda toplam maliyet açısından aralarında %11’lik bir fark gözlemlenmiştir. Bu sapmanın normal şartlar için kabul edilebilecek bir ölçüde olduğu gerek yapılan araştırmalar gerekse akademik danışmanlar ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir.

Sezgisel algoritmanın mevcut sistem ile karşılaştırılması amacıyla sezgisel algoritma pilot bölgedeki 138 müşteri için çalıştırılmış ve sonuçları alınmıştır. Sezgisel algoritma sonuçları ve mevcut sistem karşılaştırması ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Mevcut ve yeni sistem maliyetleri karşılaştırması.

	Gidilen Toplam Mesafe	Sefer Sayısı	Toplam Maliyet
Mevcut Sistem	470,75 km	7	3.149,7 TL
Sezgisel Sistem	250,6 km	5	2.180,2 TL

Görüldüğü gibi mevcut sisteme göre %30’luk bir kazanç sağlanmıştır. Sezgisel algoritmada kısıt olarak eklenemeyen ama mevcut sistemin değişken maliyetini etkileyen, trafik nedeniyle oluşan

ulaşımdaki aksaklıklar ve müşteri sırası değişimleri, fatura problemleri nedeniyle tekrar herhangi bir müşteriye geri dönülmesi gibi gerçek hayat problemleri göz önünde bulundurulduğunda sağlanan bu kazancın bir miktar daha azalması beklenmektedir.

Alınan sonuçlar uygulama alanının pilot bölge ile sınırlı olmasından dolayı Ankara çözümünün vereceği sonuçlara göre daha kötümserdir. Bunun nedeni, sistem tarafından müşteriler arası mesafe, satış temsilcilerinin günlük ziyaret edebilecekleri müşteri sayısı kapasiteleri ve sipariş miktarları göz önünde bulundurularak bütün Ankara’da oluşturulacak dağıtım bölgelerinin sadece pilot bölgeyle sınırlandırılmış olması, pilot bölge içerisinde faaliyet gösteren satış temsilcilerinin belirlenen bölge dışında da günlük ziyaretlerine devam etmeleri ve bu nedenle verilerin sistem performansı açısından en uygun şekilde kullanılamamasıdır. Sistem bütün Ankara’ya uygulandığında çok daha iyi sonuçlara ulaşılması beklenmektedir.

Hem matematiksel model hem de sezgisel algoritma ile bulunan kazançlar, uygulamanın şimdilik belirlenen pilot bölgede yapılmasından ve bu bölgede yalnızca tek bir kamyonun faaliyet göstermesinden dolayı değişken maliyetler ve sadece sefer sayısı sabit maliyeti göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Sistem tüm Ankara’da uygulandığında kamyon ve çalışan sayısı bakımından da bir iyileştirme söz konusu olacak yani sabit maliyetlerde de bir azalma sağlanacaktır.

6. Uygulama

Projenin temelini oluşturan girdiler, sürekli olarak değişebilen bir yapıya sahiptir. Bu bakımdan sistemin uygulanabilirliğinin kanıtlanması için CCI Bilişim Departmanı ile birlikte çeşitli analizler yapılmıştır. Daha önce kodlanmış olan müşteri kümeleri oluşturma, dağıtım günü atama ve rotalama algoritmaları ve bu algoritmaların entegrasyonu ile oluşturulmuş yazılımın CCI’nin bilgisayarlarında da çalışabilirliği test edilmiş ve yazılımın CCI tarafından da sorunsuz bir şekilde kullanılabilmesi kanıtlanmıştır. Yapılan tüm bu analizler ve kontroller doğrultusunda daha önce “Önerilen Yöntem” kısmında ayrıntıları verilen sistemimiz CCI yetkililerinin ve akademik danışmanlarımızın görüşleri çerçevesinde belirlenmiş olan Ümitköy-Çayyolu bölgesinde bir hafta süreyle uygulanmış ve sonuçları alınmıştır. Yapılan bu pilot uygulama için, seçilmiş olan bölgedeki tüm müşterilerin adresleri belirlenmiş, yer tespitleri yapılmış, son bir yıldaki haftalık sipariş miktarları göz önünde bulundurularak uygulama haftasındaki tahmini siparişleri hesaplanmıştır. Oluşturulmuş olan yazılım, bu lokasyonlara ve sipariş miktarlarına göre çalıştırılmış, alınan sonuçlar doğrultusunda da dağıtım kamyonlarının pilot bölge için haftalık gün ve rota bilgileri düzenlenmiştir. Yazılımın verdiği bu bilgilere göre yapılan pilot bölge uygulaması sonucunda, sistemin sorunsuz çalıştığı ve müşteri

taleplerine en uygun şekilde cevap verdiği gözlenmiştir. Bundan sonraki aşama, sistemin tüm Ankara'ya uyarlanması ve bunun için CCI'nin tüm müşteri noktalarının koordinatları belirlenerek sisteme girdi olarak verilmesinden oluşmaktadır. Ayrıca, sistemin kullanımını kolaylaştırması açısından çok verimli olacağını düşündüğümüz *ara yüz* yazılımı da sistem özelliklerini en iyi şekilde yansıtacak şekilde oluşturulmuştur. *Ara yüz* yazılımından örnek ekran görüntüleri Ek 4'te bulunmaktadır.

7. Genel Değerlendirme

7.1 Projenin firmaya getirmesi beklenen katkılar

Yazılan algoritmalar sayesinde mevcut sistem kullanılarak elle yapılan, hataya açık işlemler, belli kısıtlar göz önünde bulundurularak hazırlanan elektronik ortamda çok kısa bir sürede yapılabilir hale gelmiştir. Eski sistemde sadece tek kişinin yapabildiği dağıtım düzenleme işlemi, yeni sistem sayesinde kullanım izni olan herkesin yapabileceği hale gelmiştir.

Satış ve dağıtım operasyonlarındaki koordinasyon eksikliği nedeniyle mevcut sistemde ortaya çıkan problemler, bu operasyonların entegrasyonunu sağlayan yeni sistemle hem CCI hem de dağıtım operasyonlarından sorumlu bayiler için çözüme ulaşmıştır. Bu sayede CCI'nin iş ortaklığı yaptığı bayilerin iş yükü azaltılmak suretiyle verimliliği artırılmış ve CCI'nin dağıtım ağını oluşturan bayilerinden azami düzeyde yararlanması sağlanmıştır.

Projenin asıl hedefi olan dağıtım maliyetinin azaltılması ile ilgili olarak da önemli sonuçlar elde edilmiştir. Mevcut durum maliyeti ile karşılaştırması yapılarak çok daha iyi sonuç verdiği tespit edilen yeni sistemin, bayilere hem değişken maliyetlerin hem de sefer sayısı ile sabit maliyetinin düşürülmesi nedeniyle pilot bölgede %30'luk bir ek gelir sağlayacağı pilot bölge uygulamasının sonuçları ile hesaplanmıştır. CCI'nin bayilerle yaptığı anlaşmalar doğrultusunda, ürün adedi başına verdiği değişken iskonto yüzdeleri, bayilere sağlanan ek gelir nedeniyle daha aşağıya çekilebilecek, bu da CCI için önemli ölçüde bir kazanç sağlayacaktır.

7.2 İleriye dönük güncelleme ve geliştirme konularında öneriler

Projenin firma için uygulanabilir olması sunulan çözümlerin sürdürülebilir olmasına yani yaşayan bir sistem olmasına bağlıdır. CCI çok hızlı büyüyen ve değişen, dinamik bir yapıya sahiptir. Ürün çeşitliliği oldukça sık bir şekilde değişmekte ve artmaktadır. Aynı zamanda müşteri portföyüne eklenen ve portföyden çıkarılan müşterilerin sayısı da dönemsel olarak değişebilmektedir. Bu noktada sistem hem mümkün kıldığı manuel müdahale olanağı ile hem de tüm değişkenlere göre modellenmiş olması nedeniyle oldukça esnek bir yapıya sahiptir. CCI'den aldığımız yıllık satış miktarları göz önünde

bulundurulduğunda satışların sezonsal olarak değişim gösterdiği, bu nedenle de sistemin istenilen dönemlerde çalıştırılarak yeni dağıtım bölgelerinin oluşturulmasının daha uygun olacağı görülmüştür. Ancak müşteri portföyüne eklenen ve portföyden çıkarılan müşterilerin bilgilerinin düzeltilmesi için girdi dosyası yeniden hazırlanmalı ve sistem tekrar çalıştırılmalıdır. Girdi dosyasında yapılacak koordinat değişiklikleri, sistemi kullanan kişiler tarafından manuel yapılabileceği gibi firmanın temin edeceği GPS cihazları ile de daha hızlı ve doğru şekilde yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Kopman, L., Pulleyblank, W.R., Ralphs, T.K., Trotter, Jr., L.E. (2003). "On the Capacitated Vehicle Routing Problem", *Mathematical Programming*, 94, 343–359.
- Dantzig, G.B., Ramser, R.H.(1959). "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, 6, 80–91.
- Laporte, G. (1992). "The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms", *European Journal of Operational Research*, 59/2, 231-248.
- Cover, T., Hart, P. (1967). "Nearest Neighbor pattern classification", *IEEE transactions in Information Theory*, 13, 21-27.
- Christofides, M. (1974). "The Vehicle Routing Problem", *Kombinatorial Optimizasyon Konferansında*, Paris.
- Larson C.R., Odoni A.R. (1981). "Urban Operations Research", Bölüm 6, internet erişimi, http://web.mit.edu/urban_or_book/www/book/chapter6/contents6.html. Son erişim tarihi: 10 Nisan 2009.
- Coca Cola İçecek (2009). <http://www.cci.com.tr>. Son erişim tarihi: 4 Nisan 2009.

EKLER

Ek 1. Matematiksel model

Ortak kullanılan dizin kümeleri:

$cust \in \{1,2, \dots, 161\} \rightarrow$ Sistemdeki müşterileri temsil eder.

$day \in \{1,2,3,4,5\} \rightarrow$ Bir haftanın içindeki iş günlerini temsil eder.

$rut \in \{1,2, \dots, 9\} \rightarrow$ Seçilen bölgedeki satış temsilcilerini temsil eder.

$truck \in \{1,2\} \rightarrow$ Seçilen bölgedeki kamyonları temsil eder.

$tour \in \{1,2,3,4\} \rightarrow$ 1 ve 2 kamyonların bir gün içinde çıkabilecekleri ilk, 3 ve 4 ise ikinci seferleri temsil eder. (“i” ve “j” indeksleri müşteri numaralarını(cust) belirtmektedir.)

Parametreler:

- $tourCap \rightarrow$ Bir distribütör kamyonunun kaç palet ürün taşıyabileceğini belirtir. 6 veya 8 değerlerini alabilir.
- $timeMax \rightarrow$ Bir teslimat seferinin alabileceği azami süre. Model optimal sonuç için çözdürülürken bu parametreye 6 (saat) değeri verilmiştir.
- $b_{rut} \rightarrow$ Her bir satış temsilcisinin bir günlük süre içinde gezip sipariş alabileceği azami müşteri sayısı.
- $demand_{cust} \rightarrow$ “cust” kodlu müşterinin talebinin palet cinsinden değeri. Müşterinin talebi ortak hacim birimine çevrilerek modele konur.
- $serve_{rut,cust} \rightarrow$ Müşteri-satış temsilcisi ilişkisine göre 1 veya 0 değerini alabilen parametre.
- $copycust_{i,j} \rightarrow$ Haftada birden fazla kez uğranılması gereken ve şirket tarafından “çift frekanslı” olarak adlandırılan müşterilerin modele girilmesinde kullanılan parametre. Burada “i” ve “j” müşterileri aslında aynı müşterinin birinci ve ikinci frekanslarıysa bu parametre 1, diğer durumlarda 0 değerini alır.
- $dist_{i,j} \rightarrow$ Verilen iki nokta arasındaki kuşbakışı mesafenin km cinsinden değeri.
- $M \rightarrow$ Yeterince büyük bir sayı. Sistemdeki bütün müşterilerin sayısı M yerine kullanılabilir.
- $costOfTruck \rightarrow$ Bir kamyonun bir sefer yapmasının getirdiği maliyet. Bu maliyet personel maaşları, amortisman, sigorta masrafları, vergiler, bakım gibi kalemlerin toplamını içermekte ve sistemde 395.35 TL değeriyle kullanılmaktadır. Model toplam maliyeti en aza indirmeye çalışırken sefer sayısını ve dolayısıyla da kullanılması gereken kamyon sayısını azaltmaktadır.
- $perKm \rightarrow$ Mazot maliyeti. Daha sonra görüleceği üzere, objektif fonksiyonun değişken maliyetinde kullanılacak çarpan. Sisteme 0.812 TL/km olarak girilmiştir.
- $threshold \rightarrow$ Aynı sefere eklenmesi mümkün müşteriler arasında olabilecek azami uzaklık. Sisteme 3 km olarak girilmiştir.

Karar değişkenleri:

- $x_{cust,tour,day} \rightarrow$ “cust” nolu müşteri “tour” seferi tarafından “day” gününde ziyaret ediliyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alan değişken.
- $T_{truck,day} \rightarrow$ “truck” kamyonunun herhangi bir seferi “day” gününde kullanılıyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alan değişken.
- $distMax_{tour,day} \rightarrow$ “tour” seferinde ve “day” gününde kat edilen azami uzaklık.

Kısıtlar:

$$\sum_{tour} \sum_{\substack{cust \\ demand_{cust}=1}} x_{cust,tour,day} \leq b_{rut} \quad \forall day \text{ ve } \forall rut$$

Her gün ve her satış temsilcisi için bir gün içinde bir satış temsilcisine, o satış temsilcisinin günlük kapasitesinden daha fazla müşteri atanmamasını kontrol eden kısıt.

$$\sum_{\substack{\text{cust} \\ \text{tour}=\text{truck} \\ \text{or} \\ \text{tour}=\text{truck}+2}} x_{\text{cust,tour,day}} \leq M * T_{\text{truck,day}} \quad \forall \text{day}, \forall \text{tour} \text{ ve } \forall \text{truck}$$

Her gün ve her kamyon için, o gün o kamyonun herhangi bir seferine atanmış herhangi bir müşteri yoksa, o kamyonun o gün için “kul-lanılmayan” olarak kaydedilmesini sağlayan kısıt. Daha sonra objektif fonksiyon içinde de görülebilecek $T_{\text{truck,day}}$ değişkeninin 1 veya 0 değerlerinden birini almasına neden olur.

$$\sum_{\text{cust}} \text{demand}_{\text{cust}} * x_{\text{cust,tour,day}} \leq \text{tourCap} \quad \forall \text{day} \text{ ve } \forall \text{tour}$$

Herhangi bir günde herhangi bir kamyon seferine atanan müşterilerin taleplerinin toplamının o seferin taşıyabileceğinin üzerine çıkmamasını kontrol eden kısıt.

$$\sum_{\text{day}} \sum_{\text{tour}} x_{\text{cust,tour,day}} = 1 \quad \forall \text{cust} \in \{2, \dots, 161\}$$

Depo hariç (sistemde “1” dizini ile temsil edilir) bütün müşterilerin hafta içinde ziyaret edilmesini sağlayan kısıt. Bu listeye gerçek müşteriler ve müşterilerin ikinci frekansları dahildir.

$$x_{i,tour,day} + x_{j,tour,day} \leq 1 \quad \forall i, j \in \{2, \dots, 161\}; \text{dist}_{i,j} > \text{threshold}, \forall \text{tour} \text{ ve } \forall \text{day}$$

Depo hariç müşteriler içinde, aralarında önceden belirlenmiş “threshold” mesafesinden fazla mesafe bulunan müşterilere aynı günün aynı seferinde gidilmemesini sağlayan kısıt.

$$\text{distMax}_{\text{tour,day}} \geq x_{\text{cust,tour,day}} * \text{dist}_{1,\text{cust}} \quad \forall \text{cust} \in \{2, \dots, 161\}, \forall \text{tour}, \forall \text{day}$$

distMax değişkeninin bir gün içinde yapılan bir seferde kat edilen en uzak mesafeyi kaydetmesini sağlayan kısıt.

$$\frac{2 * (\text{distMax}_{\text{tour,day}} + \text{threshold})}{60} + \sum_{\substack{\text{cust} \\ \text{tour}=\text{truck} \\ \text{or} \\ \text{tour}=\text{truck}+2}} x_{\text{cust,tour,day}} * \text{demand}_{\text{cust}} * 0.5 + \sum_{\text{cust}} x_{\text{cust,tour,day}} * 0.17 \leq \text{timeMax} \quad \forall \text{tour} \text{ ve } \forall \text{day}$$

Kamyonun seferi boyunca gezdiği müşterilere teslimat yapmak için harcadığı bütün zamanın bir seferin alabileceği azami süreyi aşmaması için kullanılan kısıt. Burada toplamın ilk ögesi depodan ilk müşteriye gidiş ve son müşteriden depoya dönüş süresini (bu süre yaklaşık olarak km başına 0.03 saattir), ikinci ögesi ürünlerin kamyonun boşaltılma süresini (her bir paletin yaklaşık boşaltılma süresi 0.5 saattir), üçüncü ögesi ise seferde park yeri arama, park etme, fatura teslimatı gibi zaman alacak diğer işlemleri temsil etmektedir (bu işlemin yaklaşık süresi ise 0.17saattir).

$$\sum_{\text{tour}} x_{i,tour,day} + \sum_{\text{tour}} x_{j,tour,day} \leq 1 \quad \forall \text{day} \text{ ve } \forall i, j \in \{1, \dots, 161\}$$

$\text{copycust}_{i,j} = 1 \text{ ya da } \text{copycust}_{j,i} = 1$

Birbirinin kopyası (diğer frekansı) olan müşterilerin aynı gün içinde ziyaret edilmemelerini sağlayan kısıt.

$$\begin{aligned} x_{j,tour2} + x_{j,tour5} &\leq 1 - x_{i,tour1} \\ x_{j,tour3} + x_{j,tour4} &\leq 1 - x_{i,tour2} \\ x_{j,tour2} + x_{j,tour4} &\leq 1 - x_{i,tour3} \\ x_{j,tour3} + x_{j,tour5} &\leq 1 - x_{i,tour4} \\ x_{j,tour4} + x_{j,tour1} &\leq 1 - x_{i,tour5} \end{aligned}$$

$\forall i, j \in \{2, \dots, 161\}; \text{copycust}_{i,j} = 1 \text{ ya da } \text{copycust}_{j,i} = 1, \forall \text{tour}$

Bu kısıtlar birbirlerinin kopyası (diğer frekansı) olan müşterilerin bu iki frekanslarının iki ardışık iş gününe atanmamasını sağlar.

Amaç fonksiyon:

$$\min \sum_{\text{day}} \sum_{\text{truck}} \text{costOfTruck} * T_{\text{truck,day}} + 2 * \sum_{\text{day}} \sum_{\text{tour}} (\text{distMax}_{\text{tour,day}} + \text{threshold}) * \text{perKm}$$

Bu fonksiyon sistemdeki iki farklı maliyeti göz önüne alarak matematiksel modelin optimal çözüm vermesini sağlamaktadır. Toplamın ilk ögesi kullanılan seferlerin, yani dolayısıyla da kullanılan kamyonların sebep olduğu sabit maliyetleri temsil ederken, ikinci maliyet ise oluşturulan müşteri kümelerine ürün teslim etme sırasında oluşacak mazot maliyetini yaklaşımsal olarak hesaplamaktadır. Aynı gün ve sefere atanan müşterilerin oluşturduğu kümelerin en az maliyetle servis edilmesi için, her kümenin ayrı ayrı girdi olarak verildiği ve bu kümeler içinde Gezgin Satıcı Problemi'ni çözen matematiksel modelimizin kısıtları ve kullanılan yeni değişkenlerin tanımı aşağıdadır. Diğer parametre ve değişkenlerin tanımları aynı kalmaktadır.

- $y_{i,j} \rightarrow$ "i" ve "j" verilen kümedeki iki müşteri noktası olmak üzere, eğer "j" müşterisi, "i" müşterisinden hemen sonra ziyaret ediliyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alan değişken.
- $u_i \rightarrow$ "j" müşterisini ziyaret ettikten sonra kamyonunda bulunan ürün hacmini kaydeden değişken.

$$\sum_i y_{i,j} = 1 \quad \forall i \in \text{modelde girdi olarak verilen müşteri kümesi}$$

$$\sum_j y_{i,j} = 1 \quad \forall j \in \text{modelde girdi olarak verilen müşteri kümesi}$$

Maliyeti hesaplanmaya çalışılan müşteri kümesindeki müşterilerin hepsine bir defa uğranmasını sağlayan kısıtlar.

$$u_j \geq u_i + y_{i,j} * \text{demand}_j - \text{tourCap} * (1 - y_{i,j}) \quad \forall i, j \in \text{depo hariç kümedeki her müşteri}$$

Depo hariç kümedeki her müşteriye uğradıktan sonra kamyonunda biriken hacmi kontrol eden, ve eğer ürün kalmadıysa depoya geri dönülüp yeni bir tura çıkılmasını sağlayan kısıt.

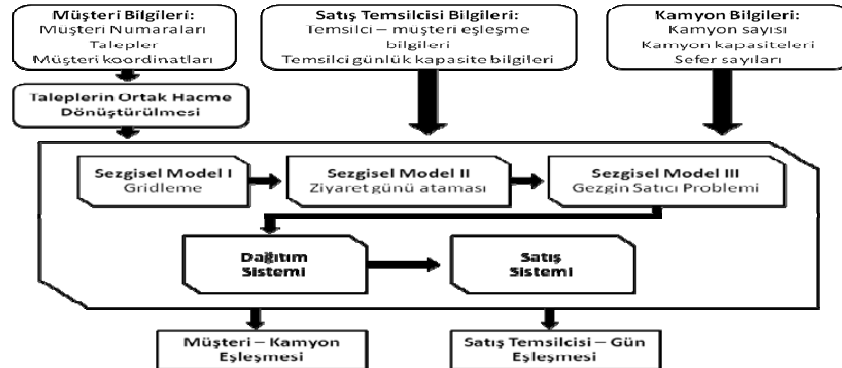
$$u_i \leq \text{tourCap} \quad \forall i \in \text{modelde girdi olarak verilen müşteri kümesi}$$

Kamyondaki ürün hacmini, kamyon kapasitesiyle karşılaştıran kısıt.

Bu yan modelin amaç fonksiyonu :

$$\min \sum_i \sum_j \text{perKm} * \text{dist}_{i,j} * y_{i,j}$$

Ek 2. Sezgisel sistem mimarisi



Ek 3. Sezgisel algoritma

- *Kümeleme Modülü* – her müşteri objesini bir küme objesine atar

$A_i = \{i \text{ no.lu kümeye atanmış müşteriler}\}$

$B = \{\text{Hiçbir kümeye atanmamış müşteriler}\}$

Adımlar:

0. $i=0$;

1. A_i içindeki her müşterinin B 'deki tüm müşterilere olan uzaklıkları bulunur, d_{ab} olarak kaydedilir.
2. d_{ab} 'yi en küçük yapan b müşterisi seçilir. Bu müşteri eğer kamyon kapasitesi ve müşteri temsilcisi kısıtlarını sağlıyorsa b müşteri objesi A_i 'ye eklenir. En az bir kısıtı sağlamaması durumunda d_{ab} 'yi en küçük yapan sıradaki müşteri seçilir ve kısıtlar kontrol edilir. Eğer bu kısıtlar B içerisindeki herhangi bir müşteri objesi için sağlanmıyorsa 3. adıma geçilir.
3. Eğer B kümesinde müşteri objesi varsa, $i \rightarrow i + 1$ olarak yenilenir ve 1. adıma dönlür. Yoksa 4. Adıma geçilir.
4. Küme sayısı sefer sayısına eşit olduğundan i ile sabit maliyet parametresi çarpılarak sabit maliyet hesaplanır.

- *GSP Modülü* – her kümenin içindeki müşterileri birbirine yakınlık sırasına göre rotalandırır

Adımlar:

0. Her kümeyle Etimesgut'ta bulunan depo, 0 talepli bir müşteri objesi olarak eklenir.

1. Her küme içinde *en yakın komşu algoritması* çalıştırılır ve en son müşteriden tekrar depoya dönülerek rotalama tamamlanır.

2. Bu rotalama sonucunda her küme içinde gidilen toplam kilometre hesaplanarak değişken maliyet parametresi ile çarpılır. Böylece değişken maliyet elde edilir.

- *Gün Atama Modülü* – her kümenin ziyaret gününü(d) belirler

Adımlar:

0. Her kümede temsil edilen satış temsilcileri belirlenir. Bu satış temsilcilerinin o küme içinde kaç müşteri olduğu bilgisi her kümenin *CP_list* değişkeninde kaydedilir ve $d = 1$;

1. Bir güne küme eklerken bu kısıt kontrol edilir, eğer sağlanıyorsa küme eklenir, sağlanmıyorsa sıradaki küme için bu kısıt kontrol edilir. Her satış temsilcisi için, o gün içinde gidilmesi belirlenmiş olan kümelerdeki müşterilerinin toplam müşteri sayıları + eklenecek olan kümenin *CP_list* değişkeninde kendisine ait olan müşteri sayısı \leq satış temsilcisinin günlük kapasitesi

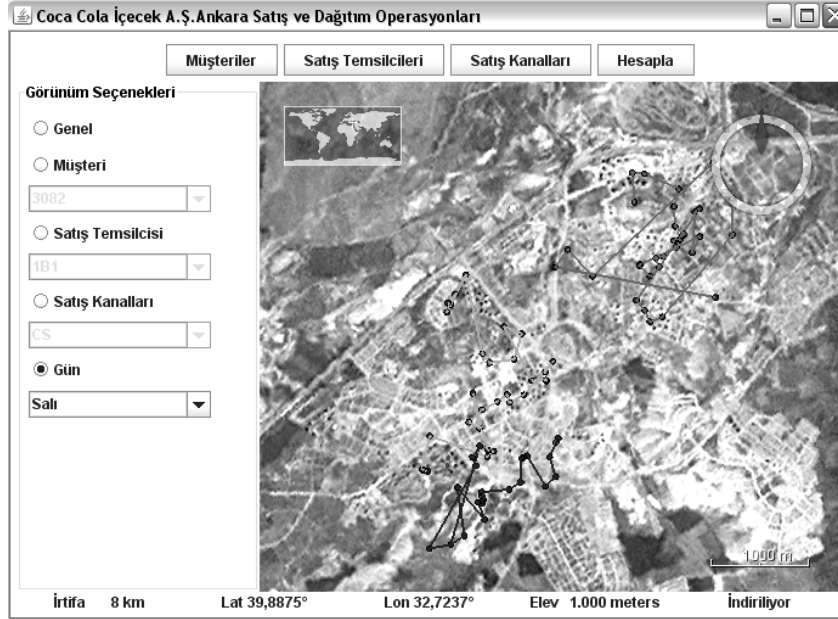
a. Bu kontrol her gün için bütün kümelerde yapılır.

b. Günü belirlenmemiş küme kalmadıysa algoritma durur.

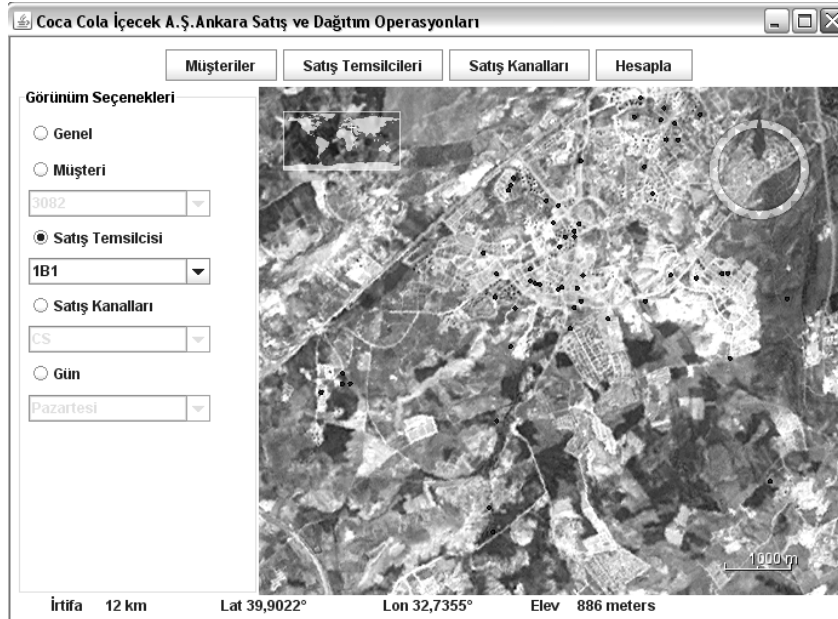
Bütün kümelere 1 kez bakıldıysa $d \rightarrow d + 1$ değişikliğinden sonra 1. adıma dönlür.

Ek 4. Kullanıcı arayüzü

Ek 4.1 Salı günü dağıtım yapılacak olan müşteri kümeleri



Ek 4.2 1B1 numaralı satış temsilcisinin sorumlu olduğu müşteriler



Doğadan Ürünleri İçin Dağıtım Ağı Tasarımı

Coca-Cola İçecek A.Ş.

Proje Ekibi

Z. Hüsrev Aksüt
Mustafa Belgemen
M. Fatih Harmankaya
Volkan Kong
Ergün Kotan
M. Özgen Madioğlu

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Mutlu Ocak, Coca-Cola İçecek A.Ş., Tedarik Zinciri Planlama Müdürü
Emre Gümüş, Coca-Cola Ankara Fabrikası, Üretim Planlama
Mühendisi

Akademik Danışman

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

ÖZET

Doğadan ürünlerinin dağıtım ve satış fonksiyonlarının Coca Cola İçecek A.Ş.'ye geçmesinden sonra, müşteri taleplerinin en az maliyet ve en düşük stok seviyesiyle zamanında karşılayabilecek bir model oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu projenin amacı, ürünlerin istenilen periyotta gönderilmesini sağlayacak ve envanter seviyesini istenilen seviyede tutacak bir dağıtım planlama sistemi oluşturmaktır. Ayrıca, güvenlik stoğu seviyelerini belirleyerek taleplere en kısa zamanda cevap verilip müşteri memnuniyetini artırmak da amaçlanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda dağıtım planını düzenlemek için matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model Gams programı kullanılarak test edilmiş ve modelin çıktıları elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Dağıtım planı, güvenlik stoğu, envanter, matematiksel model.

1. Firma Tanıtımı

Son yıllarda bitki ve meyve çayı pazarındaki rekabet giderek artmaktadır. Doğadan, 1975 yılında Nevzat Karpuzcu'nun Türkiye'nin ilk çay poşetleme makinesini ithal etmesiyle kurulmuştur. Doğadan, ilk bitki çayı, ilk meyve çayı ve ilk yeşil çay üretimi gibi faaliyetleriyle sektöründe birçok konuda öncü olmuştur. Firma, Ankara Akyurt'taki 30000 m² açık ve 7000 m² kapalı alanı bulunan modern üretim tesislerinde üretim yapmayı sürdürmektedir. Doğadan'ın satış kanalları ihracat, ulusal zincirler ve bayilerden oluşmaktadır. Müşteri memnuniyetini sürekli artırmayı hedefleyen kuruluş, *Siyah Çaylar*, *Meyve Çayları*, *Fonksiyonel Çaylar*, *Bebek ve Çocuk Çayları*, *Bitki Çayları* ve *Yeşil Çaylar* olmak üzere altı kategoride yaklaşık 150 farklı ürünle tüketicilerine ulaşmakta ve tüketici portföyünü sürekli geliştirmektedir. Ürünlerini Doğadan ve Botany markaları altında toplayan firma bunlara ek olarak büyük ulusal marketler için özel markalanmış ürünler üretmektedir. Bitki ve meyve çayları sektörünün %50'sini elinde bulunduran Doğadan, 2006 yılında The Coca Cola Company tarafından satın alınmıştır ve halen bu firmanın bünyesinde üretimini sürdürmektedir.

2. Projenin Tanımı

Doğadan Ürünleri için Dağıtım Ağı Tasarımı projesi, Doğadan ürünlerinin satışı ve dağıtım fonksiyonlarının Coca Cola İçecek A.Ş (CCİ)'ye geçmesinden sonra ürünlerin dağıtım modelini geliştirmek için yapılan bir projedir. The Coca Cola Company tarafından satın alındıktan sonra, firmanın satış ve dağıtım fonksiyonları 2008 yılı son çeyreği itibariyle CCİ tarafından sağlanmaya başlanmış ve bunun sonucu olarak dağıtım sistemine yeni bölgesel depolar ve bayiler eklenmiştir. Önceleri tüm Doğadan bayilerine kargo yoluyla direkt gönderim yapılmaktayken, şimdi ise ürünler önce CCİ depolarına gönderilmekte ve bu depolardan da tüm CCİ bayilerine dağıtılmaktadır.

Dağıtım ağındaki bu değişimin sağlanması aşamasında ortaya birtakım semptomlar çıkmıştır. Bunlar:

- Bazı kilit müşterilerin ürün taleplerini zamanında karşılamak için zaman zaman kargoyla acil sevkiyatlar yapılmaktadır. Kargo dağıtımı, kamyon ya da tır dağıtımına göre daha fazla maliyet oluşturmaktadır (eğer gönderilecek miktar, gönderilecek deponun 'başabaş noktası'ndan daha fazlaysa).
- Müşterilerin değişken taleplerinden dolayı, depoların servis seviyeleri arasında büyük farklar gözlemlenmiştir. Son 6 ayın, her depo için aylık toplam ürün talepleri bulunarak, depoların talep ettikleri aylık ortalama ürün miktarları belirlenmiş ve depolarda bulunan ortalama stok seviyelerine bakılmıştır. Bu iki miktar birbirine oranlanarak depolar için servis seviyeleri bulunmuştur.

Servis seviyeleri arasında görülen büyük farklılıklar, toplam envanterin depolara dengeli biçimde dağıtılmadığını göstermektedir (Ek 1).

- CCI, kamyonları tam kapasiteyle göndermeye çalışmaktadır. Bu amaca ulaşmak için zaman zaman ihtiyaç fazlası ürünler sevk edilebilmektedir. Bunun sonucunda, depolarda ekstra yüklenen ürünlerin stoğu fazla çıkmakta ve bu ürünlerin gitmesi gereken depolardaki talepleri karşılanamamaktadır. Bazen, bu talepleri karşılamak için depolar arası ürün transferi gerçekleştirilmekte ve bu transfer o ürünler için taşıma maliyetini yaklaşık iki katına çıkarmaktadır.
- Ayrıca, bazı ürünlerden kimi depolarda yüksek miktarda stok varken, kimi depolarda stokta hiç bulunmayabilmektedir. Bu ürünlere örnek olarak Doğadan Meyve Rüyası çayı incelenebilir. Ankara deposu için yüksek seviyede bir stok varken Bursa deposunda bu üründen hiç bulunmamaktadır (Ek 2).

Bu semptomlardan yola çıkılarak proje tanımı ve amaçları oluşturulmuştur. Mevcut sistemdeki problem, bazı müşteri taleplerinin zamanında karşılanamaması, bazı depolarda envanter seviyesinin gereken seviyenin altında veya üstünde bulunması ve bunların sonucunda oluşabilecek olası yüksek maliyetli ürün dağıtımı olarak belirlenmiştir. Yapılmakta olan proje, hem talepleri en düşük maliyetle karşılayacak, hem de stok ve envanter seviyelerini düzenleyecek yeni bir dağıtım planı oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylelikle, firmanın beklentilerini karşılayan, yani müşteri memnuniyeti sağlanırken dağıtım ve envanter maliyetini en düşük seviyede tutmayı amaçlayan bir model oluşturulmuştur.

Tablo 1. Depolar ve şehirleri.

Depo İsmi	Bulunduğu Şehir
Dudullu Depo	İstanbul
Yenibosna Depo	İstanbul
Çorlu Fab	Tekirdağ
Bursa Fab	Bursa
İzmir Fab	İzmir
Işıkkent Depo	İzmir
Antalya Depo	Antalya
Mersin Fab	Mersin
Ankara Fab	Ankara
Ankara Depo	Ankara

Proje kapsamında, Doğadan fabrikadan CCI depolarına (Tablo 1) ürün dağıtımı sağlanmaktadır. CCI bayileri ise projenin kapsamı dışında tutulmuştur. Ayrıca, bu depolardaki ürün satış ve talep seviyeleri göz

önünde bulundurularak değişik zaman aralıkları için ürün bazlı güvenlik stoğu miktarları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda oluşturulabilecek en iyi dağıtım planlarından birisi yapılmıştır.

3. Analiz

Bu bölümde, mevcut durumda tespit edilen problemler ve bu problemlerin çözülmesi için konulan hedefler incelenecektir. Ayrıca, bu problemleri çözmek için kullanılabilir olan araçları ve makaleleri bulmak için yapılan literatür ve internet taraması da bu bölüm içinde değerlendirilecektir.

3.1 Mevcut sistemin analizi

The Coca Cola Company Doğadan'ı satın almadan önce, Doğadan, ürünlerini tüm Doğadan bayilerine kargo yoluyla göndermekteydi. Satın alınmasından sonra 2008 yılı son çeyreği itibariyle, ürünlerin dağıtılması görevini CCİ devralmış ve bu ürünlerin dağıtımını, depo ve bayilerden oluşan kendi dağıtım sistemine entegre etmiştir. Bu entegrasyon, çay ve meşrubat dağıtımının farklılık göstermesi sebebiyle yeni bir dağıtım modeli ihtiyacı gündeme gelmiştir. Ayrıca, bu entegrasyon sırasında, bazı kilit müşterilerin taleplerinin zaman zaman karşılanamaması üzerine bazı ürünler için tekrar kargo uygulamasına geçilmiştir. Bu uygulama ürün başı taşıma maliyetini artırmıştır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

Projenin esas amacı, olabilecek en az maliyetle müşteri memnuniyetini en üst seviyede tutacak biçimde bir dağıtım planı oluşturmaktır. Bu plan oluşturulurken, proje tanımı bölümünde belirttiğimiz semptomların azaltılması ve yok edilmesi amaçlanmaktadır. En önemli hedef, doğru ürünlerin, doğru zamanda, doğru depolara iletilmesi olarak belirlenmiş ve matematiksel model bu hedefe göre oluşturulmuştur. Performans ölçütleri ise maliyet ve müşteri memnuniyeti olarak belirlenmiştir. Mevcut sistemle maliyet ve talep karşılama seviyeleri arasında karşılaştırma yapılarak yeni sistemin performansı değerlendirilmiştir.

3.3 Literatür

Problem belirlendikten sonra literatürdeki benzer problemlerin bulunması için araştırma yapılmıştır. Bu konu üzerine yapılmış benzer projeler incelenmiştir. Ayrıca problemi modellemek ve çözmek için bazı makaleler ve kitaplar incelenmiştir. Kârı enbüyütmek için elde bulunan envantere mevcut müşteriler arasında araç filosu yardımıyla dağıtımını, Chien, Balakrishnan ve Wong (1989)'da ele alınmıştır. Chien, Balakrishnan ve Wong tarafından hazırlanan makalede, birçok dağıtım planı dahilinde ortaya çıkan envanter tahsisi ve araç rotalamasının birbiriyle ilişkili lojistik kararlar olduğu vurgulanmıştır. Bu makaledeki model, var olan envantere dağıtımının taleplere göre müşterilere hangi

miktarda tahsis edilmesine ve bu talep edilen miktarları taşıyan araçların rotalanmasına karar vermektedir. Ayrıca, Craining ve Laporte (1997) araç rotalama probleminin farklı bölgelerde uygulanmasını anlatmaktadır. Bu iki makaleden yararlanılarak son model oluşturulmuştur. Bu model hem rotalama hem de envanter sistemini düzenlemektedir.

Müşterilerin taleplerinin zamanında karşılanamaması ihtimaline karşın, oluşturulan modele güvenlik stoğu kısıtlarının da eklenmesine karar verilmiştir. Fakat bu durum da depolardaki güvenlik stoğu seviyelerinin nasıl belirleneceği sorusunu ortaya çıkarmıştır. Stok seviyelerinin belirlenmesi problemini çözmek amacıyla yapılan literatür araştırmasında Graves (1988) incelenmiştir. Bu makalede yer alan güvenlik stoğu modelinin elimizde var olan verilere göre en uygun model olduğu tespit edilmiştir.

4. Önerilen Yöntem

Problem tanımının ardından, mevcut dağıtım modelini iyileştirebilmek için önerilen yöntem olarak, talep envanter dengesini sağlayarak, araçların rotalanması ve doğrudan gönderimini birlikte içeren bir sistem oluşturulmuştur.

4.1 Genel yaklaşım

Öncelikli olarak olası stok yokluğu ve taşıma maliyetini azaltmaya yönelik bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model, ilk önce, palet başı maliyetinin en düşük olmasından dolayı, depolara tam dolu kamyon ya da tır ile direkt gönderimi gerçekleştirmektedir. Geriye kalan gönderilecek miktar için ise, kamyon ve tır ile direkt gönderim opsiyonuna ek olarak, kargo ve rotalama yoluyla dağıtım opsiyonlarını da göz önünde bulundurup, mevcut durum için en düşük maliyetli dağıtımını sağlamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde ayrıca, yüksek miktarda envanter tutulması, gereksiz araç gönderimi engellenecek ve güvenlik stoğu tutularak taleplere zamanında cevap verilebilecektir. Tasarlanan model, ürünlerin istenilen periyotta dağıtılıp, güvenlik stoğu seviyelerinin korunmasını da sağlayacaktır.

4.2 Tasarlanan modelin girdileri, çıktıları, amacı ve mimarisi

Tasarlanan model, depolardaki stoklarda bulunan ürünlerin palet bazlı toplam miktarını, fabrikadan depolara kargo ve kamyon taşıma maliyetlerini, depoların ürün taleplerinin palet bazlı toplam miktarını, palet başı periyodik envanter maliyetini (Ek 3), depolardaki toplam güvenlik stoğu seviyelerini girdi olarak almaktadır.

Model çıktı olarak ise, periyotlarda depolara gönderilecek araç sayısı, bu araçlarla gönderilen palet sayısı, oluşturulan rotaların kullanılıp kullanılmadığı, bu rotalarda gönderilen palet sayısı, kargoyla gönderilen palet sayısı ve bir sonraki periyotta tutulacak envanter miktarını vermektedir.

Modelin amacı, en düşük toplam maliyetle, ürün stoklarını güvenlik stoğu seviyesinin altına düşürmeden dağıtım planı oluşturmaktır. Model bu planı oluştururken talep edilen, gönderilen ve stoktaki ürünlerin dengesini de sağlamaktadır. Model, periyotları haftalık olarak almakta ve dört haftalık bir plan çıkarmaktadır.

4.2.1 Güvenlik stoğu belirlenmesi

Gelecek taleplerin belirsiz olduğu durumlarda, talepler tahmin yöntemiyle belirlenmektedir. Ancak, dönemlere göre değişebilen tahminlerin sapmasından dolayı talep edilen miktar zaman zaman tahmin edilenden farklılıklar gösterebilmektedir. Bu durum karşısında ortaya çıkacak yok satmayla oluşacak kayıplardan korunmak ve oluşabilecek talepleri karşılamak için güvenlik stoğu tutulmalıdır. Bu konuları göz önünde bulundurarak güvenlik stoğu konsepti proje kapsamına dâhil edilmiştir.

Güvenlik stoğu olarak tutulması gereken miktarların bulunması için kullanılacak modeli bulmak için literatür taraması yapılmıştır ve bu konuda yazılan makaleler araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda verilere uygun olacak şekilde kullanılması gereken model aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$B = n\mu + k\sigma\sqrt{n}$$

B :Güvenlik stoğu seviyesi

n : Teslimat süresi

μ :Taleplerin ortalaması

k : Servis seviyesi

σ : Taleplerin standart sapması

Yukarıdaki model kullanılarak, her depoda, bütün ürünler için tutulması gereken güvenlik stoğu miktarları belirlenmiştir. Bu seviyeler belirlenirken son yedi ayın depolar ve ürünler bazında satış miktarları kullanılmıştır. Ayrıca, güvenlik stoğu seviyesi bir hafta, iki hafta, bir ay ve iki aylık süreler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bulunan güvenlik stoğu miktarları, depolar için toplam miktarları alınarak oluşturulan modelde kullanılabilir hale getirilmiştir. Modelde iki hafta için bulunan stok seviyeleri ele alınmıştır. Modelde kullanılan toplam değerlerin dışında, her ürün için depolardaki güvenlik stoğu seviyelerinin hesaplandığı ayrı bir MS Excel dosyası oluşturulmuştur (Ek 4).

4.3 Geliştirilen modeller, çözüm yöntemleri ve test etme

Bu problemi çözmek için alternatif senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar için modeller hazırlanmıştır. İlk oluşturulan model, depolara doğrudan tır ve kamyonla ürün nakliyesini sağlayan bir plan çıkarmaktadır. Bununla birlikte model, depolardaki ürünlerin envanter seviyesi ve talep dengesini sağlamaktadır. Bu model Gams optimizasyon programı kullanılarak kodlanmış ve çözülmüştür. Sonuç

olarak, depolara gönderilecek ürün miktarı, araç sayısı ve her bir periyot için tutulması gereken envanter miktarı belirlenmektedir.

Daha sonra oluşturulan modelde envanter maliyeti göz ardı edilerek daha basit ve çözümü kolay bir plan çıkartılmıştır. Bu plan, depolara araçla direkt nakliye sağlanmaktadır. Her periyodun sonunda tam kapasiteye ulaşmamış araçları, tam kapasiteye ulaştırmak için bir sonraki periyotta gönderilecek ürünler belirlenerek, gönderilecek araçların boş kalan kısmının bu ürünlerle doldurulması amaçlanmıştır. Bu planın oluşturulması için ise MS Excel tabanlı bir sistem oluşturulmuş ve 4 haftalık bir dağıtım planı çıkarılmıştır. Fakat, envanter maliyetinin de hesaba katılması gerekliliğinin ortaya çıkmasıyla, oluşturulan bu plan geçerliliğini kaybetmiştir.

En son model ise ilk oluşturulan modelin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu modele, ilk modele ek olarak, kargo dağıtım ve rotalama sistemiyle dağıtım opsiyonu da eklenmiştir. Oluşturulan bu son model, depolardaki toplam envanteri ve depoların toplam ürün talebini kullanarak çalışmaktadır. Bu model, kamyonlarla depolara doğrudan dağıtım, 2 veya daha çok depoyu rotalayarak (Ek 5) dağıtım ve gerektiğinde de kargo dağıtımını sağlamaktadır. Bu rotalama sistemi için kullanılan rotalar belirlenerek model için kullanılabilir hale getirilmiştir. Oluşturulan matematiksel model, en düşük toplam maliyetle bir dağıtım planı ve periyodik envanter seviyesi sonuçlarını vermektedir. Matematiksel model aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Kümeler

$I : \{1,2,\dots,10\}$, Depolar

$P : \{1,2,\dots,14\}$, Rotalar

$T : \{1,2,3,4\}$, Periyotlar

$V : \{1,2\}$, Araçlar

Parametreler:

cz_{vi} : i deposuna v aracını göndermenin direkt nakliyat sabit maliyeti

cy_{vp} : p rotasından v aracını göndermenin sabit maliyeti

ch_{vi} : i deposuna v aracıyla direkt nakliyatla bir palet ürün göndermenin maliyeti

cg : Kargo ile bir palet ürün göndermenin maliyeti

cf_{vp} : p rotasından v aracıyla bir palet göndermenin maliyeti

cs : Bir palet envanter tutma maliyeti

n : Doğadan fabrikadan bir periyotta gönderilebilecek en fazla araç sayısı (30)

S_i^0 : i deposundaki başlangıç envanter miktarı

l_i : i deposu için güvenlik stoğu miktarı

d_i^t : i deposunun t periyodundaki talebi

ic_{ip} : i deposu p rotasında bulunuyorsa 1, bulunmuyorsa 0

q_v : v aracının kapasitesi (palet cinsinden)

Karar Değişkenleri:

Z_{vi}^t : t periyodunda, i deposuna, v aracıyla yapılan direkt nakliyat sayısı

y_{vp}^t : t periyodunda, v aracı, p rotasını kullanıyorsa 1, kullanmıyorsa 0

f_{vip}^t : t periyodunda, i deposuna, p rotasından v aracıyla gönderilen palet sayısı

h_{vi}^t : t periyodunda, i deposuna, v aracıyla direkt nakliyatla gönderilen palet sayısı

g_i^t : t periyodunda, i deposuna kargo ile gönderilen palet sayısı

S_i^t : t periyodunda, i deposundaki envanter miktarı

Model:

$$\begin{aligned} \min \sum_t (\sum_{v,i} cz_{vi} \cdot Z_{vi}^t + \sum_{v,p} cy_{vp} \cdot y_{vp}^t + \sum_{v,i} ch_{vi} \cdot h_{vi}^t + \sum_i cg_i \cdot g_i^t \\ + \sum_{v,i,p} cf_{vp} \cdot ic_{ip} \cdot f_{vip}^t + \sum_i cs \cdot S_i^t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_p f_{vip}^1 \cdot ic_{ip} + h_{vi}^1 + g_i^1 + S_i^0 = d_i^1 + S_i^1, \quad \forall i \quad (2.1)$$

$$\sum_p f_{vip}^t \cdot ic_{ip} + h_{vi}^t + g_i^t + S_i^{t-1} = d_i^t + S_i^t, \quad \forall i, \forall t \geq 2, \quad (2.2)$$

$$\sum_i f_{vip}^t \cdot ic_{ip} \leq q_v \cdot y_{vp}^t, \quad \forall v, p, t, \quad (3)$$

$$h_{vi}^t \leq q_v \cdot Z_{vi}^t, \quad \forall v, i, t, \quad (4)$$

$$S_i^t \geq l_i^t, \quad \forall i, t, \quad (5)$$

$$\sum_{v,i} Z_{vi}^t + \sum_{v,p} y_{vp}^t \leq n, \quad \forall t, \quad (6)$$

$$y_{vp}^t \in \{0,1\}, \quad \forall v, p, t, \quad (7)$$

$$Z_{vi}^t, g_i^t, h_{vi}^t \in Z^+, \quad \forall v, i, t, \quad (8)$$

$$f_{vip}^t \in Z^+, \quad \forall v, i, p, t, \quad (9)$$

1: Amaç fonksiyonu

2.1: 1. periyot için envanter talep dengesi

2.2: 2. ve sonraki periyotlar için envanter talep dengesi

3 numaralı kısıt, eğer bir rota kullanılıyorsa, bu rota üzerinden toplam en fazla v aracının (kamyon veya tır) palet kapasitesi kadar ürün

taşınabilmesine imkân verirken, eğer o rota kullanılmıyorsa, o rota üzerinden herhangi bir ürün taşınmasını engellemektedir.

4: v aracının kapasitesi

5: Güvenlik stoğu şartının sağlanması

6: Gönderilebilecek maksimum araç sayısı

5. Sonuçlar ve Analiz

Üretilen alternatif senaryolar arasında en iyi sonucu verecek model; rotalama, kargo, kamyon ve tır nakliyesinin birlikte kullanıldığı modeldir. Bu modelde kullanılan kargo ve rotalama opsiyonları (Ek 6) diğer modeldeki doğrudan araç gönderme opsiyonundan daha düşük bir maliyet oluşturabilmektedir. Bu model kullanıldığı takdirde en kötü ihtimalle ilk modelin verdiği maliyet sonucu elde edilecektir.

Oluşturulan model Gams optimizasyon programında kodlanıp çözümlenerek toplam taşıma ve envanter maliyeti en aza indirilmiştir. Model sonuç olarak her periyot için depolara doğrudan ve rota üzerinden gönderilecek kamyon ve tır miktarıyla birlikte taşınan palet miktarını da vermektedir. Ayrıca, depolara kargo ile gönderilecek palet miktarıyla birlikte depolarda tutulması gereken envanter seviyesini de belirlemektedir.

Gams programının verdiği sonuçlar ışığında mevcut sistemle karşılaştırma yapma imkânı sağlanmıştır. 2009 yılı Şubat ayı verileri programa uygun şekilde düzenlenip girdi olarak modele katılmıştır. Ayrıca palet bazlı olarak alınan envanter maliyeti de hesaplanıp modelde kullanılmıştır. Model Gams programına uygun şekilde kodlanarak program çalıştırılmış ve bu uygulama sonrasında alınan sonuçlar incelenip değerlendirilmiştir.

Bu sonuçlarla karşılaştırma yapmak için, şirketin aynı ayda gerçekleştirdiği nakliyeler ve tutulan envanter miktarları incelenmiştir. Depolar için temsili birim nakliye maliyetleri kullanılarak temsili toplam nakliye maliyeti bulunmuştur. Daha önce hesaplanan temsili birim envanter maliyetinin kullanılmasıyla temsili toplam envanter maliyeti bulunmuştur. Bu iki maliyet toplanarak şirketin temsili Şubat ayı içerisindeki toplam maliyeti hesaplanmıştır.

Gams programının sonucu olarak çıkan maliyet ve gerçekleşen maliyete bakılarak, ikisi arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, oluşturulan yeni dağıtım sistemiyle yapılması planlanan dağıtımın gerçekleşen dağıtım maliyetine göre yaklaşık %32.27 daha düşük bir maliyetle gerçekleşeceği söylenebilmektedir.

Bu karşılaştırmadan sonra duyarlılık analizi yapılmıştır. Birim envanter maliyetinin hesaplanmasında bazı etkenlerin göz ardı edilmesinden dolayı, öncelikle değişik birim envanter maliyetleri için model ayrı ayrı çözülmüştür. Bu analiz sonunda, birim envanter maliyeti 3 ile 70 arasında olduğu sürece nakliye maliyetlerinde hiçbir

değişiklik gözlenmemiştir. Buna ek olarak, envanter maliyeti arttıkça da yukarıda belirtilen %32.27'lik iyileşme oranının devamlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, model tır opsiyonu kaldırılarak çözüldüğünde gerçekleşen maliyete göre %30.1, rotalama opsiyonu kaldırılarak çözüldüğünde de gerçekleşen maliyete göre %32.13 iyileşme sağlandığı görülmüştür. Hem tır hem rotalama opsiyonları kaldırıldığında ise gerçekleşen maliyete oranla %29.8'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Yaptığımız duyarlılık analizi sonucunda kargo ile dağıtımın hiç kullanılmadığı saptanmıştır. Bu durum kargo ile taşıma maliyetinin araçla taşıma maliyetine göre çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bir periyotta gönderilebilecek maksimum araç sayısının modelimiz için katı bir kısıt olmadığı anlaşılmıştır.

6. Uygulama

Yapılan modeli çözebilmek ve sonuçlarına ulaşmak için Gams ya da benzer bir optimizasyon programının kullanılması gerekmektedir. Bu sistemin uygulanması için, Gams programında kodlanan modele girdi olacak verilerin düzenlenmesi gerekmektedir.

Önerilen sistem aynı zamanda birtakım gelişmelere de müsaittir. İlk olarak, 4 periyotluk dönemler için kullanılabilen model dinamik bir yapıya sokulabilir. Keza, güvenlik stoğu seviyelerini hesaplarken depolardaki 7 aylık satış miktarlarını kullanan güvenlik stoğu modeline de dinamik bir yapı kazandırılabilir. Ayrıca, şirket tarafından herhangi bir optimizasyon programı temin edilmediği takdirde; model, şirket için uyumlu olacak bir programa aktarılabilir ve kullanıcı dostu bir ara yüzle desteklenebilir.

KAYNAKÇA

- Chien, T.W., Balakrishnan, A., Wong, R.T. (1989). "An Integrated Inventory Allocation and Vehicle Routing Problem", *Transportation Science*, 23 (2), 68-70.
- Crainig, T.G., Laporte, G. (1997). "Planning Model for Freight Transportation", *European Journal of Operational Research*, 97.
- Crainig, T.G., Laporte, G. (1998). "Fleet Management and Logistics", Kluwer, Boston.
- Graves, S.C. (1988). "Safety Stocks in Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 1 (1), 10-12.
- Doğadan kurumsal bilgiler-tarihçe 2009, <http://www.dogadan.com.tr/>
Son erişim tarihi:10 Nisan 2009

EKLER

Ek 1. Depoların servis seviyelerinin analizi

Depo Adı	Stoktaki Toplam Palet (1)	2009 Şubat Ayı Talebi (2)	2009 Ocak Ayı Talebi (3)	2008 Aralık Ayı Talebi (4)	2008 Kasım Ayı Talebi (5)	2008 Ekim Ayı Talebi (6)	2008 Eylül Ayı Talebi (7)	Ortalama Talep (8) (2+3+4+5+6+7) /6	Talep Stok Oranı (9) 8/9
Dudullu Depo	269	148	146	174	197	543	299	251.17	0.93
Yenibosna Depo*	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Çorlu Fab	378	267	261	283	464	396	409	346.67	0.92
Bursa Fab	189	160	169	191	287	232	221	210.00	1.11
İzmir Fab	832	125	129	153	244	309	247	201.17	0.24
İşikkent Depo	127	135	132	197	201	185	155	167.50	1.32
Antalya Depo	263	86	90	90	111	98	464	156.50	0.60
Mersin Fab	361	258	201	215	305	452	241	278.67	0.77
Ankara Fab	524	193	200	255	422	327	318	285.83	0.55
Ankara Depo	229	64	69	83	102	131	130	96.50	0.42

* Şuan için Yenibosna depo kullanılmamaktadır

Ek 2. Doğadan Meyve Rüyasy ürünü için Kasım 2008 envanter yeterlilik süresi

Depolar	Planlanan Nakliyat	CCi Stok	Envanter Yeterlilik Süresi (Gün)
Dudullu Depo	2376	181	2
Yenibosna Depo	0	1476	0
Çorlu Fab	4752	1296	5
Bursa Fab	2376	0	0
İzmir Fab	1080	691	13
İşikkent Depo	1068	2690	50
Antalya Depo	456	907	40
Mersin Fab	2376	995	8
Ankara Fab	2376	1512	13
Ankara Depo	492	2288	93

Ek 3. Birim envanter maliyetinin hesaplanması

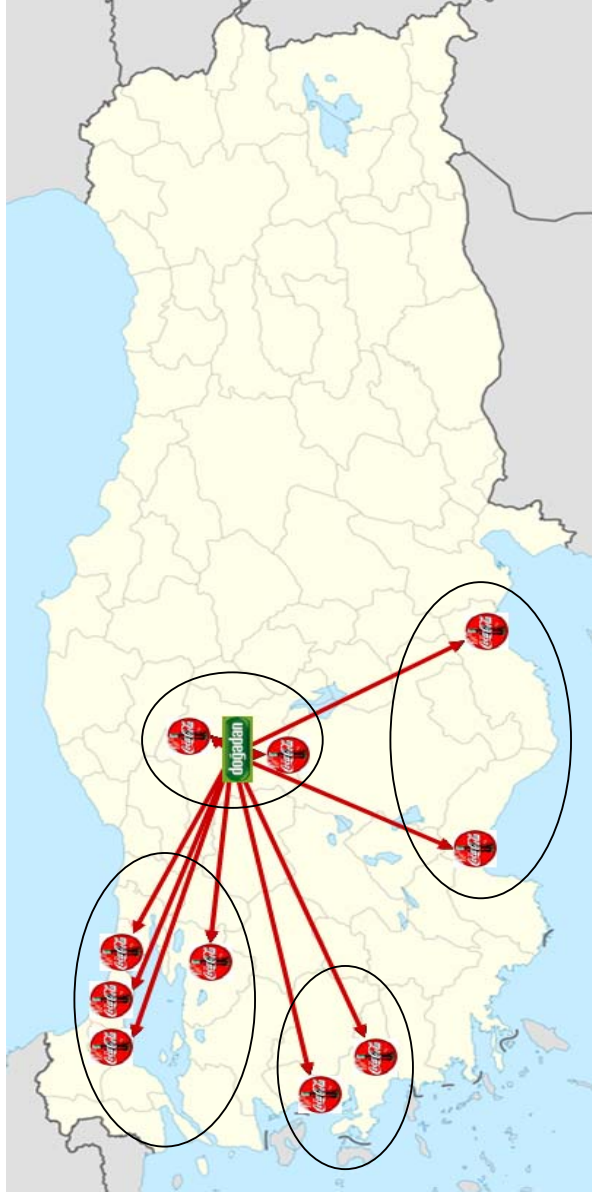
Birim envanter maliyetinin hesaplanmasında en etken faktör fırsat maliyetidir. Bunun dışında depolama maliyetleri, vergiler, ürünün eskimesi, modasının geçmesi, bozulması gibi etkenler de göz önünde bulundurulmaktadır. Bu maliyet hesaplanırken sadece fırsat maliyeti göz önünde bulundurulmuştur. Depo maliyeti, bir palet ürün depoda çok küçük bir hacim kapladığından dolayı göz ardı edilmiştir. Çayların tüketim ömrü 2 yıl olduğundan eskime ihtimali de çok düşüktür. Depolar çay ürününün saklanması için elverişli olduğundan ürünlerin bozulma ihtimali de yok denecek kadar azdır. Bunlardan yola çıkarak birim envanter maliyeti aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

Palet Bazlı Ortalama Üretim maliyeti (1)	A
Yıllık Faiz Oranı (2)	0.11
Haftalık Nominal Faiz (3) = (2)/52	0.002115
Haftalık Birim Envanter Maliyeti (4) = (1)*(3)	0.002115*A

Ek 4. Bazı ürünler için Ankara Depo güvenlik stoğu hesaplamaları

Ürünler	Takepler						Ortalama	Standart Sapma	AYLIK		HAFTALIK		
	Eylül Ekim Kasım Aralık Ocak Şubat Mart								Güvenlik Stoğu (n=1, 95%)	Güvenlik Stoğu (n=2, 95%)	Güvenlik Stoğu (n=1, 95%)	Güvenlik Stoğu (n=2, 95%)	
	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat			Mart	Güvenlik Stoğu (n=1, 95%)	Güvenlik Stoğu (n=2, 95%)	Güvenlik Stoğu (n=1, 95%)	Güvenlik Stoğu (n=2, 95%)
BOTANY ADACAYI(20LIK)KUTU	132	84	36	109	684	72	6	160.42857	234.72385	621	972	156	243
BOTANY BOGURTIEN CAY(20)KUTU	60	12	36	84	396	30	12	90	137.38996	360	561	90	141
BOTANY EKINEZYA (20LIK)KUTU	96	214	114	177	737	93	12	206.14286	242.84249	683	1086	171	272
BOTANY ELMA (20LIK) KUTU	49	24	12	13	396	0	0	70.571429	144.47821	354	542	89	136
BOTANY FORM(20LIK)KUTU	60	96	108	24	384	144	24	120	124.51506	365	586	92	147
BOTANY IHLAMUR (202LIK)MKUTU	169	192	48	181	714	432	12	249.71429	245.13718	731	1179	183	295
BOTANY ISIRGAN KARBIT CAYI	74	102	15	79	64	36	12	54.571429	34.243526	122	205	31	52
BOTANY KEEKIK 20LIK KUTU	48	54	13	77	60	36	0	41.142857	26.971767	95	158	24	40
BOTANY KUSBURNU (20LIK)KUTU	121	108	73	122	636	300	0	194.28571	214.78106	616	984	154	246
BOTANY MELISA.KAR.BITK CAYI	61	66	73	39	36	60	0	47.857143	25.135822	98	166	25	42
BOTANY PAPAITY A(20LIK)MKUTU	72	60	24	25	60	42	24	43.857143	20.251984	84	144	21	36
BOTANY PORTAKALLI FORM.20KUTU	48	42	96	74	636	36	24	136.57143	221.5723	571	888	143	222
BOTANY REZENE (20LIK) KUTU	97	72	60	98	252	312	30	131.57143	106.74558	341	560	86	140
BOTANY SEFT-ZENCEFIL YC 20KUTU	39	42	62	53	399	120	12	103.85714	134.27513	368	580	92	145
BOTANY YC NANELI(20LIK)KUTU	34	46	12	31	269	12	12	59.428571	93.366406	243	378	61	95
BOTANY YC SADE(20LIK)KUTU	84	48	12	288	300	6	0	105.42857	132.08439	365	577	92	145
DOG SC.ALTIN YAPRAK 250GR DOKM	563	520	448	1210	1001	544	96	626	368.82561	1349	2275	338	569
DOG.ACTIVE CAYI(20LIK)KUTU	205	387	133	202	403	480	109	274.14286	146.57015	562	955	141	239
DOG .ADACAYI(20LIK)KUTU	2721	1901	2131	2503	3410	2826	869	2337.2857	811.68728	3929	6925	983	1732
DOG.AYVALLIHL CAY(20LIK)KUTU	390	225	383	2329	26	0	0	479	833.49105	2113	3269	529	818
DOG.BIMBITKI-MEYVE KARMA KOLI	1	0	0	0	0	0	0	0.1428571	0.3779645	1	2	1	1
DOG.BOGURTIEN(20LIK)KUTU	1283	1028	1122	1719	1924	1607	613	1328	453.06806	2217	3912	555	978
DOG_BUGS_BUNNY (10LUK)KUTU	175	157	147	202	301	229	26	176.71429	84.468365	343	588	86	147

Ek 5. Depolar, rotalar ve üretim fabrikası



Ek 6. Oluşturulan Rotalar

Rota Numarası	Rota güzergâhı
1	Dudullu-Yenibosna
2	Dudullu-Çorlu
3	Dudullu-Bursa
4	Yenibosna-Çorlu
5	Yenibosna-Bursa
6	Çorlu-Bursa
7	Dudullu-Yenibosna-Çorlu
8	Dudullu-Yenibosna-Bursa
9	Çorlu-Dudullu-Bursa
10	Çorlu-Yenibosna-Bursa
11	Çorlu-Yenibosna-Dudullu-Bursa
12	Antalya-Mersin
13	Işikkent-İzmir
14	Ankara depo-Ankara Fab

Doğu Bölgesi Dağıtım Ağı Tasarımı

Coca Cola İçecek A.Ş.

Proje Ekibi

Merve Akdemir
İpek Atalay
Pınar ağlar
Mert Geygel
Onur Turna

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Mutlu Ocak, Coca Cola İçecek A.Ş.,
Tedarik Zinciri Yöneticisi
Berkin Özdemirel, Coca Cola İçecek A.Ş.,
Dağıtım Planlama Uzmanı

Akademik Danışman

Doç. Dr. Emre Alper Yıldırım, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu alışmada, Coca Cola İçecek A.Ş. için yeni açılan Elazığ Fabrikası'nı merkez alan demiryolu alternatifini değerlendiren bir dağıtım sistemi oluşturulmuştur. Diğer fabrikalardan Elazığ Fabrikası'na ürün gönderilmesi ve Elazığ Fabrikası'ndan Doğu Bölgesi'ndeki bayilere ürün gönderilmesini sağlayan iki ayrı matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modeller GAMS koduna dönüştürülmüş, bu kodlar Elazığ Fabrikası'na gelecek ürünler ve Elazığ Fabrikası'ndan gönderilecek ürünler için aylık olarak çalıştırılmıştır. Sonuç olarak, bayi taleplerinin yoğun olduğu aylarda ve diğer fabrikalardan gönderilecek ürün miktarları fazla olduğunda demiryolunu kullanmanın toplam maliyeti azalttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: dağıtım ağı tasarımı, tren taşımacılığı, maliyet analizi.

1. Firma Tanıtımı

Coca- Cola İçecek A.Ş (CCİ), Güney Avrasya ve Ortadoğu'da "The Coca-Cola Company" markalı ürünlerin üretim, şişeleme, satış ve dağıtım hizmetlerini vermektedir. Şirket halka açık bir yapıya sahip olup en büyük hissedarları; Anadolu Efes Biracılık ve Malt Sanayi A.Ş., The Coca Cola Export Cooperation ve Özgörkey Holding A.Ş'dir. CCİ giderek genişleyen bir gazlı ve gazsız içecek yelpazesine sahiptir. Bunlardan en yaygın şekilde satış ve dağıtımı yapılan ürünler; Coca-Cola, Fanta, Sprite, Sensun, Cappy, Nestea, Burn, Schwepps, Damla ve Powerade'dir. 2009 Ocak ayına kadar CCİ'nin Türkiye'de faaliyet gösteren 6 adet fabrikası bulunurken, bu fabrikalara Elazığ Fabrikası'nın eklenmesiyle CCİ'nin Türkiye'deki fabrika sayısı 7'ye yükselmiştir. Bu fabrikalar; Çorlu, İzmir, Mersin, Ankara, Bursa, Mahmudiye ve Elazığ'dır.

2. Projenin Tanımı

2.1 Semptomlar ve firma beklentileri

CCİ ile yapılan görüşmeler sonucunda iki ana semptom belirlenmiştir. Bu semptomlar mevcut sistem ile ürün dağıtım sırasında yeterli sayıda araç bulmakta yaşanan zorluktan kaynaklanmaktadır. Bu durumun nedenlerinden birincisi; Doğu Bölgesi'nin dağlık ve engebeli coğrafi yapısı, uzun ve sert geçen kış sezonlarıdır. İkinci neden ise ayın dördüncü haftasında yaşanan talep yoğunluğudur. Bu iki temel neden yeterli sayıda araç bulmayı güçleştirmektedir.

CCİ, demiryolu ve karayolu kullanımını içeren bir dağıtım ağının uygulanması durumunda, ekonomik fayda sağlanıp sağlanmayacağını öğrenmek istemektedir.

2.2 Problem tanımı ve kapsamı

Problem tanımı şu şekildedir: Elazığ'da yeni açılan fabrikaya ürün gelişini ve fabrikadan Doğu Satış Bölgesi'ndeki bayilere ürün dağıtımını gerçekleştirecek, demiryolu alternatifini içeren verimli, düşük maliyetli ve talebe cevap verebilen bir dağıtım ağının kurulması.

Proje kapsamı iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, ürünlerin diğer CCİ fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na getirilmesidir. İkinci bölüm ise ürünlerin Elazığ Fabrikası'ndan Ordu-Urfa hattının doğusunda kalan Doğu Bölgesi'ne dağıtımınıdır (Ek 1). Yeni oluşturulacak dağıtım sisteminde, demiryolu ve karayolu kullanımını içeren bir dağıtım ağının maliyeti ile sadece karayolu kullanımını içeren bir dağıtım ağının maliyeti karşılaştırılacaktır. Bu değerlendirmenin sonucunda dağıtım maliyeti en aza indirilecektir. Bunun yanı sıra, tren kullanımına başlanması ile birlikte kamyon bulma zorluğu da azalacaktır.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

CCİ'nin mevcut sisteminde, Doğu Bölgesi'ndeki tüm bayilerin talepleri ağırlıklı olarak Ankara ve Mersin fabrikalarından karşılanmaktadır. Ocak ayında yeni açılan Elazığ Fabrikası'nın projenin başlangıç aşamasında mevcut bir dağıtım ağı bulunmamaktadır. Bu nedenle, maliyet karşılaştırması mevcut sistem ile yeni kurulan sistem arasında değil, yeni sistemdeki iki alternatif arasında olacaktır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

Oluşturulacak olan yeni dağıtım sisteminde, ürün taşıma maliyetlerini en aza indirmek, talepleri zamanında ve eksiksiz ulaştırmak temel hedeflerdir.

3.3 Literatür taraması

Kaynak araştırması iki ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden ilki sanayide yapılmış olan benzer projelerin incelenmesi, diğeri ise teorik kaynakların incelenmesidir.

Teorik kaynaklara örnek olarak, Geloğulları'nın (2001) Seyahat Eden Satıcı Problemi (TSP) Yaklaşımı üzerine yazdığı tez analiz edilmiştir. Araçların, bayilerin taleplerini ulaştırması için gereken en kısa rotaların belirlenmesi konusunda Geloğulları'nın çalışmalarından faydalanılmıştır. Ancak projedeki problem TSP'den farklı olarak birden fazla aracın kullanımını gerektirmektedir. Geloğulları'nın (2001) tezinde incelenen bir diğer yaklaşım ise Araç Yönlendirme Problemi'dir (VRP). Probleminizde VRP'de olduğu gibi belirli kapasitedeki araçlar Elazığ Fabrikası'ndan (dağıtım merkezi) Doğu Bölgesi'ndeki bayilerin taleplerini karşılamak üzere hareket etmektedir. Fakat bizim probleminizde VRP'den farklı olarak araçların rotalarına başladıkları dağıtım merkezine geri dönme zorunlulukları yoktur. İncelenen diğer kaynaklar ise çoklu Seyahat Eden Satıcı Problemi üzerine Lenstra'nın (1985) yaptığı çalışma, Lawler (1976) ve Bertsekas (1991)'in maliyeti en aza indirgeyen kapasiteli dağıtım problemi üzerine yaptıkları çalışmalarıdır. Projemizde, karayolu ve demiryolunda kullanılan araçların belirli kapasitelerinin oluşu ve bayilere taleplerini ulaştırmak için sayıca fazla araca gereksinim duyulması nedeniyle bu kaynaklardan oldukça faydalanılmıştır.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

Farklı yük taşımacılığı alternatifleri değerlendirildiğinde demiryolu taşımacılığının çeşitli avantajlar sağladığı gözlemlenmiştir. Elazığ Fabrikası'nın demiryolu hattına yakın mesafede oluşu, devletin demiryolu taşımacılığındaki teşvik edici uygulamaları, demiryolu taşımacılığının belirli yük miktarları ve rotalar için düşük fiyatlandırılması demiryolu kullanımını ön plana çıkarmıştır (Ek 2).

Proje kapsamında, Elazığ Fabrikası merkezli bir dağıtım sistemi oluşturulmuştur. Sistemin ihtiyaçlarına cevap verebilmek için problem iki ana bölüme ayrılmıştır. Bunlardan ilki, diğer CCİ fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na bitmiş ürünlerin getirilmesini kapsamaktadır. Elazığ Fabrikası'ndaki iki ana üretim hattında cam ve pet şişe ürünlerinin üretilmesi planlanmaktadır. Bunun dışında kalan ürünler, diğer CCİ fabrikalarından getirilmektedir. Böylece, Elazığ Fabrikası hem üretim hem dağıtım merkezi durumundadır. Bu dağıtım sistemi, diğer CCİ fabrikalarından en yakın istasyonlara karayolu ile ürünlerin taşınmasını ve ürünlerin bu istasyonlardan demiryolu ile Elazığ Fabrikası'na ulaştırılmasını amaçlamaktadır. İkinci bölüm ise Elazığ Fabrikası'ndan ürünlerin belirlenen istasyonlara demiryolu ile gönderilmesi ve bu istasyonlardan bayilere karayolu ile ulaştırılmasıdır. Bayiler istasyonlara, birbirlerine olan yakınlıklarına ve talep miktarlarına göre atanmıştır. Ancak, demiryolu taşımacılığı sadece belirli rotalar üzerinde ve belirli yük miktarları için avantaj sağladığından, karayolu ile doğrudan sevkiyat projenin iki bölümü için de geçerli bir alternatif olmaya devam edecektir. Bu nedenle, oluşturduğumuz dağıtım sistemi karayolu ve demiryolunu beraber kullanan karma bir dağıtım sistemidir.

Oluşturulan karma dağıtım sistemi, bazı stratejik kararların alınmasını gerektirmektedir. Bu kararlardan birincisi, fabrika ve bayilerin hangi istasyonlara atanacağını belirlemektir. Bu karar verilirken her bayi ve fabrika için kullanılacak her istasyon alternatifi incelenmiş ve bunun sonucunda fabrika ve bayilerin istasyonlara yakınlığı, istasyon ile fabrika veya bayi arasındaki birim taşıma maliyeti ve ürün talep miktarları göz önüne alınmıştır. Bu kıstaslar sonucunda, tren kullanılması halinde her bayinin ve her fabrikanın hangi istasyonu kullanacağı belirlenmiştir. İkinci karar ise bu dağıtım ağında kullanılacak tren ve kamyon sayılarının belirlenmesidir. Bu kararda, bayi talepleri ve araçların taşıma kapasiteleri etkili olmuştur. Üçüncü karar, sevkiyat sıklığı ile ilgilidir. Bu karar verilirken ürün talepleri, bayilerin stok tutma kapasiteleri ve kamyon ve tren taşımacılığında esas alınan fiyatlandırma sistemi göz önüne alınmıştır. Fiyatlandırma sisteminin sevkiyat sıklığının saptanmasında bir kıstas olarak alınmasının nedeni, her iki taşımacılık alternatifinde de fiyatlandırmanın doğrusal olmayan bir yapıya sahip olmasıdır. Kamyonla taşımalarda 10 tonun altındaki yükün fiyatı hesaplanırken, 10 ton fiyatı alınmaktadır, bu tonajın üstündeki ağırlıklar ise birim maliyetle çarpılarak belirlenen maliyete tabidir. Demiryolu taşımacılığında ise maliyet 200 tonun altındaki ağırlıklar için farklı aralıklar için farklı katsayılarla çarpılan birim maliyet hesabı ile bulunmaktadır. 200 tonun üstündeki taşımalarda ise taşınan yük miktarı birim maliyet ile çarpılarak trenle taşıma maliyeti bulunmaktadır.

Fiyatlandırma politikalarındaki doğrusal olmayan bu yapı, sevkiyat sıklığının belirlenmesinde rol oynamak dışında, birkaç bayinin yükünün bir arada taşındığı zaman daha düşük maliyetler elde edilebileceğini göstermektedir. Bu kriterler sonucunda CCI fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na ürün sevkiyatı ayda bir, Elazığ Fabrikası'ndan bayilere ürün sevkiyatının sıklığı ayda bir ya da 15 günde bir olacak şekilde incelenmiştir.

4.2 Geliştirilen modeller ve çözüm yöntemleri

Yukarıda belirlenen yaklaşım doğrultusunda iki model oluşturulmuştur. Bunlardan birincisi (Ek 3.1) Elazığ Fabrika'sından Doğu Bölgesi'ndeki bayilere, ikincisi (Ek 3.2) ise diğer CCI fabrikalarından Elazığ Fabrika'sına ürün taleplerini tam ve zamanında karşılayıp toplam taşıma maliyetini en aza indirmek için tasarlanmıştır.

Bu modellerin koşullarının sonucunda diğer 6 CCI fabrikasından Elazığ Fabrikası'na gelecek ürünlerin ve Elazığ Fabrikası'ndan Doğu Bölgesi'ndeki tüm bayilere gönderilecek ürünlerin hangi rotada hangi araçları kullanılarak gönderileceği belirlenmiştir.

Oluşturulan matematiksel modeller, modellerde kullanılan parametre ve karar değişkenleri Ek 3'de görülebilir. İki modelde de, amaç fonksiyonları tren ve kamyon kullanım maliyetlerini içermektedir.

Elazığ Fabrikası'ndan bayilere dağıtım için tasarlanan modelde (Ek 3.1), Kısıt 1 Elazığ Fabrikası'ndan istasyonlara gidecek ürün miktarını istasyondan bayilere gidecek ürün miktarına eşitlemektedir. Kısıt 2.1'de bir bayiye gelen ürün miktarı, o bayiden aynı kamyonla diğer bayilere sevk edilecek ürün miktarına eşitlenmektedir. Kısıt 2.2'de bir bayiye gelen ürün miktarı, o bayinin talebine eşitlenmektedir. Kısıt 3, kamyon kapasitesini maksimum 16 ton olarak kısıtlamaktadır. Kısıt 4 ve 5, tren maliyetini doğrusal fonksiyona çevirmek içindir. Kısıt 6, Elazığ Fabrikası'ndan istasyonlara taşınacak yük miktarına göre değişen tren taşıma maliyetini belirlemektedir.

Diğer CCI fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na ürünlerin aktarılması için tasarlanan modelde (Ek 3.2), Kısıt 1, CCI fabrikalarından, istasyonlara gönderilen ürün miktarını istasyonlardan Elazığ Fabrikası'na gönderilen ürün miktarına eşitlemektedir. Kısıt 2, diğer CCI fabrikalarından kamyon ve tren ile gönderilen toplam ürün miktarının Elazığ Fabrikası'nın ürün talebine eşit olmasını sağlar. Kısıt 3, kamyon kapasitesini maksimum 16 ton olarak kısıtlamaktadır. Kısıt 4 ve 5, tren maliyetini doğrusal fonksiyona çevirmek içindir. Kısıt 6, diğer CCI fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na taşınacak yük miktarına göre tren taşıma maliyetini belirlemektedir.

İlk modelin sonucu, Elazığ Fabrikası'ndan bayilere ürünlerin hangi rotayı izleyerek gönderileceğini, hangi kamyonlarda ne kadar

ürün taşınacağını, tren ile taşınacak ürün miktarını, kamyon ve tren maliyetlerini verecektir. İkinci modelin sonucu diğer CCI fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na taşınacak olan ürünlerin izleyecekleri rotayı, ürün bazında hangi kamyonlarda ne kadar ürün taşınacağını, tren ile taşınacak ürün miktarını, kamyon ve tren maliyetlerini verecektir.

Oluşturulan modellerin çözülmesi için matematiksel modelleme dili olan GAMS kullanılmıştır. Ancak, Elazığ'dan sevkedilecek olan ürünler için yazılan matematiksel model, CCI'den alınan gerçek verilerle koşuturulduğunda program kapasitesinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu durum, matematiksel modelin bilgisayar ortamında koşuturulmasından önce, mantıklı sezgisel yöntemlerle optimum çözümden uzaklaşmadan, daha küçük parçalara ayrılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle Doğu Bölgesi, demiryolu hatlarının dağılımına göre 6 alt bölgeye ayrılmıştır. Bu hatlar üzerindeki her istasyona daha önceden 'Genel yaklaşım' başlığı altında açıklanan kriterlere göre bayiler atanmış ve model her istasyon için ayrı ayrı koşuturulmuştur. Bu durumda her koşuturum bütün Doğu Bölgesi bayileri için değil, sadece koşuturumu yapılan her istasyona atanmış bayiler için yapılmaktadır. Ancak bu yöntem optimum çözümden çok uzaklaşmasına neden olmamıştır. Bunun nedenlerinden birincisi; TCDD'nin uyguladığı politikaya göre bir hat üzerinde belli istasyondan kalkan trenin, ara istasyonlara uğramadan, önceden belirlenen son istasyona gitmesidir. İkinci bir nedeni ise; bayiler istasyonlara, birbirlerine ve istasyonlara olan uzaklık ve taşıma maliyetleri esas alınarak atandığı için farklı istasyonlara bağlı bayiler üzerinden başka bayilere sevkiyat yapmak, model tüm Doğu Bölgesi için koşuturulsaydı tercih edilmeyecektir. Sonuç olarak bu sezgisel yaklaşım, model tüm Doğu Bölgesi için koşuturulabilseydi, koşuturum sonucunda zaten seçilmeyecek rotaları elemiştir.

Diğer CCI fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na ürün aktarılması için tasarlanmış olan ikinci modelin koşuturumunda ise fabrika sayısının Doğu Bölgesi'ndeki bayi sayısına oranla daha az olmasından dolayı, herhangi bir sezgisel yaklaşıma gerek kalmamıştır.

Modeller, değişen ürün taleplerine cevap verebilecek esneklikte oluşturulmuştur. Bu nedenle, modeller CCI tarafından değişen ürün talepleri için tekrar çalıştırılmaya uygundur.

4.3 Test

Modellerde yer alan tren taşıma maliyetleri TCDD'den, kamyon taşıma birim maliyetleri ve bayi talepleri CCI'den alınmıştır. Toplam kamyon taşıma maliyetleri CCI'nin kullandığı yöntem doğrultusunda hesaplanmıştır.

4.3.1 Elazığ Fabrikası'ndan bayilere dağıtım modelinin koşturum sonuçları

Birinci matematiksel model, her bayi için bağılı olduğu istasyondan tren kullanıp kullanmadığını, o bayi için kamyonlarda ayrılan yük kapasitesini ve o bayiye sevkiyatın toplam maliyetini vermektedir. CCI Doğu Bölgesi taşıma faaliyetlerini tek bir nakliye firması yürütmektedir. Modelin sonucu, trenle taşımamanın nakliyeciy firmaya sağlayacağı maliyet azalması konusunda bilgi verecektir.

Modelin koşturumu sonucunda, 12 tane tren istasyonunu seçerek bunlar üzerinden 23 tane bayiye karma dağıtım yaptığı görülmüştür. Toplam taşınan yük miktarı 198.737,95 tondur ve bu yük için tren kullanımı sonucunda %3,7'lik bir kazanç sağlanmıştır.

Çıkan sonuçlarda tren kullanımının 200 ton üzerindeki ürün sevkiyatlarında verimli olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle haftalık ürün talebi 200 ton altında olan bayilere talepleri aylık sevkiyat ile gönderilmiştir.

4.3.2 Diğer CCI fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na dağıtım modelinin koşturum sonuçları

İkinci matematiksel model, her fabrika için en yakınındaki istasyondan tren kullanıp kullanmadığını, o fabrika için kullanılan kamyon sayısını, hangi kamyonu hangi ürünün ne miktarda taşınacağını ve Elazığ Fabrikası'na sevkiyatın toplam maliyetini vermektedir.

Modelin koşturumu sonucu Mersin Fabrikası'ndan Elazığ Fabrikası'na tren kullanılmıştır. Bunun sonucunda, 9.376 ton ürün için aylık bazda sevkiyat hesaplanarak sadece karayoluna kıyasla karayolu artı demiryolu kullanımı yıllık %5,5 kazanç sağlanmıştır.

5. Sonuçlar

5.1 Duyarlılık ve senaryo analizi

Bu matematiksel modellerin, gelecekte gerçekleşecek çeşitli durumlara göre nasıl değişeceğini görebilmek için farklı senaryolarla duyarlılık analizleri yapılmıştır. CCI'nin senelik ürün talep miktarının artışının geçen yıllarda %10 olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, Elazığ Fabrikası'ndan bayilere dağıtımını sağlayan modelde senaryo analizi olarak Elazığ Fabrikası'ndan Doğu Bölgesi bayilerine taşınacak ürün talep miktarının 4 yıl boyunca her sene %10 artacağı beklenmektedir. Bu senaryo sonucunda, bayilere dağıtım sırasında kamyon ve trenin birlikte kullanılmasıyla oluşan maliyet, sadece kamyon kullanılmasıyla oluşan maliyete göre %4,3 oranında azalmıştır.

5.2 Sistem performansı ve mevcut durumla karşılaştırma

Oluşturulan modeller her iki dağıtımın sisteminin de aylık ve 15 günlük gibi farklı zaman aralıkları için koşturumuna olanak sağlamaktadır. Çıkan sonuçlar kullanılan tren ve kamyonları ayrı ayrı

numaralandığı için modelin çözüldüğü zaman dilimi içerisinde CCI'nin kendi isteği doğrultusunda araçları istediği günlerde sevk edebilmesine izin vermektedir. Bu nedenle oluşturulan sistemler, CCI'nin zamanla değişen isteklerine cevap verecek şekilde hem zaman açısından hem de ekonomik açıdan fayda sağlayacaktır.

Oluşturulan modellerin sahip olduğu dinamik yapı CCI'nin karşılaştığı çeşitli koşullar altında modelin farklı durumlara farklı sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Kullanılabilecek kamyon ve tren sayıları ayrı olarak doğrudan Elazığ Fabrikası'ndan ve her istasyondan tanımlandığı için, mevsimsel olarak karşılaşılabilen kamyon bulma sorunu; CCI'nin istasyonlarda ve Elazığ Fabrikası'nda hazır bulunabilecek kamyon sayısını belirtmesiyle çözülecektir. Model mevcut kamyonlara göre en düşük maliyetli dağıtım gerçekleştirilmeyi amaçlayacaktır. Ancak kış aylarında karayollarının etkin bir şekilde kullanılmaması nedeniyle yeterli kamyon bulunmadığı takdirde, talebi tren kullanımı ile karşılayacaktır. Modellerin sahip olduğu diğer bir özellik ise; bayilerin taleplerinin değişmesi, yeni bir bayinin açılması veya mevcut bir bayinin kapanması durumlarında modelin bu değişikliklere cevap verebilmesidir.

Projenin başlangıç aşamasında karşılaştırma yapılmasını sağlayacak mevcut bir sistem bulunmamaktadır. Bu nedenle oluşturulan modellerde, sadece karayolu ile sevkiyat maliyeti ve karayolu artı demiryolu sevkiyatı maliyeti karşılaştırılmıştır.

6. Uygulama Planı

Proje, Doğu Bölgesi'ni kapsayan Elazığ Fabrikası merkezli yeni bir dağıtım ağının oluşturulmasını içermektedir. Proje, CCI'nin dağıtım ağını bütünüyle değiştireceğinden kısa süre içerisinde kapsamlı bir uygulama yapabilmek mümkün değildir. Ancak, oluşturulan modellerin dağıtım sistemindeki bütün yansımalarını değerlendirebilmek açısından pilot bir bölge seçilip modeller bu bölge için uygulamaya konulabilir. Öncelikle pilot bölge için fabrika, istasyon ve bayilerin belirlenmesi gerekmektedir. Elleçleme yapılacak istasyonların uygunluğu, TCDD'den alınacak bilgiler ışığında belirlenmelidir. Pilot bölgedeki dağıtım için gönderilecek ürünler aylık ve 15 günlük bayi taleplerine göre ve Elazığ Fabrikası'nın diğer fabrikalardan aylık talebine göre belirlenecektir.

7. Genel Değerlendirme

7.1 Projenin firmaya sağlaması beklenen katkılar

Bu projenin CCI'ye getireceği temel katkılar toplam taşıma maliyetlerindeki azalma ve bayilerin taleplerini zamanında ve eksiksiz karşılamaktır. GAMS kodlarının çalıştırılması sonucunda maliyetteki azalma, yukarıda belirtilen taşınan ton miktarları için, Elazığ Fabrikası'ndan Doğu Bölgesi bayilerine dağıtımda %3,7; diğer CCI

fabrikalarından Elazığ Fabrikası'na ürün taşınmasında ise %5,5 olarak görülmüştür. Bayi taleplerinin yaz aylarındaki artışını karşılamak ve kış aylarında yaşanan ulaşım sorunlarını önlemek, yeni oluşturulan dağıtım sisteminde tren kullanımı ile mümkün olacaktır.

7.2 İleriye dönük geliştirme konularında öneriler

Maliyet düşüşünü sağlayan en önemli etken, tren ile 200 ton veya üzerinde yük taşınmasıdır. Fakat bayilerin büyük çoğunluğunun ürün stoklama kapasiteleri bu durum için yetersiz kalmaktadır. Gerekli görülen yerlerde çapraz yükleme noktalarının açılması, tren kullanımını teşvik edecektir. Çapraz yükleme noktalarının oluşturacağı maliyetin, 200 ton üzerindeki tren yüklemelerinin toplam maliyette yaratacağı azalma ile telafi edilebileceği beklenmektedir. Gerekli analizler yapıldığında, bu beklentinin doğruluk derecesi görülebilir.

Oluşturulan modellerde, envanter maliyetleri hesaba katılmamıştır. İlerleyen dönemlerde, bu maliyetlerin toplam maliyete eklenmesiyle daha gerçekçi bir maliyet hesabı ortaya çıkacaktır.

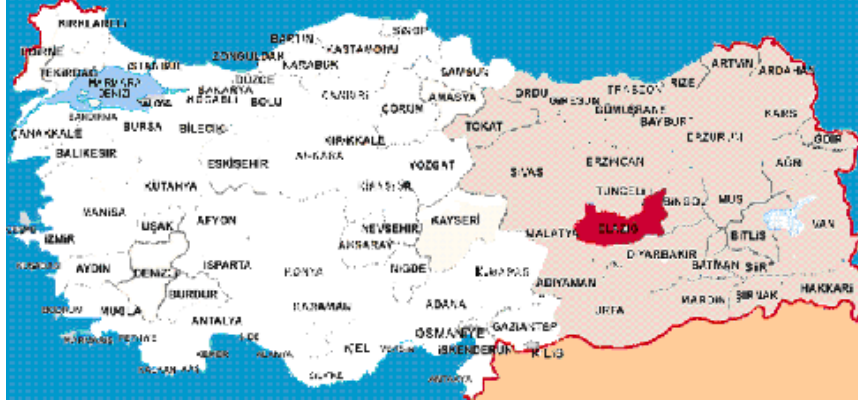
Mevcut modellerde, ürünler aylık olarak sevkedilmektedir. İlerleyen dönemlerde, CCI bu aylık sevkiyatlara göre zaman çizelgeleri hazırlayabilir ve bu çizelgelerden üretim planlama aşamasında yararlanabilir.

KAYNAKÇA

- Bertsekas, D.P. (1991). “ Linear Network Optimization: Algorithms and Codes”, Massachusetts Institute of Technology Press, 10–21.
- Coca Cola İçecek A.Ş. 2009. <http://www.cci.com.tr/tr/home/>. Son erişim tarihi:19 Nisan 2009.
- Geloğulları, C.A. (2001). “An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls”, Endüstri Mühendisliği, 12-21.
- Lawler, E. (1976). “Combinatorial Optimization Networks and Matroids”, Holt, Rinehart and Winston, U.S, 164-178.
- Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Shymas, D.B. (1985). “The Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization”, John Wiley&Sons, NewYork, 23-47.
- Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 2009. Yurtiçi Yük Taşıma <http://www.tcdd.gov.tr/showcontent.aspx?contentId=159>. Son erişim tarihi: 19 Nisan 2009.

EKLER

Ek 1. Doğu Bölgesi Bayileri



Ek 2. TCDD Demiryolu Ağı



Ek 3 Modellerin detaylı gösterimi

Ek 3.1 Birinci model

Elazığ Fabrika'dan Doğu Bölgesi bayilerine sevkiyatı gerçekleştiren model aşağıdadır.

Kümeler:

$B = \{16,17,\dots,88\}$ = Bayiler kümesi (b=1 Elazığ için)

$K = \{1,2,\dots,15\}$ = İstasyonlar kümesi (k=1 Elazığ için)

$S = \{1,2,\dots,s\}$ = Kamyonlar kümesi

$T_k = \{1,\dots,t_k\}$ = Elazığ'dan k istasyonuna kullanılacak trenler kümesi

$V = \{\text{tüm istasyon ve bayiler}\}$

$A_1 = \{\text{Elazığ'dan istasyonlara kullanılabilir demiryolları kümesi}\}$

$A_2 = \{\text{Karayolları kümesi}\}$

Karar Değişkenleri:

$X_{ktb} = b$ bayisi tarafından istenen, Elazığ'dan k istasyonuna t treni ile taşınan miktar (ton cinsinden); $k \in K, t \in T_k, b \in B$

$Y_{ijs} = b$ bayisi tarafından istenen, (i,j) yolunda s kamyonu ile taşınan yük miktarı; (i,j) $\in A_2, b \in B, s \in S$

$y_{kta} = 0$ veya 1, a $\in (1,2,3,4)$ tren maliyeti linearizasyon değişkeni

$z_{ktb} \geq 0$, b $\in (1,2,3,4,5)$ tren maliyeti linearizasyon değişkeni

$\text{bin}_{1ijs} = 0$ veya 1, kamyon maliyeti linearizasyonu değişkeni

$\text{bin}_{2ijs} = 0$ veya 1, kamyon maliyeti linearizasyonu değişkeni

$\text{bin}_{3ijs} = 0$ veya 1, kamyon maliyeti linearizasyonu

$\text{iks}_{1ijs} = 10$ tonun altında kamyonla taşınan miktar

$\text{iks}_{2ijs} = 10$ ton üstü kamyonla taşınan miktar

Parametreler:

$D_b = b$ bayisinin talebi

$c_{ij} = i$ ve j noktaları arasında kamyonla taşıma birim maliyeti

$A_k = \text{Elazığ ile k istasyonu arasında ton başına trenle taşıma maliyeti}$

$M_t = t$ treninin taşıma kapasitesi

$e(\sum_{b \in B} X_{ktb}) = \text{Trenle taşıma birim maliyet fonksiyonu}$

$$e(\sum_{b \in B} X_{ktb}) = \left\{ \begin{array}{ll} 40 * A_k & 0 \leq \sum_{b \in B} X_{ktb} < 20 \\ (\sum_{b \in B} X_{ktb}) * (2 * A_k) & 20 \leq \sum_{b \in B} X_{ktb} < 100 \\ (\sum_{b \in B} X_{ktb}) * (1.5 * A_k) & 100 \leq \sum_{b \in B} X_{ktb} < 200 \\ (\sum_{b \in B} X_{ktb}) * (A_k) & 200 \leq \sum_{b \in B} X_{ktb} \leq M_t \end{array} \right.$$

$\forall k \in K, \forall t \in T_k$

$$\text{Min } \sum_{i:(i,j) \in A_2} \sum_{s \in S} 10 * c_{ij} * \text{bin}2_{ijs} + 10 * \text{bin}3_{ijs} * c_{ij} + c_{ij} * \text{iks}2_{ijs} + \sum_{t \in T} [z_1 * e(0) + z_2 * e(20) + z_3 * e(100) + z_4 * e(200) + z_5 * e(M_t)]$$

s.t.

$$\sum_{t \in T_k} X_{ktb} = \sum_{s \in S} \sum_{j:(k,j) \in A_2} Y_{kjbs} \quad \forall k \in K, b \in B \quad (1)$$

$$\sum_{i:(i,n) \in A_2} \sum_{n:(i,n) \in A_2} Y_{inbs} - \sum_{n:(n,j) \in A_2} \sum_{j:(n,j) \in A_2} Y_{njbs} = 0 \text{ if } n \neq b \quad (2.1)$$

$$\forall s \in S, \forall b \in B$$

$$\sum_{i:(i,j) \in A_2} \sum_{j:(i,j) \in A_2} \sum_{s \in S} Y_{ijbs} = D_b \quad \text{if } j = b \quad \forall b \in B \quad (2.2)$$

$$\sum_{b \in B} Y_{ijbs} \leq 16 \quad \forall (i,j) \in A_2, \forall s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{b \in B} X_{ktb} = z_1 * 0 + z_2 * 20 + z_3 * 100 + z_4 * 200 + z_5 * M_t \quad \forall k \in K, \forall t \in T_k \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} z_{kt1} &\leq y_{kt1} \\ z_{kt2} &\leq y_{kt1} + y_{kt2} \\ z_{kt3} &\leq y_{kt2} + y_{kt3} \\ z_{kt4} &\leq y_{kt3} + y_{kt4} \\ z_{kt5} &\leq y_{kt4} \\ z_{kt1} + z_{kt2} + z_{kt3} + z_{kt4} + z_{kt5} &= 1 \\ y_{kt1} + y_{kt2} + y_{kt3} + y_{kt4} &= 1 \\ y_{kta} &= 0, 1 \quad a \in (1, 2, 3, 4) \\ z_{ktb} &\geq 0 \quad b \in (1, 2, 3, 4, 5) \end{aligned} \right\} \forall k \in K, \forall t \in T_k \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{bin}1_{ijs} + \text{bin}2_{ijs} + \text{bin}3_{ijs} &= 1 & \forall (i,j) \in A_2 \quad s \in S \\ \text{iks}2_{ijs} &\leq \text{bin}3_{ijs} * 6 & \forall (i,j) \in A_2 \quad s \in S \\ \text{iks}1_{ijs} &\geq 10 * \text{bin}3_{ijs} & \forall (i,j) \in A_2 \quad s \in S \\ \text{iks}1_{ijs} &\leq 10 * (1 - \text{bin}1_{ijs}) & \forall (i,j) \in A_2 \quad s \in S \\ \sum_{b \in B} Y_{ijbs} &= \text{iks}1_{ijs} + \text{iks}2_{ijs} & \forall (i,j) \in A_2 \quad s \in S \\ \text{iks}1_{ijs} &\geq 0 \\ \text{iks}2_{ijs} &\geq 0 \end{aligned} \right\} (6)$$

Ek 3.2 İkinci model

Elazığ Fabrika'ya diğer CCI Fabrikalarından gelen ürünlerin sevkiyatını gerçekleştiren model aşağıda anlatılmıştır.

Kümelere:

$T_k = \{1, 2, \dots, t_k\}$ = K istasyonundan Elazığ'a kullanılabilir tren sayısı

$S = \{1, 2, \dots, s\}$ = Kamyon kümesi

$N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ = Fabrika kümesi (n=1 Elazığ için)

$K = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ = İstasyon kümesi (n=1 Elazığ için)

$A_1 = \{ \text{İstasyon ile Elazığ arasındaki tren yolları kümesi} \}$

$A_2 = \{ \text{Fabrikalar ile İstasyonlar ve Elazığ arasındaki karayolları kümesi} \}$

Karar Değişkenleri:

X_{qknt} = K istasyonundan Elazığ'a t treni ile gönderilen q ürününün

(ton cinsinden); $k \in K$, $t \in T_k$, $q \in Q$, $(k,n) \in A_1$,

Y_{qijss} = i noktasından j noktasına s kamyonu ile gönderilen q ürünü miktarı;

$(i, j) \in A_2$, $q \in Q$, $s \in S$

$y_{kta} = 0$ veya 1, $a \in (1,2,3,4)$ tren maliyeti linearizasyon değişkeni

$z_{ktb} \geq 0$, $b \in (1,2,3,4,5)$ tren maliyet linearizasyon değişkeni

$\text{bin1}_{ijs} = 0$ veya 1, kamyon maliyeti linearizasyon değişkeni

$\text{bin2}_{ijs} = 0$ veya 1, kamyon maliyeti linearizasyon değişkeni

$\text{bin3}_{ijs} = 0$ veya 1, kamyon maliyeti linearizasyon değişkeni

$\text{iks1}_{ijs} = 10$ tonun altında kamyonla taşınan miktar

$\text{iks2}_{ijs} = 10$ ton üstü kamyonla taşınan miktar

Parametreler:

D_q = q ürününün Elazığ fabrikadan gelen talebi

c_{ij} = i noktası ile j noktası arasında kamyonla birim taşıma maliyeti

A_k = Elazığ ile k istasyonu arasında ton başına trenle taşıma maliyeti

M_t = t treninin taşıma kapasitesi

$e \left(\sum_{b \in B} x_{ktb} \right)$ = Trenle taşıma birim maliyet fonksiyonu

$$e \left(\sum_{q \in Q} X_{qknt} \right) = \left\{ \begin{array}{ll} 40 * A_k & 0 \leq \sum_{q \in Q} X_{qknt} < 20 \\ \left(\sum_{q \in Q} X_{qknt} \right) * (2 * A_k) & 20 \leq \sum_{q \in Q} X_{qknt} < 100 \\ \left(\sum_{q \in Q} X_{qknt} \right) * (1.5 * A_k) & 100 \leq \sum_{q \in Q} X_{qknt} < 200 \\ \left(\sum_{q \in Q} X_{qknt} \right) * (A_k) & 200 \leq \sum_{q \in Q} X_{qknt} \leq M_t \end{array} \right\}$$

$$\forall k \in K, \forall t \in T_k$$

$$\text{Min } \sum_{i:(i,j) \in A_2} \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{q \in Q} 10 * c_{ij} * \text{bin}2_{ijs} + 10 * \text{bin}3_{ijs} * c_{ij} + c_{ij} * \text{iks}2_{ijs} + \sum_{t \in T} [z_1$$

$$*e(0) + z_2 * e(20) + z_3 * e(100) + z_4 * e(200) + z_5 * e(M_t)]$$

s.t.

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{q \in Q} Y_{qiks} = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{qknt} \quad \forall ((k, n) : n = 1) \in A_1, \quad (1)$$

$$\forall (i, k) \in A_2$$

$$\sum_{((i,j):j=1) \in A_2} \sum_{s \in \mathcal{S}} Y_{qijs} + \sum_{((k,n):n=1) \in A_1} \sum_{t \in T} X_{qknt} \geq D_q \quad \forall q \quad (2)$$

$$\sum_{q \in Q} Y_{qijs} \leq 16 \quad \forall s, \forall (i, j) \in A_2 \quad (3)$$

$$\sum_{q \in Q} X_{qknt} = z_1 * 0 + z_2 * 20 + z_3 * 100 + z_4 * 200 + z_5 * M_t \quad \forall ((k, n) : n = 1) \in A_1,$$

$$\forall t \in T_k \quad (4)$$

$$z_{kt1} \leq y_{kt1}$$

$$z_{kt2} \leq y_{kt1} + y_{kt2}$$

$$z_{kt3} \leq y_{kt2} + y_{kt3}$$

$$z_{kt4} \leq y_{kt3} + y_{kt4}$$

$$z_{kt5} \leq y_{kt4}$$

$$z_{kt1} + z_{kt2} + z_{kt3} + z_{kt4} + z_{kt5} = 1$$

$$y_{kt1} + y_{kt2} + y_{kt3} + y_{kt4} = 1$$

$$y_{kta} = 0, 1 \quad a \in (1, 2, 3, 4)$$

$$z_{ktb} \geq 0 \quad b \in (1, 2, 3, 4, 5)$$

$$\forall k \in K, \forall t \in T_k \quad (5)$$

$$\text{bin}1_{ijs} + \text{bin}2_{ijs} + \text{bin}3_{ijs} = 1$$

$$\text{iks}2_{ijs} \leq \text{bin}3_{ijs} * 6$$

$$\text{iks}1_{ijs} \geq 10 * \text{bin}3_{ijs}$$

$$\text{iks}1_{ijs} \leq 10 * (1 - \text{bin}1_{ijs})$$

$$\sum_{q \in Q} Y_{ijbs} = \text{iks}1_{ijs} + \text{iks}2_{ijs}$$

$$\text{iks}1_{ijs} \geq 0$$

$$\text{iks}2_{ijs} \geq 0$$

$$\forall (i, j) \in A_2 \quad s \in \mathcal{S}$$

$$\forall (i, j) \in A_2 \quad s \in \mathcal{S}$$

$$\forall (i, j) \in A_2 \quad s \in \mathcal{S}$$

$$\forall (i, j) \in A_2 \quad s \in \mathcal{S}$$

$$\forall (i, j) \in A_2 \quad s \in \mathcal{S}$$

(6)

Ankara Deposu için Dağıtım Karar Destek Sistemi Tasarımı

Frito Lay A.Ş. Ankara

Proje Ekibi

Zeliha Neval Dalarslan
Abdulsamet Emmioğlu
İsmail Erikçi
Murat Özcan
Ali Yavuz Polat
Mehmet Şahin

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Özhan Nuri Özesenli, Frito Lay Gıda San. Ve Tic. A.Ş.
Saha Lojistik Müdürü

Akademik Danışman

Prof. Mustafa Çelebi Pınar, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Frito Lay Ankara bazı zincir mağazalara hizmet vermektedir ve bunun için karar destek sistemine ihtiyacı vardır. Projedeki temel amacımız, müşteri taleplerinin zamanında karşılanması ile beraber araç rotalarının en düşük maliyetle belirlenmesidir. Bu ana amacın yanısıra firmanın şu anda kullandığı programın(RoadNet) güvenilirliği de ölçülecektir. Bu problemin literatürde Zaman Kısıtlı Araç Rotalama problemi olarak geçmektedir. Çözüm için önerilen algoritmanın uygulanması için platform olarak Microsoft.NET, GAMS programı ile etkileşim halinde kullanılmıştır. Projenin verdiği sonuç şu anda kullanılan RoadNet adlı programın güvenilirliğini ölçmede kullanılacaktır.

Anahtar Sözcükler: VRPTW(Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemi), Microsoft.NET, GAMS.

1. İşletme Tanıtımı

PepsiCo, 1965 yılında Pepsi Cola ve Frito Lay'ın birleşmesiyle kurulmuştur. PepsiCo gıda ve içecek sektöründe yaklaşık 32 milyar doların üzerinde kazancı ve 157.000 çalışanıyla dünyanın en büyük yiyecek ve içecek firmaları arasında üçüncü sıradadır. Frito Lay, Pepsi Cola, Gatorade/Tropicana ve Quaker şirketlerini bünyesinde bulunduran PepsiCo, 200 ülkede gittikçe büyüyen pazar paylarına sahiptir.

Frito Lay, Türkiye'de %80 pazar payıyla tuzlu çerez sektöründe lider konumdadır. Frito Lay 1986'da kurulan Uzay Gıda'nın 1988'de %50'sini, 1993'te ise tamamını satın alarak Türkiye pazarına girmiştir. Türkiye şubesi, 2000 üzerinde çalışan, 172000 satış noktası ve 11 depo ile Frito Lay'in en büyük 5. operasyonudur. Frito Lay, Türkiye'de satış noktaları(Point of Sales – POS) bazında 3. sırada yer almaktadır. Frito Lay Lay's, Ruffles, Doritos ve Cheetos markaları ile Türkiye pazarında lider konumundadır.

Frito Lay'in İzmit ve Tarsus'ta bulunan 2 üretim tesisi ve Ankara, İstanbul, İzmir, Bursa, Adana, Kayseri ve Antalya'da depoları vardır. Dağıtımın %40-45'i bu depolardan, %50-55'i ise doğrudan illerdeki dağıtıcı depolarından gerçekleştirilmektedir. Ankara deposunun İç Anadolu Bölge Müdürlüğü olarak 26 depo çalışanı ve 82 adet kullanılabilir dağıtım aracı bulunmaktadır. Zincir mağazalara 7 adet kamyonlarıyla sipariş usulü hizmet veren Frito Lay, diğer noktalar da ise sıcak satış usulü satış yapmaktadır.

2. Projenin Tanımı

2.1 Semptomlar

- Ankara'yı 7 farklı bölgeye ayırmış olan Frito Lay'in, elindeki kamyonları verimli kullanamaması, özellikle, siparişlerin az olduğu günlerde verimsizliğin artması.
- Ayın son günlerinde artan sipariş miktarı nedeniyle kamyon şoförlerinin uzun süreler çalışması ve bazı siparişlerin zamanında teslim edilememesi.
- Bazı mağaza zincirlerinin belli sipariş alım saatleri mevcut oluşu ve özellikle siparişlerin yoğun olduğu günlerde bazı siparişlerin karşılanamaması.

2.2 Firma beklentileri

Firma projenin uygulanmasıyla birlikte Ankara bölgesindeki, Zincir Mağazaların günlük taleplerini karşılamak için kısa sürede maliyet açısından iyi bir sonuç veren bir araç rotalama çıktısı istemektedir. Proje çerçevesinde oluşturulan algoritma için yazılan bilgisayar programı çalıştırılarak firmanın bu beklentisi karşılanmış olacaktır. Algoritmanın dinamik yapısı sayesinde, firma her gün değişen noktalardan gelen değişen talepleri en iyi şekilde karşılamış olacaktır. Projenin uygulanması ile birlikte ortaya çıkan sonuç, firmanın şu anda

kullanmış olduğu RoadNet isimli programın güvenilirliğini test edecektir. Algoritmada kullanılan, GAMS ve sezgisel yöntemle belirlenen günlük maliyetin alt ve üst limit değerleri sayesinde önerilen çözümün güvenilirliği firma tarafından test edilebilecektir.

2.3 Problem tanımı ve kapsamı

Zincir mağazalar çok kar getirmemesine rağmen, bu noktalarda ürün bulunurluluğunun sağlanması firmanın stratejik amaçları doğrultusunda gereklidir. Bu noktalar büyük mağaza zincirlerinden oluşmakta ve bazıları sadece belli zaman aralıklarında siparişlerini kabul etmektedir. Bu siparişleri en düşük maliyetle karşılamak şirketin önemli hedeflerinden birisidir. Tüm bu veriler doğrultusunda problem tanımımız; Frito Lay Ankara deposunun dağıtımından sorumlu olduğu Key Account'ların (zincir mağaza) taleplerini zaman ve kapasite kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak, en düşük maliyetle karşılama problemidir. Projenin kapsamı Frito Lay Ankara deposunun hizmet verdiği zincir mağazalarla sınırlıdır. Firmanın şu anda kullandığı RoadNet isimli program bu problemin çözümüne yönelik bir programdır. Bu yüzden problem tanımlanırken RoadNet'in olmadığı durum baz alınmıştır. Ancak sonuçta önerilen sistemin çıktıları ile RoadNet'in çıktıları karşılaştırılarak, RoadNet'in güvenilirliği test edilebilecektir.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

Frito Lay zincir mağazaların siparişlerini karşılayacak en uygun yöntemi bulmaya çalışmaktadır. Projeye başladığımızda mevcut durumda 684 mağaza bulunmaktadır. Bu noktalara sipariş veren toplam 7 tane kamyon bulunmaktadır. Ayrıca bu kamyonların sayısı sabit, hacimlerini ise aynı kabul etmekteyiz. Günlük ortalama 70 mağazadan talep gelmektedir. Sipariş miktarları değişkenlik göstermektedir. Ayın ilk günleri daha az olan siparişler, ay sonlarında oldukça yükselmektedir. Firma şu anda RoadNet adlı programı kullanmaktadır ve çıktıları Ankara haritası üzerinde gösterilmektedir (Ek 1). Bu programın çalışma süresi oldukça kısadır. Sipariş toplama işlemi tamamlandıktan sonra veriler RoadNet'e girilerek program çalıştırılmakta ve oldukça kısa sürede sonuç alınmaktadır. Program rotaları düzenlerken, mağazaların sipariş alım saatlerini sağlayabilmek için bazen çok uzak bir bölgedeki kamyonu o noktaya atamaktadır. Bu gibi gözle görülen hataları RoadNet'ten sorumlu görevli düzeltmekte ve yeni atamalar yapmaktadır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

Bu projede hedefimiz 684 mağazanın rotasını bulmak için bir algoritma geliştirmektedir. Bu algoritma kullanarak yazacağımız program siparişlerin alındığı gün çalıştırılarak, ertesi gün için

kamyonlara rota bulacaktır. Atanan rotaların zaman kısıtı, kamyon kapasitesi ve şoförlerin çalışma saatlerini göz önünde bulundurarak minimum maliyette bulunması hedeflenmektedir. RoadNet bir ticari program olup şirket bu programın arkasında olan algoritmanın ve bu algoritmanın verimliliğinden emin olamamaktadır. Bu nedenle şirketin projeden ilk beklentisi şu anda kullanmakta olduğu RoadNet'in sonuçlarının değerlendirilmesidir.

Önereceğimiz programın ilk ölçütü, bu programın verdiği rotaların maliyetinin ölçülmesi ve bunun RoadNet'in verdiği sonuçlarla karşılanmasıdır. Bir diğer performans ölçütü ise programın çalışma süresidir. Şirket programı her gün çalıştırıp ertesi günün siparişlerini hazırladığı için çok uzun süre çalışan bir program uygun olmamaktadır. Bu yüzden önerilen sistemde en iyi çözüme ulaşmak çok uzun zaman alacağından sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

3.3 Literatür taraması

Problem literatürde zaman kısıtlı araç rotalama problemi olarak geçmektedir (VRPTW). Literatürde bu problemle ilgili birçok makale bulunmaktadır. Bunların içinden Fisher ve Jaikumar'ın (1981); Holmberg'in (1999); Cordeau'nun (2002); Ioannou ve Kritikos'un (2004) makalelerine odaklanılmıştır ve bu makalelerdeki algoritmalar ve sezgisel yöntemler incelenmiştir. Sonuç olarak Bramel ve Simchi-Levi (1999) tarafından önerilen model baz alınmıştır. Bu modelin seçilmesinin sebebi, diğer modellere göre daha kolay uygulanabilir olmasıdır. Daha sonra bu algoritma ve sezgisel yöntem doğrultusunda bir program yazılmıştır.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

Yaptığımız literatür araştırmaları sonucunda da görüldüğü gibi, bu boyuttaki Zaman Kısıtlı Araç Rotalama(VRPTW) probleminin, verilen süre içinde optimal çözümünün mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle problemin çözümünde sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Bu şekilde kısıtlı sürede iyi bir sonuç verebilen bir algoritma kurulmuştur.

4.2 Tasarlanan sistem

Önerilen algoritmanın uygulanması için platform olarak Microsoft.NET kullanılmıştır. Önerilen sistemde matris işlemleri önemli bir yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra sistemde birçok farklı program etkileşim halinde kullanılmaktadır. Bu konulardaki avantajlarından dolayı Microsoft.NET platformu seçilmiştir. Ayrıca veri erişimi ve sorgulama kolaylıkları, performans avantajı, gelişmiş C# dil özellikleri Microsoft.NET'in tercih edilmesinin sebeplerindedir.

4.2.1 Sistemin girdileri, çıktıları ve amacı

Sistemin girdileri iki ana başlıkta toplanabilir. Birincisi sisteme kullanıcı tarafından verilen girdiler, ikincisi ise sistemin kendi geri besleme mekanizması içinde oluşturduğu girdilerdir.

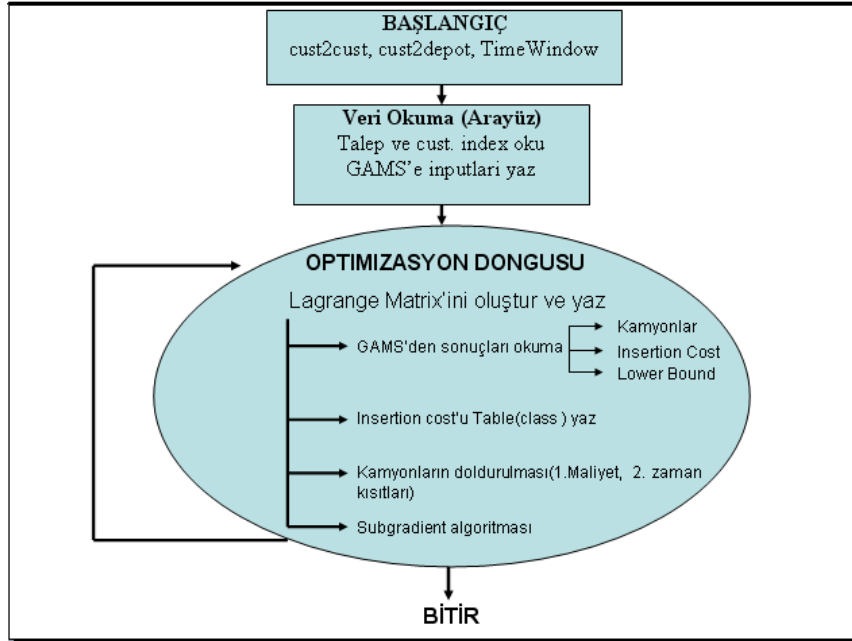
Kullanıcının sisteme girdiği müşteri talepleri verisi ve müşteri indisleri her gün değişmektedir. Diğer girdiler servis zamanının hesaplanması için gerekli olan veriler, zaman kısıtları ve müşterilerin koordinatlarıdır ve bu girdiler değişken değildir.

Geri besleme mekanizmasıyla oluşturulan girdiler GAMS' in .NET' ten aldığı üzerinde işlem yaparak tekrar .NET' e verdiği girdilerdir. Bunlar servis edilecek olan müşterilerin; müşteri araç ilişkisi matrisi, kullanılacak araç matrisi, operasyonun maliyeti ve "insertion cost" olarak tanımlanan sezgisel yöntemin kullandığı matristir.

Sistemin çıktıları, her aracın o günkü rotası ve bu operasyonun maliyetidir.

Oluşturulan sistemin amacı, sezgisel yöntem kullanılarak Araç Rotalama problemini verimli bir şekilde çözmesidir.

4.2.2 Önerilen sistemin mimarisi



Şekil 1. Sistem mimarisi.

Sistem mimarisi üç ana parçadan oluşmaktadır. İlk aşama olan başlangıç aşamasında müşterilerin birbirleri arasındaki uzaklık matrisi, müşterilerin depoya olan uzaklıkları ve müşterilerin mal kabul zaman

aralıkları okunmaktadır. Bu matrislerde her müşteriye özel indis atanmıştır. (İndisler 1 ile 683 aralığındadır)

İkinci aşama olan ara yüz aşamasında, kullanıcıdan müşteri indisleri ve bu müşterilerin talepleri istenmektedir. Kullanıcı belirlenen indis sınırları dışında bir veri girdiğinde ekrana uyarı mesajı gelmektedir. Kullanıcının girdiği bu veriler okunarak GAMS için gerekli girdiler başlangıç aşamasında okunan matrislerden süzülerek elde edilir.

Üçüncü aşamayı oluşturan Optimizasyon döngüsünde GAMS ve .NET'te yazılan kodlar birbiriyle etkileşim halinde çalıştırılmaktadır. GAMS ve .NET'te elde edilen sonuçlar, subgradient algoritması kullanılarak elde edilen sonuç iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu döngü belirlenen kriterler sağlanana kadar devam etmektedir.

4.3 Geliştirilen model ve çözüm yöntemi

Problemin Çözüm Yöntemi iki model içermektedir. İlk model Bramel ve Simchi-Levi (1999) tarafından önerilen modeldir. GAMS'te zaman kısıtı göz ardı edilerek yazılan bu modelin çıktıları sezgisel yöntemde ve subgradient döngüsünde kullanılmaktadır. GAMS'de yazılan bu modelin verdiği sonuç Şekil 1'deki Optimizasyon döngüsünün ilk basamağını oluşturmaktadır. GAMS'de yazılan model literatürde Araç Rotalama Problemi (VRP) olarak geçmektedir. Bu model çıktı olarak kullanılan kamyonların indisleri, kullanılan kamyon müşteri matrisi, operasyon maliyeti ve "insertion cost" matrisini vermektedir. Elde edilen bu sonuçlardan "insertion cost" matrisi sezgisel yöntemde, operasyon maliyeti subgradient döngüsünde alt limit değeri olarak kullanılmaktadır (Şekil 1).

Sezgisel yöntemi uygulamadan önce sistemin GAMS'den okuduğu "insertion cost" matrisinin uygun formata getirmesi gerekmektedir. Bu işlem için de özel olarak kendi oluşturduğumuz "table" adlı class kullanılmaktadır. .NET'te yazılan bu class matris işlemlerinin yapılmasında kolaylık sağlamaktadır (Şekil 1).

Sezgisel yönteme geldiğimizde sonuca ulaşmak için kurduğumuz model ilk planda maliyet kısıtını (insertion cost'u) göz önüne alarak, kapasite ve zaman kısıtlarını (time window) bozmadan müşterileri kamyonlara atamaktadır. Bu işlem tüm kamyonlar doldurulana kadar ya da tüm müşteriler kamyonlara atanana kadar devam etmektedir. Bu model .NET'e aktarılırken oluşabilecek uç senaryolar da göz önünde bulundurulmuştur. Sezgisel yöntemin verdiği maliyet değeri subgradient algoritmasında üst limit olarak kullanılmaktadır (Şekil 1).

Subgradient döngüsünde iki modelin çıktıları girdi olarak kullanılmaktadır. Alt limit ve üst limit değerleri Lagrange değişkenleri değiştirilerek birbirine yaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Lagrange

değişkenleri $d_j = 1 - \sum_{i=1}^m x_{ij} \nabla_j$, $t^{(k)} = \lambda \frac{v - g(u^{(k)})}{\|d^{(k)}\|^2}$ formüllerine göre hesaplanmıştır. Subgradient döngüsünün bitirilme koşulları da şu şekildedir: $v - g(u^{(k)}) < 1$ ve $t^{(k)} = \lambda \frac{v - g(u^{(k)})}{\|d^{(k)}\|^2}$

Bu kriterler sağlanana kadar Şekil 1'deki optimizasyon döngüsü her seferinde tekrarlanmaktadır.

4.4 Test

İterasyon sayısı ve subgradient algoritmasının sonuçlandırılmasını sağlayacak olan aralığın belirlenmesi, daha sonra gerçek koşullarda denenmek suretiyle kararlaştırılacaktır.

5. Sonuçlar

Program çalıştırılırken kullanılan mal kabul zaman aralığı ve servis süreleri firmadan sağlanan gerçek verilerdir. Programın çalışması için gerekli olan uzaklık matrisi ise şu şekilde oluşturulmuştur: Firma tarafından servis edilecek her noktanın koordinatı (enlem ve boylam) verilmiştir. Bu enlem ve boylam kullanılarak .Net ile coğrafik bir uzaklık bulma yöntemi uygulanmıştır (Ek 2). Kullanılan formül iki nokta arasındaki enlem ve boylam değerlerini kullanarak kuş uçuşu bir uzaklık değeri bulmaktadır.

Hangi müşterinin ne kadar ürün talep ettiği bilgileri (Ek 3) girildikten sonra program çalıştırılmaktadır. Sonuç olarak ekrana hangi kamyonların hangi müşterilere hangi sıraya göre hizmet verdikleri bilgisi ekrana bastırılmaktadır (Ek 4). Ayrıca programın kaç tekrarda hangi maliyet değeriyle sonuç verdiği de ekrandan okunabilmektedir (Ek 2). Önerilen sistem GAMS ve .Net'te yazılan kodların birbiriyle etkileşim halinde çalışmasını gerektirmektedir. Şekil 1 den de anlaşılacağı gibi öncelikle kullanıcıdan arayüz aşamasında günlük taleplerin girilmesi istenmektedir. Daha sonra bu veriler doğrultusunda tüm müşterilerin olduğu, 683x683'lük matristen kullanılacak bilgiler alınmaktadır. Bu aşamalarda karmaşık matris işlemleri gerekmektedir. Ayrıca optimizasyon dönüsünde (şekil 1) her adımda matris işlemleri kullanılmaktadır. İşlem kolaylığı ve programın daha hızlı çalışması için bazı matrisler özel formatlarda kodlanmıştır. Bu matris işlemleri ve özel formatlar için 6 adet class oluşturulmuştur. Bahsedilen tüm bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için yazılan kod toplamda 2000 satırdan daha fazladır.

Şirket yetkilileri ile yapılan görüşme neticesinde, yazılan programla şu anda kullanılan RoadNet'in kıyaslanması şu şekilde

gerçekleştirilmiştir: Talebin az olduğu, ki bu firma yöneticilerinin isteğidir; 5 Ocak 2009 gününün baz alınması kararlaştırılmıştır. RoadNet test edilen günün talebini karşılamak için 4 araç kullanarak 210,99 km. toplam mesafe çıkarmıştır. Sonuç olarak bulunan bu mesafe yukarıda belirtilen formül ile hesaplanmıştır. Önerilen program ise test edilen günü talebi için 3 araç kullanarak toplamda 252,627 km. mesafe çıkarmıştır. Bu değer optimizasyon döngüsündeki (Şekil 1) tekrarlardan elde edilen en küçük değerdir. RoadNet'in verdiği sonuç önerilen yöntemden çıkan sonuçtan %16,48 daha iyidir. RoadNet dünyanın en büyük lojistik firmalarından biri olan UPS tarafından hazırlanmış ticari bir programdır. Bu nedenle RoadNet'in verdiği sonuçtan daha iyi bir sonuç bulmak için uygulama ve kod yazımı aşamalarında profesyonel destek alınması gerekmektedir. Proje süresi ve uygulanabilirlik göz önünde bulundurulduğunda daha karmaşık ve daha yeni algoritmaların koda aktarılması bu proje kapsamında olanaklı gözükmemektedir. Bu kısıtlar göz önüne alındığında önerilen sistemle şu anda kullanılan RoadNet arasındaki bu %16,48'lik fark şaşırtıcı bir sonuç değildir. En azından önerilen program; RoadNet programını manuel olarak düzelterek kişiye (RoadNet'in verdiği ham sonuç mesai kısıtını karşılamadığı için ham sonucun manuel olarak düzeltilmesi gerekmektedir.) yol gösterici bir alternatif olarak kullanılabilir, çünkü firmanın gözettiği tek kısıt mesafe değildir.

6. Uygulama

6.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Sistemimiz Microsoft.NET üzerinde çalışmakta olup GAMS ile geri besleme mekanizması şeklinde entegre olarak çalışmaktadır. Microsoft.NET internetten Microsoft'un sitesinden kolayca elde edilebilen açık kodlu bir programdır. GAMS ise lisanslı bir programdır ancak önerdiğimiz sistemin mevcut sistemdeki RoadNet programından daha iyi bir sonuç vermesi durumunda GAMS'in maliyeti göz ardı edilebilecek bir kısıttır.

6.2 Uygulama planı

Firma şu anda RoadNet isimli bir bilgisayar programı kullanarak problemi çözdüğü için uygulama kullanıcılarına yabancı gelmeyecektir. Uygulamanın farklılığı girdilerde değil sonuçların okunmasında oluşmaktadır. RoadNet'in görsel olarak verdiği çözüm; önerilen sistemde hangi kamyonun hangi müşteriye hangi sırada servis verdiği çıktı olarak ekrana yazdırılmaktadır. Yani önerilen sistemin uygulanma aşaması gerekli programların yüklenmesi ve çalıştırılması

7. Genel Değerlendirme

Firma projenin uygulanmasıyla birlikte Ankara bölgesindeki, Zincir Mağazaların günlük taleplerini karşılamak için kısa sürede maliyet açısından iyi bir sonuç veren bir araç rotalama çıktısı

istemektedir. Proje çerçevesinde oluşturulan algoritma için yazılan bilgisayar programı çalıştırılarak firmanın bu beklentisi karşılanmış olacaktır. Algoritmanın dinamik yapısı sayesinde, firma her gün değişen noktalardan gelen değişen talepleri en iyi şekilde karşılamış olacaktır. Projenin uygulanması ile birlikte ortaya çıkan sonuç, firmanın şu anda kullanmış olduğu RoadNet isimli programın güvenilirliğini test edecektir. Algoritma kurulması esnasında kullanılan günlük maliyetin alt ve üst limit değerleri sayesinde firma ne kadar iyi bir çıktı değeri bulunduğunu test edebilecektir.

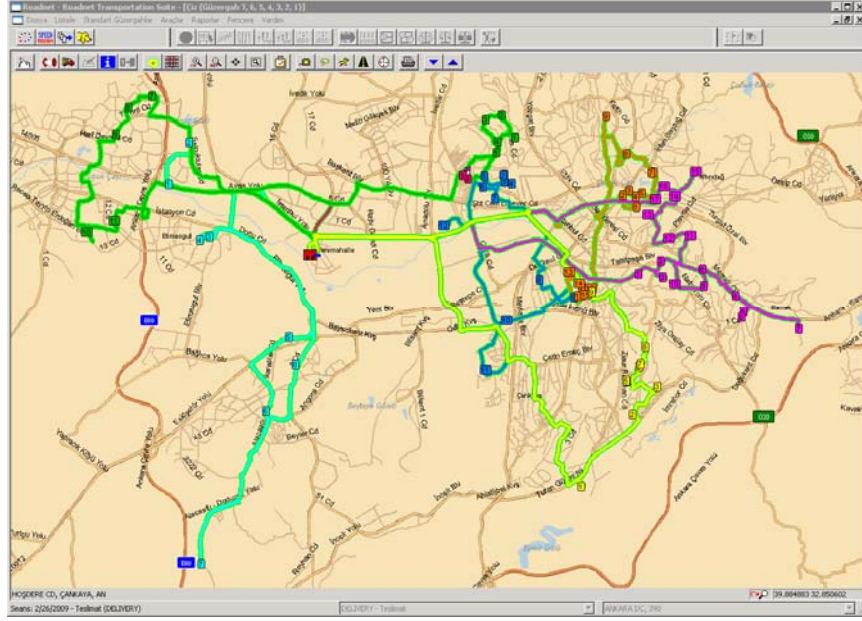
Projede yazılan bilgisayar programının ara yüzü geliştirilebilir. Bu ara yüz sayesinde programın kullanımı daha kolay hale getirilebilir. Ayrıca oluşturulan algoritmanın dinamik yapısı sayesinde programa yeni müşteriler tanımlanabilir, ya da var olanlar programdan çıkartılabilir.

KAYNAKÇA

- Bramel, J., Simchi-Levi, D. (1999). "The Logic of Logistics", Springer-Verlag, ABD.
- Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., Semet, F. (2002). "A guide to vehicle routing heuristics", *Journal of the Operational Research Society*, 53, 512-522.
- Fisher, M.L., Jaikumar, R. (1981). "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing", *Networks*, 11, 109-124.
- Holmberg, K., Rönnqvist M., Yuan, D. (1999). "An Exact Algorithm for the Capacitated Facility Location Problems with Single Sourcing.", *European Journal of Operational Research*, 113, 544-559.
- Ioannou, G., Kritikos, M.N. (2004). "A synthesis of assignment and heuristic solutions for vehicle routing with time windows", *Journal of the Operational Research Society*, 55, 2-11.

EKLER

Ek.1 RoadNet Haritası



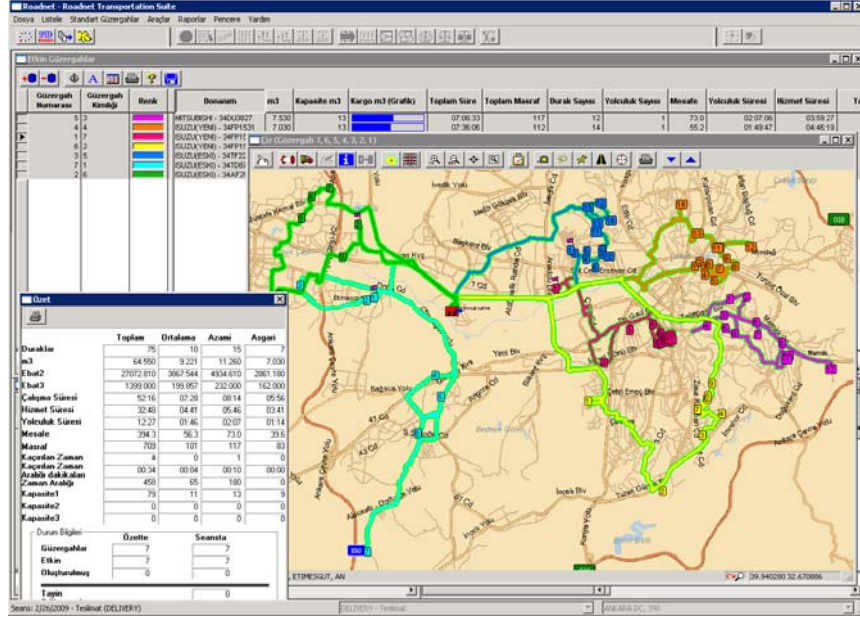
RoadNet Çıktısı (Kamyonlar)

Güzergah Numarası	Güzergah Renk	Renk	Donanım	m3	Kapasite m3	Kargo m3 (Grafik)	Toplam Süre	Toplam Mesaf	Durak Sayı	Yolculuk Sayısı	Mesafe	Yolculuk Süresi	Hizmet Süresi	Tan
1/7		MITSUBISHI	4.600	13		02:29:43	101	3	1	20,6	00:38:01	01:51:47		
2/6		ISUZU/VEHİ	12.470	13		06:25:39	114	11	1	64,9	02:05:18	06:20:17		
3/5		ISUZU/VEHİ	11.550	13		09:35:36	110	12	1	60,7	01:42:33	05:53:03		
4/4		ISUZU/VEHİ	10.030	13		08:40:07	112	10	1	66,5	01:53:50	06:46:17		
5/2		ISUZU/VEHİ	9.860	9		02:31:42	80	17	1	65,8	02:12:16	05:15:26		
6/2		ISUZU/VEHİ	8.800	9		07:09:34	86	9	1	55,5	01:51:27	04:10:07		
7/1		ISUZU/VEHİ	8.540	9		07:17:16	86	8	1	65,8	01:57:14	04:20:02		
							51:09:38	639	25	7	378,7	12:26:39	32:48:05	

	Toplam	Ortalama	Azami	Argan
Duraklar	75	10	17	3
m3	64.550	9.221	12.470	4.600
Ebat2	27072.818	3067.544	5213.250	1873.990
Ebat3	1290.090	190.067	305.000	162.000
Çalışma Süresi	51:09	07:18	08:40	02:29
Hizmet Süresi	32:48	04:41	05:53	01:51
Yolculuk Süresi	12:26	01:45	02:12	00:38
Mesafe	279,7	54,2	65,8	20,6
Mesaf	699	99	114	36
Kaçıran Zaman	0	0	0	0
Kaçıran Zaman	00:00	00:00	00:00	00:00
Araklı	0	0	0	0
Kapasite1	75	11	13	9
Kapasite2	0	0	0	0
Kapasite3	0	0	0	0

Durum Bilgisi	Üzette	Sonuçta
Güzergahlar	7	7
Etiler	7	7
Ülkehanlı	0	0
Yapın	0	0
Sıra	0	0
Hesaba Kaldırıldılar	0	0

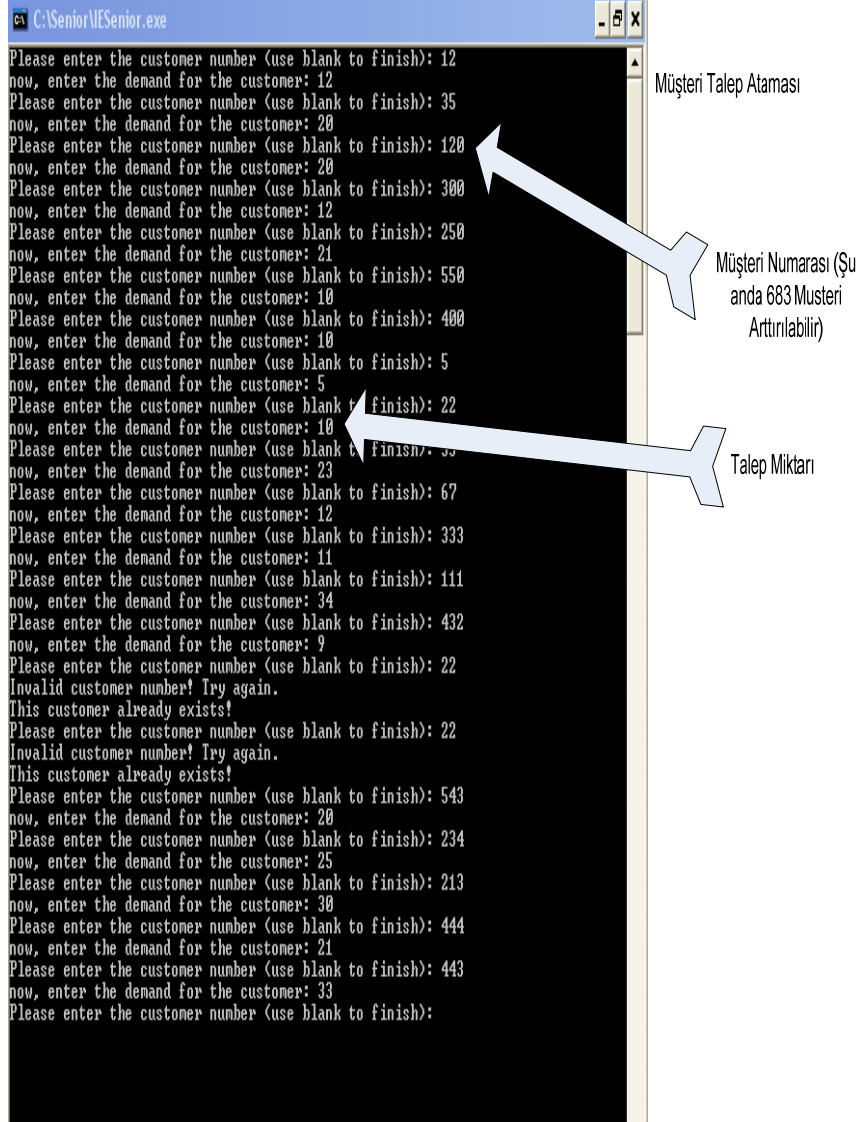
RoadNet Çıktısının Manuel olarak düzeltilmiş hali



Ek.2 Coğrafi kuş uçuşu uzaklık hesaplama formülü

$$\sqrt{[111x (enlem_1 - enlem_2)]^2 + [(boylam_1 - boylam_2) \times 111x \cos(40)]^2}$$

Ek.3 Arayüz



Ek.4 Programın çıktısı

```
TRUCK: 7 serves to customer: 324 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 172 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 266 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 280 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 296 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 281 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 342 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 319 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 301 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 298 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 299 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 464 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 429 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 420 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 74 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 404 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 195 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 7 serves to customer: 190 Truck Setup Cost: 21.152
TRUCK: 18 serves to customer: 17 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 229 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 437 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 191 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 186 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 187 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 181 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 117 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 614 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 84 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 12 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 65 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 18 serves to customer: 189 Truck Setup Cost: 42.528
TRUCK: 28 serves to customer: 645 Truck Setup Cost: 27.364
TRUCK: 28 serves to customer: 69 Truck Setup Cost: 27.364
LB: 144,28
Total Cost: 252.627
```

Tıbbi Sarf Malzemeleri Envanter Yönetimi ve Takip Sistemi

Ankara Güven Hastanesi

Proje Ekibi

Ozan Barışçıl
Muhammet Fatih Erken
Fatma İrk
Ahmet Oğuzhan Özlü
Samet Ensar Sarı
Alparslan Tuncay

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Mehmet Emin Erginöz, Ankara Güven Hastanesi,
İnsan Kaynakları ve Sistem Geliştirme Müdürü
Levent Galip Yeşil, Ankara Güven Hastanesi,
Eğitim ve Geliştirme Müdürü
Emel Gürçay, Ankara Güven Hastanesi,
Hemşirelik Hizmetleri Müdürü

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Nilgün Ferhatosmanoğlu, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Güven Hastanesi'nde tıbbi sarf malzemelerin kullanımının öncesi ve sonrasında malzemelerin doğru kayıt altına alınamaması ve bundan kaynaklanan kayıp miktarının belli olmaması hastane içerisindeki malzeme takibini ve sipariş yönetimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu projenin amacı, hastanedeki malzemelerin doğru kaydı sağlayacak bir malzeme takip sistemi geliştirip, bunun sonucunda elde edilen doğru verileri kullanarak mevcut sisteme entegre bir programla talep ve sipariş politikalarını belirlemektir. Bu sistemi örneklendirecek bir pilot uygulama gerçekleştirilerek sistemin iyileştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Barkodlama, malzeme takip sistemi, envanter yönetim sistemi, uç depo ve ana depo yönetimi.

1. Firma Tanıtımı

Ankara Güven Hastanesi, 1974 yılında Küçükkel ailesi tarafından Ankara'da kurulmuş ilk özel hastanelerden biridir. Toplumların gelişmişlik ölçütlerinden biri kabul edilen sağlık hizmetleri, her kesimden insana, dünyadaki en son gelişmeleri ve yenilikleri takip ederek sunmaktadır. Uzman kadrolarıyla, kaliteli hizmet verme ilkesi doğrultusunda, 35 yıl önce kurulmuş JCI (Joint Commission International) kalite ve hijyen standartlarına uygun olarak düzenlenmiş Ankara Güven Hastanesi Türk sağlık sektörünün hizmetine sunulmuş öncü hastanelerden bir tanesidir.

Hastanede ileri teknoloji ve cihazlarla donatılmış her türlü cerrahi girişimin yapıldığı toplam 8 ameliyathane bulunmakta ve 156 adet yatak kapasitesiyle hastaların ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Ayrıca hastanede Genel Yoğun Bakım, KVC Yoğun Bakım ve Yeni Doğan Yoğun Bakım üniteleri tam donanımlı olarak hizmet vermektedir.

Güven Hastanesi (2009) 35 senelik geçmişinde el değiştirmeden, finansmanını kendi öz kaynaklarından sağlayarak, sürekli hizmet portföyünü genişleterek modern tıbbın sunduğu olanakların tümünü kullanmakta ve sağlıkta kalite anlayışıyla hizmetlerine devam etmektedir.

2. Projenin Tanımı

Güven Hastanesi'nde kullanılan tıbbi sarf malzemeleri ihtisas ana depoda, ilaçlar eczanede, çarşaf ve benzeri tekstil ürünleri tekstil deposunda, kırtasiye gereçleri de paramedikal depoda saklanmaktadır. Ayrıca malzemelerden katlarda kullanılmak üzere belli oranlarda her katın kendine ait uç deposunda da depolama yapılmaktadır. Bu depoların kontrol ve yönetimi, malzemelerin hastane içerisindeki kullanımı ve takibi ile bağlantılı olarak gerçekleştirilmektedir. Hastane içerisinde özellikle tıbbi sarf malzemelerin kullanımını kayıt altına almakta, yani hastanede takibini yapmakta zorluklarla karşılaşmaktadır. Malzemelerin katlarda ne zaman, ne miktarda, hangi hastaya kullanıldığı bilgisinin manüel olarak kaydedilip, sonrasında da toplu olarak bilgisayar sistemine aktarılması sırasında yapılan hataların hepsi malzeme takibinin doğru olarak yapılmasına engel olmaktadır. Bunun sonucunda da depo yönetiminde aksaklıklar ortaya çıkmaktadır. Elde hangi malzemedен, ne kadar olduğunun doğru olarak bilinmemesi sipariş sisteminde temel bozukluklara, yanlış talep ve siparişte bulunmaya sebep olmaktadır.

Bu genel duruma bakılarak; tıbbi sarf malzemelerin hastane içerisindeki takibi ve ihtisas ana depo ile uç depolardaki talep ve sipariş politikalarının incelenmesi projenin kapsamı olarak belirlenmiştir. Tıbbi sarf malzemeler 14.000 kalemlik toplam malzeme havuzunun 679

kalemini oluşturmaktadır. Ancak, bunlar hastane içerisindeki kullanımı ve dolaşımı en yüksek olan malzemelerdir.

Karşılaşılan problemler malzeme takibi ve envanter yönetimi olmak üzere iki ana başlık altında toplandığı için projenin bu iki kısım çerçevesinde ilerlemesi kararlaştırılmıştır. Projenin birinci kısmının hedefi tıbbi sarf malzemelerin zaman, mekân, miktar ve kişi bakımından hastane içerisindeki takibini doğru olarak sağlamaktır. İkinci kısmın hedefi ise; uç depolardaki ve ana depodaki miktarları sürekli kontrol ederek, belli seviyelere gelindiğinde hangi malzemeden, ne zaman, ne kadar talep edilmesi veya sipariş verilmesi gerektiğini belirten bir politikanın oluşturulmasıdır. İki hedefte de oluşturulan programların mevcut bilgisayar sistemine entegre edilebilir olması gerekmektedir.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistem analizi

Mevcut sistem, sipariş edilen malzemelerin ana depoya gelişi, malzemelerin ana depodan uç depolara yollanması, malzemelerin hastalara kullanılması, uç depoların ana depodan malzeme talep etmesi ve malzemelerin satın alınma süreci olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır. Malzemelerin depoya ulaştırılması tamamen tedarikçilerin sorumluluğundadır. Tedarikçiler bu malzemelerin taşınması sürecinde hastaneye herhangi bir maliyet çıkarmamakta, taşıma sürecinde çıkan maliyetleri ürün fiyatlarına yansıtılmaktadır. Ancak, bu değişiklikler herhangi bir standarda göre gerçekleştirilmemektedir. Bu nedenle malzemeler için tam bir sipariş verme maliyetinin hesaplanması olanaksızdır.

Tedarikçiler malzemeleri ana depoya getirdiklerinde ana depoda bulunan görevli malzemeleri nicelik ve nitelik olarak inceleyerek ana depoya kabul etmektedir. Ancak, ana depoya kabul edilen malzemelerin bilgisayar sisteminde güncellenebilmesi için malzemelere ait irsaliyenin onaylanması gerekmektedir. Bu onay ise satın alma bölümünde gerçekleşmekte ve zaman zaman iki gün kadar sürebilmektedir. Bu süre içerisinde ana depoya kabul edilen malzemeler hastane içerisinde kullanılabilirdiği için bilgisayar sisteminde malzemelerin envanter seviyesi gerçek değerleri yansıtmamakla birlikte, bu değerler sıfırın altına dahi düşebilmektedir.

Ana depoya kabul edilen malzemeler uç depoların taleplerine göre porterlar (malzemeleri katlara taşıyan kişiler) aracılığıyla uç depolara ulaştırılmaktadır. Uç depolara giden malzemeler hangi malzemelerin yollandığını belirten bir formla birlikte gönderilmektedir. Porter, malzemeleri uç depoya getirdiğinde uç depoda herhangi bir kişi (hemşire, kat sorumlusu, vb.) bu malzemeleri sayıp formu imzalayarak talebi kabul ettiğini onaylamaktadır. Malzemelerin uç depolara getirildiğini, bilgisayar sisteminin üzerinden güncelleme yetkisi sadece

kat sorumlularında vardır. Uç depo ve ana depodaki malzemelerin envanter seviyesi kat sorumlusunun onayından sonra güncellenmektedir. Kat sorumlularının bu güncellemeleri geciktirmesi sonucunda uç depoda ve ana depoda bulunan malzemelerin bilgisayar sistemindeki envanter seviyesi gerçek değeri göstermeyebilmektedir. Bu durumun sonucunda uç depolar ellerinde olandan fazla malzeme kullanmış gibi gözükmekte ve malzemelerin uç depolardaki envanter seviyeleri sıfırın altına dahi inebilmektedir.

Uç depolarda malzemeler hastanın ihtiyacına göre kullanılmakta ve kullanılan malzemeler hasta kayıt formlarına elle işlenmektedir. Gün sonunda ya da gün başında tıbbi sekreterler bu kayıtları bilgisayara toplu geçirmekte ve bu işlemden sonra malzemelerin uç depodaki envanter seviyeleri güncellenmektedir; yani eş zamanlı güncelleme mümkün değildir.

Uç depolarda malzemelerin miktarı azaldıkça ana depoya talepte bulunmaktadır. Ancak, talep yapılırken herhangi bir sistem kullanılmamakta, tamamen kat sorumlusunun gözlem ve kişisel tecrübesine dayanmaktadır. Bunun sebebi de bilgisayar sisteminin tam olarak gerçekteki malzeme sayısını yansıtmaması ve otomatik bir sipariş verme sisteminin bulunmamasıdır. Uç deponun talebi karşılanırken, talep edilen miktarın geçmiş verileri göz önünde bulundurulmaktadır. Eğer ana depoda yeterince malzeme yoksa; ana depo satın alma departmanından bu malzemeleri sipariş etmektedir. Ancak, sipariş miktarları ve zamanları da belli bir sisteme bağlı değildir. Tedarikçilerin sunabileceği fırsatlara göre satın alınan miktarlar artabilmekte ya da azalabilmektedir. Yine de deponun yeterince büyük olmamasından dolayı fazla miktardaki siparişler problem oluşturmaktadır. Mevcut durumun akış şeması Ek 1'de bulunmaktadır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

3.2.1 Malzeme takip sistemi için performans ölçütleri ve hedefler

Bilgisayar sisteminde görülen malzeme miktarı ile fiziki miktar arasındaki fark, malzeme takip sistemi için performans ölçütümüzdür. Hedefimiz ise bu bilgiler arasındaki farkın ortadan kaldırılmasıdır. Bunu başarmak için gereken alt hedefler; hemşire ve tıbbi sekreterler tarafından bilgisayar sistemine yanlış bilgi girilmesinin engellenmesi, talep edilen ve siparişi verilen malzemelerin alımları esnasında malzeme miktarının eş zamanlı güncellenmesini sağlamaktır.

3.2.2 Envanter yönetim sistemi için performans ölçütleri ve hedefler

Herhangi bir malzemenin hemşireler tarafından uç depodan veya uç depo tarafından ana depodan talep edildiği anda yeterli miktarda fiziki olarak hastanede bulunma oranı envanter yönetim sistemi için birincil performans ölçütümüzdür. Ana depo ve uç depoların doluluk oranları ve ana depo ile uç depo arasındaki malzeme iletimini sağlayan

porterların yoğunluğu diğer performans ölçütlerimizdir. Hedefimiz talep edilen malzemenin istenilen miktarda istenilen yerde fiziki olarak bulunmasını sağlayacak envanter yönetim sisteminin geliştirilmesi ve bu sistemin en az maliyetle yönetilmesidir. Alt hedefimiz ise uç depo sipariş sisteminde kullanılan porterların kullanım yoğunluğunun düşürülmesi ve böylece hastane içi taşıma trafiğinin azaltılmasıdır.

4. Önerilen Yöntemler

Analiz kısmında belirtilen problemlerin çözülebilmesi amacıyla çözüm yollarını ikiye ayırdık. Öncelikle malzemelerin takip sürecinin iyileştirilmesi ve doğru verilere ulaşılması gerekmektedir. Doğru veriler elde edildikten sonra malzemelerin ana depo ve uç depolardaki talep ve sipariş süreçleri belli bir sipariş politikasına bağlı hale getirilebilir.

4.1 Malzeme takip sistemi

4.1.1 Önerilen sistemle ilgili bazı terimler ve yenilikçi uygulamalar

1. “Barkodsuz malzeme sekmesi”, barkodlamaya uygun olmayan malzemelerin KIOSK sisteminde eklendikleri ve kullanıcının o malzemelere ulaşabildiği sekmedir.
2. “Geçici envanter seviyesi”(GES), malzemelerin takibini ve tedarik sürelerinin doğru ölçümünü sağlamak amacıyla tasarlanmış, mevcut malzeme yönetim programına entegre edilmiş ve eş zamanlı olarak doğru envanter seviyesini gösteren ek bir bilgidir.
3. “KIOSK takip sistemi”, bir bilgisayar ve dokunmatik ekrandan oluşan, hastaya kullanılan malzemenin kaydını tutmayı ve envanter seviyelerini eşzamanlı güncellemeyi sağlayan interaktif bir sistemdir.
4. “Talep barkodu”, uç deponun karşılanan talebindeki malzeme isim ve miktarlarının tutulduğu, özgün sipariş numaraları referans alınarak oluşturulan barkod çeşididir.

4.1.2 Yeni sistemin işleyişi

Mevcut sistemden farklı olarak ana depo sorumlusu, depoya gelen malzemeleri satın alma bölümünün irsaliye onayını (yaklaşık 2 gün) beklemeden, bilgisayar sistemi üzerinden kabul eder. Buna ek olarak malzeme miktarlarını GES kolonunda günceller. GES, malzemelerin depoya ulaştıkları anda ana depo değerlerinin güncellenmesini ve tedarik sürelerinin tam olarak hesaplanmasını sağlar. Bu sütunun işleyişi Ek 2’de örneklendirme ile gösterilmiştir.

Sisteme kayıt edilen malzemeler, barkodlu olup olmamalarına göre gruplandırılırlar. Barkodsuz malzemelerden uygun olanlar barkodlanır, uygun olmayanlar KIOSK ekranındaki “barkodsuz malzemeler” sekmesine bir defaya mahsus eklenir. Sonrasında tüm ürünler raflara yerleştirilir.

Uç depolardan gelen talep miktarlarına göre ana depoda hazırlanan malzemeler talep barkoduyla beraber porter aracılığı ile uç

depolara ulaştırılır. Uç depoda talep barkodu porter tarafından kat sorumlusu kontrolünde KIOSK ekranına okutulur. Bu işlem sonrasında malzemeler ana deponun sisteminden düşürölüp, uç deponun envanter miktarına eklenmektedir. Kat sorumlusunun onayını bekleme mekanizması ortadan kaldırılmış, bu süreçteki iş yükü azaltılmıştır. Ek 3'te talep barkodunun bir örneği bulunmaktadır.

Kullanılan tıbbi sarf malzemelerin kaydında, bilgisayar sistemi ve kullanıcı açısından süreç değişiklikleri yapılmıştır. KIOSK ekranına "KIOSK takip sistemi" adında yeni bir ara yüz eklenmiştir. Bu ara yüz kullanılarak tedavi uygulanacak hastanın ekranı açılıp, kullanılacak malzemeler barkod okutma yöntemiyle hastanın malzeme sepetine eklenir. Barkodu olmayan malzemeler ise "barkodsuz malzemeler" sekmesinden seçilerek sepete eklenmeye devam edilir. Her hemşire kendi şifresiyle sepetteki malzemeleri onayladığı anda, uç ve ana depo envanter seviyeleri eşzamanlı olarak güncellenir. KIOSK sistemi kullanıcı dostu olmasına rağmen; hemşirelerin yeni sisteme uyumlu çalışabilmeleri için belli bir eğitimden geçmeleri gerekmektedir. Bu eğitimler hastanenin insan kaynakları bölümü tarafından hazırlanabilmektedir, böylece hastane kendi iç kaynaklarıyla uygulamayı gerçekleştirebilecektir. Yeni bilgisayar sistemi ve eğitimler sonucu hemşirelerin sistemle uyumlu çalışmaları elle yapılan kayıt hatalarını asgari seviyeye indirecektir. Tıbbi sekreterler de kayıt aşamasından çıkarıldığı için süreçte hızlanma gözlenmiştir. Süreci daha da hızlandırmak adına hemşireler bir hastaya uygulanacak malzemeleri toplamak için uç depoya birden fazla gidiş engellemek amacıyla ufak bir sepet kullanabilirler. Bu sistemin akış şeması Ek 4'teki gibidir.

Malzemeler envanter sisteminde belli seviyeye geldiklerinde envanter yönetimi sisteminde belirtilen politikalara göre ana depodan talep edilir. 4.2'de ayrıntılı olarak incelenecektir.

4.1.3 Alternatif yenilikçi çözüm - otomat sistemi

Malzemeler uç depolarda yiyecek otomatı tarzında bir otomata yerleştirilir. Hemşireler malzemeleri kullanacağı zaman malzemenin otomat numarasını tuşlar. Malzemeler düşerken onları gören bir sensor bilgisayar sistemine hangi malzemenin kullanıldığını bildirir. Böylece kullanılan malzemelerin hem miktarı hem de türü kapalı bir sistem tarafından kontrol edilip, hata miktarı en aza indirilir. Bu sistemde önemli olan sensorun hata oranının düşük olmasıdır. Göz, malzemeler her düştüğünde doğru kontrolü yapabilmelidir. Mevcut durumda mali sebeplerden, malzemelerin farklı yapılarda olmasından ve hacim kısıdından dolayı otomat sisteminin kullanılması çok zordur.

4.2 Envanter yönetim sistemi

Bu sistem başlıca iki kola ayrılmaktadır. Birincisi uç depolardaki, ikincisi ise ana depodaki envanter yönetim sisteminin belirlenmesidir.

4.2.1 Uç depo

Burada karar verilecek asıl konu, hastane içindeki talebe bağlı olarak her uç depoda her bir ürün için ana depodan hangi şartlar altında talepte bulunulacağını belirleyen politikanın oluşturulmasıdır.

Uç depolarda bulunan malzemeler yıllık talep değerleri açısından aynı karakteristiği göstermemektedir. Örneğin, birçok ürüne çok nadir ihtiyaç duyulurken (yıllık 20 adetten daha az) bazı ürünlere olan ihtiyaç çok fazla olmaktadır (yıllık 5000'den fazla). Bu nedenle malzemelerin sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Buna göre uç depolarda bulunan malzemeler Tablo 1'de görüldüğü gibi A,B ve C olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Her bir grup için farklı bir envanter politikası belirlenmiştir. A grubu malzemeleri için (S,c,s) envanter politikası, B grubu için kanban politikası uygun görülmüştür. C grubu malzemeler ise uç depolar yerine ana depoda bulundurulacaktır.

Tablo 1. Gruplardaki malzeme sayıları ve toplam kullanım oranları.

Malzeme Sınıfı	Malzeme çeşidi sayısı	%'lik kullanım
A Grubu	41 çeşit (%18)	% 95
B Grubu	41 çeşit (%18)	% 3,3
C Grubu	148 çeşit (%64)	% 1,7

(S,c,s) politikasında, herhangi bir malzeme s seviyesine ulaştığında, c-s aralığında bulunan bütün malzemeler belirlenir ve o aralıkta bulunan tüm malzemeler için, onları S seviyesine çıkaracak kadar talep edilir ($s < c < S$). Kanban politikasında ise herhangi bir malzemeden uç depoda sadece birer adet bulundurulur ve bu malzeme kullanıldığında ana depodan hemen tedarik edilir. Böylece B grubu malzemeler her an uç depolarda bulunacaktır. C grubu malzemeler ise ana depoda tutulmaktadır, uç depolarda talep oluştuktan sonra ana depolardan uç depolara taşınmaktadır.

A grubu malzemeler için kullanılan (S,c,s) politikasının S, s ve c değerleri için duyarlılık analizleri ve benzetimleri yapıldı. "s" ve "c" değerleri için en uygun sayıları belirlerken porterin ana depodan uç depoya gidiş sıklığı ve süresi göz önünde bulunduruldu. Porterin gidiş sıklığını en aza düşürecek "c" ve "s" değerleri bulunmaya çalışıldı. Bu sayıyı bulabilmek için s değeri, malzemelerin yarım günlük, bir günlük ve iki günlük kullanım miktarları olarak alındı ve benzetim sonucunda en uygun değer malzemelerin bir günlük kullanım miktarları olması gerektiğine karar verildi. "c" değerleri s değerlerinin 1; 1,5; 2; 3 ve 4 katı olarak alındı ve en uygun değer s değerinin 1,5 katı olması gerektiğine karar verildi. Bu değerde hem uç depoda malzemelerin her an bulunabilmesi sağlanmış oldu, hem de porterin kapasitesi aşılmamış olundu. S değerleri belirlenirken aşağıdaki formül kullanıldı:

$$V_i * S_i = \frac{V_i * Y_i}{\sum_{x \in A_grubu_malzemeler} V_x * Y_x} * (Depo_Hacmi - \sum_{z \in B_grubu} V_z)$$

$$S_i = \text{Malzeme_i'nin_S_degeri}$$

$$V_i = \text{Malzeme_i'nin_hacmi}$$

$$Y_i = \text{Malzeme_i'nin_ortalama_yullu_talebi}$$

Malzemeler şu şekilde gruplara ayrıldı. A grubunda bulunan malzemeler ortalama günlük talebi 1 adetten fazla olan ürünler, B grubunda bulunan malzemeler ortalama günlük talebi 1 adetten az ortalama haftalık talebi bir adetten fazla olan malzemeler, C grubundaki malzemeler ise ortalama haftalık talebi 1 adetten daha az olan malzemeler olarak belirlendi. Ayrıca malzemelerin analizleri sırasında bazı malzemelerin ortalama haftalık talebi 1 adetten az olmasına rağmen bu malzemelere acil ihtiyaç duyulabilmektedir ve bu nedenle bu malzemeler B grubuna dahil edildi.

Yukarıda belirtildiği gibi malzemelerin sınıflandırılması sırasında iki tane sınır belirlendi. İlk olarak, B grubunda bulunan malzemelerin ortalama günlük talebinin en fazla 1 adet olması üst sınır olarak belirlendi. Eğer üst sınır 1 adetten fazla olursa bu porterin günde bir defadan fazla uç depoya gitmesine yol açacaktır. Mevcut durumda porterin uç depolara günde bir defa gittiği göz önünde bulundurulursa bu durum porterin mevcut trafiğini artıracaktır. Alt sınır ise B grubunda bulunan malzemelerin ortalama haftalık talebinin en az 1 adet olması olarak belirlendi. Mevcut uç depo hacimleri göz önünde bulundurulduğunda alt sınırın 1 adetten daha az olması durumunda kapasite yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, alt ve üst sınır belirlenirken yapılan benzetim çalışmaları ve verilerin analizleri sonucunda gözlenen malzemelerin yıllık talepleri arasındaki uçurumlar da göz önünde bulunduruldu.

4.2.2 Ana depo

Ana depo için geliştirilecek model uç depolar için geliştirilenden farklıdır. Ana depoda bulunan bilgisayar sisteminin, envanter sistemini sürekli takip edebilmesi (Q,R) politikasını uygun hale getirmektedir. (Q,R) politikasının kullanıldığı model Ek-6'da gösterilmiştir. Bu model, malzemelerin hacimlerini, uç depolardaki kullanım miktarlarının dağılımlarını ve tedarik sürelerini göz önünde bulundurarak, malzemelerin sipariş miktarlarını ve sipariş verilme anını belirten kritik seviyelerini belirler. (Q,R) politikasına göre bir malzemenin envanter seviyesi R miktarına indiğinde tedarikçilere Q miktarında talep iletilir. Burada önemli olan, Q ve R seviyelerini öyle bir belirlemektir ki, nakliyat süresi boyunca hastanenin malzeme talepleri belli bir servis seviyesine göre karşılanabilsin (yani sipariş ana depoya ulaştırılana

kadar, ana depodaki malzeme miktarı hastanenin o süredeki talebini, yüksek bir olasılıkla karşılayabilecek seviyede olmalıdır).

(Q,R) modeli doğrusal bir model olmadığı için çözümü doğrusal modelleri çözebilen programlarla sağlanamamaktadır. Bu sebeple modelin çözümü için aşamalı bir yöntem kullanılmaktadır. Ek 7'de modelin çözüm aşamaları gösterilmiştir.

Sonuç olarak uç depolar ile ana depo için uygulanması planlanan envanter politikaları farklılık göstermektedir. Ana depodaki malzemeler, uç depolardaki gibi belli bir sınıflandırmaya tabii tutulmamıştır. Dolayısı ile ana depodaki malzemelerin tümü için (Q,R) envanter politikası uygulanacaktır.

Ana deponun sipariş politikasının analizi aşamasında önümüze çıkan problem sipariş vermenin maliyetini (K değeri) hesaplamakta zorluk çekilmesidir. K değerinin hesaplanmasında zorluk çekilmesinin sebebi tedarikçilerin malzemeleri taşıma maliyetini kendi üzerlerine almaları ve bu maliyeti ürün maliyetlerine yansıtılabilmeleridir. Tedarikçilerin malzemeleri taşıma maliyetlerini kendi üzerlerine almaları ve malzemelerin sipariş süreçlerinin hastane içerisinde tamamen aynı şekilde olması nedeniyle K değerinin bütün malzemeler için aynı olduğuna karar verilmiştir. Hastanede satın alma bölümündeki yetkililerle yapılan görüşmeler ve hastane içinde yapılan araştırmalar sonucunda K değeri 2.12YTL olarak belirlenmiştir. Ayrıca, K değeri için alt ve üst sınır değerleri hesaplanmıştır. Alt sınır belirlenirken sadece hastanede yapılan en temel harcamalar göz önüne alınmıştır ve K değerinin alt sınırdan daha düşük olması çok düşük bir ihtimaldir. Üst sınır belirlenirken bir sipariş için gerekli olabilecek en yüksek maliyetler göz önünde bulundurulmuştur ve K değerinin çok yüksek bir ihtimalle bu değer üstünde olması mümkün değildir. Buna göre alt sınır 0.5YTL ve üst sınır 6YTL olarak belirlenmiştir. Alt ve üst sınırlar belirlendikten sonra bu sınırlar arasındaki değerler alınarak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Değişik K değerleri için Ek-5'de yer alan modelin çözüm aşamaları kullanılarak Q ve R değerleri hesaplanmıştır. Buna göre değişik K değerlerinde çözümün dördüncü adımında bulunan geçici Q değerleri farklılık gösterebilir dahi, çözümün son aşamasında elde edilen son Q değerleri değişik K değerlerine göre çok büyük farklılıklar göstermemektedir. Dördüncü aşamada bulunan Q değerleri beşinci aşamada bulunan Q değerlerinden yüksek değerlere sahiptir. Bunun sebebi de şu anda hastanenin sahip olduğu ana deponun olması gerekenden çok daha küçük depo hacmine sahip olmasıdır. Bu yüzden beşinci aşamada depo hacim limitinin eklenmesi ve K değerinin bütün malzemeler için aynı olması sebebiyle dördüncü aşamada ortaya çıkan geçici Q değerleri K değerine karşı duyarlılık gösterirken, beşinci

aşamada elde edilen Q değerleri K değerinin değişimine karşı duyarlılık göstermemektedir.

(Q,R) modelinin kullandığı diğer bir girdi ise envanter tutmanın birim maliyetidir(h). Ana depoda yapılan gözlemler sonucunda depoda tutulan envanterlerin depoda kaldığı süre içerisinde herhangi bir bakıma ihtiyaç duymadığı görülmüştür. Ayrıca, malzemelerin depoda bekleme süreleri çok kısa olduğundan ürünlerin kullanılabilirliğine herhangi bir zarar gelmemektedir. Ancak, depoda bekleyen malzemeler için fırsat maliyetleri bulunmaktadır. Bu nedenle, h değeri, malzemelerin birim fiyatları ve faiz haddi göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

5. Uygulama ve Benzetim

Uygulama aşaması iki farklı şekilde gerçekleşecektir. Malzeme takip sistemi için KIOSK makinesi, barkod üretme ve yapıştırma makinesi hastanede vardır, sisteme uyumlu yeni bir kullanıcı ara yüzü geliştirilmesi ve yazılıma eklemeler yapılarak güncellenmesi gerekmektedir. Malzeme yönetim sistemi ile ilgili olarak da, sistem içerisinde talep ve sipariş politikalarının uygulanabileceği yazılım altyapısının ve kullanıcı ara yüzünün oluşturulması ve sisteme bütünleşmiş bir şekilde modellenmesi gerekmektedir.

5.1 Pilot uygulama

Malzeme takip sistemi pilot uygulaması 16 Mart 2009 tarihinde A Blok 3. kat uç deposunda başlamıştır. Mevcut ana depoda barkodlamaya uygun alan ve yeterli çalışan bulunmadığı için barkodsuz malzemeler barkodlanamamış bu sebeple pilot uygulamayla ideal sistem tam anlamıyla örtüşmemiştir. Devam eden yeni depo inşaatı tamamlandığında bu sorun ortadan kalkacaktır.

Ana depoda yapılan çalışmalar sonucunda 689 kalem tıbbi sarf malzemenin %30,7'sinin barkodlu, %50,2'sinin de barkodsuz olduğu tespit edilmiştir. Barkodlu malzemeler sisteme kayıt edilmiştir. %19,1'lik malzeme grubu ise depoda tutulmadan katlara gittiği için incelenememiştir. Pilot uygulama için KIOSK makinesi ve içerisindeki yazılım, malzeme takip sistemi için uygun formata getirildi ve pilot uygulama boyunca kullanılan yeni ara yüz geliştirilip daha kullanışlı hale getirildi. Barkodlu malzemeler ideal sistemde belirttiğimiz gibi barkodları okutularak takip altına alınırken, mevcut sistemdeki tüm barkodsuz malzemeler ideal sistemdeki "barkodsuz malzemeler sekmesi"ne yüklenmiştir ve bu şekilde süreç işlemiştir. Bunun dışında hemşirelere yeni süreçle ve pilot uygulama ile ilgili bilgilendirme yapıldı. 16 Mart tarihinden bu yana gelen aşamada hemşirelerin sisteme alışma süreci devam ettirilmekte ve hatalı işlemlerle ilgili güncellemeler sürmektedir.

6 haftadır süren pilot uygulama sonuçlarının mevcut durumla karşılaştırılması sonucunda barkodlama sisteminin hastane malzeme

takip sistemini belirgin şekilde iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Karşılaştırma hesap ve değerleri Ek 5’de gösterilmiştir. Ancak buna ek olarak hemşireleri eğitime ve onları yeni sisteme alıştırmada konusunda çok fazla sıkıntı çekildiği görülmüş ve İnsan Kaynakları bölümüyle yeni politikaların uygulanmasına karar verilmiştir.

Süreçler tam olarak oturtulduktan sonra, malzeme takip sisteminin tüm hastane genelinde uygulanacağı öngörülmektedir.

5.2 Envanter yönetim sistemi uygulaması

Malzeme yönetimi kısmıyla ilgili uygulamaya henüz başlanamamıştır. Çünkü uygulamaya başlamak için malzeme takip sisteminin doğru sonuçlar verdiğinden emin olmak gereklidir. Uygulamanın başlaması için öncelikle hastanenin kullandığı mevcut program içerisinde gerekli görsel ve yazılımsal altyapı sağlanmalıdır. Sonrasında malzeme takip sisteminin güvenli verileri verdiğinden emin olduğumuz noktalarda(yaklaşık 4 ay sonra) pilot uygulama başlayacaktır. Sonuç olarak bir sene içerisinde hastanenin veri tabanında tutulan bilgiler modeller tarafından kullanılarak, envanter yönetim sistemi için gerekli girdilerin son hesaplamaları yapılacaktır. Ancak, malzemelerin taleplerinde oluşabilecek çeşitli dalgalanmaların modelin işlevselliğine zarar vermemesi amacıyla sistemdeki girdiler periyodik olarak güncellenecektir.

6. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

Bu projenin amacı kısaca, hastane içerisinde dolaşımı en fazla olan tıbbi sarf malzemelerin takibini en iyi şekilde gerçekleştirmek ve envanter yönetimini servis seviyelerini göz önünde bulundurarak belli bir sisteme bağlamaktır.

Pilot uygulama sonucunda malzeme takip sisteminde gerçekleştirilen iyileştirmelerin küçük bir kısmı Ek-5’de gösterilmiştir.

Envanter yönetim sistemi için alt yapı hazır olmasına rağmen henüz bir pilot uygulama başlanamamıştır. Pilot uygulamaya başlanabilmesi için malzeme takip sisteminin uygulanması sonucunda elde edilecek güvenli verilerin kullanılmaya başlanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

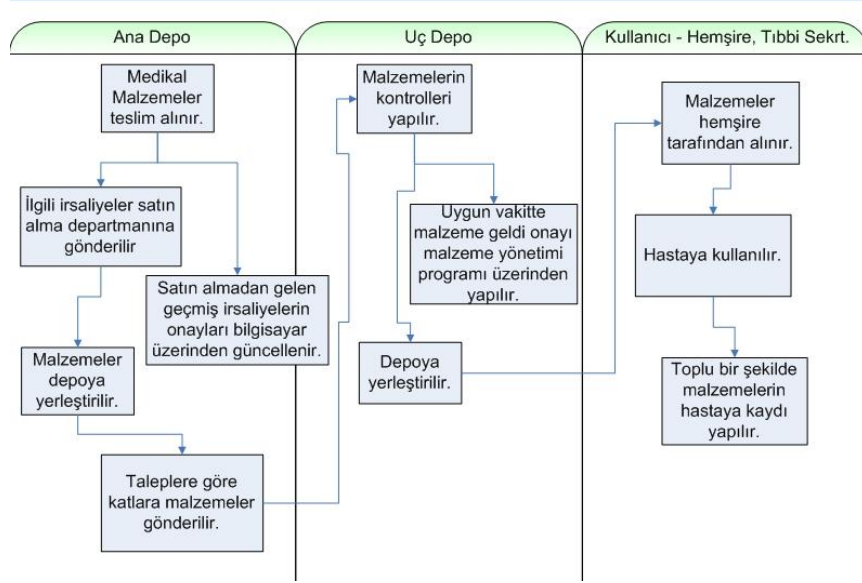
- Ankara Güven Hastanesi (2009), <http://www.guven.com.tr>, Son Erişim Tarihi: 17 Nisan 2009.
- Pantumsinchai, Pricha. (1990). "A Comparison of Three Joint Ordering Inventory Policies", Chicago.

EKLER

Ek 1. Mevcut durum akış şeması

Tıbbi Sarf Malzemeleri Takip Sistemi
Güven Hastanesi

Mevcut Süreç Şeması



Ek 2. Geçici Envanter Sistemi

	Envanter Seviyesi	GES
1.Durum	20	20
2.Durum(100 birim malzeme ulaştı.)	20	120
3.Durum(İrsaliye onayı gerçekleşti.)	105	105

Ek 3. Talep Barkodu

Güven Hastanesi A Blok 3. kat

Uç Depo Talep Listesi

5ml Enjektör 20 adet
10ml Enjektör 10 adet
Nonsteril Eldiven 200 adet
3 Yollu Musluk 30 adet

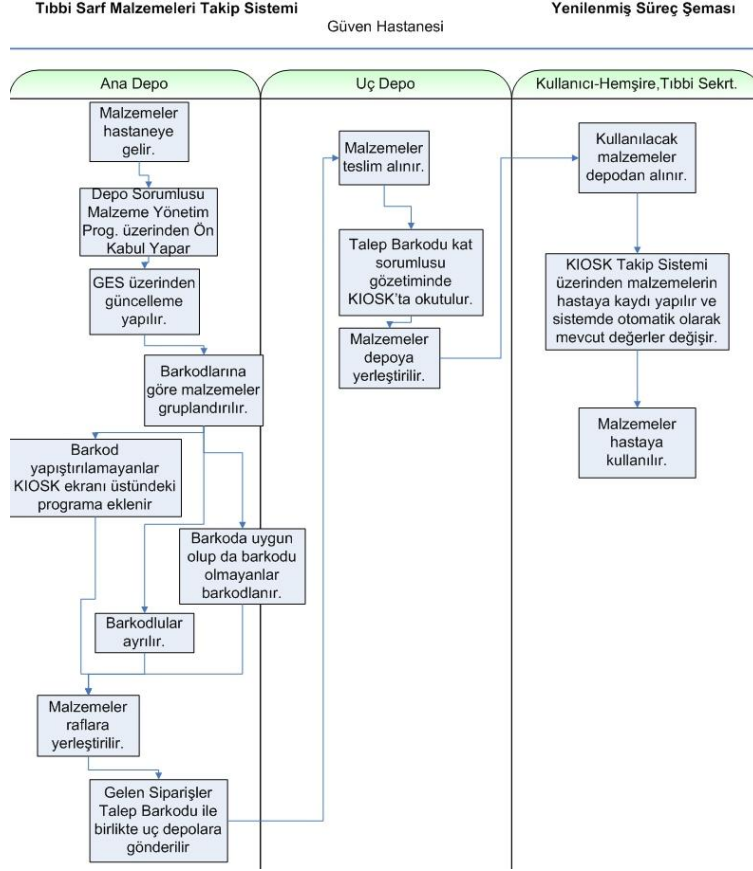
....

....

....



Ek 4. Önerilen sistemin akış seması



Ek 5. Eski ve yeni sistemin anlık ortalama düzeltme miktarlarının karşılaştırılması.

Malzemenin adı	15 Mart Düzeltme Miktarı	8 Nisan Düzeltme Miktarı	Düzeltme Miktarları Oranı
Abeslang	8	1	8
Bandaj Elastik 10cm	1	3	0,33
Bone	88	3	29,33
Enjektör 10ml	78	21	3,71
Enjektör 5ml	89	12	7,41
Intraket 20g pembe	13	18	0,72
Musluk 3yollu	8	31	0,25
Set serum	23	16	1,43

Ek 6. (Q,R) modeli

$$\min \sum_{i=1}^N [h_i * (Q_i / 2 + R_i - \lambda_i * \tau_i) + K * (\lambda_i / Q_i)]$$

* Amaç fonksiyonu sipariş verme ve envanter tutma maliyetini en aza indirmektedir.

$$\text{s.t.:} \quad (1) \quad n(R_i) / Q_i \leq (1 - \beta) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

* Bu kısıt malzemelerin ihtiyaç duyulduğu anda depoda bulunmasını belirli bir servis seviyesinin üstünde olmasını sağlamaktadır.

$$(2) \quad \sum_{i=1}^N [V_i * (Q_i + R_i - \lambda_i * \tau_i)] \leq W \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

* Bu kısıt ana deponun hacminin aşılmamasını sağlamaktadır.

$$(3) \quad Q_i \geq 0, \quad R_i \geq 0$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N$$

I : faiz oranı

K : sipariş maliyeti

c_i : Malzeme i 'nin birim maliyeti

h_i : $I * c_i$: Envanter tutma maliyeti

R_i : Malzeme i için sipariş noktası

W : Ana deponun kapasitesi

λ_i : Malzeme i 'nin birim zamandaki talebi

V_i : Malzeme i 'nin hacmi

τ_i : Malzeme i 'nin tedarik süresi

Q_i : Malzeme i 'nin sipariş miktarı

β : Memnuniyet Seviyesi

$n(R_i)$: Malzemeye ihtiyaç duyulduğu anda elde olmayan ortalama miktar

$$n(R) = \int_R^{\infty} (x - R)f(x)d(x)$$

$f(x)$: günlük talebin yoğunluk fonksiyonu

Ek 7. (Q,R) modelinin çözüm aşamaları

Formül 1:

$$Q = (n(R) / [1 - F(R)]) + \sqrt{(2 * K * \lambda / h) + (n(R) / (1 - F(R)))^2}$$

Formül 2 :

$$n(R) = (1 - \beta)Q$$

1. Adım: $Q_0 = \text{EOQ}$;

2. Adım: İkinci formülde Q_0 kullanarak R_0 bulunur. ;

3. Adım: Birinci formülde R_0 kullanılarak Q_1 bulunur.

4. Adım: Q ve R değerleri birbirine bir birimden daha yakınsa işlem sona erer,

Değilse, formüller kullanılarak hesaplamalara devam edilir ve Q ve R değerleri birbirine bir adımdan daha yakın olunca durulur.

5. Adım:

$$Q_i = Q_i * W / (\sum_{i=1}^N V_i * Q_i) \quad W: \text{Ana deponun kapasitesi}$$

Formülü kullanılarak Q değerleri tekrardan hesaplanır.

Boru Üretim Hattı için Çizelgeleme ve Görsel Takip Sistemi Tasarımı

MAN Kamyon ve Otobüs Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Semih Coşkun
Aslıgül Serasu Duran
Özlem Erdem
Özgür Karakaya
Nihan Özulu
Anıl Yıldırım

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Kartal Erköy, MAN Kamyon ve Otobüs A.Ş.,
Üretim Sistemleri Yöneticisi, Proje Müdürü

Akademik Danışman

Prof. Dr. Selim Aktürk, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

MAN Türkiye'nin boru üretim hattında bir çizelgeleme algoritmasının eksikliği, üretim planlamayı ve toplam üretim sürelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Proje dahilinde hızlı ve kapasite hedeflerine uygun kararlar veren bir çizelgeleme karar destek mekanizması Java programlama dili ve Microsoft Excel veritabanı kullanılarak geliştirilmiş ve görsel destek sisteminin altyapısı oluşturulmuştur. Çizelgeleme sistemi bir kullanıcı arayüzüyle desteklenmiştir. Algoritmanın kullanımıyla hat dengeleme ve üretim çizelgeleme operasyonları daha hızlı ve sistematik bir hale gelmiştir. Sonuç olarak toplam üretim zamanında %26'lık, normal üretim süresi içerisinde yetiştirilebilen sipariş miktarında ise %37'lik iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çizelgeleme, ANDON, sezgiseller, toplam üretim zamanı, karar destek mekanizması, sıra-bağımlı takım değiştirme süresi.

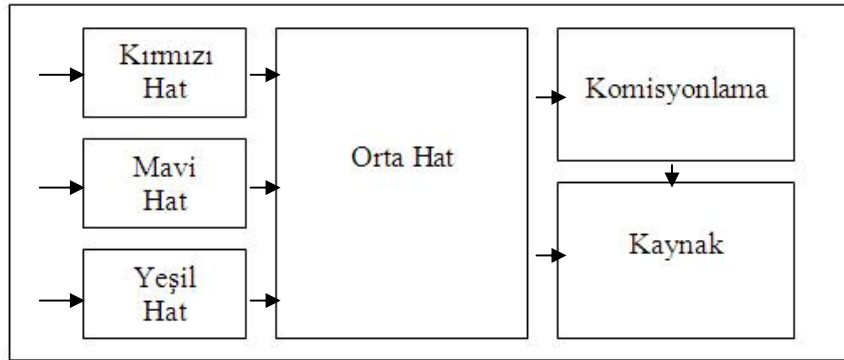
1. Firma Tanıtımı

MAN Türkiye, 1966 yılında kurulmuş olup, ürettiği otobüsleri bugün 41 ülkeye ihraç etmektedir. İlk kez 2000'in üzerinde komple otobüs üretimi gerçekleştiren şirket, 2007 yılında 330 milyon euro ciro elde etmiştir.

MAN AG, yalın üretim çalışmalarını, tüm fabrikalarında, pilot çalışmalarla sürdürmektedir. MNPS adını verdikleri bu iyileştirme çalışmaları, 2007–2008 itibarı ile MAN Türkiye fabrikasında da başlamış olup, üretim süreçlerinde verimliliği %17 oranında artırmıştır. MNPS'in yoğun olarak uygulandığı departmanlardan olan boruhane, tek parça akışa ve günlük üretim uygulamasına geçerek, stokları en aza indirmeyi hedeflemektedir. Üretim alanında yerleşim çalışmaları, ek bir makinenin alınması ve üretim kartlarının düzenlenmesi ile destek olunacak sistem, artan taleple beraber, günlük kapasiteyi 8 otobüsten 12 otobüse ulaştırmayı hedeflemektedir.

2. Projenin Tanımı ve Mevcut Sistem Analizi

2.1 Boru üretim akışı



Şekil 1. Boru üretim hattı üretim akışı.

Ham borular ilk olarak kırmızı mavi ve yeşil hatlarda (Şekil 1) kesme ve bükme operasyonlarından geçerler. Bu hatlardan çıkan parçalar, orta hatta bulunan şekillendirme makinelerinde işlem gördükten sonra, işlem gerekliliğine göre kaynak istasyonuna giderler veya bu istasyona uğramadan doğrudan komisyonlanarak otobüs üretim bandına gönderilirler.

Kırmızı, yeşil ve mavi hatlar aynı işlemlerin (kesme ve bükme) gerçekleştiği hatlardır; ancak bu hatlarda bulunan makinelerin bükme kapasiteleri (boru çapı ve/veya bükme yarıçapına göre) birbirinden farklılık gösterebilmektedir (Ek 1).

Kaynak istasyonunda birbirine eşdeğer 4 adet kaynak tezgahı bulunmaktadır.

2.2 Semptomlar ve problemler

Boru üretim hattında gözlemlenen semptomlar iki ana başlık altında sıralanmaktadır.

2.2.1 Senkronizasyon

Siparişler on günlük olarak alınıp takım değiştirme sayısını azaltacak şekilde günlere bölünmektedir. Bölünmüş bu siparişler günlük olarak operatörler tarafından çizelgelenir. Bu çizelgelemeye göre borular üretimde gruplar halinde akmaktadır. Operatörler siparişleri boru çapı ve ham madde tiplerini esas alarak gruplar. Bu gruplamayı yaparken kaynak işlemine ihtiyaç duyan parçaları kendi içlerinde bir araya getirerek bunlara yüksek öncelik tanırlar. Operatörlerin kaynaklanacak parçaları kendi içlerinde gruplamaları ve gruplama yaparken takım değiştirmeye sebep olan diğer durumları göz önünde bulundurmamaları günlük takım değiştirme sürelerini artırmaktadır. Yüksek takım değiştirme süreleri sistemdeki en önemli kayıp zamanı oluşturmaktadır (Ek 2).

Firma yakın zamanda on günlük sipariş üretiminden, tek günlük sipariş üretimine geçerek stoklarını azaltmayı hedeflemektedir. Tek günlük sipariş üretiminde takım değiştirme sayıları mevcut duruma göre artacağı için, mevcut çizelgeleme yönteminin daha da büyük problemler yaratacağı öngörülmektedir.

Buna ek olarak mevcut sistemde kırmızı, mavi ve yeşil hatlarda üretilebilen parçalar önceden atanmıştır ve günlük siparişe göre değiştirilmemektedir. Bu durum bir tek günlük sipariş üretimine geçildiğinde hatlar arasında parça sayısı dengesizliğine neden olmaktadır. Böylece bazı hatlarda ciddi dar boğazlar oluşmaktadır.

Sonuç olarak, senkronizasyon ile ilgili semptomlar günlük sipariş üretiminin mevcut kullanılabilir vardiya süresinde (480 dakika) tamamlanamamasına sebep olmaktadır (Ek 3).

2.2.2 Aktif sipariş izleme süreci:

Sisteme girdiği andan itibaren, parçanın geçirdiği süreç, verimli bir şekilde takip edilememektedir. Süreçte geçirilen kritik noktalar belirli olmadığından, parçanın işlenmesindeki gecikmeleri ve problemleri belirleyip önlem almak güçtür. Tek parça akışa geçmeyi hedefleyen bir sistemde, bir parçanın aksaması, toplam üretim süresini etkileyecektir.

2.3 Problem tanımı ve proje kapsamı

Problem Tanımı: Firma üretim hattında tek günlük üretime geçmeyi planlamaktadır. Ana problem mevcut sistemdeki senkronizasyon kaynaklı sorunlar nedeniyle tek günlük üretim hedefine ulaşamamasıdır.

Ana probleme ek olarak; üretim alanında, mühendis ve operatörlerin, sistemin ve sürecin durumunu izleyecek bir görsel destek sistemine sahip olmaması da bir başka yan problemidir.

Proje Kapsamı:

- Boru üretimi için toplam üretim süresini en aza indirecek bir çizelgeleme sisteminin tasarlanması ve firma entegrasyonu.
- Üretimdeki kritik noktalarda, takip kolaylığı yaratacak, bir görsel destek sisteminin (ANDON) alt yapısının oluşturulmasıdır.

2.4 Çizelgeleme algoritması literatür taraması

Sistemin karakteristiği, parçaların sayısı, akış öncelikleri ve makinelerin takım değiştirme süreleri parametrelerine bağlı olarak, sistemde toplam üretim zamanını en aza indirgeyecek modellere odaklanılmıştır (Kurz ve Askin, 2001). Bükme makineleri sistemde en fazla takım değiştirme süresini oluşturduğu için, model geliştirilecek ilk problemin, “sıra bağımlı takım değiştirme süreleri içeren tek makineli bir çizelgeleme problemi” olduğuna karar verilmiştir (Chen, 2008). İkincil olarak kaynak istasyonunda birbirine eş değer paralel 4 tezgah bulunduğu için bu kısım “sıra bağımsız takım süreleri içeren paralel makine çizelgeleme problemi” ne benzetilmiştir. Bu problemler için, çözüm süreleri göz önünde bulundurularak sezgisel metotlar araştırılmıştır. Araştırılan metotlar; Ekleme (Zhang ve Zheng, 1996), En Yakın Komşu, Greedy, Christofides, GRASP bazlı üstsezgisel (Ravetti vd., 2007), K-Opt, Genetik ve Benzetilmiş Tavlama’dan oluşmaktadır (Soo ve Bulfin, 2004).

3. Önerilen Yöntem

3.1 Üretim çizelgeleme sistemi

3.1.1 Genel yaklaşım

Mevcut sistemde parçaların tekil olarak teslim tarihleri yoktur ve gün sonunda tüm parçaların üretiminin tamamlanması temel hedeftir. Bu sebeple, çizelgeleme sistemi toplam üretim süresini en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır.

Sistem, bir bütün olarak ele alındığında, üretimin farklı aşamalar için farklı dinamiklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu da, ortak bir önceliklendirme belirlenememesine neden olmuştur. Bu nedenle üretim hattının 3 alt sistem halinde ele alınabileceği belirlenmiş ve modeller alt sistem yapılarına göre geliştirilmiştir (Ek 4). Alt sistem-1 kesme ve bükme makinelerinin yer aldığı kırmızı, mavi ve yeşil hatları içermektedir. Bu kısım sıra bağımlı takım değiştirme sürelerine sahip birbirinden bağımsız üç paralel hattan oluştuğu için NP-Zor kategorisindeki Gezgin Satıcı Problemi’ne benzetilerek incelenmiştir (Williams ve Wirth, 1999). Çözüm süresinin kısalığı önemli bir kriter olduğundan sezgisel metotlara gidilmiştir. Çizelgeleme algoritmaları sistem spesifik değerlendirildiği için, incelediğimiz mevcut sistemde

teorik bir modelin birebir uygulanmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle sisteme uygun olduğu düşünülen Ekleme Sezgiseli temel alınarak, özgün bir sezgisel model geliştirilmiştir. Alt sistem-2 şekillendirme makinelerinin yer aldığı orta hattı içermektedir. Bu makinelerde takım değiştirme süresi bulunmadığından ve üretim zamanları 1 dakikadan az olduğundan, parçaların alt sistem-1'den çıkış zamanlarının üzerine sabit süre eklenmiştir. Alt sistem-3 ise 4 adet eşdeğer kaynak makinesinin kapsamaktadır. Bu kısım içinse kaynak makinesi işlem süresinin en kısığını göz önünde bulunduran bir Greedy sezgiseli kullanımı uygun görülmüştür. Greedy sezgiselinin iyi sonuçlar vermesinin nedeni, sisteme varan parçanın çıkış zamanının yalnızca kaynak istasyonlarının parçanın varış anındaki durumuna bağlı olmasıdır.

Geliştirilen modeller test edildiğinde, alt sistem-1'deki 3 paralel hat arasındaki dengeleme probleminden kaynaklanan zaman kaybının fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle sistem algoritmasına hat dengeleme eklenerek günlük siparişe göre hatlar arası parça aktarımı esnekliği sağlanmıştır. Esneklikten kasıt, hatlara atanan parça kombinasyonlarının günlük sipariş gereksinimlerine göre değişkenlik gösterebilmesidir.

3.1.2 Geliştirilen modeller ve sistem algoritması

Firmada var olan sistemler incelenerek, modellerin JAVA programlama dilinde kodlanması ve programın veri alışverişinin Excel kullanarak yapılmasına karar verilmiştir. Tasarlanan sistemin firma tarafından kullanılmasını kolaylaştırmak amacı ile bir ara yüz tasarlanmıştır (Ek 5). Program ayrıca model çıktılarını kullanarak Gantt şeması da oluşturmaktadır (Ek 6).

Endüstriyel danışmanlar ile beraber alt sistemler için geliştirilecek modellerin varsayımları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Boruların üretilmesi için gerekli ham madde kaynağı istenilen anda hazır bulunmaktadır.
- Üretim, makine arızaları gibi sebeplerden duraksamamaktadır.
- Günlük vardiya süresi 480 dakikadır (molalar çıkartılmış ve 85% verimlilik göz önüne alınmıştır).
- Modellere girdi olarak alınan talepler günlük araç ihtiyacına göre hesaplanmakta olup, parça sayısı bazlı alınmaktadır.

Model-1: Alt sistem-1'in, bükme makinelerinin sıra bağımlı takım değiştirme süreleri nedeniyle toplam üretim zamanını belirleyici model-1, bükme makinesini baz alarak, takım değiştirme sürelerini en aza indirmeyi hedefler. Model, öncelikle parçaları takım değiştirmeye sebep olan iki etmene göre gruplandırır: i) Boru çapı, ii) Boru bükme yarıçapı. Ardından bu parça gruplarını, Ekleme Sezgiseli kullanarak, toplam üretim süresini en aza indirecek şekilde sıralar (Ek 7).

Model gruplandırma yaparken, kaynaklanacak parçaları kendi içerisinde değil, diğer parçalar ile birlikte gruplandırır. Grup içinde kaynaklanacak ve bükülecek parçalara öncelik tanıyarak bunların üretimlerinin istenilen süre içerisinde tamamlanmasını hedefler. Kaynaklı parçaların da diğer parçalarla birlikte gruplandırılması aynı gruptan 2 kez oluşmasını engelleyerek takım değiştirme sayısını azaltır.

Model-2: Alt sistem-3'te parçaların 4 eşdeğer kaynak tezgahına dengeli biçimde atanması hedeflenmektedir. Ayrıca parça hammadde tipi değişimine bağlı olarak, alt sistem-1'e göre düşük takım değiştirme süreleri bulunmaktadır. Model-2, bu süreleri de en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Bunu yaparken parçaları gruplayarak, grubun içerisinde sisteme en son varan parçanın varış süresini hesaplar. Daha sonra grupları hesaplanan varış süresine göre sıralar. Bu sırayı kullanarak, grupları 4 kaynak makinesinden birine, sistemin varış anındaki durumunu göz önünde bulundurarak, en az bekleme ve hazırlık süresi kriterine göre atar.

Hat Dengeleme: Dar boğazı oluşturan hat ile diğer hatlar arasında ortak parça grupları bulunarak bu hattan parça aktarımı yapılması esasına dayanır (örneğin; mavi hattaki bütün 16 çaplı ve 40 büküm yarıçaplı parçalar yeşil hatta aktarılır. Böylece mavi hat'tan takım değiştirmeye neden olacak bir grup ayrılır; hem parça üretim zamanında hem de takım değiştirme süresinde azalma sağlanır).

Hat dengeleme ile sistem algoritması tamamlanmıştır.

Sistem Algoritması:

Adım 1: Günlük sipariş verilerini al.

Adım 2: Siparişleri sistemde belirlenmiş renk kodlarına göre kırmızı, mavi, yeşil hatlara ayır.

Adım 3: Model-1'i kırmızı, mavi ve yeşil hatlar için ayrı ayrı çalıştır.

Adım 4: Adım 3'ten gelen sonuçları (parçaların alt sistem-1'de tamamlanma süreleri) al. Alt sistem-2 için, tamamlanma sürelerine sabit süre ekle.

Adım 5: Kaynaklanacak parçaların tamamlanma sürelerini bulmak için, Adım 4'ten gelen tamamlanma süreleri ile Model-2'yi çalıştır.

Adım 6: Tüm modellerden elde edilen toplam üretim zamanlarını günlük çalışma süresi (480 dk.) ile karşılaştır.

Adım 6.1: Günlük çalışma süresini aşan hat yok ise dur.

Adım 6.2: Günlük çalışma süresini aşan hat varsa Adım 7'ye geç.

Adım 7: Kırmızı, mavi ve yeşil hatlardan, günlük çalışma süresinin aşılmasına neden olan hattı bul (darboğaz).

Adım 8: Bu hatta o gün için üretilen parça grupları ile ortak parça gruplarının üretildiği diğer hatları ara.

Adım 8.1: Böyle bir hat var ise Adım 9'a geç.

Adım 8.2: Böyle bir hat yok ise toplam üretim zamanı 480 dakikayı aşmamış ve dar boğazı oluşturan hatta üretilen herhangi bir parça grubunu üretme kapasitesine sahip hattı bul.

Adım 8.2.1: Böyle bir hat yok ise DUR

Adım 8.2.2: Böyle bir hat var ise Adım 9'a geç.

Adım 9: Darboğaz olan hattan diğer belirlenen hatta ortak parça grubunun tamamını aktar.

Adım 10: Yapılan hatlar arası parça aktarmaya göre kırmızı, mavi ve yeşil hatlara atanmış parçaları güncelle. Adım 3'e dön.

3.2 Görsel destek sistemi alt yapısı (ANDON)

Boruhanede, üretim akışının senkronizasyonu için bir hata görme, giderme, raporlama sistemi olan Andon altyapısı hazırlanmıştır. Bu sistemle amaç, planlı ve plansız duruşların ölçülmesi, hataların kaynağının anında tespiti, eş zamanlı gerçek verilerin alınması ve panolarda bu bilgiler doğrultusunda bir ikaz mekanizmasının geliştirilmesidir. Andon altyapısı; operatör butonları, görsel-işitsel ikaz sistemi, gerektiğinde şirket veritabanı ve yazılımları entegrasyonu içermektedir.

Andon öneri paketi parça ve süre bazlı olmak üzere iki şekilde oluşturulmuştur. Takip edilmesi önerilen temel göstergeler; kalan parça/biten parça, verimlilik ve istasyondan çıkan son parçanın bitiş süresidir. Ayrıca, sistemin çizelge ile entegre edilip, ikaz sistemi ile desteklenmesi planlanmıştır. Parça bazlı takipte, kesme ve bükme istasyonlarına konulacak barkod okuyucular ya da işçilerin manuel kullanacağı butonlar dizayn edilmiştir. Süre bazlı takipte alt sistemlerin çıkışlarına yerleştirilecek büyük plazma ekranlarla, ideal sürenin gerçekleşen süreyle karşılaştırılması ve uyarılarla akış hızının ve verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bu ekranda, her hat için çapların bitiş sürelerini gösteren Gantt şemaları işçilerin süreyi takibini kolaylaştıracaktır. Ekranlar yerine daha az maliyetli olan, manuel panolar (bir yüzü kaynak, bir yüzü bükme operatörlerine dönük) kullanılabilir. Arızalar için genel arızaları ve makineleri içeren bir matrisin manuel olarak hazırlanması ve işçilerin arıza durumunda gerekli bölgeyi işaretlemesi önerisi getirilmiştir. Bu paketler; fiyat, kullanım ve esneklik kriterleri dikkate alınarak önerilmiştir.

4. Algoritma Doğrulama ve Performansın Ölçülmesi

Yapılan testler sonucunda geliştirilen modellerin hedeflenen ölçütlere uygun çalıştığı gözlenmiştir.

Alt sistem-1 için oluşturulan çizelgeleme modeli, beklenildiği gibi parçaları çap ve bükme yarıçapına göre gruplandırmakta ve bu gruptaki parçaları kaynak ve bükme işleminden geçip geçmemelerine göre önceliklendirmektedir. Alt sistem-3 için geliştirilen modelin de öngörüldüğü gibi gelen parçaları 4 kaynak tezgahına dengeli olarak

atadığı gözlemlenmiştir (8 günlük sipariş test edildiğinde kaynaklar arasında toplam üretim süresi farklılıklarının en çok 4.2, en az 0.9 dakika olduğu görülmüştür).

Alt sistemler için geliştirilmiş modeller ve hat dengelemeden oluşan çizelgeleme algoritması 8 günlük gerçek sipariş verileri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçların mevcut sistemle karşılaştırılabilmesi için, mevcut çizelgeleme yaklaşımı bir çizelgeleme sistemi olarak kodlanmıştır. Mevcut sistem kodlaması ile, geliştirilen sistem arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda kırmızı, mavi ve yeşil hatlar arasındaki parça sayısı dengesizliğinin azaltıldığı (Ek 8) ve takım değiştirme sürelerinin ortalama %21.5 oranında azaldığı gözlemlenmiştir (Ek 9). Bunlara bağlı olarak mevcut sisteme göre toplam üretim sürelerinin ortalama %26 oranında; günlük siparişin normal süre içerisinde tamamlanan kısmının yüzdesinin %37 oranında iyileştirildiği gözlenmiştir. Bu iyileştirmelerin şirkete sağladıkları 6.1 numaralı *Firmaya katkılar* başlığında incelenmiştir.

Tablo 1’de, mevcut metot ile geliştirilen sistemin sonuçları, normal üretim süresi (480 dk) içerisinde günlük siparişin tamamlanabilen kısmı cinsinden karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Tarihlere göre test sonuçları.

Test Tarihi	Mevcut Metotla Tamamlanabilen Sipariş yüzdesi	Geliştirilen Sistemle Tamamlanabilen Sipariş yüzdesi	İyileştirme Oranı	Siparişe gelen toplam Parça Sayısı
2 Mart	%91.4	%110	%20.8	764
4 Mart	%79.6	%103	%29.1	700
10 Mart	%56.3	%90	%59.8	901
11 Mart	%47.9	%76.5	%61.7	1277
17 Mart	%67.6	%82.5	%22.4	1241
18 Mart	%58.6	%72.2	%24.2	1334
26 Mart	%68.9	%91.6	%31.9	887
30 Mart	%54	%78.8	%46.3	1177

Sistemin Performansını Etkileyen Faktörler:

i) Günlük siparişteki toplam parça sayısı: Günlük sipariş arttıkça, sistem daha iyi performans göstermektedir. Tabloda görüldüğü gibi iyileştirme miktarı, 2 Mart - 11 Mart arasında gelen sipariş miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Bu da geliştirilen modelin şirketin kapasite artırma hedefini desteklediğini göstermektedir. ii) Hatlar arasındaki dengesizlik miktarı: 11 Mart - 17 Mart tarihleri arasında iyileştirmede bir düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni ise mavi ve yeşil hatlara gelen sipariş miktarlarının birbirine yakın olması sonucunda hat dengeleme işleminin kısıtlanması olarak tespit edilmiştir. Bu durumda algoritmanın

iyileştirme oranının yapılan hat dengeleme işlemiyle doğru orantılı arttığı söylenebilir. Firma, bu sonuçtan yola çıkarak parçaların hatlar için sabitleştirildiği bir yöntemden, esnek bir şekilde günlük olarak atandığı bir sistemin daha faydalı olduğunu görmektedir.

5. Uygulama

5.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Tek parça akışa geçişe engel olabilecek bir makina parkına sahip boruhanede gerek yerleşim gerekse parça akışının düzenlenmesinin tamamlanması gerekmektedir. Ayrıca geliştirilen yazılım KOD-a-MAN, veri alışverişinin sağlanacağı Excel dosyalarının ve JAVA programının bulunacağı bilgisayar sistemini gerektirmektedir.

5.2 Uygulama planı

Geçmiş aylara ait tek günlük sipariş verileri programda test edilmiş, sorunsuz çalıştığı tespit edilen sistem, üretim müdürünün kişisel bilgisayarına yüklenmiştir. Şu an için pilot uygulamalar ve günlük testler yapılmakta, alınan sonuçlar değerlendirilmektedir. Çizelgeleme sisteminin çıktılarının üretimde uygulamaya geçirilmesinde şu an için teknik hiçbir engel yoktur ve firma uygulamaya geçmekte isteklidir. Fakat yaşanan global kriz nedeniyle üretimde yaşanan duraklamalar sistemin tam uygulamaya geçirilme tarihini ertelemiştir. Yıl sonuna doğru krizin etkilerinin hafifleyeceği tahmin edilerek tek günlük üretime geçiş tamamlanacak ve çizelgeleme sistemi üretim hattında tam uygulamaya geçirilecektir.

6. Genel Değerlendirme

6.1 Firmaya katkılar

Boruhanede daha önce çizelgeleme işlemi için tasarlanmış bir yazılım kullanılmadığından parçalara ilişkin verilerin eksik veya yanlış olduğu belirlenmiş, bu bilgiler tamamlanarak güncel bir veritabanı hazırlanmıştır. Mevcut sistemde arşivlenmeyen toplam üretim süreleri ve üretilen parça bilgileri de geliştirilen sistem sayesinde arşivlenebilmektedir. Bu da firmaya, üretim hattında gelecekte yapılacak iyileştirme çalışmalarının sonuçlarını geçmiş verilerle karşılaştırma olanağı vermektedir.

Mevcut sistemde parçaların hatlara sabit olarak atanmış olması hatlarda dengesizliğe yol açmaktadır. Birçok gün için günlük sipariş üretimi, bazı hatların boş kalmasına, diğerlerinin ise mesai aşımı yaratacak miktarda çalışmasına sebep olmaktadır. Geliştirilen yöntemde hat dengeleme işlemi günlük siparişi göz önünde bulundur ve zaman kayıplarını en aza indirecek bir yöntem izler. Hatlara parça atanmasında sağlanan bu esneklik, tek günlük sipariş üretimine geçişte önemli bir avantajdır.

Hazırlanan ANDON altyapısı ile üretimdeki senkronizasyon desteklenmektedir. Çeşitli ikaz sistemleri önerilerek muhtemel

yatırımların en fazla fayda sağlanacak şekilde yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Makine takım değiştirme sürelerini göz önünde bulunduran ve hat dengeleme esnekliği sağlayan çizelgeleme sistemi, 8 günlük gerçek veriler ile test edilmiştir. Bu testler sonucunda, oluşturulan sistemin toplam üretim sürelerinde 26%'lık azalma, normal üretim süresi içerisinde üretilebilen sipariş miktarında da 37%'lik artış sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak mevcut durumda ortalama 282 dakika olan fazla mesai süreleri 71% iyileştirme ile 82 dakikaya indirilmiştir. Ayrıca üretim planlama zamanlarında %86 iyileştirme sağlandığı görülmektedir. Üretim sürelerindeki iyileştirme ve fazla mesai sürelerindeki azalma işçilik maliyetlerinde yıllık 101300 TL, operasyon maliyetlerinde ise yıllık 24000 TL kazanç sağlamıştır. Bu kazançların toplamı boruhanenin yıllık operasyon maliyetlerinin %100'ü ile yıllık işçilik maliyetlerinin %8'inin toplamına karşılık gelir. Maliyet analizleri firmadan alınan gerçek değerler ile yapılmıştır (Ek 10). Projenin firmaya sağladığı katkılar Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Projenin firmaya sağladığı katkılar.

İşçi maliyetindeki azalma	Operasyon maliyetlerindeki azalma	Fazla mesai sürelerindeki azalma	Üretim kapasitelerindeki artış
101300TL /yıl	24000 TL/ yıl	71%	2,2 araç/gün

6.2 İleriye dönük güncelleme / geliştirme konularında öneriler

Geliştirilen çizelgeleme sistemi şu an kullanıma hazır durumdadır. Şirketin ERP sistemi olan BAAN ile tam entegrasyona geçildiği takdirde güncellemeler ve veri alışverişi daha verimli gerçekleştirilebilecektir. BAAN'a geri bildirilecek veriler, fabrika genelindeki sipariş, makina ve insan kaynağı yönetimine katkıda bulunacak en uygun üretim planlarının çıkarılmasında ek bilgi kaynağı olacaktır. Üretimdeki kayıp zamanlar için çeşitli iyileştirme çalışmaları yapılarak toplam üretim süresini azaltmada çizelgeleme sistemine destek olunabilir.

Firma, önerilen ANDON sisteminin uygulamasına geçebilir ve akış senkronizasyonuna destek sağlayabilir.

KAYNAKÇA

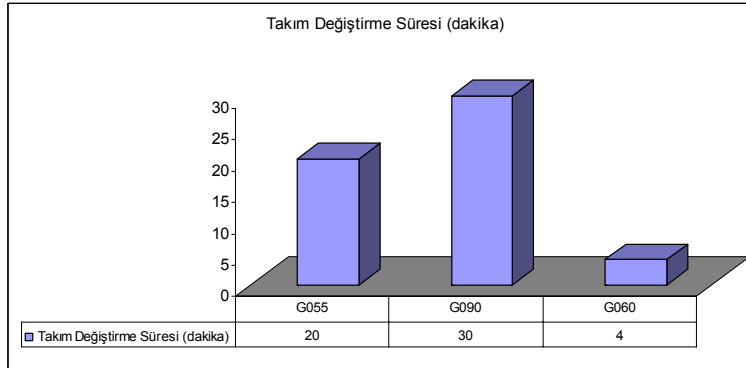
- Chen, Wen-Jinn (2008). "Single machine scheduling with family setup times in a manufacturing system." *Engineering Optimization*, 40(6), 579-589.
- Kurz, M.E., Askin, R.G. (2001). "Heuristic scheduling of parallel machines with sequence dependent set-up times" *International Journal of Production Research*, 39, 3747–3769.
- Ravetti M.G., Mateus G.R., Rocha P.L. (2007) "A scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence dependent setups." *International Journal of Operations Research*, 2(4), 380-399.
- Soo Kim, B., Bulfin, R. (2004). "Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations" *International Journal of Production Research*, 14, 391–404.
- Williams D., Wirth A. (1996). "A New Heuristic for a Single Machine Scheduling Problem with set-up times", *Journal of Operational Research Society*, 21, 175–180.
- Zhang L., Zheng W. (1996) "On Some Single- Machine Scheduling with Sequences-dependent Times" *IEEEXPLORE*, 1162-1165.

EKLER

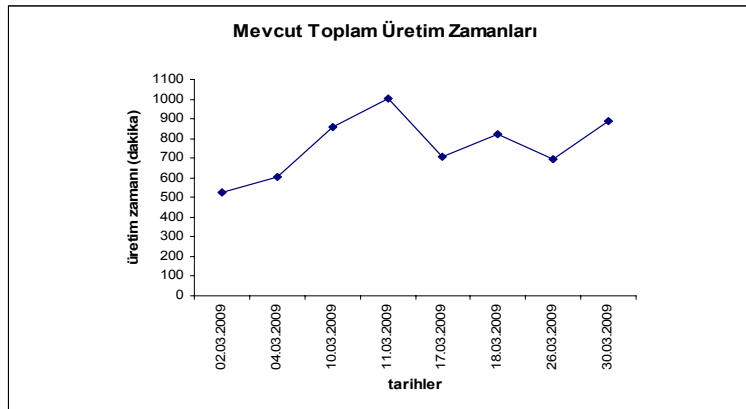
Ek 1. Bükme makineleri çap-bükme yarıçapı kapasiteleri

Kırmızı		Yeşil		Mavi	
Çap	Bükme Yarıçapı	Çap	Bükme Yarıçapı	Çap	Bükme Yarıçapı
28	Hepsi	6	Hepsi	6	30, 40
30	Hepsi	8	Hepsi	8	25, 40
32	Hepsi	10	Hepsi	10	30, 50
35	Hepsi	12	Hepsi	12	30, 40
38	Hepsi	15	Hepsi	15	30, 40, 50
50	Hepsi	16	Hepsi	16	30, 40, 50
60	Hepsi	18	Hepsi	18	30, 40, 50
70	Hepsi	20	Hepsi	20	30, 40
80	Hepsi	22	Hepsi	22	40, 50, 60
90	Hepsi	28	Hepsi	28	40, 50
		32	Hepsi	32	50
		35	Hepsi	35	70

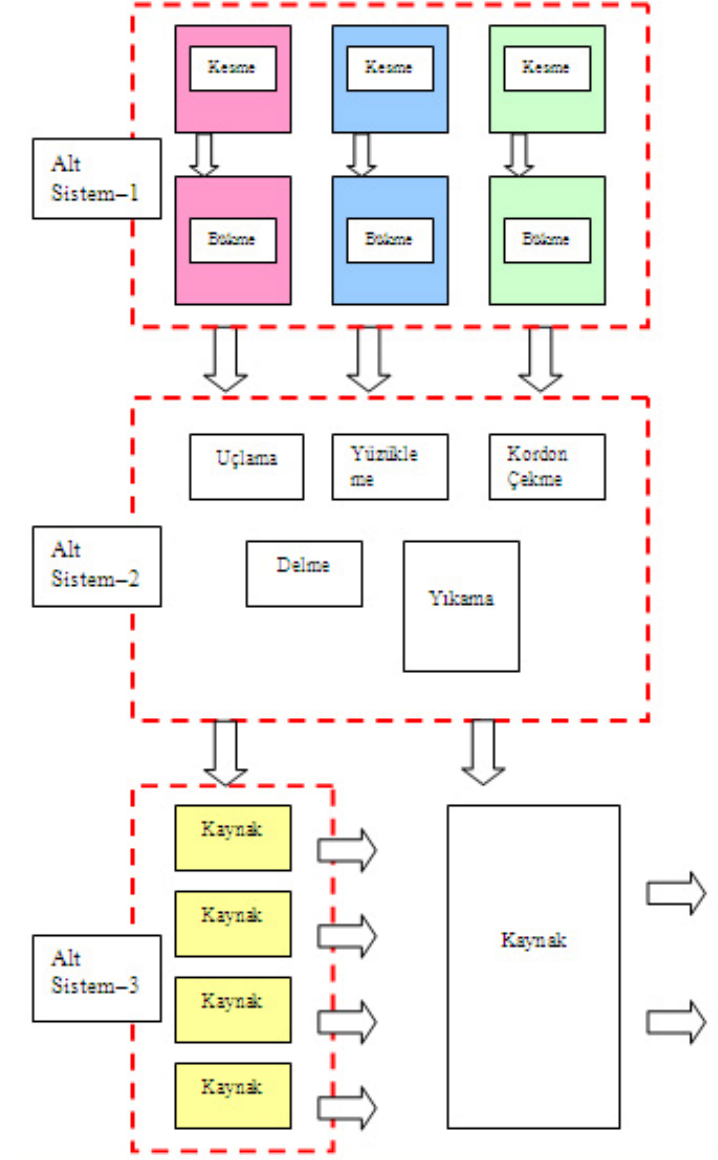
Ek 2. Bükme makineleri ortalama takım değiştirme süreleri



Ek 3. Mevcut sistem toplam üretim süreleri



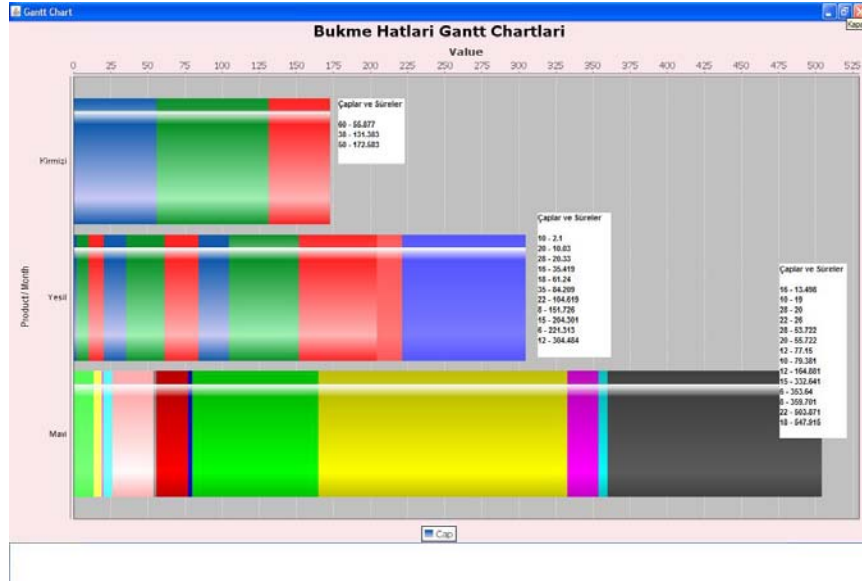
Ek 4. Boru üretim hattı alt sistemleri



Ek 5. Program ara yüz görünümü



Ek 6. Gantt şeması görünümü



Ek 7. Algoritma – 1

Alt sistem–1: *Model–1*

- v_i : i. ailedeki parça sayısı
 F_i^v : i. ailedeki v. parça
 p_i : i. ailenin üretim zamanı
 p_i^k : i. ailedeki k. parçanın üretim zamanı
 p_i' : i. ailenin güncellenmiş üretim zamanı.
 s_{ij} : i. aileden j. aileye geçişteki hazırlık süresi
 Π : Çizelgeleme grubu
 C_m^n : m. aileyi n. pozisyona koyunca ortaya çıkan toplam üretim süresi
C: Çizelgenin toplam üretim zamanı
 $F_{i,seq}$: i. parça ailesinin kümesi

Adım 0: Parçanın çap ve bükme yarıçapıgöre aile oluştur.

- $F_i =$ aynı çap ve bükme yarıçapına sahip i. parça ailesi. $i \in I$
 $F_i = \{F_i^1, F_i^2, \dots, F_i^v\}$

Adım 1: Her parça ailesinin toplam üretim zamanını hesapla.

$$p_i = \sum_k p_i^k, \forall i \in I$$

Adım 2: Her ailenin güncellenmiş üretim zamanını hesapla.

$$p_i' = p_i + \min_j s_{ij}, \forall i \in I$$

Adım 3: Parça ailelerini güncellenmiş üretim zamanlarına göre azalmayan şekilde listele ve başlangıç sıralamasını ayarla.

- Π_0 : Parça ailelerinin başlangıç sıralaması
($|\Pi_0| = |I|$)

Adım 4: Π_0 daki ilk sırayı al ve asıl sıralamaya başla

$$\Pi_0[0] \leftarrow \Pi[0]$$

$$1 \leftarrow m$$

Adım 5: Π_0 'daki eklenebilecek her noktaya m. aileyi ekleyip toplam üretim zamanını hesapla.

$$C_m^n = \sum_{t=0}^{m-1} p_{t+1} \text{ her pozisyon için } n = 0, \dots, m-1$$

Adım 6: Adım 5'te hesaplanmış zamanların en azını al

$$6a) C = \min \{ C_m^0, C_m^1, \dots, C_m^{m-1} \}$$

6b) Her $\forall n = 0, \dots, m-1$ en kısa toplam üretim zamanı kontrol et.

$$\text{Eğer } C = C_m^n, n \leftarrow \text{minpos}$$

$$\Pi_0[m] \leftarrow \Pi[\text{minpos}]$$

$$m+1 \leftarrow m$$

Eğer $m < |\Pi_0|$ ise adım 5'e git

Değilse adım 7'ye git

Adım 7: Parça ailelerinin içindeki parçaları kaynak ve bükme işlemlerine göre önceliklendirerek sıralandır. En yüksek öncelikten en düşüğe doğru:

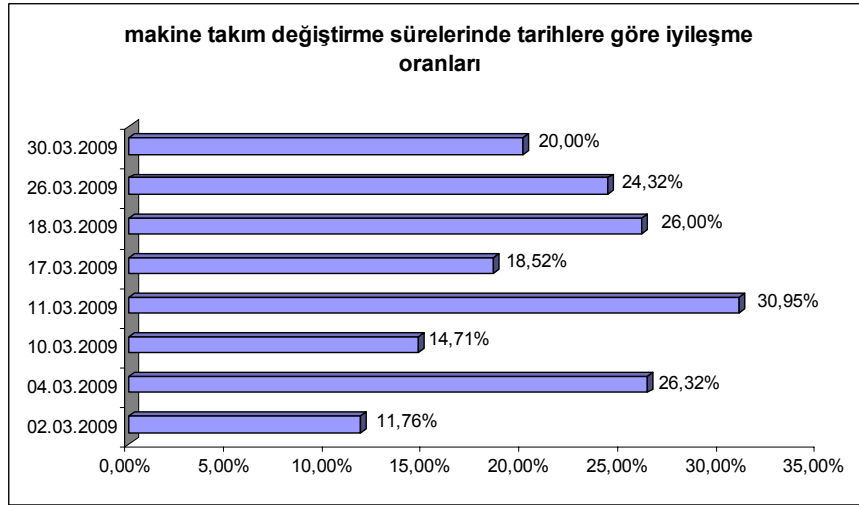
- Kaynaklı ve bükümlü
- Kaynaklı ve bükümsüz
- Kaynaksız ve bükümlü
- Kaynaksız ve bükümsüz

Adım 8: Kalan tüm parçalar ve tüm aileler için adım 7'yi tekrar et.

Ek 8. Hat dengeleme sonrası, üretilen parçaların hatlara dağılımı (adet)

02.03.2009	Hat dengeleme öncesi	Hat dengeleme sonrası
kırmızı	76	76
mavi	323	275
yeşil	242	290

Ek 9. Takım değiştirme süreleri iyileştirme oranları



Ek 10. Maliyet analizinde kullanılan veriler

İşçi başına normal vardiya işçilik ücreti: 10,3 € / saat
İşçi başına fazla mesai işçilik ücreti: 17 € / saat
Genel üretim giderleri: 10,4 € / saat
Yıllık çalışma günü sayısı: 300
Normal vardiyada çalışan işçi sayısı: 16
Fazla mesaiye kalan ortalama işçi sayısı: 3

Çoklu Depo Yönetimi için Karar Destek Sistemi Tasarımı

Procter & Gamble

Proje Ekibi

Rana Olcay Akkuş
Fırat Davut
Çağatay Karan
Seçil Özdemir
Ukbe Uçmaklı
Cansu Ulukaya

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Deniz Şahin, P&G Gebze Fabrikası Tedarik Ağı Operasyonları Müdürü
Emrah Albayrak, P&G Gebze Fabrikası Depo ve Lojistik
Operasyonları Müdürü
Seda Gümrükçü, Deterjan Operasyonları Lojistik Mühendisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kağan Gökbayrak, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

P&G Türkiye’de paketleme malzemeleri ve hammaddeler için verilecek depo yönetim kararları istenilen doğrulukta verilememekte ve fazla depolama, elleçleme ve nakliye maliyeti gözlenmektedir. Bu projenin amacı, depolar arasındaki koordinasyonu sağlayacak bir karar destek sistemi tasarlamak ve belirtilen lojistik maliyetlerini azaltmaktır. Sistem, bir matematiksel ve bir sezgisel model olarak tasarlanmıştır. Matematiksel modelin sonuçları analiz edilince modelde belli eğilimler saptanmıştır. Şirket yöneticilerinin de onayladığı bu kurallar, genetik algoritma tabanlı oluşturulan sezgisel modele uyarlanmıştır. Sezgisel model performansı, 16 farklı senaryo için matematiksel model çözümleriyle karşılaştırılmış ve genetik algoritmanın %1’e varan sapmalarla en iyi çözüme yaklaştığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Karar destek sistemi, hammadde deposu yönetimi, sezgisel ve matematiksel yöntemler.

1. Firma Tanıtımı

P&G Türkiye, yönetim etkinliklerini İçerenköy, İstanbul'da bulunan genel merkezinden yürütmektedir. Türkiye'deki üretim tesisleri Gebze, Kocaeli'nde bulunmaktadır. 650'den fazla kişiye iş olanağı sağlayan bu tesiste üretilen ürünler 4 farklı grupta toplanabilir; çamaşır suyu, çamaşır deterjanı, bebek ve aile bakımı. Bunlardan çamaşır deterjanı grubu en büyük üretim hacmine, 25,000 MSU (MSU, bitmiş ürünlerin üretim miktarını gösteren özel bir birim), sahiptir. Bu miktar, çamaşır suyu grubu için 1034 MSU, bebek bakımı grubu için 8250 MSU ve aile bakımı grubu için 4515 MSU'dur. Bu ürünlerin %35'i, Avrupa ve Asya ülkelerine ihraç edilmektedir.

2. Projenin Tanıtımı

2.1 Semptomlar ve firma beklentileri

2.1.1 Semptomlar

P&G'nin Gebze'deki üretim tesislerinde bulunan fabrika deposunda kağıt paketleme malzemeleri ve hammaddelerinin sadece %26'sı ve deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddelerinin ise %14'ü saklanabilmektedir. Dolayısıyla fabrika depo kapasitesi, üretim için gerekli malzeme miktarlarının depolanmasında yetersizdir. Bu yüzden ürünlerin geri kalanı dış depo ve limanda tutulmaktadır. Ayrıca, tedarik edilen malzemelerin depolar arası ataması belirli bir sisteme dayalı yapılamadığından dolayı şirket yetkilileri fazladan elleçleme, depolama ve nakliye maliyetlerinin oluştuğunu düşünmektedir.

2.1.2 Firma beklentileri

Mevcut sistemin analiz edilmesi ve tedarikçilerden temin edilen malzemelerin yönlendirileceği depo seçimine ve üretim ihtiyacını göz önünde bulundurarak, depolar arası malzeme akışını düzenleyecek bir karar destek sistemi geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sistem sayesinde elleçleme, depolama ve nakliye maliyetlerinin en aza indirilmesi beklenmektedir. Tasarlanan sistem, kullanıcı ile uyumlu bir ara yüze sahip olmalıdır.

2.2 Problem tanımı ve kapsamı

Problem, tüketim ve sevkiyat zamanları belirli olan paketleme malzemeleri ve hammaddelerin nakliye, elleçleme ve depolama maliyetlerini en azaltacak depolar arası atama problemi olarak tanımlanmıştır. Çamaşır deterjanı, bebek ve aile bakımı ürün grupları üretimi için kullanılan hammadde ve paketleme malzemeleri proje kapsamındadır ve gümrük işlemleri proje kapsamı dışında tutulmuştur.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

P&G'nin 1 Ocak 2009 tarihinden itibaren yürürlükte olan mevcut durumunda; 1 dış depo, 1 fabrika deposu ve 1 liman olmak üzere, toplam 3 depo bulunmaktadır. Hammadde ve paketleme malzemeleri,

uluslararası tedarikçilerden deniz ve kara yoluyla, yerel tedarikçilerden ise sadece kara yoluyla temin edilmektedir. Deniz yoluyla gelen malzemeleri gümrüğü çözüldükten sonra limanda, dış depoda veya fabrika deposunda istiflenebilmektedir. Uluslar arası tedarikçilerden kara yoluyla gelen malzemeler gümrüğü çözüldükten sonra dış depoda veya fabrika deposunda istiflenebilmektedir. Yerel tedarikçilerden gelen malzemeler dış depo veya fabrika deposunda istiflenebilmektedir. (Ek 1).

Fabrika deposundaki hammadde ve paketleme malzemeleri deterjan ve kağıt olarak iki depolama alanına ayrılmaktadır. Bu depolama alanları de kendi içinde malzemelerin istiflenme şekline göre yer ve raf olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Yerde istiflenen malzemeler büyük çuvallarda, rafta istiflenen malzemeler palet üzerinde tutulmaktadır.

Toplamda üretimde kullanılan 408 hammadde ve paketleme malzemesi bulunmaktadır. Fabrika deposu kağıt depolama alanında, 807 paletlik raf ve 739 birimlik yer kapasitesi; deterjan depolama alanında, 615 paletlik raf ve 539 birimlik yer kapasitesi bulunmaktadır.

Liman ve depolar arası malzeme nakliyesinde, deterjan bölümündeki hammadde ve paketleme malzemeleri için tır, kağıt hammadde ve paketleme malzemeleri için ise kamyon kullanılmaktadır.

3.2 Literatür taraması

Depo yönetim sisteminin daha iyi anlaşılabilmesi ve uygun çözüm yollarının geliştirilmesi için yapılan literatür taramasında, Van den Berg ve Zijm'in (2000) bu konuyla ilgili yaptıkları bir araştırmada bu probleme benzer bir sisteme rastlanmıştır. Bu araştırmaya göre 3 farklı depolama yeri ataması olduğu ve bunların 'Sınıflandırmaya Dayalı Depolama', 'Rastgele Depolama' ve 'Atanmış Depolama' oldukları belirlenmiştir. Bunlardan Sınıflandırmaya Dayalı ve Atanmış Depolama, üretim için talep oranları yüksek olan malzemeleri, en yakın depolara atayarak, depolar arası nakliye süresini en azaltan atama yöntemleridir ve çalışılan sisteme uygun görülmüştür. Fakat yapılacak çözüm yöntemi için maliyet azaltılması hedeflendiğinden dolayı bu araştırmalardan faydalanılamamıştır.

Sezgisel model için kullanılacak algoritma hakkında yapılan literatür taramasında ise Reeves (1993) incelenmiş ve farklı algoritmalar hakkında bilgi edinilmiştir.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

P&G'nin mevcut durumu analiz edildikten sonra, şirket beklentilerine uygun bir karar destek mekanizması oluşturulmasına karar verildi. Bu doğrultuda depolama, nakliye ve elleçleme maliyetlerini en azaltacak, matematiksel ve sezgisel olmak üzere 2 çeşit

model geliştirildi. Modeller, sisteme yeni ürün tanıtımı, yeni depo eklenmesi, üretim hacmindeki değişiklikler gibi farklı durumlara kolaylıkla adapte olabilecek şekildedirler.

4.2 Tasarlanan sistemin girdileri, çıktıları, amacı ve mimarisi

Tasarlanan sistem için matematiksel ve sezgisel modeller geliştirildi. Bu modeller için gerekli olan girdiler şunlardır: Maliyet bilgileri (depolama, elleçleme, demuraj ve nakliye maliyetleri), liman serbest süresi, depo ve liman kapasiteleri, hammaddelerin teknik özellikleri (ürün tipi, palet ve çuval boyutu, istifleme tipi), üretimde kullanılan ve tedarikçiden temin edilen malzeme miktarları, limandaki malzemelerin geliş zamanları, başlangıç stok miktarları ve ara nakliye için kullanılan kamyon ve tırların kapasiteleri.

Hammadde ve paketleme malzemelerinin geliş zamanları ve miktarları ile liman ve depolardaki başlangıç stok seviyeleri, firmanın veri tabanından alınmaktadır.

Matematiksel ve sezgisel modelleri amacı yukarıdaki girdileri kullanarak hammaddelerin ve paketleme malzemelerinin liman ve depolar arasındaki günlük atamalarına maliyetleri enazaltacak şekilde belli bir zaman dilimi için karar vermektir.

Matematiksel ve sezgisel modellerin çıktıları şunlardır: Liman ve depolar arası atanan hammadde ve paketleme malzeme miktarları, bu atamalarda kullanılacak kamyon ve tır sayıları, liman ve depolardaki envanter seviyeleri. Tasarlanan sistemin mimarisini Ek 2'de bulabilirsiniz.

4.3 Geliştirilen modeller ve çözüm yöntemleri

4.3.1 Matematiksel model

Deterjan ve kağıt depolama alanlarındaki malzemelerin, yerde veya rafta istiflenmeleri göz önünde bulundurularak, yerde istiflenen deterjan, rafta istiflenen deterjan, yerde istiflenen kağıt ve rafta istiflenen kağıt malzemeleri olmak üzere toplam 4 farklı malzeme kümelemesi yapılmıştır. Bu kümelerin fabrika deposundaki kapasiteleri birbirinden farklı olduğu için kümeler birbirinden bağımsız olarak ele alınabilir. Dolayısıyla her bir küme için ayrı bir matematiksel model geliştirilebilmiştir.

Modelin tanıtımı (Her dört model için): Model, maliyeti en azaltacak şekilde malzemelerin liman ve depolar arası günlük aktarma planlarını belirli bir zaman dilimi için oluşturmayı amaçlamaktadır. Şirketin ön gördüğü üzere bu zaman dilimi bir hafta olarak belirlenmiştir.

Parametreler: Her dört modelde de, fabrika deposu ve dış depo kapasiteleri, rafta istiflenen paketleme malzemeleri ve hammaddeler için palet sayısı, yerde istiflenenler için yer lokasyon sayısı; liman kapasitesi ise, taşımalık (konteynır) sayısı cinsinden belirlenmiştir. Bu depolardaki başlangıç stok miktarları, elleçleme, depolama ve nakliye

maliyetleri parametre olarak alınmıştır. Elleçleme maliyeti sadece dış depoda, depolama maliyeti ise liman ve dış depoda oluşur. Bununla birlikte, nakliye maliyeti kullanılan araca bağlı olarak değişmektedir. Limanda bu maliyetlere ek olarak, malzemelerin izin verilen süreden fazla tutulması (liman serbest süresinin aşılması) halinde, ceza tutarı (demuraj) ödenmektedir. Yukarıda belirtilen açıklamalara göre parametrelerimiz belirlenmiştir (Ek 3 (model 1)).

Varsayımlar: Her dört modelin de tasarım aşamasında bazı varsayımlar yapılmıştır; deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddeler, limandan dış depoya nakledilirken, bir tır ancak bir taşımalık alabileceği kadar ve tek tip malzeme taşıyabileceği kabul edilmiş, gümrük işlemleri ve depolar arası uzaklıklar göz ardı edilmiş ve envanter dengesini korumak adına, malzeme tesliminin ve dağıtımının aynı anda gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Karar değişkenleri: Karar değişkenleri, tedarikçilerden gelen malzemelerin liman ve depolar arası günlük aktarım miktarlarını belirleyen değişkenlerdir. Karar değişkenleri için lütfen eklere bakınız (Ek 3 (model 1)).

Hedef fonksiyon: Nakliye, elleçleme, depoda tutma ve demuraj maliyetini enazaltan fonksiyondur. Bu maliyetler arasından elleçleme maliyeti sadece dış depoda oluşmaktadır. Depolama maliyeti ise iç depo haricinde oluşmaktadır. Demuraj maliyeti, limanda, liman serbest süresinden (z) fazla bekletilen paketleme malzemeleri ve hammaddeler için, belirli bir miktar ceza tutarıdır. (Ek 3 (model 1)).

Kısıtlar: Kısıtlar için lütfen eklere bakınız (Ek 3 (model 1)).

4.3.2 Sezgisel model

Şirkette matematiksel modeli çözebilecek bir sistem mevcut olmadığı için, matematiksel model baz alınarak, aynı kısıtları, parametreleri, değişkenleri ve hedef fonksiyonu olan bir sezgisel model geliştirilmiştir. Arama uzayı vektörü 184 ürün için, 18032 farklı değişkenden oluşmaktadır. Bu problemin çözümü için genetik algoritma seçilmiş ve model algoritması Java programlama dilinde yazılmıştır.

Genetik Algoritma:

İlk popülasyonun oluşturulması: Popülasyon kümesi karar vektörü olarak adlandırılan bir grup vektörden oluşmaktadır. Karar vektörü, liman ve depolar arası malzeme aktarım miktarlarını zaman bazında tutar. Bu malzeme aktarım miktarları problemin değişkenlerini oluşturmaktadır. Karar vektörü 3 tip değişken tutmaktadır. Bunlar;

1. Limana gelen malzemelerin iç ve dış depoya aktarım miktarını tutan,
2. Yurtdışı tedarikçiden dış depoya gelen malzemelerin iç depoya aktarım miktarını tutan,

3. Yerel tedarikçiden gelen malzemelerin iç ve dış depoya aktarım miktarlarını tutan değişkenlerdir.

İlk popülasyon, karar vektöründe bulunan ilk iki tip değişkenin rastsal sayılar üretilerek oluşturulup, üçüncü tip değişkenin ise diğer değişkenlerden arta kalan kapasiteyi aşmayacak şekilde oluşturulmasıyla edinilir.

Uygunluk Fonksiyonu: Uygunluk fonksiyonu matematiksel modeldeki hedef fonksiyonla aynı olup popülasyondaki her karar vektörünün uygunluk değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Performansı en iyi olan karar vektörü uygunluk değeri en düşük olan vektördür.

Eşleşme havuzunun oluşturulması: Popülasyondaki karar vektörleri performanslarına göre en iyi %20'si A grubunu, %20-%50 arası B grubunu ve geriye kalanlar C grubunu oluşturacak şekilde gruplandırılır. Eşleşme havuzuna sadece A ve B grubu vektörler girer, C grubu atılır

Çapraz Eşleştirme: Eşleşme havuzundaki vektörlerin alt vektörleri oluşturulur. Alt vektörler karar vektörde bulunan ilk iki tip değişkenden oluşmaktadır. Çapraz eşleşme bir adet A bir adet B grubu alt vektör arasında gerçekleşir. Eşleşme sonucunda ortaya iki adet çocuk alt vektör çıkar. Her çocuk alt vektör, özelliklerini %50 ihtimalle A grubu alt vektöründen, %50 ihtimalle B grubu alt vektöründen alır ve 3. tip değişkenlerinin oluşturulmasıyla karar vektörüne dönüştürülür.

Yeni Kuşak Popülasyon Oluşturulması ve Döngünün Durdurulması: Çapraz eşleşme sonucunda oluşan çocukların uygunluk değerleri hesaplanır ve popülasyona katılır. Yeni popülasyonun oluşmasından sonra yukarıda bahsedilen döngü belirlenen bir tekrarlamaya sayısına ulaştığında durur. Döngü sırasında bulunan en iyi performanslı sahip karar vektörü hafızada tutulur ve döngü bitiminde bir düz metin belgesine yazdırılır.

4.4 Test (doğrulama ve geçirme)

Sistemin, gerçek problem ortamına uygunluğunu ölçmek için, Visual Basic programlama dili kullanılarak, gerçek verilerle uyumlu yeni veriler oluşturuldu. Bu verilerle çalıştırılan modelin hataları gözlemlendikten ve gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra modelin genel eğilimleri saptandı.

Saptamalar;

Limandan dış depoya yapılan aktarmalar genellikle yollanacak ürünün geldiği gün içinde yapılır.

Dış depoda istiflenen malzemelerin belli bir periyot için üretimi yoksa, bu malzemeler iç depo kapasitesi yeterli olsa bile iç depoya yollanmaz.

İç depo kullanım oranı %97'dir.

Model bazı gözlemler;

Deterjan (raf) modeli için; yurtiçi tedarikçiden gelen ürünlerin %12'si iç depoya, %88'i dış depoya gönderilir. Ayrıca limandan iç depoya gönderilen ürünlerin oranı %85'dir. Deterjan (yer) modeli için; yurtiçi tedarikçilerinden gelen ürünlerin %52'si iç depoya, %48'i dış depoya gönderilir. Ayrıca limandan iç depoya gönderilen ürünlerin oranı %65'dir.

Kağıt (raf) modeli için; yurtiçi tedarikçilerinden gelen ürünlerin %61'i iç depoya, %39'u dış depoya gönderilir. Ayrıca limandan iç depoya gönderilen ürünlerin oranı %51'dir. Kağıt (yer) modeli için; yurtiçi tedarikçilerinden gelen ürünlerin %38'i iç depoya, %62'si dış depoya gönderilir. Ayrıca limandan iç depoya gönderilen ürünlerin oranı %57'dür.

Bunların dışında; tedarikçiden limana gönderilen ürünlerin, FIFO kuralına göre dış depo veya fabrika deposuna aktarıldığı gözlemlenmiştir.

Analizlerin sonucu şirkete sunulmuş, yapılan saptamaların şirketin mevcut sistemini doğru yansıttığı, şirketin proje sorumluları tarafından teyit edilmiştir. Böylece matematiksel ve sezgisel modellerin doğruluğu kanıtlanmıştır.

5. Sonuçlar

5.1 Duyarlılık, senaryo analizi ve sistem performansı

Sezgisel modelin performansını ölçmek için 4 malzeme kümelemesi için birer haftadan oluşmak suretiyle toplam 1 aylık bir süreyi içeren 16 farklı senaryo kullanılmıştır. Geçmiş verilerden oluşan hem sezgisel model hem de matematiksel modele beslenerek çıktıları karşılaştırılmıştır. Sezgisel modelde farklı popülasyon boyutları (30, 50 ve 100) ve tekrarlama sayıları (500 ve 1000) kullanılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında sezgisel modelin en iyi %1 olmak üzere ortalamada %11 sapma ile en iyi çözüme yaklaşabildiği görülmüştür. Çalışma süreleri göz önünde bulundurulduğunda vektör boyutu büyük olan kümelerde sezgisel modelin çözüm süresi oldukça uzun sürmektedir. Fakat buna rağmen çözümlere bakıldığında en iyi çözüm ile sapması en az olan kümeler de vektör boyutu büyük olan kümelerdir. Ortalama %11 gibi bir performans sergileyen sezgisel model P&G' nin yeni tedarik zinciri sisteminde kullanılabilir bir karar destek sistemini oluşturmaktadır. Ek 4'de senaryo sonuçlarını, Ek 5'da çalışma sürelerini bulabilirsiniz.

Sistemin değişikliklere duyarlılığını ölçmek için kullanıcının kontrolünde olan belli başlı parametrelerde %5'lik oynamalar yapılarak hem matematiksel hem de sezgisel modelin verdiği tepkiler gözlemlenmiştir. Bu parametreler, başta depo kapasiteleri olmak üzere maliyet parametrelerinden oluşmaktadır. Bu analizlere bakıldığında matematiksel modelin kapasite değişimlerine duyarlı olduğu, sezgisel

modelin ise değişmediği gözlemlenmiştir. Sistemin en duyarlı olduğu parametrenin ise dış depodaki elleçleme maliyeti olduğu saptanmıştır. Ek 6’da duyarlılık analizi sonuçlarını bulabilirsiniz.

6. Uygulama

6.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Daha önceden de bahsedildiği üzere şirkete iki tane model sunulmuştur. Her iki modelin çalışması için gerekli olan veriler Excel dosyalarından alınmaktadır. Matematiksel model çözücüsü GAMS için gerekli altyapı şirkette mevcut değildir. Sunulan sezgisel model ise Java programlama dilinde yazıldığı için şirketteki mevcut alt yapı yeterli olacaktır. Dolayısıyla şirket herhangi bir yatırım yapmadan depolama, elleçleme ve nakliye maliyetlerini düşürebilecektir.

6.2 Yapılan işler, gelinen aşama

Her iki çözücü kullanılarak 6 Nisan 2009 tarihinden itibaren şirketle haftalık ortak planlar oluşturulmaya başlanmıştır. Problem, şirketin kendi metotlarına göre çözülmürken, bir yandan da, hazırlanan iki farklı model tarafından çözülmektedir.

7. Genel Değerlendirme

7.1 Projenin firmaya yapacağı beklenen katkılar

Şirket için hazırlanan sistem sayesinde, paketleme malzemelerinin ve hammaddelerin depolara atanması belirli bir sistem üzerinden yürütölür hale getirilmiştir. Bu sayede daha önceden 3 kişinin yaptığı işi bir kişi, daha az vakit harcayarak yapacaktır. Sistemin en önemli getirisi ise liman, dış depo ve fabrika deposundaki depolama maliyetlerini, depolar arası nakliye ve elleçleme maliyetlerini düşürmesidir. Bunlara ek olarak, hazırlanan sistem problem düzenindeki ani ve (veya) kalıcı değişikliklere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir.

7.2 İleriyeye dönük güncelleme/geliştirme konularında öneriler

Geliştirilen sistem ileriki dönemlerde yapılabilecek olası taktiksel ve operasyonel değişimlere karşı esnek olarak tasarlanmıştır. Ürün gamında, depo kapasitesinde ve ürün özelliklerinde (boyut, tip, istiflenme şekli, vb) yapılabilecek değişiklikler küçük düzenlemelerle genetik algoritmaya ve matematiksel modele adapte edilebilmektedir.

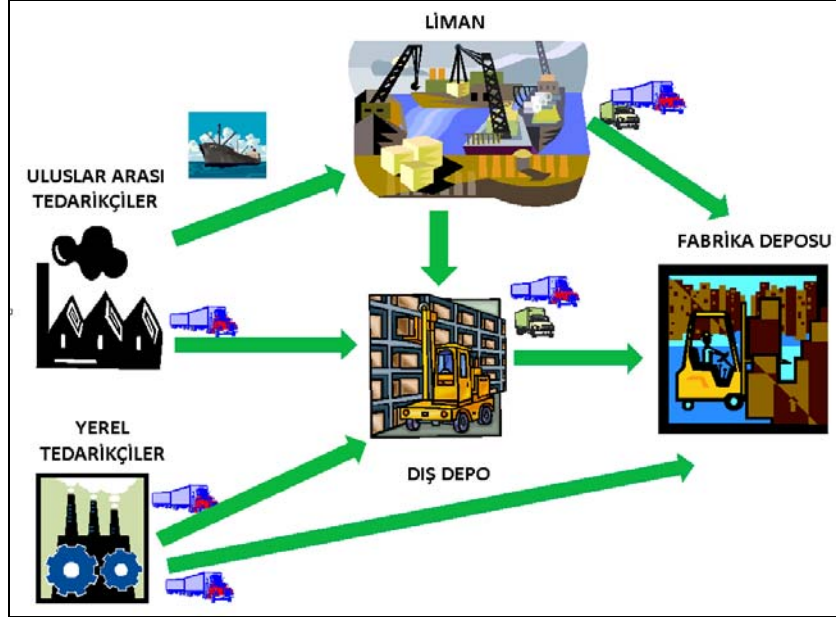
Genetik algoritma kullanımının daha profesyonel hale getirilebilmesi için bir grafik destekli kullanıcı arayüzü geliştirilmesi mümkündür. Bu arayüze duyarlılık analizi yapma özelliğinin eklenmesiyle, ileriki zamanlarda yapılması beklenen değişikliklerin sistemdeki yansımaları görölünebilecektir.

KAYNAKÇA

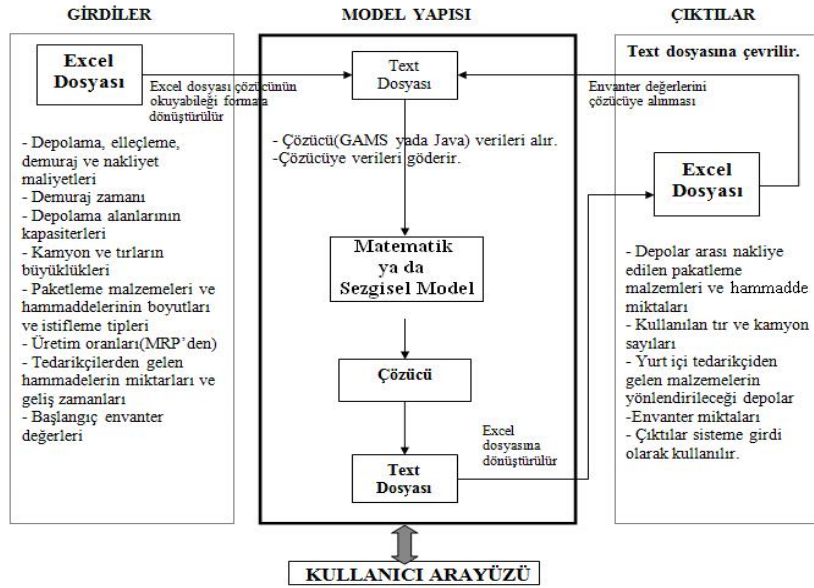
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm V., Houtum, G. J. Van, Mantel, R. J. and Zijm, W. H. M. (2000). European Journal of Operational Research 122 (3): 515-533.
- Berg, J. P. van den and Zijm, W. H. M., (1999). 'Models for warehouse management: Classification and examples', International Journal of Production Economics 59: 519-528.
- R. Reeves, Colin. (1993). Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems. New York: Americans by Halsted Press.

EKLER

Ek 1. Depolar arası malzeme akış şeması



Ek 2. Sistem mimarisi



Ek 3. Model 1: Yerde istiflenen (çuvallarla istiflenen) deterjan malzemeleri için geliştirilen matematiksel model

Parametreler ve karar değişkenlerinde kullanılan göstergeler:

i: i göstergesi liman deposu (1) ve dış depo (2) için kullanılır

j: j dış depo(2) ve fabrika deposu (3) için kullanılır

s: çuvallar içerisinde depolanan deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddeleri

t: zaman göstergesi; toplam zaman 14 gün. Sistem 8. günden itibaren çalışır. İlk 7 gün, limana 8. güne kadar gelmiş olan malzemeleri tutmak ve 8. güne aktarmak içindir.

τ : τ zamanında limana gelen paketleme malzemeleri ve hammaddeler için zaman göstergesi; toplam zaman 14 gün.

Parametreler:

c_{1ij} : i konumu ile j konumu arası kullanılan her tır için nakliye maliyeti

d: dış depoda bulunan her çuval için elleçleme maliyeti

h_j : j (tüm depolar) deposunda her bir çuval için depoda tutma maliyeti

z: liman serbest süresi (maksimum limanda tutma süresi)

lh: liman deposunda her bir taşımalık için depoda tutma maliyeti

ld: bir taşımalık için, limanda, liman serbest süresinin aşılması halinde açığa çıkan demuraj maliyeti

$PMif_t^s$: t zamanında, yerel tedarikçilerden gönderilen, s deterjan paketleme malzemeleri ve hammadde çuval miktarları

Nif_t^s : t zamanında, limana gönderilen, s paketleme malzemeleri ve hammaddeleri çuvallarını içeren taşımalık miktarları

Oif_t^s : t zamanında, uluslar arası tedarikçilerden dış depoya gönderilen, s deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddeleri çuval miktarları

Dif_t^s : t zamanında, üretimde kullanılan, s deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddeleri çuval miktarları

F: liman deposunun taşımalık cinsinden kapasitesi

dif^s : Bir adet s deterjan paketleme malzemesi ve hammaddesinin kapladığı alan (m^2 cinsinden)

blf^s : 1 tır ile taşınabilecek maksimum, s deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddeleri çuval miktarları

wlf^s : 1 taşımalığın alabileceği maksimum s deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddeleri çuval miktarları

KLF_j : j deterjan depolama alanının çuval cinsinden kapasitesi (j: dış depo, fabrika deposu)

BLL_t^s : t zamanında, çuval ile istiflenen s deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddelerinin limandaki başlangıç stok seviyeleri

$BIlf_{j0}^s$: s deterjan paketleme malzemeleri ve hammaddelerinin, çuval cinsinden, j' deki (dış depo ve fabrika deposu) başlangıç stok seviyeleri

Karar değişkenleri:

y_{ijt} : t zamanında, paketleme ve hammadde malzemelerinin, i' den j' ye nakliyesinde kullanılacak tır sayısı

$I f_{ijt}^s$: t zamanında, i' den j' ye nakledilecek, s deterjan paketleme ve hammadde malzemeleri çuval miktarları

$III f_{jt}^s$: t zamanı sonunda, j' de depolanan, s deterjan paketleme ve hammadde malzemeleri çuval miktarları

$L I f_{\tau t}^s$: t zamanda, τ zamanda limana gönderilmiş olan, s deterjan paketleme ve hammadde malzemeleri çuval miktarını içeren taşımalık miktarı

$q I f_{j\tau t}^s$: τ zamanında limana gönderilmiş s deterjan paketleme ve hammadde malzemeleri çuval miktarını içeren ve t zamanında j' ye nakledilen taşımalık miktarı

$M I f_{jt}^s$: t zamanında, yerel tedarikçilerden j' ye gönderilen, s deterjan paketleme ve hammadde malzemeleri çuval miktarları

Matematiksel model 1:

Min

$$\sum_i \sum_j \sum_s c_{ij}^s * y_{ijst} + \sum_i \sum_j \sum_s d_{ij}^s * \sum_i (w I f_{ijst}^s + q I f_{ijst}^s) + \sum_j \sum_s d_j^s * (\sum_i (M I f_{jt}^s + O I f_{jt}^s))$$

$$\sum_j \sum_s h_j^s * (\sum_i I I f_{jt}^s) + \sum_i \sum_s I h_i^s * (\sum_i L I f_{it}^s) + \sum_i \sum_s (I d_i - I h_i) * (\sum_i L I f_{it}^s)$$

s.t

$$(1) \sum_i (d I f_{it}^s + I I f_{jt}^s) \leq K L F_j \quad \forall t \geq 8, j=2,3$$

$$(2) \sum_i (\sum_i L I f_{it}^s) \leq F \quad \forall t,s$$

$$(3) I I f_{jt}^s = I I f_{j,t-1}^s + M I f_{jt}^s + O I f_{jt}^s + \sum_i (w I f_{ijst}^s + q I f_{ijst}^s) - I f_{jt}^s \quad \forall t \geq 9, s$$

$$(4) I I f_{jt}^s = I I f_{j,t-1}^s + M I f_{jt}^s + O I f_{jt}^s + \sum_i (w I f_{ijst}^s + q I f_{ijst}^s) - I f_{jt}^s - D I f_{jt}^s, \forall t \geq 9, s$$

$$(5) L I f_{it}^s = L I f_{i,t-1}^s - \sum_j q I f_{ijst}^s \quad \forall t \geq 9, \tau \leq t-1, s$$

$$(6) L I f_{it}^s = N I f_{it}^s - \sum_j q I f_{ijst}^s \quad \forall t \geq 8, s$$

$$(7.a) y_{ijst} \geq \sum_i (I f_{ijst}^s / b I f_{ijst}^s) \quad \forall t \geq 8, j=3$$

$$(7.b) y_{ijst} \geq \sum_i (\sum_i w I f_{ijst}^s + q I f_{ijst}^s / b I f_{ijst}^s) \quad \forall t \geq 8, j=2,3$$

$$(8.a) IIf'_s = BIIf'_s + MIf'_s + wlf' * \sum_{\tau} qlf'_{s,\tau} \quad \forall t=1, j=2, s$$

$$(8.b) IIf'_s = BIIf'_s + MIf'_s + OIf'_s + wlf' * \sum_{\tau} qlf'_{s,\tau} \quad \forall t=1, j=1, s$$

$$(9) PMIf'_s = MIf'_s + MIf'_s \quad \forall t \geq 8, s$$

$$(10) LIf'_s = BLL'_s \quad \forall t \geq 7, s$$

$$(11) LIf'_s = LIf'_{\tau(t-1)} \quad \forall 2 \leq t \leq 7, \tau \leq t-1, s$$

$$(12) LIf'_s = LIf'_{\tau(t-1)} - \sum_{\tau} qlf'_{s,\tau} \quad \forall t=8, \tau \leq t-1, s$$

$$(13) 0 \leq t \leq T, 0 \leq \tau \leq T$$

$$(14) y_s, lf'_s, IIf'_s, LIf'_s, qlf'_{s,\tau}, MIf'_s \geq 0$$

Ek 4. Modellerde uygulanan 16 farklı senaryonun sonuçları

EK - 8												
Group Kağıt Palet		Vektör Büyüklüğü 15190										
30'luk Populasyon				50'lik Populasyon				100'luk Populasyon				
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma
1. Hafta	500	2813.73	3267.86	13.90%	500	2813.73	3267.86	13.90%	500	2813.73	3341.38	15.79%
	1000	2813.73	3267.86	13.90%	1000	2813.73	3267.86	13.90%	1000	2813.73	3341.38	15.79%
2. Hafta	500	3981.21	4569.07	12.87%	500	3981.21	4541.70	12.34%	500	3981.21	4541.70	12.34%
	1000	3981.21	4569.07	12.87%	1000	3981.21	4541.70	12.34%	1000	3981.21	4541.70	12.34%
3. Hafta	500	4628.93	5309.14	12.81%	500	4628.93	5324.64	13.07%	500	4628.93	5292.64	12.54%
	1000	4628.93	5309.14	12.81%	1000	4628.93	5324.64	13.07%	1000	4628.93	5292.64	12.54%
4. Hafta	500	6116.196	7243.91	15.57%	500	6116.196	7143.74	14.38%	500	6116.196	7128.98	14.21%
	1000	6116.196	7243.91	15.57%	1000	6116.196	7143.74	14.38%	1000	6116.196	7128.98	14.21%
Grup Kağıt Yer		Vektör Büyüklüğü 4410										
30'luk Populasyon				50'lik Populasyon				100'luk Populasyon				
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma
1. Hafta	500	5021.762	5990.97	16.18%	500	5021.762	5990.97	16.18%	500	5021.762	5990.97	16.18%
	1000	5021.762	5990.97	16.18%	1000	5021.762	5990.97	16.18%	1000	5021.762	5990.97	16.18%
2. Hafta	500	5197.46	5991.93	13.26%	500	5197.46	5991.93	13.26%	500	5197.46	5991.93	13.26%
	1000	5197.46	5991.93	13.26%	1000	5197.46	5991.93	13.26%	1000	5197.46	5991.93	13.26%
3. Hafta	500	5040.08	5869.31	14.13%	500	5040.08	5812.46	13.29%	500	5040.08	5812.46	13.29%
	1000	5040.08	5869.31	14.13%	1000	5040.08	5812.46	13.29%	1000	5040.08	5812.46	13.29%
4. Hafta	500	3911.05	5642.38	30.68%	500	3911.05	5642.38	30.68%	500	3911.05	5584.30	29.96%
	1000	3911.05	5642.38	30.68%	1000	3911.05	5642.38	30.68%	1000	3911.05	5584.30	29.96%

Group Deterjan Palet												
		Vektör Büyüklüğü 18032										
30'luk Populasyon				50'lik Populasyon				100'luk Populasyon				
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma
1. Hafta	500	6732.129	7023.12	4.14%	500	6732.129	7005.04	3.90%	500	6732.129	6989.96	3.69%
	1000	6732.129	7023.12	4.14%	1000	6732.129	7005.04	3.90%	1000	6732.129	6989.96	3.69%
2. Hafta	500	13070.80	13272.65	1.52%	500	13070.80	13272.65	1.52%	500	13070.80	13272.65	1.52%
	1000	13070.80	13272.65	1.52%	1000	13070.80	13272.65	1.52%	1000	13070.80	13272.65	1.52%
3. Hafta	500	12193.97	12336.37	1.15%	500	12193.97	12336.37	1.15%	500	12193.97	12336.12	1.10%
	1000	12193.97	12336.37	1.15%	1000	12193.97	12336.37	1.15%	1000	12193.97	12336.12	1.10%
4. Hafta	500	13647.85	13733.89	0.63%	500	13647.85	13705.82	0.42%	500	13647.85	13705.82	0.42%
	1000	13647.85	13733.89	0.63%	1000	13647.85	13705.82	0.42%	1000	13647.85	13705.82	0.42%
Grup Deterjan Yer		Vektör Büyüklüğü 1764										
30'luk Populasyon				50'lik Populasyon				100'luk Populasyon				
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Sapma
1. Hafta	500	2080.53	2552.79	18.50%	500	2080.53	2552.79	18.50%	500	2080.53	2552.79	18.50%
	1000	2080.53	2552.79	18.50%	1000	2080.53	2552.79	18.50%	1000	2080.53	2552.79	18.50%
2. Hafta	500	4838.11	5129.02	5.67%	500	4838.11	5108.37	5.29%	500	4838.11	5124.47	5.59%
	1000	4838.11	5096.37	5.07%	1000	4838.11	5061.87	4.42%	1000	4838.11	5124.47	5.59%
3. Hafta	500	5560.70	6222.26	10.63%	500	5560.70	6198.82	10.29%	500	5560.70	6233.41	10.79%
	1000	5560.70	6215.32	10.53%	1000	5560.70	6156.82	9.68%	1000	5560.70	6232.45	10.78%
4. Hafta	500	5774.43	6440.93	10.35%	500	5774.43	6422.50	10.09%	500	5774.43	6456.66	10.57%
	1000	5774.43	6424.00	10.11%	1000	5774.43	6379.00	9.48%	1000	5774.43	6456.66	10.57%

Ek 5. Modellerin çözüm süreleri

EK - 9

ÇÖZÜM SÜRELERİ (DAKKA)									
Grup Kağıt Palet	30'luk Populasyon			50'luk Populasyon			100'luk Populasyon		
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model
1. Hafta	500	1,7	72,70	500	2,54	121,17	500	4,12	242,34
	1000	1,7	143,54	1000	2,54	239,23	1000	4,54	478,46
2. Hafta	500	1,43	77,43	500	2,17	129,05	500	4,54	258,10
	1000	1,43	160,76	1000	2,17	267,94	1000	4,54	535,87
3. Hafta	500	1,32	69,80	500	2,45	116,33	500	4,65	232,65
	1000	1,32	144,25	1000	2,45	240,42	1000	4,65	480,85
4. Hafta	500	1,45	71,19	500	2,23	118,65	500	4,76	237,30
	1000	1,45	145,70	1000	2,23	242,83	1000	4,76	485,66

Grup Kağıt Yer	30'luk Populasyon			50'luk Populasyon			100'luk Populasyon		
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model
1. Hafta	500	0,34	6,82	500	0,36	11,36	500	0,31	22,72
	1000	0,34	13,42	1000	0,36	22,37	1000	0,31	44,74
2. Hafta	500	0,45	7,43	500	0,28	12,38	500	0,25	24,76
	1000	0,45	15,97	1000	0,28	26,62	1000	0,25	53,24
3. Hafta	500	0,23	7,12	500	0,21	11,87	500	0,18	23,74
	1000	0,23	15,03	1000	0,21	25,05	1000	0,18	50,11
4. Hafta	500	0,17	6,89	500	0,19	11,48	500	0,2	22,97
	1000	0,17	13,62	1000	0,19	22,70	1000	0,2	45,41

Grup Deterjan Palet	30'luk Populasyon			50'luk Populasyon			100'luk Populasyon		
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model
1. Hafta	500	1,921	96,59	500	3,1496	160,99	500	4,5732	321,97
	1000	1,921	194,60	1000	3,1496	324,33	1000	5,0394	648,67
2. Hafta	500	1,6159	94,88	500	2,6908	158,14	500	5,0394	316,28
	1000	1,6159	187,50	1000	2,6908	312,51	1000	5,0394	625,01
3. Hafta	500	1,4916	99,63	500	3,038	166,05	500	5,1615	332,10
	1000	1,4916	196,88	1000	3,038	328,13	1000	5,1615	656,26
4. Hafta	500	1,6385	96,40	500	2,7652	160,67	500	5,2836	321,34
	1000	1,6385	191,44	1000	2,7652	319,07	1000	5,2836	638,14

Grup Deterjan Yer	30'luk Populasyon			50'luk Populasyon			100'luk Populasyon		
	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model	Tekrarlama	CPLEX	Sezgisel Model
1. Hafta	500	0,4182	0,45	500	0,4428	0,70	500	0,3813	1,45
	1000	0,4182	0,82	1000	0,4428	1,35	1000	0,3813	2,70
2. Hafta	500	0,5535	0,48	500	0,3444	0,78	500	0,3075	1,43
	1000	0,5535	0,90	1000	0,3444	1,48	1000	0,3075	3,00
3. Hafta	500	0,2829	0,45	500	0,2583	0,78	500	0,2214	1,55
	1000	0,2829	0,90	1000	0,2583	1,48	1000	0,2214	2,97
4. Hafta	500	0,2091	0,45	500	0,2337	0,78	500	0,246	1,47
	1000	0,2091	0,85	1000	0,2337	1,48	1000	0,246	2,98

Ek 6. Duyarlılık analizi sonuçları

Grup Kağıt Palet	Ek 10 - Duyarlılık Analizi							
	100 Populasyon				100 Populasyon			
	100 tekrarlar	Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim	100 tekrarlar	Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim
1. Hafta	Kapasite	2813,73	2894,01	2734,97	Kapasite	3267,86	3267,86	3267,86
	Dış Depoda saklama fiyatı	2813,73	2792,99	2834,47	Dış Depoda saklama fiyatı	3267,86	3247,72	3287,95
	Limanda depolama fiyatı	2813,73	2770,23	2855,40	Limanda depolama fiyatı	3267,86	3209,86	3325,86
	Nakliye Fiyatı	2813,73	2813,73	2813,73	Nakliye Fiyatı	3267,86	3261,61	3274,11
	Elleleme Fiyatı	2813,73	2747,28	2880,18	Elleleme Fiyatı	3267,86	3188,81	3346,91
2. Hafta	Kapasite	3981,212	4077,07	3888,99	Kapasite	4541,70	4541,70	4541,70
	Dış Depoda saklama fiyatı	3981,212	3946,63	4016,45	Dış Depoda saklama fiyatı	4541,70	4538,42	4599,59
	Limanda depolama fiyatı	3981,212	3953,20	4010,16	Limanda depolama fiyatı	4541,70	4517,57	4620,57
	Nakliye Fiyatı	3981,212	3981,21	3981,21	Nakliye Fiyatı	4541,70	4535,32	4572,82
	Elleleme Fiyatı	3981,212	3859,38	4103,31	Elleleme Fiyatı	4541,70	4524,84	4613,29
3. Hafta	Kapasite	4628,932	4735,68	4525,64	Kapasite	5292,64	5292,64	5292,64
	Dış Depoda saklama fiyatı	4628,932	4589,41	4669,66	Dış Depoda saklama fiyatı	5292,64	5269,48	5348,80
	Limanda depolama fiyatı	4628,999	4602,18	4656,15	Limanda depolama fiyatı	5292,64	5256,64	5361,64
	Nakliye Fiyatı	4628,999	4628,93	4628,93	Nakliye Fiyatı	5292,64	5276,64	5321,64
	Elleleme Fiyatı	4628,932	4483,98	4774,42	Elleleme Fiyatı	5292,64	5148,34	5469,94
4. Hafta	Kapasite	6116,196	6226,07	6011,93	Kapasite	7143,74	7143,74	7143,74
	Dış Depoda saklama fiyatı	6116,196	6064,25	6167,87	Dış Depoda saklama fiyatı	7143,74	7297,95	7189,87
	Limanda depolama fiyatı	6116,196	6082,63	6148,30	Limanda depolama fiyatı	7143,74	7295,41	7192,41
	Nakliye Fiyatı	6115,995	6116,00	6116,20	Nakliye Fiyatı	7143,74	7265,66	7222,16
	Elleleme Fiyatı	6116,196	5918,89	6313,37	Elleleme Fiyatı	7143,74	7478,81	7009,00

Grup Kağıt Yer	100 Populasyon 100 tekrarlama	CIPLEX			100 Populasyon 100 tekrarlama	Sezgisel Model		
		Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim		Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim
1. Hafta	Kapasite	5021,762	5112,10	4932,18	Kapasite	5990,97	5990,97	5990,97
	Dış Depoda saklama fiyatı	5021,762	4972,36	5054,33	Dış Depoda saklama fiyatı	5990,97	6029,24	5952,70
	Limanda depolama fiyatı	5021,762	4961,09	5043,96	Limanda depolama fiyatı	5990,97	6052,72	5929,22
	Nakliye Fiyatı	5043,938	4975,51	5060,75	Nakliye Fiyatı	5990,97	6001,72	5980,22
2. Hafta	Elleleme Fiyatı	5021,762	4866,50	5161,72	Elleleme Fiyatı	5990,97	6179,75	5802,20
	Kapasite	5197,438	5288,85	5119,29	Kapasite	5991,93	5991,93	5991,93
	Dış Depoda saklama fiyatı	5197,438	5159,72	5237,98	Dış Depoda saklama fiyatı	5991,93	6033,10	5950,75
	Limanda depolama fiyatı	5201,835	5161,84	5235,43	Limanda depolama fiyatı	5991,93	6049,18	5934,68
3. Hafta	Nakliye Fiyatı	5235,427	5165,89	5229,51	Nakliye Fiyatı	5991,93	6002,68	5981,18
	Elleleme Fiyatı	5197,438	5047,94	5347,81	Elleleme Fiyatı	5991,93	6182,35	5801,50
	Kapasite	5040,076	5132,78	4947,09	Kapasite	5812,46	5812,46	5812,46
	Dış Depoda saklama fiyatı	5040,076	4997,35	5071,79	Dış Depoda saklama fiyatı	5812,46	5909,70	5828,92
4. Hafta	Limanda depolama fiyatı	5034,205	5012,41	5060,26	Limanda depolama fiyatı	5812,46	5919,82	5818,82
	Nakliye Fiyatı	5060,238	5006,15	5074,08	Nakliye Fiyatı	5812,46	5880,57	5838,06
	Elleleme Fiyatı	5040,076	4883,60	5189,95	Elleleme Fiyatı	5812,46	6060,64	5677,99
	Kapasite	3911,049	3989,81	3832,29	Kapasite	5642,38	5642,38	5642,38
1. Hafta	Dış Depoda saklama fiyatı	3911,049	3880,07	3942,03	Dış Depoda saklama fiyatı	5642,38	5681,00	5603,75
	Limanda depolama fiyatı	3911,049	3851,55	3970,55	Limanda depolama fiyatı	5642,38	5699,37	5585,37
	Nakliye Fiyatı	3970,549	3905,05	3917,05	Nakliye Fiyatı	5642,38	5651,87	5632,87
	Elleleme Fiyatı	3911,049	3811,97	4010,12	Elleleme Fiyatı	5642,38	5819,37	5465,37

Grup Deterjan Palet	100 Populasyon 100 tekrarlama	CIPLEX			100 Populasyon 100 tekrarlama	Sezgisel Model		
		Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim		Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim
1. Hafta	Kapasite	6732,129	6743,39	6721,54	Kapasite	6989,96	6989,96	6989,96
	Dış Depoda saklama fiyatı	6732,33	6700,60	6764,26	Dış Depoda saklama fiyatı	6989,96	7032,08	6947,83
	Limanda depolama fiyatı	6732,33	6732,46	6732,26	Limanda depolama fiyatı	6989,96	6994,46	6985,45
	Nakliye Fiyatı	6732,263	6665,40	6799,53	Nakliye Fiyatı	6989,96	7044,96	6934,96
2. Hafta	Elleleme Fiyatı	6732,33	6494,51	6970,16	Elleleme Fiyatı	6989,96	7237,83	6742,08
	Kapasite	13070,8	13086,88	13055,06	Kapasite	13252,14	13252,14	13252,14
	Dış Depoda saklama fiyatı	13070,8	12988,15	13152,54	Dış Depoda saklama fiyatı	13252,14	13182,64	13262,66
	Limanda depolama fiyatı	13070,8	13070,60	13070,80	Limanda depolama fiyatı	13252,14	13240,38	13284,64
3. Hafta	Nakliye Fiyatı	13070,8	12948,00	13193,80	Nakliye Fiyatı	13252,14	13174,65	13370,65
	Elleleme Fiyatı	13070,8	12622,00	13519,60	Elleleme Fiyatı	13252,14	13118,03	13427,28
	Kapasite	12193,97	12209,85	12177,96	Kapasite	12329,12	12329,12	12329,12
	Dış Depoda saklama fiyatı	12193,97	12127,61	12259,67	Dış Depoda saklama fiyatı	12329,12	12259,92	12412,81
4. Hafta	Limanda depolama fiyatı	12193,97	12194,71	12194,04	Limanda depolama fiyatı	12329,12	12245,06	12260,56
	Nakliye Fiyatı	12194,04	12073,54	12314,67	Nakliye Fiyatı	12329,12	12163,42	12356,42
	Elleleme Fiyatı	12193,97	11770,69	12616,99	Elleleme Fiyatı	12329,12	12114,55	12405,3
	Kapasite	13647,85	13661,52	13634,39	Kapasite	13733,89	13733,89	13733,89
1. Hafta	Dış Depoda saklama fiyatı	13647,85	13571,62	13724,33	Dış Depoda saklama fiyatı	13733,89	13821,18	13646,59
	Limanda depolama fiyatı	13647,85	13647,79	13648,73	Limanda depolama fiyatı	13733,89	13740,89	13726,89
	Nakliye Fiyatı	13648,73	13515,06	13779,38	Nakliye Fiyatı	13733,89	13840,89	13626,89
	Elleleme Fiyatı	13647,85	13174,58	14121,33	Elleleme Fiyatı	13733,89	13895,69	13248,49

Grup Deterjan Yer	100 Populasyon 100 tekrarlama	CIPLEX			100 Populasyon 100 tekrarlama	Sezgisel Model		
		Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim		Orjinal	(+) %5 değişim	(-) %5 değişim
1. Hafta	Kapasite	2080,33	2136,54	2031,54	Kapasite	2552,79	2552,79	2552,79
	Dış Depoda saklama fiyatı	2080,33	2080,23	2080,83	Dış Depoda saklama fiyatı	2552,79	2551,60	2553,97
	Limanda depolama fiyatı	2080,33	2019,78	2140,78	Limanda depolama fiyatı	2552,79	2456,29	2649,29
	Nakliye Fiyatı	2140,78	2039,53	2121,03	Nakliye Fiyatı	2552,79	2537,54	2568,04
2. Hafta	Elleleme Fiyatı	2080,33	2078,06	2083,01	Elleleme Fiyatı	2552,79	2538,09	2567,49
	Kapasite	4838,112	4916,87	4759,38	Kapasite	5124,47	5124,47	5124,47
	Dış Depoda saklama fiyatı	4838,112	4830,88	4845,55	Dış Depoda saklama fiyatı	5124,47	5121,10	5127,84
	Limanda depolama fiyatı	4838,112	4690,70	4979,64	Limanda depolama fiyatı	5124,47	4924,47	5324,47
3. Hafta	Nakliye Fiyatı	4979,642	4777,14	4899,14	Nakliye Fiyatı	5124,47	5101,47	5147,47
	Elleleme Fiyatı	4838,112	4806,19	4888,26	Elleleme Fiyatı	5124,47	5094,62	5154,22
	Kapasite	5560,696	5639,46	5481,94	Kapasite	6232,45	6232,45	6232,45
	Dış Depoda saklama fiyatı	5560,696	5550,62	5570,71	Dış Depoda saklama fiyatı	6232,45	6227,97	6236,88
4. Hafta	Limanda depolama fiyatı	5560,696	5410,01	5701,26	Limanda depolama fiyatı	6232,45	5982,45	6482,45
	Nakliye Fiyatı	5701,256	5472,20	5649,13	Nakliye Fiyatı	6232,45	6201,70	6263,20
	Elleleme Fiyatı	5560,696	5523,16	5597,93	Elleleme Fiyatı	6232,45	6205,96	6238,83
	Kapasite	5774,431	5823,19	5695,67	Kapasite	6456,66	6456,66	6456,66
1. Hafta	Dış Depoda saklama fiyatı	5774,431	5763,73	5785,13	Dış Depoda saklama fiyatı	6456,66	6453,38	6459,94
	Limanda depolama fiyatı	5774,431	5613,37	5914,17	Limanda depolama fiyatı	6456,66	6199,66	6713,66
	Nakliye Fiyatı	5914,171	5683,93	5864,93	Nakliye Fiyatı	6456,66	6425,16	6488,16
	Elleleme Fiyatı	5774,431	5732,65	5815,46	Elleleme Fiyatı	6456,66	6425,61	6487,71

Üretim Planlama ve Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarımı

Tepe Mobilya San. Tic. A. Ş.

Proje Ekibi

Özkan Akdoğan
Mücahit Altınöz
F. Mert Çiftci
Çağlar Meram
Eray Timur
Fikret B. Yılmaz

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Songül Anıl, Tepe Mobilya San. Tic. A.Ş.
Üretim Sorumlusu

Akademik Danışman

Figen Eren, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Müşteri memnuniyeti odaklı Tepe Mobilya'da siparişlerin %7-%9'u gününde teslim edilememekte, üretim planlama süreci üç gün sürmekte ve şirketin planlama sürecini gerçekleştirebileceği sistematik ve belirli bir yöntem bulunmamaktadır. Bu projenin amacı, hızlı, pratik ve kullanıcı dostu bir üretim planlama ve çizelgeleme karar destek sistemi tasarlayıp uygulayarak, planlama sürecini etkili bir platforma oturtmak ve üretim maliyetleri ile teslim tarihlerindeki gecikmeleri enaza indirmektir. Sistem Java programlama dili, GAMS ve Oracle veritabanı kullanılarak geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Karar Destek Sistemi, Çizelgeleme, Kullanıcı Arayüzü, Matematiksel Modelleme, Sezgisel Yaklaşım, ENS1, ENS2, NEHedd.

1. Firma Tanıtımı

Tepe Mobilya San. Tic. A.Ş., Tepe Grubu'nun şirketlerinden birisi olup, 1969 yılında kurulmuştur. Firmanın Bilkent, Sincan ve Eskişehir olmak üzere üç ayrı merkezde üretim tesisi bulunmaktadır. Yaklaşık 1700 çalışanı bulunan firmanın tüm fabrikaları göz önüne alınırsa, toplam 120.000 m² kapalı alanı ve 183.000 m² açık alanı bulunmaktadır. Ev ve işyeri mobilyaları, banyo, mutfak ve koridor dolapları firmanın ürün yelpazesini oluşturmaktadır. Firma, üstün hizmet ve kaliteyi amaçlamış üretim politikasıyla, 1998 yılında TS EN ISO 9001 kalite sertifikasını almıştır. Tepe Home mağazalarında ürünlerini piyasaya süren firmanın Türkiye içinde ve dışında da birçok bayisi bulunmaktadır. Yüksek kalite ve müşteri memnuniyetini hedefleyen Tepe Mobilya, alanının öncü firmalardan biri olmuştur.

2. Projenin Tanımı

2.1 Semptomlar

Fabrikada gözlenen başlıca semptomlar aşağıda sıralanmıştır:

- Üretim maliyetlerinin beklenen seviyenin üzerinde olması.
- Üretim çizelgelemesinin ve haftalık muhtemel bir üretim planının elde edilmesinin üç gün sürmesi ve bu zaman zarfının firmanın beklentisinin üzerinde olması.
- Siparişlerinin %7-%9'luk bölümünün belirlenen teslim tarihlerinde aksaklıklar ve gecikmeler yaşanması.
- Firmanın düzenli ve verimli bir üretim çizelgeleme sisteminin eksikliğini yaşamaması.

2.2 Problem tanımı ve kapsam

Firmanın tüm fabrikalarında, mevcut üretim planlama ve çizelgeleme çalışmaları satış-pazarlama bölümünden alınan bilgilere göre el ile yapılmaktadır. Daha önce her ne kadar bu alanda çalışmalar yapılmış olsa da, düzenli bir metodun eksikliği nedeniyle hızlı ve doğru kararlar alabilen bir sistem elde edilememiş ve firma kararlarında etkinlik ve sürdürülebilirlik bazında sıkıntılar yaşanmaktadır. Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün 2008 'de yayınlanan "Endüstri Projeleri 2008" kitabında yer alan "Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Tasarımı, Tepe Mobilya San. Ve Tic. A.Ş." (syf, 223–239) isimli projede de aynı problem dikkate alınmış ve bir çalışma yapılmıştır. Ancak sistemdeki bazı analiz eksiklikleri ve mevcut sistem ile tasarlanan sistemin uyumsuzlukları nedeniyle proje firmada hayata geçirilememiştir.

Firma genel olarak siparişlerinin "hangi fabrikada" ve "hangi sıraya göre" üretilmesinin karara bağlanması noktasında zorluk çekmektedir. Bir başka deyişle, firmanın bu kararı almasını sağlayacak ve üretim planlama ve çizelgeleme çalışmasını yapabileceği pratik, hızlı ve etkili bir sisteme ihtiyacı vardır. Maliyet ve teslim tarihlerini temel

alan ve firmanın üç ayrı fabrikasına siparişlerin dağıtımını yapan, aynı zamanda da her fabrikaya atanan siparişlerin üretim çizelgelerini oluşturan ve firmaya bu konuda değişik alternatifler sunan bir sistem, firmanın genel beklentisidir. Kısaca ana amaç: üretim maliyetlerini ve teslim tarihlerindeki gecikmeleri mümkün olduğu kadar azaltan ve firmaya üretim planlama ve çizelgeleme konusunda seçenekler sunan pratik, etkili, hızlı ve kullanıcı dostu bir sistemin tasarlanmasıdır.

Problemin kapsamı öncelikle, firmanın isteği doğrultusunda sadece panel ürünleri ve dolayısıyla da panel ürünlerle ilişkili siparişleri içermektedir. Tasarlanan sistem, firmanın üç fabrikasını da kapsamaktadır.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

Firmada döşemeli ve panel olmak üzere iki çeşit ürün grubu bulunmaktadır. Döşemeli ürünler çekme üretim anlayışıyla üretiliyor olup, ağırlıklı olarak Bilkent'teki fabrikada üretilmektedir. Panel ürünler ise itme-çekme üretim anlayışıyla üç fabrikada da üretime girmektedir. Fabrikalarda yaklaşık 5,000 mamul ve 10,000 yarı mamul bulunmaktadır.

Firmanın üretim planlama bölümü, siparişle talep edilen ya da stoka yönelik üretilecek her ürün için atama ve çizelgeleme çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmalar el ile yapılmakta olup, üç iş günü sürmektedir. Özellikle aynı ürün tiplerinin farklı fabrikalarda maliyet ve üretim süresi açısından farklılık göstermesi bu konuyu daha da zorlaştırmaktadır.

Analizi tamamlanmış problem bir "3-makinelı, sıralı, tıkanmasız, sıradan bağımsız kurulum süreli, akış tipi çizelgeleme problemi" olarak tanımlanmıştır: "3-makinelı"dir çünkü süreç kesme, delme ve montaj olmak üzere 3-dar boğaza indirgenebilmektedir. "Sıralı"dır çünkü her panel ürün kesme, delme ve montaj işlemlerinden sırası ile geçmektedir. "Tıkanmasız" olarak nitelenmiştir, çünkü ara mamülerin bir önceki sürecin işleyişini durduracak derecede birikmesi gözlemlenmemektedir. "Sıradan bağımsız kurulum süreli" olarak nitelenmesinin sebebi de her ürünün öncesinde ve sonrasında hangi ürünün işlenmiş olduğundan bağımsız bir standart kurulum süresinin olmasıdır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

Gerekli ölçüm ve analizler yapıldıktan sonra, maliyetler ve teslim tarihlerindeki gecikmeleri enazlayacak üretim planlama ve çizelgeleme yapan bir modelin tasarlanmasına karar verilmiştir. Tasarlanacak sistem, kullanıcıya atama ve çizelgeleme operasyonlarında seçenekler sunacaktır. Toplam üretim maliyeti ve teslim edilen siparişlerin toplam gecikme miktarı projenin ana performans ölçütleri olacaktır.

4. Önerilen Yöntem

Yeni ve üretimi başlamamış bütün siparişlerin üretim tesislerine atamasını gerçekleştirecek matematiksel bir model oluşturulmuş ve her tesise atanmış işlerin çizelgelemesini gerçekleştirecek iki adet sezgisel yöntem ortak bir arayüzde birleştirilmiştir.

4.1 Genel yaklaşım

Yapılan çalışmalar sonucunda Tepe Mobilya'nın havuzundaki tüm işlerin atanmasını ve çizelgelemesini gerçekleştirecek ve bu yolla gecikmeyi enaza indirecek bir sistemin geliştirilmesi için literatürde yüzlerce makale üzerinde tarama yapılmış, fakat sistemin gereksinimini tam karşılayacak, yani atama ve çizelgeleme işlemlerinin ikisini de tek bir modelde çözen bir modelin olmadığı görülmüştür. Bu sebepten dolayı problemin, “Atama problemi” ve “Çizelgeleme problemi” olmak üzere iki ana başlık altında incelenmesine karar verilmiştir. Atama ve çizelgeleme problemleri için iki ayrı model geliştirilmiş ve tasarlanan bu sistemin sağlıklı işlemesi ve kullanım kolaylığı için ortak bir arayüzde birleştirilmesine karar verilmiştir.

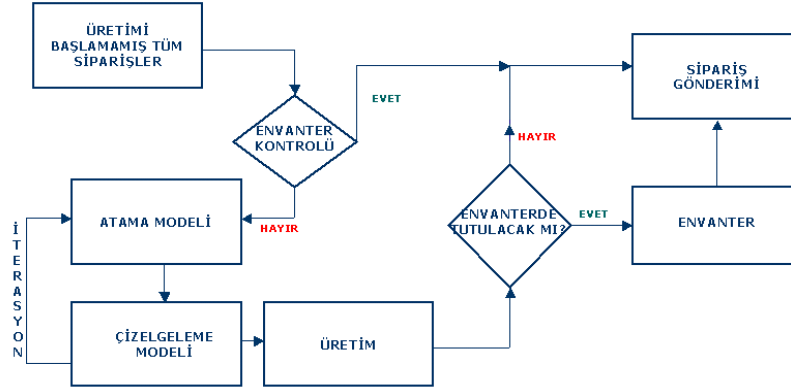
4.2 Tasarlanan sistemin girdileri, çıktıları, amacı ve mimarisi

Tepe Mobilya'da planlama haftalık periyotlarda yapılmasına rağmen, siparişlerin alımı için belirli zaman dilimleri yoktur. Dolayısıyla model haftalık bazda çalıştırılacak, fakat o ana kadar üretimi başlamamış tüm siparişleri içerecektir. Bu siparişlerin içerisindeki her bir ürün için üretim süreleri, birim üretim maliyetleri ve teslim tarihleri, atama modeli için gereken girdileri oluşturmaktadır. Atama modelinin çıktısı olan “her bir işin hangi tesiste üretileceği bilgisi” ve kesme, delme ve montaj tezgâhlarında geçirilecek toplam süreler de ikinci problem için çözüm oluşturan çizelgeleme modelinin girdisini oluşturmaktadır. Bunun devamında, atama modeli ve çizelgeleme modeli arasında geliştirilen iteratif döngüden dolayı, çizelgeleme modelinin çıktısı da atama modelinin sonucunu etkileyecektir. Bu ilişki Şekil 1’de açıkça görülmektedir.

4.3 Geliştirilen modeller ve çözüm yöntemleri

4.3.1 Atama modeli

Uygulanabilir bir atama modeli elde etmek için gerekli akademik araştırma gerçekleştirilmiştir. Hax ve Bradley (1984) yaklaşımı, üretimi parti olarak ele almak ve kurulum maliyetlerini de ana fonksiyon içerisine katmak için kullanılmıştır. İkinci olarak, Montgomery ve Johnson (1974) yaklaşımı ise birim maliyetleri değişken maliyet cinsinden alarak amaç fonksiyonu içerisine dâhil etmede kullanılmıştır.



Şekil 1. Sistem mimarisi.

Atama modelinin amacı, her bir üretim kalemini, üretim zamanı ve maliyet açısından farklılık gösteren üç farklı tesisten maliyet açısından en uygununa atamaktır. Bunun için kurulan modelde amaç fonksiyonu, talebin karşılanma zorunluluğu ve teslim tarihi gibi gerekli kısıtları göz önüne alarak üretim maliyetini enaza indirmektedir.

Modelin kodlanması ve çalıştırılması için eniyileme yazılımı olarak GAMS programı kullanılmıştır. Java programı ile uyumlu çalışması, Excel'den veri almaya ve Excel'e veri yazdırmaya olanak sağlamasından dolayı GAMS programı tercih edilmiştir. Maliyeti en aza indirme hedefli bir karma tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model Ek-1'de verilmiştir.

Model için önemli olan ve atama modelinde kullanılan DDmax parametresi, mevcut siparişlerin taahhüt tarihleri arasında en büyük olanıdır ve atama modelinde kullanılmaktadır. Her üç tesis için atanan işlerin DDmax değerinden küçük olması kısıtı ile, atama modeli, taahhüt tarihlerini de baz alan kontrollü bir atama gerçekleştirmektedir. Bu sayede, çizelgeleme işleminin toplam gecikmeyi enaza indirecek şekilde etkili sonuçlar vermesi sağlanmaktadır. Çünkü aksi takdirde, çizelgeleme algoritmaları ne kadar etkin işlese de, uygulanabilir bir sonuç elde etmek mümkün olmayacaktır.

4.3.2 Çizelgeleme modeli

Akış tipi çizelgeleme problemi veya iki makineli akış tipi çizelgeleme problemleri için farklı amaçlar doğrultusunda eniyi çözümleri elde etmek mümkündür. Diğer taraftan, m-makineli akış tipi çizelgeleme problemleri için eniyi çözüm verecek bir algoritma bulunmamakta ve bu problemler NP-zor problemler olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, m-makineli akış tipi çizelgeleme problemleri için yaklaşık sonuçlar verebilecek birçok sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu sezgisel yöntemler amaçları ve etkinlikleri açısından

farklılık göstermektedirler. Bu çalışmada, ara mamul tıkanması ve sırasız akış tipi çizelgeleme odaklı sezgisel yöntemler dikkate alınmadan teslim tarihi odaklı sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Sonuç olarak, toplam gecikme kıstasını dikkate alan sezgisel yöntemler içerisinde zaman ve etkinlik bazında en iyi sonucu veren iki tanesi – ENS1 ve ENS2 – uygulamaya geçirilecek algoritmalar olarak kabul edilmiştir (Vallada vd, 2008). Sezgisel yöntemlerin uygulanışında Kim, Lim ve Park (1996) makalesinden yararlanılmıştır.

GAMS programı ile üretim merkezine atanan siparişler, toplam gecikmeyi enaza indirme odaklı çalışan ENS1 ve ENS2 sezgisel yöntemleriyle çizelgelenmektedir. Bu yöntemler yalnızca siparişlerin toplam gecikme zamanını eniyi hale getirmekle kalmayıp, ayrıca siparişlerdeki en büyük gecikmeyi de eniyi düzeye getirmektedir. ENS1 ve ENS2 sezgisel yöntemleri sıralı “m” makine ve “n” iş sistemleri için oluşturulmuştur ve NEHedd algoritması üzerinde çalışan iyileştirme metodlarıyla çalışmaktadırlar.

NEHedd: Bu yöntem; mevcut işleri, “toplam gecikme süresini enaza indirmek için”, tek tek ekleyerek etkili bir çizelgeleme oluşturur. Sıralı “m” makine ve “n” iş sistemleri için uygun bir sezgisel yöntemdir.

Adım 1: Sipariş zamanı en yakın olan iş sıralamada ilk sıraya yerleştirilir. (Eğer sipariş zamanları en yakın olan eş zamanlı birden fazla iş varsa, üretim süresi en kısa olan sipariş çizelgelemede ilk sıraya yerleştirilir).

Adım 2: İkinci iş yerleştirilirken, ilk işle beraber toplam gecikme zamanı en küçük olacak şekilde kalan işlerden en uygun iş seçilir ve sıralamada 2. sıraya yerleştirilir.

Adım 3: Bir sonraki iş yerleştirilirken, bu adıma kadar yerleştirilen işlerin toplam gecikme zamanı enaz olacak şekilde, kalan işlerden en uygun iş seçilir ve sıralamaya yerleştirilir. (Mesela; n. iş yerleştirilirken, ilk n işin toplam gecikme süresi en küçük olacak şekilde, sıralamaya daha yerleştirilmemiş işlerden bir iş seçilir ve sıralamada n. sıraya yerleştirilir.)

Adım 4: Son iş yerleştirilinceye kadar yöntem Adım 3’ü takip eder.

ENSI: Bu yöntem, sıralamadaki işlerin toplam gecikme zamanını en aza indirmek için, NEHedd yöntemi ile elde edilen sıralamayı aşağıdaki adımları izleyerek iyileştirir.

Adım 1: NEHedd yöntemi ile elde edilen n siparişli çizelgelemedeki ilk iş orijinal NEHedd sıralaması üzerinde, ayrı ayrı 1., 2., 3., ...n. sıralara yerleştirilerek n tane farklı sıralama oluşturulur ve oluşturulan her sıralamanın toplam gecikme zamanı bulunur.

Adım 2: Toplam gecikme zamanı enaz olan sıralama eniyi sıralama olarak seçilir.

Adım 3: Orijinal NEHedd sıralamasındaki 2. iş orijinal sıralamada 1., 2., 3. ve n. sıralara ayrı ayrı yerleştirilerek n tane farklı sıralama oluşturulur ve oluşturulan her sıralamanın toplam gecikme zamanı bulunur.

Adım 4: Toplam gecikme zamanı en az olan sıralama eniyi sıralama olarak seçilir.

Adım 5: Adım 3'deki işlem, orijinal NEHedd sıralamasındaki diğer her iş için yapılır ve her işin yeri ayrı ayrı orijinal sıralamada 1., 2., 3., ...n. sıralara yerleştirilerek, her bir iş için ayrı ayrı n tane farklı sıralama oluşturulur ve her sıralama için işlerin toplam gecikme zamanı bulunur.

Adım 6: Adım 2'deki gibi toplam gecikme zamanı en küçük olan sıralama eniyi sıralama olarak seçilir. Böylece son işe kadar yerleştirme işi devam eder ve toplam gecikme zamanı en küçük olan sıralama bulunur.

ENS2: Bu yöntem de ENS1 gibi, NEHedd yöntemi ile elde edilen sıralamayı aşağıdaki adımları izleyerek iyileştirir.

Adım 1: NEHedd yöntemi ile elde edilen, n siparişli çizelgelemedeki ilk iş ayrı ayrı orijinal sıralamada 1., 2., 3., ...n. sıralardaki işlerle yer değiştirilerek toplam n tane farklı sıralama oluşturulur ve oluşturulan her sıralamanın toplam gecikme zamanı bulunur.

Adım 2: Toplam gecikme zamanı en az olan sıralama eniyi sıralama olarak seçilir.

Adım 3: Orijinal NEHedd sıralamasındaki 2. iş orijinal sıralamada 1., 2., 3., ...n. sıralardaki işlerle ayrı ayrı yer değiştirilerek n tane farklı sıralama oluşturulur ve oluşturulan her sıralamanın toplam gecikme zamanı bulunur.

Adım 4: Toplam gecikme zamanı en az olan sıralama eniyi sıralama olarak seçilir.

Adım 5: Adım 3' deki işlem, orijinal NEHedd sıralamasındaki diğer her iş için yapılır ve her işin yeri ayrı ayrı orijinal sıralamada 1., 2., 3., ...n. sıralardaki işlerle yer değiştirilerek, her bir iş için ayrı ayrı n tane farklı sıralama oluşturulur ve her sıralama için işlerin toplam gecikme zamanı bulunur.

Adım 6: Adım 2' deki gibi toplam gecikme zamanı en küçük olan sıralama eniyi sıralama olarak seçilir. Böylece son işe kadar yer değiştirme işi devam eder ve toplam gecikme zamanı en küçük olan sıralama bulunur.

Atama modelinin sonucu olarak ortaya çıkan atama verileri, her üç tesis için çizelgeleme modelinde sıralamaya tabii tutulmaktadır. Başlangıç sırası olarak NEHedd sezgisel yönteminden elde edilen sıralama, bu iki yöntemin yardımıyla "toplam gecikme" bazında daha iyi sonuç verecek bir hale getirilmektedir.

4.4 Doğrulama ve geçerleme

Atama modeli, 500-adet iş verisi için denenmiş ve sorunsuz çalışarak üç ayrı tesise atama işlemini başarıyla tamamlamıştır. Daha sonra, amaç fonksiyonun geçerlemesini yapmak amacıyla, her bir ürünün birim maliyeti Eskişehir tesisi için azaltılmıştır. Beklenildiği üzere model siparişlerin tümünü oraya atamıştır. İkinci durumda, yine birim maliyetler Eskişehir tesisi için azaltılıp bu kez de DDmax parametresi kısıtlı tutulmuştur. Burada amaç DDmax kısıtının geçerlemesini yapmaktır. Beklenildiği üzere, model yine işleri Eskişehir'e atama eğilimi göstermiş, fakat DDmax kısıtının sınırlayıcı etkisinden dolayı tamamını Eskişehir tesisine atayamamıştır.

Çizelgeleme modelinin doğrulaması, farklı örnekler için Java üzerinde kodlanmış olan modelin denenmesi ve sonuç verdiğinin gözlemlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Çizelgeleme modelinin geçerlemesi isekaynakçada yer alan örnek veri üzerinden giderek gerçekleştirilmiş, aynı veriler için aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür.

5. Sonuçlar

5.1 Duyarlık ve senaryo analizleri

Atama modeli ve çizelgeleme modeli farklı veri kümeleri için denenmiş ve işlem süresinin kullanılan verinin doğasından bağımsız olduğunu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla sistemin çalışma zamanının çok kısa olacağı, farklı senaryolar altında yapmış olduğumuz testler ile görülmüştür. Bu senaryolardan birisi Şekil-2'de verilmiştir ve sistemin çalışma şekli anlatılmıştır.

Alınan siparişlerin hangi üretim tesisinde üretileceğini belirleyen atama modeli için gerekli olan girdiler şirketten Excel tablosu halinde alınmıştır. Bu tablolar, sipariş numarası, teslim tarihi, talep adedi, her bir ürünün her bir üretim tesisinde üretilmesi için gerekli olan zaman ve oluşturduğu maliyetleri içermektedir. Atama modeli, bahsi geçen veri tablolarının kullanarak, hangi ürünün hangi üretim tesisinde üretileceğini gösteren ayrı bir veri tablosu oluşturmaktadır. Hazırlanan arayüz, her bir üretim tesisinde üretileceği belirlenen ürünleri kayıt altına almaktadır.

Atama işlemi gerçekleştirildikten sonra sıra atamaları yapılan tesislerde üretim çizelgeleme işleminin yapılmasına gelmiştir. Bunun için ENS1 ve ENS2 algoritmalarını kullanan Java kodlarının çalıştırılması gerekmektedir. Sözü geçen algoritmalar Java programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Bu kodların çalışabilmesi için, atama modeli sonucu elde edilen bilgilerin yanı sıra her ürünün her bir üretim tesisindeki makine-1, makine-2 ve makine-3 deki üretim zamanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Arayüz, 3 makinedeki üretim zamanlarını ve atama sonucunu alarak her bir üretim tesisi için ENS1 ve ENS2

kodlarını çalıştırmaktadır. Kodlar çalıştıktan sonra, sıralanmış işler arayüz yardımıyla ekrana yazdırılmaktadır.

	Bilkent Sırala	Sincan Sırala	Eskişehir Sırala
Bilkent	3142,40,42,43,44,45,46,48,3110,3112,3114,3115,3116,3118,3120,3122,3124,3125,3126,3128,3130		
Ens1	job-3104 job-273 job-130 job-3106 job-481 job-447 job-429 job-347 job-285 job-140 job-417 job-479		
Ens2	job-3104 job-273 job-130 job-3106 job-481 job-447 job-429 job-347 job-285 job-140 job-417 job-479		
Sincan	39,47,49,3113,3117,3119,3123,3127,3129,3133,3099,3101,3105,3109,3144,3151,3184,3161,3176,3		
Ens1			
Ens2			
Eskişehir	3140,3111,3121,3131,3103,3146,3167,3177,3181,106,108,109,116,119,121,123,126,133,136,145,1		
Ens1			
Ens2			

Şekil 2. Kullanıcı Arayüzü'nde üç tesise yapılan atama işlemi ve Bilkent tesisi için atanmış iş emirlerinin çizelgelemesinin yapılması.

Firmadan alınmış örnek veri üzerinde gerçekleştirilmiş 5-aşamalı bir iterasyon ve sistemin verdiği sonuçlar Ek-2'de yer almaktadır. Tüm zaman birimleri iterasyonun işleyişini ve çizelgeleme sezgisel yöntemleri arasındaki farkı daha açık ortaya koyabilmek için “saniye” cinsinden alınmıştır. İterasyon basamakları aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Önce, $DD_{max} = 750$ değeri için yapılan atama sonucu olarak , Bilkent ve Sincan tesislerinde gecikme görülmüştür. Gecikmeyi azaltmak, maliyeti artırsa da müşteri memnuniyeti için kaçınılmazdır. Bu sebepten, iterasyonun ikinci basamağında, DD_{max} değeri 400'e düşürülmüştür. Tablo 2'de görüldüğü üzere atama sonucu her üç tesis için de değişmiş, toplam gecikme ise 3122865 saniye değerinden 1637559 değerine düşerek %48'lik bir iyileşme göstermiştir. Yapılan 3.iterasyonun sonucunda, Tablo 3'de görüldüğü üzere, toplam gecikme 1637559 saniye'den 1513841 saniyeye düşerek %8'lik bir iyileşme göstermiştir. Yapılan 4.iterasyonun sonucunda ise, Tablo 4'de görüldüğü üzere, toplam gecikme 1513841 saniye'den 1384982 saniyeye düşerek %9'luk bir iyileşme göstermiştir. Yapılan son iterasyonda, Tablo 5'de görüldüğü üzere, toplam gecikme 1384982 saniye'den 1380693 saniyeye yani yaklaşık 15 güne düşerek %1'lik bir iyileşme göstermiştir.

Burada dikkate değer bir husus da, çizelgeleme sezgisel yöntemleri ENS1 ve ENS2'den birisinin diğerine üstünlüğünün olmaması ve farklı durumlar için en iyi sonucu ikisinin de verebilmesidir. Bu da, tek bir yöntem yerine, iki ayrı yöntemin kullanılmasının ne kadar yerinde bir karar olduğunu göstermektedir.

5.2 Sistem performansı ve mevcut durumla karşılaştırma

Mevcut durumda üretim planlama işlemi el ile iki personelin üç gün süreli çalışması ile gerçekleştirilmektedir. Mevcut durumun firma beklentilerinin çok üzerinde zaman alması bir yana, sistemin etkinliği de şüphelidir. Çünkü mevcut sistem belirli, sistematik ve matematik bir temele oturmamıştır. Bu bağlamda, yeni tasarlanan sistemin mevcut sisteme nazaran planlama zamanı kazancı yaratacağı beklenmekte, ek olarak, maliyet ve işlerin yetişmesi yönünden mevcut sisteme göre çok daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir.

Bu projede tasarlanan sistemin, 2008 yılında tasarlanmış sistemle en önemli farkları; çizelgeleme basamağında kullanılan sezgisel yöntemlerin daha etkili ve sisteme uygun olması ile tasarlanmış sistemin esnekliği ve firmayla uyumlu çalışabilmesidir.

6. Uygulama

6.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Sistemin uygulanabilmesi için GAMS adlı programın tam sürümünün lisansının firma tarafından alınması gerekmektedir. Firmaya kolaylık olması açısından bu konuda gerekli araştırma yapılmış ve programın paket fiyatlarıyla ilgili araştırma sonuçları Ek-3'te verilmiştir. Bunun dışında kalan kısımlar için ekstra bir maliyet söz konusu olmayacaktır. Çünkü atama modeli dışında kalan çizelgeleme modeli ve arayüz, Java programlama dili ile kodlanmıştır ve Java'nın kuruluşu ve işletilmesi ücretsizdir. Uygulama açısından bakıldığında ise, arayüz Oracle ile uyumlu olarak tasarlanmıştır ve Oracle altyapısı firmada kullanılır durumdadır.

6.2 Yapılan işler, gelinen aşama ve yapılacak işler

Sistemin tasarımı tamamlanmış ancak kullanıcı arayüzü son halini almadığı için, sistem henüz kullanıma geçememiştir.

6.3 Uygulama planı

Firmanın bilgi işlem bölümü ile iletişime geçilmiştir, Oracle'ı ilgilendiren her türlü konuda onların yardımına başvurulacaktır. İlk olarak Oracle sorgusu ile gerekli veriler veritabanından çekilecek, sonrasında GAMS programı tarafından kullanılacaktır. İkinci olarak, firma bilgisayarına yüklenmiş olan Java ve Java tabanlı çalışan arayüz ile sistem çalıştırılacaktır.

7. Genel Değerlendirme

Tasarlanan sistemin Mayıs 2009 da uygulamaya geçirilmesi beklenmektedir. Üretim planlamanın matematiksel bir temele oturtulması, hızlı ve etkili öneriler sunması ve firmaya farklı alternatifleri değerlendirme imkânı tanınmasıyla probleme etkili bir çözüm getirmekte ve firmanın beklentilerini karşılamaktadır.

7.1 Projenin firmaya getirmesi beklenen katkılar

Projenin firmaya getireceği faydalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Pratik, hızlı ve kullanıcı dostu bir üretim planlama ve çizelgeleme sistemi tasarlanmış, çalışma süresinin sadece birkaç saat olmasıyla planlanma süresinin etkinliği artırılmış ve üretim maliyetleri ile teslim tarihlerindeki gecikmeler azaltılmıştır.
- Atama modeli ve iteratif yaklaşım tamamıyla toplam üretim maliyetini enaza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu da firmanın giderlerinin azalması anlamına gelmektedir.
- Çizelgeleme algoritmaları literatürdeki mevcut en iyi sezgisel yöntemler olduğundan, doğru bir çizelgeleme ve bunun sonucunda geç kalan siparişlerde azalma ve yüksek müşteri memnuniyeti beklenmektedir.

7.2 İleriye dönük güncelleme / geliştirme konularında öneriler

İlk olarak firmanın alması öngörülen GAMS adlı program sadece bu model için geçerli olmayıp, ileride firmanın bünyesinde yapılacak her türlü proje kapsamında kullanıma açıktır. İkinci olarak, panel ürünler için tasarlanmış olan bu sistem, firmanın diğer ürün tiplerine de küçük değişiklikler ile uygulama potansiyeline açıktır. Çünkü çizelgeleme algoritmaları sadece üç makineli sistemler için değil, m-makineli her sistem için uygundur. Ayrıca, firmadaki diğer ürün tipleri için de sistem işleyişi benzerlik göstermektedir. Üçüncü olarak, hazırladığımız sistemin Oracle ile uyumlu çalışması ve doğrudan bağlantı kurması sayesinde, firmanın ileride ürün ağacını genişletmesi durumunda, sistem bu yeni ürün tiplerine cevap vermekte zorlanmayacaktır. Dördüncü olarak, sistemin tasarımı, ona ergonomik bir yapı kazandırmış, dolayısıyla tek bir bilgisayara veya mekâna bağımlı kalmaksızın, firmanın ihtiyaçları doğrultusunda fabrika dışından da kullanımı ve takibi söz konusu olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Hax, C. ve Bradley, P (1984). “Applied Mathematical Programming”.
- Montgomery, C. ve Johnson, A. (1974). “Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control”.
- Vallada, E., Ruiz R., Minella, G. (2008).“Minimizing total tardiness in the m -machine flowshop problem: A review and evaluation of heuristics and metaheuristics”, Computers & Operations Research, 35, 1350–1373.
- Kim, Yeong-Dae, Lim, Hyeong-Gyu, Park, Moon-Won (1996). “Search heuristics for a flowshop scheduling problem in a printed circuit board assembly process”, European Journal of Operational Research, 91, 124-143

EKLER

Ek 1. Matematiksel model

Parametreler:

i = talep numarası
 w = üretim tesisi numarası;
 $w = \{1 = \text{Bilkent}, 2 = \text{Sincan}, 3 = \text{Eskişehir}\}$

D_i = Tek seferde gelen talep edilen i tipi ürün miktarı.
 P_{iw} = w üretim tesisinde bir birim i ürününü üretmek için gerekli toplam zaman.
 K_{iw} = w üretim tesisinde bir birim i ürününü üretmenin toplam maliyeti.
 DD_{\max} = tüm teslim tarihlerinin en büyüğü.

Karar değişkenleri:

M_{iw} = w üretim tesisinde talep edilen i ürününün üretim miktarı.
 X_{iw} = talep edilen i ürününün üretiminin w tesisine atanıp atanmadığını belirleyen ikili değişken. Bu değişken, aynı zamanda bir talebin üretiminin sadece bir tesise atanmasını sağlar.

Amaç fonksiyonu:

Enküçült
$$\sum_i \sum_w K_{iw} * M_{iw}$$

- Amaç fonksiyonunun işlevi, toplam üretim maliyetini enazlayarak bütün talepleri üretim tesislerine atamaktır. Atama problemi için sahip olunan tek maliyet değişkeni bir birim i ürününün w üretim tesisindeki toplam üretim maliyetidir. Bu değişken, işçilik, kurulum, hammadde ve diğer yan maliyetleri de içermektedir.

Kısıtlar:

$$1-) \sum_w M_{iw} \geq D_i$$

$$\forall i \in d, w \in \{1, 2, 3\}$$

- Bu kısıt i ürününün en az talep edilen miktarı kadar üretiminin yapılmasını sağlamaktadır. Amaç fonksiyon, toplam maliyeti enazlama hedefli olmasından dolayı, üretim miktarı talep miktarına çok yakın bir değerde olacaktır.

$$2-) \sum_{w=1}^3 X_{iw} = 1$$

$$\forall i \in d$$

- Bu kısıt her bir işin tek bir üretim tesisine atanmasını sağlamaktadır.

$$3-) X_{iw} \leq M_{iw}$$

$$\forall i \in d, \forall w \in \{1, 2, 3\}$$

- Bu kısıt, eğer i ürün tipi talebi w tesisinde üretilmiyorsa, bu talebin ilgili tesise atanmamasını sağlar.

$$4-) M_{iw} \leq X_{iw} * \mu$$

$$\forall i \in d, \forall w \in \{1, 2, 3\}$$

- Bu kısıt, herhangi bir talebin yalnızca atandığı tesiste üretilmesini sağlar. “ μ ” çok büyük değere sahip bir sayı olmakla beraber, eğer X_{iw} 0’a eşitse, i talebinin w tesisinde üretimi yapılmaz.*

$$5-) \sum_i P_{iw} * M_{iw} \leq DD \max$$

$$\forall i \in d, w \in \{1, 2, 3\}$$

- w tesisine atanmış taleplerin toplam üretim zamanları, tüm taleplerde, en geç olan teslim tarihini aşamaz. Bu kısıt, talepleri şirket tarafından üretiminin vaktinde tamamlanamayacağı herhangi bir tesise atanmamasını sağlar.

* 3. kısıtımızda, i talebinin w tesisine atanması yapılmadığı takdirde X değişkeni 0 değerini almakta; bu durumda üretim miktarını gösteren M değişkeninin de 0 değerini alması beklenmektedir. Ancak M değişkeninin belli bir pozitif değeri alması durumunda 3. kısıt herhangi bir engel teşkil etmediği için, bu durumda 4. kısıta ihtiyaç duyulmaktadır. 4. kısıtımız ise; i talebinin w tesisine atanması yapıldığı takdirde, X değişkeni 1 değerini almakta, ancak 4. kısıtımız bu durumda üretim miktarını veren M değişkeninin 0 değeri almasına izin vermektedir. Bu sorunu aşmak için 3. kısıtın varlığı gereklidir. Sonuç olarak, 3. ve 4. kısıtlar bazı özel durumlar göz önüne alındığında birbirlerini tamamlamaktadır.

Ek 2. İterasyon işlemi ve sistemden alınan sonuçlar

Tablo 1.

		Algoritma	Toplam Gecikme	Ort. Gecikme	En Fazla Gecikme	Geciken İş Sayısı
İterasyon1 (DDmax=750)	BİLKENT	ENS1	3060891.0	7375.0	16836.0	415
		ENS2	3058511.0	7369.0	16832.0	415
	SINCAN	ENS1	64354.0	1037.0	2313.0	62
		ENS2	74322.0	1198.0	2964.0	61
	ESKİŞEHİR	ENS1	0.0	0.0	0.0	0
		ENS2	0.0	0.0	0.0	0

DDmax=750 değeri için yapılan atama sonucu, Bilkent ve Sincan tesislerinde gecikme görülmüştür. İterasyonun ikinci basamağında, Ddmax değeri 400'e düşürülmüştür.

Tablo 2.

İterasyon2 (DDmax=400)	BİLKENT	ENS1	1138349.0	4464.0	10356.0	255
		ENS2	1136559.0	4457.0	10356.0	255
	SINCAN	ENS1	412726.0	2715.0	6184.0	152
		ENS2	471947.0	3104.0	7584.0	150
	ESKİŞEHİR	ENS1	88579.0	1247.0	2828.0	70
		ENS2	88274.0	1243.0	2842.0	71

Atama sonucu her üç tesis için de değişmiş, toplam gecikme ise 3122865 saniye değerinden 1637559 değerine düşerek %48'lik bir iyileşme göstermiştir.

Tablo 3.

İterasyon3 (DDmax=350)	BİLKENT	ENS1	908597.0	4002.0	9195.0	226
		ENS2	908150.0	4000.0	9195.0	226
	SINCAN	ENS1	469350.0	2879.0	6617.0	163
		ENS2	535079.0	3282.0	8114.0	162
	ESKİŞEHİR	ENS1	136932.0	1556.0	3507.0	88
		ENS2	136341.0	1549.0	3524.0	88

Toplam gecikme 1637559 saniye'den 1513841 saniyeye düşerek %8'lik bir iyileşme göstermiştir.

Tablo 4.

İterasyon4 (DDmax=300)	<i>BİLKENT</i>	ENS1	691146.0	3508.0	8029.0	197
		ENS2	690598.0	3505.0	8029.0	197
	<i>SINCAN</i>	ENS1	403349.0	2671.0	6037.0	151
		ENS2	451205.0	2988.0	7250.0	149
	<i>ESKİŞEHİR</i>	ENS1	291035.0	2238.0	5264.0	130
		ENS2	291141.0	2239.0	5264.0	130

Toplam gecikme 1513841 saniye'den 1384982 saniyeye düşerek %9'luk bir iyileşme göstermiştir.

Tablo 5.

İterasyon5 (DDmax=250)	<i>BİLKENT</i>	ENS1	595306.0	3235.0	7281.0	183
		ENS2	595375.0	3235.0	7281.0	183
	<i>SINCAN</i>	ENS1	524182.0	3029.0	7011.0	173
		ENS2	588603.0	3402.0	8378.0	172
	<i>ESKİŞEHİR</i>	ENS1	261602.0	2162.0	5044.0	121
		ENS2	261205.0	2158.0	5043.0	121

Toplam gecikme 1384982 saniye'den 1380693 saniyeye yani yaklaşık 15 güne düşerek %1'lik bir iyileşme göstermiştir.

Ek 3.

GAMS Temel Modül (Base Modül):

İçerdikleri:

GAMS Language Compiler	
Set of Manuals, CONVERT tools, EMP framework, UNIX utilities, GDX utilities	
GAMS/COIN-OR Solvers	LP/MIP/MINLP/NLP
GAMS/LOGMIP Solver	MIP/MINLP
GAMS/MILES	MCP
GAMS/NLPEC	MPEC
All other solvers in limited versions ¹⁾	
- add secure (enrcypted) work file option	US\$ 3,200

Bu paket GAMS programının temel modülü olup, modelin çalışması için alınması zorunludur. Tabloda da görüldüğü gibi LP/MIP/MINLP/NLP tipi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır ve paket fiyatı \$3200 dır. Temel modül, atama modelimizin mevcut kapsamında çözülmesi için yeterlidir.

GAMS Çözücü Ek Paketleri (Solvers):

GAMS/ALPHAECF (requires presence of a MIP solver)	MINLP	1,600
GAMS/BARON (requires presence of a GAMS/CPLEX, GAMS/MINOS, and/or a GAMS/SNOPT license)	MINLP/NLP	1,600
GAMS/CONOPT	NLP	3,200
* GAMS/CPLEX (LP and Barrier)	LP/QCP	6,000
- add MIP option	MIP	2,000
- add Quadratic option (requires MIP option)	QCP/MIQCP	2,000
- add Parallel option two threads (requires MIP and Quadratic options)		2,000

Çözücüler, kapsamı daha geniş problemlerde gerekli duruma gelmektedir. İşlenmesi gereken veri sayısı arttıkça temel modül yetersiz kalmakta, problem tipine bağlı olarak çözücülerden uygun olanının alınması gerekmektedir.

* Karma tamsayı programlama (MIP) mantığı üzerine çalışan modelimize, mevcut haliyle temel modül yeterli gelse de; daha geniş kapsamlı problemler ortaya çıkması ihtimaline karşın, uzun vadede GAMS/CPLEX çözücüsünün alınması önerilir.

Yedek Parça ve Bakım Sözleşmeleri için Maliyet Değerlendirme Sistemi

Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.

Proje Ekibi

Ezgi Arslantay
Zeynep Bayam
Pınar Güvenç
Alper Küçükkömürcü
Yarkın Yetkin

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanları

Lüsan Şaşkal, Komponent Kontrol Şefi
Erkan Yetkin, Üretim Planlama ve Kontrol Mühendisi
Bilal Pandul, Üretim Planlama ve Kontrol Mühendisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Alper Şen, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

THY Teknik, kontratlı müşterilerine uygulamak üzere, sistematik bir şekilde maliyet hesaplamaları gerçekleştirememektedir. Bu projenin amacı, kontrat dahilindeki parça havuzu ve hizmet taleplerine göre güvenilir ve bilimsel bir maliyet değerlendirme sistemi sunmaktır. Bu sistem, şirket veritabanı ve kullanıcıdan alınan bilgileri kullanarak uçuş saati başına tamir-bakım hizmet maliyetlerini vermektedir. 29 Nisan 2009 tarihi itibarıyla geçerliliği şirket tarafından onaylanmış sistemin, fiyat teklif sürecini hızlandırması, yıllık gerçekleşen maliyetlerle tutarlı tahminler yapması ve kontratlı müşteri sayısını arttırması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Servis kontratı, maliyet değerlendirme sistemi, parça havuzu, tamir-bakım hizmetleri, işletim maliyeti, tamir maliyeti.

1. İşletme Tanıtımı

23 Mayıs 2006 tarihinde THY bünyesinden ayrılarak anonim şirket statüsü kazanmış olan THY Teknik uçak parça tamir-bakım ve filo yönetimi hizmetleri vermektedir.

Şirket, müşterilerine sunduğu bakım ve tamir hizmetlerinde uzun vadeli yüksek kaliteyi yakalamayı ve sektördeki gelişmelere uyum sağlamayı vizyon olarak kabul etmiştir.

Proje sürecinde, parça bakım servisleri ve bunların işletim kontrollerini yöneten havuz sisteminden (pool system) sorumlu “Üretim Planlama ve Kontrol” bölümü ile çalışılmıştır.

2. Projenin Tanımı ve Kapsamı

THY Teknik mevcut tamir-bakım hizmetlerini ana müşterisi THY’na yıllık sabit ücret alınan bir kontrat dahilinde sunarken, diğer müşterileri için her tamir-bakım hizmetini ayrı ayrı değerlendirmektedir. Diğer müşterilere verilen hizmetin bir kontrat çerçevesinde olmaması her hizmet talebi için fiyat teklifi hazırlanmasına ve bu sürecin uzunluğundan dolayı müşteri kaybına neden olmaktadır. Ayrıca, bu müşterilerin hizmet taleplerinin THY Teknik tarafından öngörülememesi, istikrarsız ve plansız nakit akışına yol açmaktadır. Bu yüzden, THY Teknik, THY dışındaki müşterilerine de kontrat dahilinde hizmet vermeyi hedeflemektedir. Bu kontratların oluşturulmasındaki en önemli aşamalardan biri kontrat kapsamında THY Teknik tarafından yüklenilecek maliyetlerin belirlenmesidir. Bu projede kontratların maliyet değerlendirme bölümü için güvenilir ve bilimsel bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemin amacı doğru maliyet tahminleri elde etmek, fiyat teklif sürecini hızlandırmak ve maliyet hesaplamalarına sistematik bir yaklaşım getirmektir.

2.1 Problem tanımı

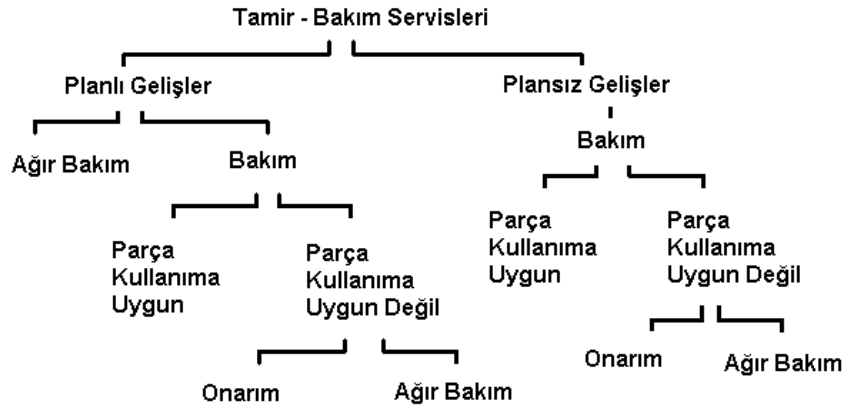
Problem, THY Teknik’in servis kontratları için güvenilir ve bilimsel bir maliyet değerlendirme sistemine sahip olmamasıdır.

2.2 Mevcut sistem analizi

THY Teknik üç farklı parça tamir-bakım hizmeti sağlamaktadır.

- Bakım (Test): Uçaktan sökülen parçanın kullanıma uygun olup olmadığı test edilmektedir.
- Onarım (Repair): Bakımdan çıkan parça, kullanıma uygun olmaması halinde onarılmaktadır.
- Ağır Bakım (Overhaul): Bir parçanın tüm bileşenleri bakıma alınmaktadır.

Tamir-bakım hizmeti için gelen parçalar, planlı veya plansız olarak gelmektedir. Planlı gelen parça bakım veya ağır bakıma girebilmektedir. Plansız gelen parça doğrudan bakıma alınmaktadır. THY Teknik’in sunduğu bu hizmetler Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. Bakım servislerinin temsili görünümü.

THY Teknik bu hizmetlerin ücretlerini kontratsız müşterilerden her hizmet için ayrı ayrı almaktadır. Diğer müşterilerden ise kontrat kapsamındaki parça havuzu için yıllık verilen bütün hizmetler karşılığında sabit bir fiyat talep edilmektedir. İstenilen bu fiyat yıl içindeki plansız hizmet taleplerinin sayısından bağımsızdır.

Havuz sisteminde oluşan maliyetler iki ayrı bölümden oluşmaktadır.

- İşletim Maliyeti (Access Fee): Uçaktan sökülen parçanın envanterdeki parça ile takasının maliyetidir.
- Tamir Maliyeti (Repair Fee): Uçaktan sökülen parçanın tamir-bakım hizmetlerinin maliyetidir. İşçi ve malzeme ücretleri bu maliyetin temelini oluşturmaktadır.

2.3 Performans ölçütleri

Önerilen sistemin başarılı olması halinde aşağıdaki sonuçlar gözlenecektir:

- Fiyat teklifi verme sürecinin hızlandırılması
- Bu süreç için kullanılan bilgi ve programların ana bir model içerisinde sistematik bir halde çalışması
- Kontratlı müşteri sayısının artması
- Sistemin maliyet tahminlerinin gerçekleşen yılsonu değerleriyle tutarlılık göstermesi.

2.4 Literatür taraması

Tamir-bakım hizmetleri ve bu hizmetlerin uygulanması ile ilgili bilgi edinmek amacıyla bu konular üzerine yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

Lee, Ma ve Verstraeten (2008) tarafından yapılan çalışmada ürün ömrü yönetiminin bakım servisleri ile ilişkisi anlatılmıştır. Bu çalışmada

yapılan vaka analizleri incelenmiş ve tamir-bakım hizmetleri ile ilgili detaylı bilgi edinilmiştir. Lee, Peleg ve Whang'ın (2005) yaptığı çalışmada ise satış sonrası hizmetlerin Toyota firmasında uygulanışı anlatılmaktadır. Bu çalışma servis kontratları yerine hizmet sonrası servislerle ilgili bilgi vermesine karşın, tasarlanacak sisteme örnek teşkil edip edemeyeceği incelenmiştir. Aynı şekilde, Hammond ve Dutkiewicz'in (1993) yaptığı IBM vaka analizinde benzer sistemler araştırılmıştır.

Maliyet hesaplamasına sistematik bir çözüm getirmek için değişik metodlar araştırılmıştır. Horngen, Datar ve Foster'ın (1997) maliyet muhasebesi ile ilgili kitabında yer alan üç metoddan faydalanılmıştır.

- Endüstri Mühendisliği Metodu (Industrial Engineering Method): İş etütlerinin (Time and Motion study) girdi ve çıktıları göz önünde bulundurularak maliyet tahmini yapılmasıdır.
- Konferans Metodu (Conference Method): Şirketin farklı bölümlerinden elde edilen veri ve uzman görüşlerine dayalı maliyet tahmini yapılmasıdır.
- Sayısal Metod (Quantitative Analysis Method): Geçmiş verilere dayanarak oluşturulan matematiksel bir modelle maliyet tahmini yapılmasıdır.

3. Önerilen Yöntem

3.1 Genel yaklaşım

Servis kontratları maliyet değerlendirmesi için maliyet hesaplama yöntemlerinden Endüstri Mühendisliği ve Konferans Metodu sistem girdileri elde etmek için, Sayısal Metod ise hesaplamalar için kullanılmıştır.

3.2 Sistem varsayımları

Şirketle yapılan görüşmeler sonucunda dört varsayım kabul edilmiştir.

İlk varsayım THY Teknik'in sınırsız işgücüne sahip olduğudur. Parçalar 7 gün 24 saat boyunca atölye fark etmeksizin işlem görmektedir. Atölyeler 3 vardiya esasına göre çalışmaktadır ve her vardiyada yeterli miktarda işgücü bulunmaktadır.

İkinci varsayım eksik veriler yerine ideal değerlerinin kullanıldığıdır. Örneğin, tamir-bakım süresi 0 görünen bir parça için bu değer şirket tarafından 15 gün kabul edilmektedir.

Üçüncü varsayım işletim maliyetinin sadece plansız gelişler üzerinden hesaplandığıdır. Planlı gelişlerin işletim maliyeti MRP (Materials Requirements Planning - Malzeme İhtiyaç Planlaması) uygulaması gerektirdiğinden proje kapsamı dışında kalmaktadır.

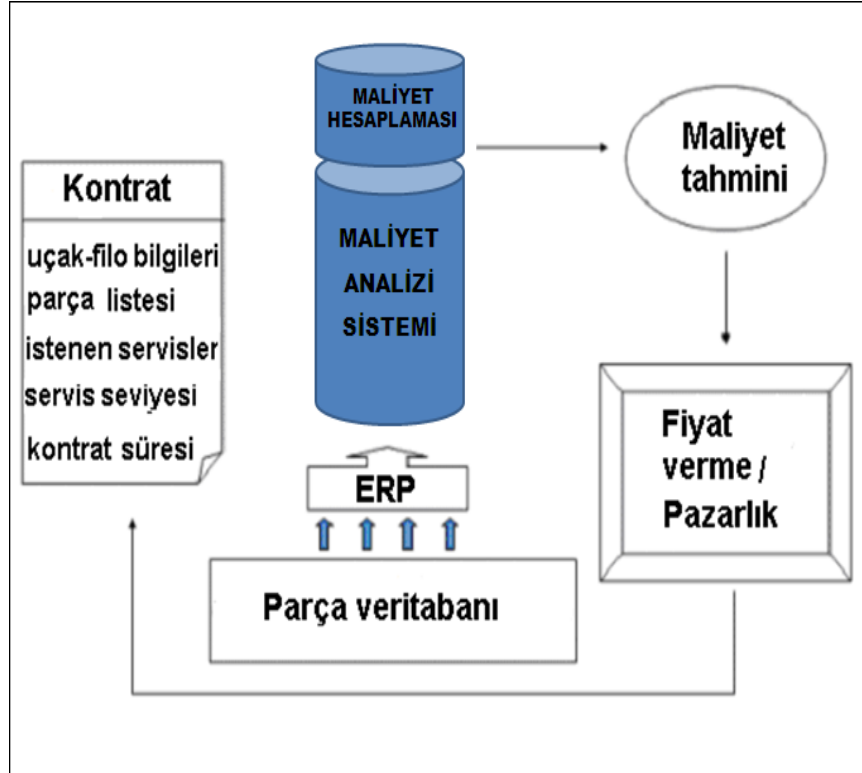
Son varsayım ise planlı ve plansız bakımların sadece onarım maliyeti üzerinden hesaplandığıdır. Bunun nedeni bakım sonucu (onarım veya ağır bakım) olasılıklarının bilinmemesi ve tahmini

değerlerinin tartışmaya açık olmasıdır. Ayrıca, onarım maliyetinin tamir-bakım hizmetleri ortalama maliyetine yakın olması bu varsayımı kabul edilebilir kılmaktadır.

3.3 Tasarlanan sistemin girdileri, çıktıları, amacı ve mimarisi

Tasarladığımız sistemin amacı servis kontratları için maliyet değerlendirmesi yapmaktır.

Maliyet analiz sistemi, girdi olarak THY Teknik veritabanını kullanmakta ve kullanıcı tarafından verilen ilave bilgiler ışığında bir uçuş saati başına maliyet tahmini hesaplamaktadır. Bu maliyet ile müşteriye fiyat verme ve pazarlık süreci başlamaktadır. Bu süreç sonucunda kontrat imzalanmakta veya talep değişikliğine göre sistem girdileri yeniden gözden geçirilmektedir. Sistem mimarisi Şekil 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Sistem mimarisi.

Veritabanından alınan girdiler aşağıdaki gibidir:

Türkçe Adı	İngilizce Adı	Kısaltması	Birim
Parça Kodu	Component ID	-	-
Parça Fiyatı	Component Price	P	Dolar
Uçak Başına Parça Sayısı	Quantity per Aircraft	N	-
Ağır Bakımlar Arasındaki Süre	Time Between Overhaul	TBO	Saat
Bakımlar Arasındaki Süre	Time Between Removals	TBR	Saat
İşçi Süresi	Man Hour	MH	Saat
İş Bitirme Süresi	Turn Around Time	TAT	Gün
Plansız Onarımlar Arasındaki Ortalama Süre	Mean Time Between Unscheduled Removals	MTBUR	Saat

Kullanıcıdan alınan girdiler aşağıdaki gibidir:

Türkçe Adı	İngilizce Adı	Kısaltması	Birim
İşçi Ücretleri	Labor Cost	LC	Dolar
İşçi Ücret Oranı	Labor Rate	LR	-
Malzeme Ücret Oranı	Material Rate	MR	-
Envanter Tutma Maliyeti Yüzdesi	Inventory Holding Rate	h	-
Parça başına yıllık ortalama uçuş saatleri	Annual Average Flight Hours	FHRS	Saat
Servis Seviyesi	Service Level	PL	-
Filo Hacmi	Fleet Size	n	Saat

3.4 MS Excel ve Access'te geliştirilen sistem

Maliyet değerlendirmesi için geliştirilen sistem, öncelikle Microsoft Excel'de kurulmuştur. MS Excel'de ihtiyaç duyulan veriler ve formüller belirlenmiştir. Bu sistem örnek beş parça kullanılarak test edilmiştir. MS Excel'de kullanılan tablolara bir örnek ekte görülmektedir. (Ek 1)

MS Excel'de sınanan ve kullanıcılar tarafından ön onayı alınan sistem, şirketin tercihi doğrultusunda Microsoft Access'e taşınmıştır. Bu tercihin yapılmasındaki nedenler; MS Office programlarının şirket bilgisayarlarında kullanılması, MS Access'in büyük boyutlu veritabanları üzerinden işlem yapabilmesi ve kullanıcı ara yüzü ile kullanım kolaylığı sağlamasıdır.

Excel prototipindeki parça bilgilerini içeren "Scheduled", "Unscheduled" ve "Component" tabloları Access'de "Current_Fleet" adlı tek bir tabloda toplanmıştır. Excel'de "Cost" tablosunda yapılan hesaplamalar ise Access'de SQL sorgulama yöntemiyle yapılmıştır. THY Veritabanından elde edilemeyen ve kullanıcı tercihlerini belirleyen bilgiler kullanıcı tarafından kullanıcı ara yüzüne girilmektedir. (Ek 2)

Sorgular (hesap basamakları) parça başına hesaplanmakta olup ve aşağıdaki gibidir. Sorgularda kullanılan formüller ekte görülmektedir. (Ek 3)

1. Planlı Ağır Bakım Maliyeti (SC_o): Bu sorguda ağır bakım işçilik ve malzeme maliyetleri toplanarak ağır bakımlar arasındaki süreye bölünmektedir. Böylece bir uçuş saati başına ağır bakım maliyeti elde edilmektedir.
2. Planlı Bakım Maliyeti (SC_i): Bu sorguda onarım işçilik ve malzeme maliyetleri toplanarak bakımlar arasındaki süreye bölünmektedir. Böylece bir uçuş saati başına bakım maliyeti elde edilmektedir.
3. Planlı Tamir-Bakım Maliyeti (SC): Bu sorguda yukarıdaki sorgularda hesaplanan planlı bakım ve ağır bakım maliyetleri toplanmaktadır.
4. Plansız Tamir-Bakım Maliyeti (USC): Bu sorguda onarım işçilik ve malzeme maliyetleri toplanarak plansız onarımlar arasındaki ortalama süreye bölünmektedir. Böylece bir uçuş saati başına plansız tamir-bakım maliyeti elde edilmektedir.
5. Tamir Maliyeti: Bu sorguda yukarıdaki sorgularda hesaplanan planlı ve plansız tamir-bakım maliyetleri toplanmaktadır.
6. Öngörülen Talebin Hesaplanması (E): Öngörülen talep, filoya yeni uçakların eklenmesi halinde fazladan tutulması gereken parça sayısını hesaplamada kullanılmaktadır. Bu değer hem varolan filo için hem de yeni filo için hesaplanmaktadır.

Öngörülen talep, Airbus Spares Calculator (Ek 4) programındaki talep tahmin formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Şirket bu programı plansız taleplere gereken envanter seviyesini belirlemek için kullanmaktadır.

7. E'ye göre tutulması gereken parça sayısı: Burada Airbus Spares Calculator programındaki Poisson dağılımına göre olan formül kullanılmaktadır. Bu formül için Microsoft Visual Basic'de ValueL adlı bir fonksiyon geliştirilmiştir. (Ek 5) Bu fonksiyon öngörülen talep ve servis seviyesini kullanarak gereken envanter sayısını hesaplamaktadır. Bu hesaplama hem varolan filo hem de yeni filo için yapılıp tutulması gereken parça sayısı, bu değerlerin birbirinden çıkarılması ile elde edilmektedir.
8. İşletim Maliyeti Hesaplanması: Bu maliyeti hesaplarken tutulması gereken parça sayısı fiyatı ile çarpılmaktadır. Ancak bu değer tamamı yeni müşteriye mâl edilmediğinden, kullanıcın karar vereceği bir envanter tutma maliyeti yüzdesi ile çarpılmaktadır.
9. Parça Başına Toplam Maliyet: Bu değer tamir ve işletim maliyetleri toplanarak hesaplanmaktadır.
10. Toplam Maliyet: Bu sorguda her bir parçanın maliyeti toplanmaktadır. Böylece bir uçuş saati başına toplam maliyet hesaplanmaktadır.

Hesap basamakları sonucunda toplam maliyet, tamir-bakım türüne göre parça başına maliyetler ve envanter seviyeleri kullanıcıya rapor olarak sunulmaktadır.

3.5 Test (doğrulama ve geçerleme)

Sistemin hesap basamaklarının ve çıkan maliyet tahmininin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla şirketin verdiği 393 parçalık liste üzerinden test yapılmış ve sonuçlar takip edilmiştir. Formüllerin ve sorguların doğru çalıştığı gözlenmiştir.

Şirketle yapılan görüşmelerde, sistemde kullanılan formüllerle mevcut hesaplamalarda kullanılan formüller arasında tutarlılık olduğu görülmüştür. Ayrıca şirketin göz ardı ettiği noktalar, tasarlanan sistemde maliyete yansıtılıp önemi görülmüştür. Örneğin, envanter tutma maliyeti mevcut hesaplamalarda müşteriye mâl edilmezken, önerilen sistem bu maliyeti de göz önünde bulundurmaktadır.

29.04.2009 tarihinde şirketle yapılan sistem doğrulama testinde 393 parça içinden bir örnek seçilerek çıkan maliyet tahminleri incelenmiştir. Bu test sonucunda uçuş saati başına \$1,38 planlı tamir maliyeti, \$0,5 plansız tamir maliyeti, \$0,16 işletim maliyeti, dolayısıyla \$2,04 toplam maliyet elde edilmiştir. Şirket bu değerlerin mevcut hesaplamalardan daha güvenilir olduğunu onaylamıştır.

4. Uygulama Planı

Servis kontratları için maliyet değerlendirme sistemi tasarlanırken MS Access uygulaması kullanılmaktadır. Şirket veritabanından alınan girdiler ve kullanıcı girdileri ile güvenilir maliyet tahminleri yapılmaktadır. Sistem, THY Teknik çalışanlarının kullanımına hazırdır.

Sistem THY Teknik “Üretim Planlama ve Kontrol Bölümü” bilgisayarlarına aktarılmadan önce kullanıcı ara yüzüne, maliyet tahmin sonuçlarını detaylı olarak sunacak raporlar eklenecektir. Böylece maliyet değerlendirmesine kolaylık sağlanacaktır.

Sistem iki hafta içerisinde THY Teknik’in “Üretim Planlama ve Kontrol Bölümü” bilgisayarlarına aktarılacaktır. Öncelikle, sistem varolan parça listesi ile şirket bilgisayarlarında çalıştırılacaktır. Elde edilen sonuçların sistem doğrulama testi sonuçlarıyla tutarlı olması halinde farklı parça listeleriyle test tekrarlanacaktır.

Geçerlilik elde edildikten sonra sistem kullanımı bölüm çalışanlarına sunulacaktır. Aynı zamanda şirketin mevcut veritabanı sisteminin doğru çalışması için gereken biçime göre değiştirilecektir.

5. Genel Değerlendirme

Yapılan proje sonucunda THY Teknik’in kontratlı müşterilerine uygulanmak üzere, parça havuzu kapsamında, güvenilir ve bilimsel bir maliyet değerlendirme sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem ile uçuş saati başına toplam maliyet elde edilmekte ve bu maliyetin bileşenleri ayrı ayrı sunulmaktadır.

Sistem geliştirilirken şirketten alınan görüşler ve geri bildirimler doğrultusunda gerekli değişiklikler yapılmış, böylece maliyet tahminlerinin geçerliliği sağlanmıştır.

Oluşturulan sistem ile hızlı ve sistematik bir maliyet hesaplama süreci sağlanmıştır. Elde edilen maliyet tahminleri şirkete fiyat teklif sürecinde referans olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Hau L. Lee, Barchi Peleg ve Seungjin Whang, (18 Mart 2005) "Toyota: Service Chain Management", Harvard Business Publishing.
- Hornngren C. T., Datar S. M., Foster G., (2006) "Cost Accounting: A Managerial Emphasis", 12. Baskı, Prentice Hall, 368-372.
- Janice H. Hammond, Andrew Dutkiewicz, (1 Mart 1993) "IBM After Sales Service", Harvard Business Publishing.
- S.G. Lee, Y.S. Ma ve J. Verstraeten, (2-3 Mart 2008) "Product Life Cycle Management in Aviation Maintenance, Repair and Overhaul", Computers in Industry, 59.

EKLER

Ek 1. MS Excel örnek tablo("Cost" tablosu)

	A	B	C	D	E	F	G
	LABOR COST/HOUR(USD)	COMPONENT ID	REPAIR FEE(Scheduled+Unscheduled)	S-Cr	S-Ct	S-Co	Scheduled
1	60	K089335	5.590916445	1.5034	0.32585	2.28095	0,015622945
2	60	KE83180	193,212348	68,493	60	85,479	1,025748
3	60	K092385	57,90555	60,15775	60	60,47325	0,75
4	60	K092381	59,84270813	60,2533	60	60,7599	1,139248125
5	60	V095031	56,78289	0,3538	60	0,61915	0,75
6			373,3344126				
7							
8							
9	Total Flight Hours		Total Cost				
10	300						
11	Fleet Size						
12	3		4,22232894				
13	Safety Rate						
14	0,9						
15	Current Inventory						
16	0						
17	Overhead Cost						
18	0						

	G	H	I	J	K	L	M	N
	Scheduled	US-Cr	US-Ct	Unscheduled	ACCESS FEE	Scheduled	E	Unscheduled
1	0,015622945	1,5034	0,32585	5,5752935	6,561636986	0,044636986	0	6,517
2	1,025748	68,493	60	192,1866	851,33882	2,03832	7,70788817	849,3
3	0,75	60,15775	60	57,15555	9,52415625	0,05915625	1,32084499	9,465
4	1,139248125	60,2533	60	58,70346	15,2929875	0,0949875	1,24269999	15,198
5	0,75	0,3538	60	56,03289	10,64716875	0,03316875	9,70387023	10,614
6					893,3642695			
7								

Ek 2. Kullanıcı ara yüzü örneği

ComplID	Description	Shop Code	Shop Name	Default
K063007	VALVE,SHUTOFF,MOTOR OPRTD	63	Yakit Komponentleri Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K063008	SWING CHECK VALVE	63	Yakit Komponentleri Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K063011	BYPASS VALVE, BOOST PUMP	63	Yakit Komponentleri Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082003	A/P ACTUATOR	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082011	ELEV.& RUD.FEEL ACTUATOR	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082013	ELV.CONT.SYS. FEEL CENTR.	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082027	HYD.COMPENSATOR CARTRIDGE	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082041	FLIGHT CONTROL MODULE	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082043	PRESSURE SWITCH	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082051	HYDRAULIC FUSE-RUDDER	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082097	LE FLAP CONTROL VALVE	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>
K082102	SELECTOR VALVE	82	Hidrolik Atölyesi	<input checked="" type="checkbox"/>

Record: 1 of 393 | No Filter | Search

LCperH: 60,00 | Annual Flight Hours: 0,00 | Current Fleet Size: 0

LRperO: 20,00% | Extended Annual Flight Hours: 3.000,00 | Extended Fleet Size: 10

LRperR: 15,00% | Replenishment Time: 0,00

LRperT: 5,00% | ProbTesttoOverhaul: 10,00% | Calculate Selected | Unselect All

Service Level: 95,00% | ProbTesttoRepair: 90,00% | Select All

Inventory Holding Rate: 20,00% | Close

Ek 3. Sorgulamada kullanılan formüller

1. $SC_o = \frac{(LCo * MHo) + (P * MRo)}{TBO}$ veya $\frac{(LRo * P) + (P * MRo)}{TBO}$
2. $SC_t = \frac{(LCr * M Hr) + (P * MRr)}{TBR}$ veya $\frac{(LRr * P) + (P * MRr)}{TBR}$
3. $SC = SC_o + SC_t$
4. $USC = \frac{(LCr * M Hr) + (P * MRr)}{MTBUR}$ veya $\frac{(LRr * P) + (P * MRr)}{MTBUR}$
5. Tamir Maliyeti = SC + USC
6. [Varolan Filo] $E_1 = FHRS_1 * n_1 * N * \left(\frac{1}{MTBR}\right) * \left(\frac{TAT}{365}\right)$
[Yeni Filo] $E_2 = FHRS_2 * n_2 * N * \left(\frac{1}{MTBR}\right) * \left(\frac{TAT}{365}\right)$
7. [Varolan Filo] $EnvanterSayı_{s1} = ValueL(PL, E_1)$
[Yeni Filo] $EnvanterSayı_{s2} = ValueL(PL, E_2)$
 $I = EnvanterSayı_{s2} - EnvanterSayı_{s1}$
8. İşletim Maliyeti = $\frac{I * h * P}{FHRS * (n_2 - n_1)}$
9. Parça Başına Toplam Maliyet = Tamir Maliyeti + İşletim Maliyeti
10. Toplam Maliyet = \sum Parça Başına Toplam Maliyet

Ek 4. Airbus Spares Calculator

AIRBUS SPARES CALCULATOR (not registered)
 Preferences Register Help

FHRS [h] FCYC [h] Fleetsize MTBUR RRI
 6000 0.50 51 11373 0

Spare Part Class Exp. Rep. Rot. Hours Cycles
 2 Quantity per Aircraft
 15 TAT [days] Continuous Calculation

Zero Spares Surv.Prob.[%] 0.000 Estimated Demand 2.211438

Spares	PL [%]	Spares	comp.PL [%]	Delta PL / Spare
6	98	6	99.233710	1.77951
5	97	5	97.454198	4.82811
4	92	4	92.626087	10.91623
3	81	3	81.709861	19.74503
2	61	2	61.964833	26.78578
		1	35.179058	24.22476
		0	10.954301	0.00000

Calc.MTBUR [hrs] = 11,373

Ek 5. ValueL kodu

```

(Main)
Sub Main()
  Dim K As Integer
  Dim C As Double
  Dim B As Double
End Sub

Function ValueL(ByVal Service_Level As Double, ByVal E As Double) As Double
  K = 0
  B = 0
  C = Exp(-E)

  Do While B <= Service_Level
    B = B + C
    K = K + 1
    C = Exp(-E) * E ^ K / K
  Loop
  ValueL = K - 1
Exit Function
End Function

```

Malzeme Taşıma Sistem Tasarımı

Ulusoy Elektrik A.Ş.

Proje Ekibi

Elif Seda Gülpınar
Aslı Gürkan
Bertan Kılış
Özge Şerefoğlu
Duygu Yağcı

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Bülent Sönmez, Kılıgı Sistem Danışmanlık,
Şirket Danışmanı

Akademik Danışman

Prof. Dr. Nesim Erkip, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Ulusoy Elektrik'te düzensiz bir malzeme taşıma sisteminin olması iş gücü kaybı ve fazla miktarda ara ürün envanterine sebep olmaktadır. Bu projenin amacı düzenli bir malzeme taşıma sistemi tasarlayarak iş gücü kaybını azaltmaktır. Bu amaca yönelik olarak sezgisel bir malzeme taşıma modeli ve kuyruk teorisinden yararlanan bir ara ürün envanter modeli tasarlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Malzeme taşıma, kuyruk teorisi, ara ürün envanteri, iş gücü kaybı.

1. Firma Tanıtımı

1985 yılında Sait Ulusoy tarafından kurulan Ulusoy Elektrik A.Ş. Türk ve dünya elektromekanik endüstrisinin önde gelen şirketleri arasında bulunmaktadır. Şirket üretim faaliyetlerini şu an Ankara 1. Organize Sanayi Bölgesindeki 26.000m²'lik alanda gerçekleştirmektedir. Şirkette 45 beyaz yaka ve 205 mavi yaka olmak üzere toplamda 250 çalışan bulunmaktadır.

Hava yalıtımlı hücre, gaz yalıtımlı hücre, havai hat ürünleri, beton köşkler ve kablo aksesuarları şirketin ana ürünleridir. Şirketin üretiminin yaklaşık %60'ını hava yalıtımlı hücreler oluşturmaktadır. Günde ortalama 30 ana ürün üretilmekte olup her bir ürün 500 farklı parçadan meydana gelmektedir. Bu parçaların 350'ye yakını dışarıdan alınırken geriye kalanları fabrika içinde üretilmektedir.

2. Projenin Tanımı

2.1 Ana semptomlar

Yapılan gözlemlere dayanarak, tüm semptomlar iki ana başlık altında toplanmıştır (Ek 1).

Malzeme taşıma sistemi ile ilgili semptom ve şikayetler:

- İşçi ve malzeme taşıma ekipmanı düzensizliği
 - İşçilerin gerekli malzemeyi kendilerinin taşıması
 - Malzeme taşıma ekipmanları için sıra oluşması
 - İşçilerin malzeme taşıma ekipmanlarını düzensiz bir şekilde ve istedikleri takdirde kullanması
- Malzeme ve malzeme taşıma ekipmanı düzensizliği
 - Taşıma ekipmanı boşa olmasına rağmen elle taşıma yapılması
 - Bazı ekipmanların aşırı kullanılması ve diğer ekipmanların boşa kalması

İşlemi süren ürün envanteriyle ilgili semptomlar:

- İşlemi süren ürün envanteri miktarının fazla olması

2.2 Problem tanımı ve kapsamı

Projenin ana problemi, planlama eksikliği, malzeme taşıma ve tesis yerleşim planı kaynaklı 30%'a varan iş gücü kaybıdır. Bu rakam, işçilerin boşa geçen zamanlarının, tüm çalışma saatlerine bölümü ile elde edilmiştir.

Bu ana probleme yol açan iki alt problem bulunmaktadır. İlk alt neden fabrikadaki planlanmamış malzeme taşıma sistemidir. İşçiler, malzemeler ve taşıma ekipmanları arasındaki organizasyon eksikliği bu alt problem ile ilgilidir. İkinci alt neden ise işlemi süren ürün envanteri miktarının fazla olmasıdır.

Ana problem ve iki alt problem malzeme taşıma sistemi ve ara ürün miktarlarını kapsar. Bunlarla ilişkili olarak üretim akışı ve üretim

planlama da problem dahilindedir. Fiziksel olarak ise, problem, üretim alanını ve üretim planlama bölümünü içine alır.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

Üretim planlaması, ana problemi oluşturan etkenler arasında önemli bir yere sahiptir. Müşterilerden alınan sipariş ile başlayan planlama işlemi, siparişleri karşılayacak şekilde bir aylık her ürün için yaklaşık üretim miktarını ortaya koyan MPS planı (üretim planı çizelgelemesi) oluşturulmasıyla devam eder. Her hafta başında, o hafta için gerekli olan üretim miktarları kesinleştirilir. Bu plan, üretim alanındaki operatör ve şeflere gidecek iş emirleri oluşturulurken, çeşitli departmanlar tarafından kullanılır. Bu iş emirleri üçer günlük oluşturulur.

Üretim planlaması, sistemin en önemli girdilerinden biridir; çünkü farklı planlar sistem değişkenlerinde farklılıklar yaratır. Üretim planında yapılan değişiklikler, üretim miktarı, sırası ve gerekli hammaddeler için farklı oranlarda değişikliklere neden olmaktadır. Ayrıntılı üretim planında yapılan her bir değişiklik, malzeme taşıma akışında değişikliğe yol açmaktadır.

Ana ürünün üretimi, birbirine paralel olan seri üretim akışlarından oluşmaktadır. Bu ürünün her bileşeni bir grup seri işlem sonucu üretilmektedir. Üretilen bu ürünler birbirine paralel olarak ilerleyen akışlar sonucu ana ürünü oluşturmaktadır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

3.2.1 Performans ölçütleri

Tasarlanan sistemin performansını ölçmek için üç ana değer seçilmiştir.

İş gücü verimliliği, iş gücü kaybı probleminin performans ölçütüdür. İş gücü verimliliğindeki kayıp, işçilerin boş geçirdikleri zamanın tüm zamana oranından ölçülür.

İkinci ölçüt ara ürün seviyesidir ve bu değişkeni azaltmak projenin hedeflerinden biridir. Bu değer, mevcut sistemdeki ara ürün seviyesi ile modelden çıkan ara ürün miktarı arasındaki fark ölçülerek elde edilir.

Son performans ölçütü ise malzeme taşıma sisteminin verimliliğidir. Bir üretim periyodu içinde malzeme taşımaya ayrılan zaman, bu konudaki en önemli performans ölçütüdür. Ayrıca malzeme taşıma sayısı ve istasyona geç kalan malzeme sayısı da göz önünde bulundurulacaktır.

3.2.2 Hedefler

Projenin ana hedefi iş gücü kaybını azaltmaktır. Ana hedefe ulaşmak için üç alt hedef belirlenmiştir.

İlk alt hedef düzgün ve planlı işleyen bir malzeme taşıma sistemi oluşturulmasıdır. Projede düzenli malzeme taşıma akışı, üretim

alanındaki her malzeme taşıma işleminin sistematik yaklaşım ve uygulaması olarak tanımlanmıştır. Arzu edilen çıktı ise, malzeme taşıma işlemi yapan işçilerin belirlenen malzemeleri, belirlenen yol güzergahı üzerinden malzeme taşıma işlemini gerçekleştirmeleridir.

İkinci alt hedef, iş akışının devamlılığının sağlanmasıdır. Mevcut sistemde aksaklıklar ve malzeme taşıma işlerinde beklemler vardır. İş akışının devamlılığı, akış üzerinde herhangi beklenmedik bir kesinti ya da erteleme olmaması anlamındadır.

Son alt hedef ise iş akışının devamlılığını sağlamak için olması gereken ara ürün seviyesinin belirlenmesidir. Mevcut durumda ara ürün seviyeleri her bölüm için değişkenlik göstermekte ve ortalama olarak 27 gün yetecek kadar bulunmaktadır.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

Önerilen sistemin amacı, bir malzeme taşıma karar mekanizması tasarlamak ve bu mekanizmanın sürekliliğini sağlayacak ara ürün envanter miktarlarını belirlemektir. Malzeme taşıma karar mekanizması, her ürün için malzeme taşıma ekipmanını ve üretim akışı için malzeme taşıma işçilerini belirlemektedir. Bu sistem üretim planı, işçi sayısı, kafiye boyutu, malzeme taşıma ekipmanları ve üretim akışı üstündeki değişikliklere ayak uydurabilmektedir.

Sistem için optimizasyon modellemesi tercih edilmemiştir. Bunun nedeni ise birbirine yakın ağırlıklara sahip birden fazla hedefin olmasıdır.

4.2 Tasarlanan sistemin girdileri, çıktıları, amacı ve mimarisi

Malzeme taşıma modelinin girdileri; taşınması gereken malzemeler, onların kafiye büyüklükleri, üretim planlama bilgileri, ürün ağaçları, malzeme taşıma ekipmanları listesi ve bu ekipmanların hız bilgileridir (Ek 5). Bu girdilerin modelde kullanılması sonucunda hangi ürünün, hangi ekipmanla ve hangi işçi tarafından taşınacağı sorularına cevap veren bir çizelge çıkmaktadır (Ek 2). Bu modelin girdi ve çıktıları Excel formatındadır; model ise Java programlama dilinde yazılmıştır.

Gerekli işlemi süren envanter miktarını hesaplama modelinde kafiye büyüklüğü, malzemelerin makinalardaki operasyon ve ayar süreleri, taşıma süreleri ile ürün akış şeması girdi olarak alınmaktadır. Çıktı ise verilen kafiye büyüklüğü çerçevesinde ortaya çıkan istasyon bazlı işlemi süren envanter miktarlarıdır. Kullanım aşamasında, girdiler üzerinde değişiklikler yapılarak da ileri safhalarda ara ürün miktarının düşürülmesi sağlanmaktadır.

4.3 Geliştirilen modeller ve çözüm önerileri

4.3.1 Malzeme taşıma modeli

Malzeme taşıma modeli üç basamak ve birbirine bağlı üç sezgisel yöntemden oluşmaktadır. Modelin amacı düzenli bir malzeme taşıma

sistemi oluşturmaktır. Bu sistemi oluştururken göz önüne alınan kıstaslar istasyon giriş ve çıkışlarında bulunan ara ürün envanterlerinin beklemesini en aza indirmek ve malzeme taşıma işlemlerinin mümkün olan en kısa sürede tamamlanmasını sağlamaktır.

Modelin ilk basamağı, malzeme listesinden malzemelerin ağırlıklarını ve malzeme taşıma ekipmanı listelerinden de ekipman kapasite kısıtlarını okumaktır. Değerlendirilen malzemenin ağırlığı okunan malzeme taşıma ekipmanının taşıma kapasitesinden az ise, model bahsi geçen ekipmanı o malzeme için uygun olarak kabul eder. Çıktı olarak ise bütün malzemeler için uygun olan ekipman listelerini oluşturmaktadır.

Modelin ikinci basamağında amaç, birinci basamağın her malzeme için oluşturduğu listeyi malzeme taşıma ekipman listesinden alınan hız verilerine bağlı bir şekilde sıralamaktır. Bu sıralama en hızlı ekipmandan en yavaş doğru. Bu listenin hıza bağlı oluşturulmasının sebebi taşıma işlemlerinin en kısa zamanda tamamlanmasını sağlamaktır (Ek 6).

Üçüncü basamak, belirli bir üretim periyodu için gerekli olan işçi sayısını bulmaktadır. Bu sayı hesaplanırken en kötü senaryo göz önünde bulundurularak her malzemenin ona uygun en yavaş taşıma ekipmanı ile taşındığı düşünülmüştür. Bu taşıma süreleri dikkate alınarak bir üretim periyodu içerisindeki tüm taşıma işlerinin sürelerinin toplamı hesaplanmakta ve bir işçinin günlük çalışma süresine bölünerek bu sayı bulunmaktadır.

İlk sezgisel yöntem, üretim akışlarına bağlı olarak işçileri bu akışlara atamakta ve malzeme taşıma görevlerini belirlemektedir. Bu işlemleri yaparken izlediği adımlar:

- Akış listelerini en uzundan en kısaya doğru sıralamak,
- Üçüncü basamağın hesapladığı işçi sayısı kadar akışı, en uzunundan başlayacak şekilde, atamak,
- Bu atamalar sonucunda atanmamış olan akışlardaki taşıma işlerini en geç bitirme sürelerine göre sıralamaktır. Bu sıralama en erken olandan en geç olana göre yapılmaktadır.
- Bu listenin ilk elemanından başlayarak, aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır:
 - En geç bitirme süresinden daha erken en geç bitirme süresi olan zaman aralıklarından yeni bir liste oluşturmaktadır. Bu sıralama en geçten en erkene doğru yapılmaktadır.
 - Bu listenin ilk elemanının taşıma süresi, yerleştirilmek istenen taşıma işleminden daha uzunsa, işlem bu boşluğa yerleştirilmekte ve bir sonraki eleman için aynı işlemler uygulanmaktadır. Eğer işlem bu boşluğa yerleştirilemiyorsa, bu listedeki bir alt eleman için aynı işlemler yapılmaktadır.

Eğer tüm liste için bu işlemler denenmiş fakat uygun bir yer bulunamadıysa, listenin ilk elemanına işlem yerleştirilmekte ve yerleştirilen işlemin ardından gelen işlemler, süre farkı kadar ertelenmektedir.

- Atanmamış hiçbir iş kalmayınca kadar bu adımlar tekrarlanmaktadır.

Akış üzerinden atama yapmamızın nedeni büyük akışların her birinden bir işçinin sorumlu olmasını sağlamak, böylece sistemin uygulanabilirliğini arttırmak ve yaptırımını güçlendirmektir. İşçilerin görevlerini belirlerken model her bir görevin mümkün olan en geç zamanda başlayacağı şekilde tasarlanmıştır, böylece ara ürünler mümkün olan en kısa süre istasyon yanında tutulacaktır. Taşıma süreleri yerleştirilirken tüm taşımaların en hızlı ekipman tarafından yapıldığı kabul edilmiştir, bunun nedeni taşıma sürelerini en aza indirmek, böylece ilerleyen safhalarda yerleştirilen işin yerleştirildiği zaman dilimine sığmama olasılığı engellenmiş olmaktadır (Ek 7.1).

İkinci sezgisel yöntem, ilk sezgisel yöntemde atanmış olan görevlerin malzeme taşıma ekipmanlarını işçilerden bağımsız olarak belirler. Bu işlemleri yaparken izlediği adımlar:

- İlk sezgisel yöntemde tüm taşıma işlemlerine uygun olan en hızlı ekipman atanmıştır. Aynı zaman diliminde aynı ekipmana ihtiyacı olan malzeme sayısı, eldeki ekipman sayısından fazla ise, o zaman dilimindeki iş sayısından ekipman sayısı çıkarılmaktadır.
- Bahsi geçen işler taşıma sıklığı en küçük olandan en büyük olana doğru sıralanmıştır. Bu sıralamada en üstten başlayacak şekilde, bir önceki adımda hesaplanan sayı kadar malzeme için, uygun ekipman listesindeki bir alt ekipman atanmaktadır.
- Akış listelerindeki tüm işler bitene kadar bu işlemler tekrarlanmaktadır.

En hızlı taşıma ekipmanından başlayarak atama yapılmasının amacı, taşıma süresini en aza indirmektir.

Üçüncü sezgisel yöntem, önceden belirlenmiş istasyonlar arasındaki ± 2 dakikalık zaman dilimi içerisinde bulunan taşımaları, ekipmanın kapasitesi yettiği ölçüde birleştirir ve aynı anda yapılmasını sağlayarak yeniden düzenler. Bu işlemleri yaparken izlediği adımlar:

- Bir akış içerisinde aynı kaynaktan çıkan taşıma işleri varsa, bu işler bulunmaktadır.
- Bulunan bu işler belirlenen zaman dilimi içerisinde olduğu takdirde, taşıma işleri ekipman kapasitesine eşit ya da ondan az ise birleştirilmektedir.

Bu sezgisel yöntem sonucunda akışların en kısa sürede bitmesi ve taşıma sayısının azalması sağlanmaktadır. İkinci ve üçüncü sezgisel yöntemlerin sonuçları Ek 7.2'de görülebilmektedir.

Bu model tasarlanırken sistemin düzenli şekilde işlemlerini ve modelin çalışmasını kolaylaştırmak amacıyla belirli kabullenmelerde bulunulmaktadır.

- İşçi sayısının akış sayısından az olması, mevcut sistemdeki gözlemler sonucunda, modelin sistemle uyumunu sağlamak içindir.
- Malzeme taşıma ekipmanlarındaki ivmelenmeler göz önünde bulundurulmamış ve hızlar sabit olarak alınmıştır. Uzaklıklar kısa olduğu için bu kabullenme uygulanabilmiştir.
- Yükleme ve boşaltma süreleri, modelin hesaplamalarında kolaylık sağladığı için hızın içine dahil edilmiştir.
- İstasyonlar, istasyon içi uzaklıklar kısa olduğu için noktasal kabul edilmiştir.
- Ekipmanların iki istasyon arasında her zaman aynı yolu takip ettiği kabul edilmiştir. Bu rotalar projede tanımlanmıştır.
- Ara ürün envanterlerinin üretim planlama periyodu başında dolu olduğu kabullenmesi modelin uygulanabilirliği içindir.
- Şirketin isteği üzerine, malzeme taşıma işçilerinin-çalışma saatleri dahilinde- her zaman uygun olduğu kabul edilmiştir.
- Hatalı ürün üretilmediği ve makinelerin kusursuz çalıştığı kabul edilmiştir.
- Her malzeme için o üretim periyodunda katile boyutunun sabit olduğu kabul edilmiştir.
- Bütün işçilerin tüm malzeme taşıma ekipmanlarını kullanabildiği kabul edilmiştir.

4.3.2 Gerekli ara ürün miktarını hesaplama modeli

Şirketin ana problemlerinden biri de işlemi süren ürün envanterinin gereğinden fazla miktarda olmasıdır. İşlemi süren ürün envanteri, akışın sürekliliğini sağlayacak kadar yüksek, maksimum iş gücü verimliliğini sağlayacak kadar düşük seviyede olmalıdır. Sistemin amacı, bu seviyeyi hesaplamaktır. Bu hedefle, kuyruk teorisinden yararlanılarak, her istasyonun başında olması gereken stok miktarı tanımlanmaktadır.

Model, girdi olarak şirketten alınan malzeme çeşidi, bir defada makineye giren malzeme adedi, operasyon ve ayar süreleri ile ürün akışını gösteren çizelgeyi kullanmaktadır. Ayrıca mevcut durumun malzeme taşıma süreleri de gözlenmekte ve ortalama değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler kullanılarak istasyon bazlı malzeme stok miktarları belirlenmektedir.

Kullanılan stokastik modelde 'iş' tanımı kullanılmaktadır. İş, bir seferde makinaya gelen malzeme katile sayısını ifade etmektedir. Malzeme adetleri, üretim miktarlarına göre iş cinsine çevrilmekte ve

sonuçta çıkan stok seviyeleri de iş cinsinden ifade edilmektedir. Ayrıca ‘geliş sıklığı’ ve ‘servis sıklığı’ terimlerine başvurulmaktadır. Geliş sıklığı gün başına makinaya gelen iş sayısını ve servis sıklığı da günde kaç işin makinalarda tamamlandığını göstermektedir.

Kuyruk modelinde sonsuz kuyruk kapasitesi varsayımı yapılmaktadır. Bunun sebebi, malzemelerin seri şeklindeki istasyonlarda işleniyor olması ve istasyonlarda bekleyen malzeme sayısı için bir limitin olmamasıdır. Bu modelde malzemeler Poisson dağılımına göre gelmekte (λ parametresi ile) ve her makinenin Üssel servis zamanı dağılımı (μ parametresiyle) olduğu varsayılmaktadır. Bu yüzden her istasyon birbirinden bağımsız olarak M/M/s (s=istasyondaki makine sayısı) modeliyle analiz edilmektedir. Bu modelle, istasyon başına olması gereken işlemi süren ürün envanteri miktarı bulunmaktadır (Hillier ve Lieberman, 2005) (Ek 3). Model örnek girdilerle çözüldüğünde, olması gereken ürün envanteri miktarı en fazla 11 günlük çıkmaktadır. Mevcut durumda şirket ölçümlerine göre belirlenen 27 günlük stok, siparişe göre değil stoğa üretim yapılmasından kaynaklanmaktadır. Üretim sürekliliğinin sağlanması ve akışın aksamaması için ara ürün miktarının ortalama 11 gün olması gerekmektedir.

Şirket gerekli ürün envanterini, girdiler üzerinde değişiklik yaparak azaltma yoluna gidebilir. Kafale boyutu şirketin değiştirebileceği bir veri olarak girilmekte ve bu değerle oynayarak ara ürün seviyelerinin değiştirilebilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, ileride makinalarda yapılabilecek değişiklikler sonucunda operasyon süreleri ve ayar süreleri de değiştirilerek, ara ürün seviyelerinin düşmesi sağlanabilmektedir. Örnek sonuç tablosu Ek 4’tedir.

4.3.3 Modellerin ilişkilendirilmesi

Malzeme taşıma modeli ile gerekli ara ürün miktarını hesaplama modelinin bağlantısı malzeme taşıma süreleri üzerinden olmaktadır. Malzeme taşıma modelinin hesapladığı bu değer, ara ürün hesaplama modelinde kullanılmaktadır. Bu değere bağlı olarak malzeme taşıma süreleri azalacak, bunun da girdiyi değiştireceğinden stok seviyesini azaltması beklenmektedir.

Bu iki modelin ortak noktası, şirketin ileride geçmek istediği çekme sistemi için araç olarak kullanılmalardır. Şirket çekme prensibine geçiş sürecinde, tasarlanan sistemi bir adım olarak kullanacaktır.

4.4 Doğrulama ve geçerleme

Stokastik modeli oluşturma sürecinde pilot bölgede olan talaşlı imalattaki malzeme adetleri, her makinenin her malzeme için ayrı ayrı operasyon ve ayar süreleri ile her malzemenin taşıma süreleri verileri toplanmakta, ortalamaları alınmaktadır. Verilerin uç değerleri ihmal

edilerek ortalamaları alınmakta, bulunan değerler modele girdi oluşturmaktadır. Modelin uygulanma koşulu doğrultusunda geliş sıklıkları dağılımı Poisson, servis zamanları dağılımıysa üssel dağılım olarak varsayılmaktadır. Bu varsayımların doğruluğu, ara ürün miktarlarını veren bu modelin sonuçlarını, modelin hesapladığı geliş ve servis sıklıkları yerine modele mevcut sistemin geliş ve servis sıklığı verileri girilmekte, ortaya çıkan yeni ara ürün seviyesiyle karşılaştırarak test edilmektedir. Model toplanan geliş ve servis sıklığı verileriyle çalıştırıldığında hesaplanan ara ürün miktarlarında %10'a yakın azalma olduğu gözlenmektedir.

Malzeme taşıma modeli, şu an fabrikada herhangi bir malzeme taşıma planı olmadığı için model sonucu çıkan sistemle şu anki sistem karşılaştırılamayacağından dolayı test edilememektedir.

5. Sonuçlar

5.1 Duyarlık ve senaryo analizleri

5.1.1 Gerekli ara ürün miktarını hesaplama modeli

Stokastik model ve malzeme taşıma modeli şirkette oluşan herhangi bir değişime uyum sağlayacak şekilde yazılır.

Stokastik modele göre, ara stok miktarı az olması nedeniyle işlemi aksayan makinalar belirlenir. Bu makinalara gelen malzemelerin adedi ve malzemenin toplam operasyon süresi azaltılırsa, üretim akışının devamlılığı sağlanır. Ara stok miktarı gereğinden fazla olan aşırı yüklü makinalar için makina sayısını arttırmaksa iş yükünü azaltarak, ara ürün miktarını azaltır. Operasyon, ayar ve malzeme taşıma modeli sonucuna göre malzeme taşıma süresi azalırsa, ara ürün miktarı da azalır.

5.1.2 Malzeme taşıma modeli

Malzeme taşıma modelini en çok etkileyen üç faktör kafiye boyutu, işçi sayısı ve malzeme taşıma ekipmanı sayısıdır.

- Kafiye boyutu taşıma sıklığı üzerinde etki yaratarak bir malzeme üzerindeki taşımanın kaç kez yapılacağını ve süresini belirler. Kafiye boyutu bölünürse, bölünen her parça arka arkaya taşınır.
- İşçi sayısı kaç tane malzeme taşıma akışı olacağını belirler. Bu sayı uzaklıklar, malzeme taşıma ekipman hızları ve taşıma sıklığına bağlı olarak değişir.
- Malzeme taşıma ekipmanı sayısı aynı anda o ekipmanla kaç tane malzeme taşınabileceğini belirler.

Bu üç faktör için modelin belirli uç durumlarda verdiği sonuçlar değerlendirilirse;

- Malzeme taşıma ekipmanlarının sonsuz olması durumunda tüm taşıma işlemleri için en hızlı ekipman atanacaktır ve işlemler en kısa sürede tamamlanacaktır. Bu durum, malzeme taşıma

işlemlerinin mümkün olan en kısa zamanda tamamlanması açısından idealdir.

- Uzaklıkların sonsuz olması durumunda malzeme taşıma süreleri de sonsuz olacağından model bir sonuç veremez. Benzer şekilde uzaklıklar sıfıra indirilirse, taşıma süreleri de sıfıra ineceğinden modelin verdiği sonuç üretim akışından farklı olmayacaktır.
- Kafale büyüklüğünün değiştirilmesi durumunda üretim planına bağlı olarak hesaplanan taşıma sıklıkları değişir ve model bu sayıya bağlı olarak peş peşe bu taşımaları koyar.
- İşçi sayısının akış sayısından fazla olması durumunda model uygun bir cevap veremez çünkü modelin kabullenmelerinden biri işçi sayısının akış sayısından küçük olduğudur. Bu durumda bazı akışlar işçilere atanmayacaktır.

6. Uygulama

6.1 Sistemin uygulanması için gerekli altyapı

Malzeme taşıma modeli için Java programlama dili altyapısı ve gerekli ara ürün miktarını hesaplama modeli için Microsoft Excel gerekmektedir. Ayrıca modeller sonucu çıkan gerekli işçi sayısı da sağlanmalıdır. Modellere veri sağlaması için gereken altyapılar olan UyumSoft (şirketin üretim planlama programı) ve üretim akışı şeması şirkette bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin uygulanabilmesi için malzeme taşıma sisteminde kart sistemi önerilmektedir. Bu sistemi oluşturabilmek için her makinenin başına kart sistemi yerleştirilmesi gerekmektedir.

6.2 Ayrıntılı uygulama planı

Uygulanması önerilen planda yüksek kapasiteli bir bilgisayara Java altyapısı yüklenecektir. Bu sistemden sorumlu kişi, malzeme listesi ve malzeme taşıma ekipman listesini Excel'de oluşturacaktır. UyumSoft programından üretim planları çekilecek ve Excel'e aktarılacaktır (Ek 5.2). Malzeme taşıma modeli bu Excel dosyalarını kullanarak malzeme taşıma sistemine işçi atayacak ve işçinin hangi malzemeyi hangi ekipmanla, ne zaman taşıyacağını gösteren bir plan Excel dosyası olarak çıkaracaktır (Ek 7.2). Üretim Planlama bölümünden çıkacak her üretim planı için yeni taleplerle malzeme taşıma modeli yeniden çalıştırılacaktır.

Gerekli ara ürün miktarını belirleyen model için oluşturulan Excel dosyaları, ilgili bilgisayara yüklenecektir. Sorumlu kişi, malzeme adedini kendi girebilmektedir, operasyon, ayar süreleri ve taşıma sürelerinde yapılabilecek değişiklikler de sistemde güncellenebilecektir. Böylece, gerekli stok miktarı, sorumlu kişi tarafından değiştirilerek azaltılabilecektir.

Malzeme taşıma modelinin uygulanabilirliğini arttırmak amaçlı bir kart sistemi kullanılması önerilmektedir. Bu kart sistemi, modelin

verdiği çizelge ile fabrika ortamındaki taşımaları bağlayacak ve herhangi bir aksama ya da sorun durumunda dahi verilen çizelgeye paralel gidilmesi sağlanacaktır. Bu kart sisteminde, her istasyonun başına gelen malzeme ve gitmesi gereken malzeme için iki ayrı kartlık tasarlanacaktır. Kart üzerinde taşınacak malzemenin adı, hangi işçi ve ekipman tarafından taşınacağı, alındığı ve bırakıldığı istasyonun adı ve taşınması gereken zaman aralığı bilgileri bulunacaktır. İstasyona gelen malzemenin kartı işçi tarafından kutuya konulacak ve gitmesi gereken malzemenin kartı taşınacağı zaman kartlıktan alınacaktır. Günün sonunda kartlıklardaki taşınmış malzemeler kontrol edilecek ve çizelgeyle uyumuna bakılacaktır. Böylece malzeme taşıma süreci her aşamada izlenmiş ve sistematik yürümesi sağlanmış olacaktır.

Modellerden sorumlu kişinin yararlanacağı, her şirket çalışanı tarafından anlaşılabilir bir kullanma kılavuzu oluşturulacaktır. Bu kılavuzda modellerin nasıl kullanılacağı, nelerin sorumlu tarafından değiştirilebileceği ve modellerde kullanılan terimler açıklanacaktır.

7. Genel Değerlendirme

7.1 Projenin fabrikaya getireceği katkılar

Mevcut sistemde iş gücü verimliliğindeki kayıp ve ara ürün seviyesi minimuma indirilip malzeme taşıma verimliliği maksimuma çıkarıldığında fabrika, düzgün ve planlı bir şekilde işleyen malzeme taşıma sistemine ve devamlı bir iş akışına sahip olacaktır.

7.2 İleriye dönük güncelleme / geliştirme konularında öneriler

Önerilen sistem, fabrikadaki üretimde de çekme sistemine geçildiği taktirde, en iyi sonuçları vermektedir. Üretimde kullanılan çekme sisteminde ürün ve bilgi akışı birliktedir ve üretim süreçlerine; neyi, ne zaman, ne kadar üreteceklerini ve nereye göndereceklerini söyleyen bir sistemdir. Malzeme taşınması için kullanılacak kartlar, ileride üretimde çekme sisteminde de kullanılarak sistem geliştirilebilir. Aşırı yüklü makineler için yükü azaltmak amaçlı ek makineler alınabilir, mevcut makineler yenilenerek operasyon ve ayar süreleri kısaltılabilir.

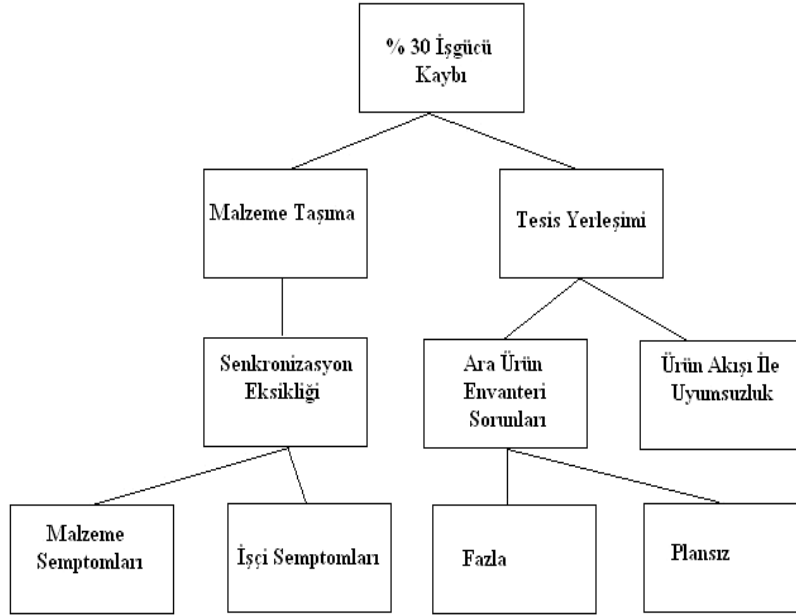
İşlemi süren ürün envanteri miktarının olması gereken seviyeyi geçmemesi için stoklara fiziksel engeller tasarlanabilir. Malzemelerin boyutlarına göre kutular tasarlanarak fiziksel engel sağlanmış olacaktır.

KAYNAKÇA

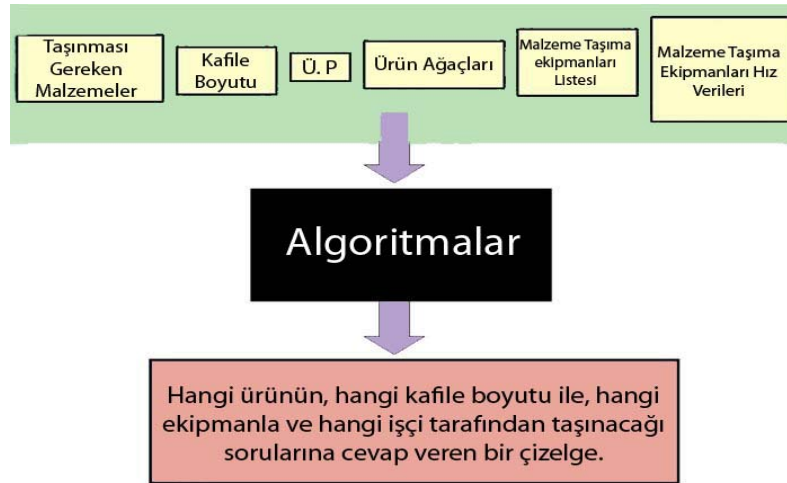
Hillier, F., Lieberman, H. (2005). "Introduction to Operations Research", McGraw Hill, New York, Bölüm 17, 810–812.

EKLER

Ek 1. Neden – sonuç diyagramı



Ek 2. Malzeme taşıma modeli girdi – çıktı şeması



Ek 3. Gerekli ara ürün miktarını hesaplama modeli kullanılan formüller

L_q : Kuyrukta bekleyen iş sayısı

μ : Servis sıklığı

λ : Malzeme geliş sıklığı

s : bir istasyondaki makine sayısı

ρ : λ/μ değeri

P_0 : malzemeye ilgili olasılık

$$L_q = \frac{P_0 \left(\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \rho \right)}{s! (1 - \rho)^2}$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=1}^{s-1} \left(\frac{\lambda^n}{n!} + \frac{\lambda^s}{s!} \frac{1 - \lambda^s}{s \cdot \mu} \right)}$$

Ek 4. Gerekli ara ürün miktarını hesaplama modeli örnek sonuç tablosu

	İSTASYON STOK İŞ SAYISI	İSTASYONLARDAKİ İŞ SAYISI	STOKLARIN KAÇ GÜNLÜK OLDUĞU
1. İSTASYON:	0,8267737	2,55458	11,727060
2. İSTASYON:	0,1032218	0,81499	1,464111
3. İSTASYON:	0,0000006	0,00078	0,000009
4. İSTASYON:	0,0029836	0,05613	0,042320
5. İSTASYON:	0,0015603	0,18516	0,022132
6. İSTASYON:	0,0000004	0,01133	0,000005
7. İSTASYON:	0,0000003	0,00051	0,000004
8. İSTASYON:	0,0000078	0,00280	0,000111
9. İSTASYON:	0,0000081	0,00285	0,000115
10. İSTASYON:	0,0000000	0,00018	0,000000

stokta geçen süre(gün) 0,0015

sistemde geçen süre(gün) 0,0032

Not: Sayılar ‘iş’ bazlıdır. (İş: bir defada istasyona gelen kfile sayısını)

Ek 5. Malzeme taşıma modeli örnek uygulama çizelgeleri

Ek 5.1. Malzeme ve malzeme taşıma girdileri

	A	B	C	D	E	F	G
1	Malzeme Adı	Ağırlık	Kfile Büyüklüğü	Toplam Ağırlık	Gereken Miktar	Taşıma Sıklığı	ÜP Talep
2	01 HÜCRE KARKAS 750MM	5	1	5	1	1	30
3	REÇİNE GÖVDE YÜK AYIRICI ŞALTER	10	5	50	1	1	30
4	01 HÜCRE PANOSU STANDART	15	5	75	1	1	30
5	24 VDC AYIRICI YAY KURMA REDÜKTÖRÜ GİRİŞ-ÖLÇÜ	0.3	2000	600	100	1	300
6	24 VDC 01 HÜCRE Sİ	4	10	40	5	1	100
7	24 V TIRNAKLI SİNYAL AMPÜLÜ	0.3	1	0.3	2	1	60
8	24 VDC AYIRICI MEKANİZMA BOBİNİ	0.1	1	0.1	4	1	120
9	24 VDC YAY KURMA MOTORU	3	4	12	0.7	1	70
10	MOTOR ÜST SACI	3	2	6	0.7	1	70
11	MOTOR ALT SACI	0.2	150	30	2	1	200
12	90MM SKADEMELİ HÜCRE KAUCUK TAPASI	1	50	50	10	1	1000

	A	B	C	D
1	Malzeme Taşıma Ekipmanı	Max Ağırlık Kapasitesi (kg)	Ekipman Sayısı	Hız (m/dk)
2	forklift		60	3
3	palet		30	5
4	manuel		10	2

Ek 5.2. Akış şeması girdisi

A	B	C	D	E	F	G	H
01 HÜCRE KARKAS 750MM							

Malzemenin Adı	Operasyonlar		Taşıma Sıklığı	Başlangıç Süresi	Süre	Bitiş Süresi	Malzeme Taşıma Ekipmanı
KURMA REDÜKTÖRÜ GİRİŞ-ÖLÇÜ	Depo	Bükümhane	1	1411.7	0.89998	1412.6	forklift
		Büküm		1412.6		5	1417.6
24 VDC 01 HÜCRESİ	Bükümhane	Montaj İstasyonu	1	1417.6	2.39995	1420	forklift
		Montaj		1420		20	1440

I	J	K	L	M	N	O	P
REÇİNE GÖVDE YÜK AYIRICI ŞALTER							

Malzemenin Adı	Operasyonlar		Taşıma Sıklığı	Başlangıç Süresi	Süre	Bitiş Süresi	Malzeme Taşıma Ekipmanı
24 V TIRNAKLI SINYAL AMPÜLÜ	Depo	Kesim İsta	1	1343.8	1.49997	1345.3	forklift
		Kesim		1345.3		60	1405.3
MOTOR ALT SACI	Kesim	İstasyon Freze İsta	1	1405.3	1.79996	1407.1	forklift
		Freze		1407.1		5	1412.1
MOTOR ÜST SACI	Freze	İstasyon Sertleştirir	1	1412.1	0.89998	1413	forklift
		Sertleştirme		1413		4	1417
MOTOR ÜST SACI	Sertleştirme	İst Kaynak	1	1417	3.29993	1420.3	forklift
		Kaynak		1420.3		1	1421.3
90MM 5KADEMELİ HÜCRE KAUCUK TAPASI	Kaynak	Üretim Ha	1	1421.3	0.89998	1422.2	forklift
		Üretim		1422.2		6	1428.2
REDÜKTÖR KURMA SACI (17 8 KOŞE GOBEKLI)	Tornalama	Kaplama İstasyonu	1	1428.2	2.69995	1430.9	forklift
		Kaplama		1430.9		4	1434.9
14*8.5 MM ÇELİK ÇEKME BORU	Kaplama	Montaj İstasyonu	1	1434.9	2.09996	1437	forklift
		Montaj		1437		3	1440

Q	R	S	T	U	V	W	X
01 HÜCRE PANOSU STANDART							

Malzemenin Adı	Operasyonlar		Taşıma Sıklığı	Başlangıç Süresi	Süre	Bitiş Süresi	Malzeme Taşıma Ekipmanı
KELEBEKLI PANO KILIDI	Tornalama	Kaynak	1	1423.5	0.29999	1423.8	forklift
		Kaynak		1423.8		5	1428.8
M 6 ÇAKMA SOMUN	Kaynak	Montaj İsta	1	1428.8	1.19998	1430	forklift
		Montaj		1430		10	1440

Ek 6. İkinci basamak çıktısı

A	B	C
24 VDC 01 HÜCRESİ	24 V TIRNAKLI SİNYAL AMPÜLÜ	24 VDC AYIRICI MEKANİZMA BOBİNİ
forklift	forklift	forklift
palet	palet	
manuel		

Ek 7. Sezgisel yöntem çıktıları

Ek 7.1. Birinci sezgisel yöntem çıktısı

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
İşçi 1																
İsminin Adı DE AYIRICI YAY VA REDÜKTÖRÜ	Operasyonlar	Tayma Sıklığı	Başlangıç Süresi	Bitiş Süresi	Süre	Malzemenin Adı	Tayma Ekipmanı	Operasyonlar	Tayma Sıklığı	Başlangıç Süresi	Bitiş Süresi	Malzeme Ekipmanı	İşçi 1			
													Deпо	Kesim İstasyonu	Sertleştirme	1
DC 01 HÜCRESİ	Bükümhane Montaj İstasyonu	1	1411.7	0.89998	1412.6	5	1417.6	MOTOR ALT SACI	1	1405.3	1.79996	1407.1	forklift	İşçi 2		
														Bükümhane Montaj İstasyonu	1	1417.6
								MOTOR ÜST SACI	1	1412.1	0.89998	1413	forklift			
								MOTOR ÜST SACI	1	1413	3.29992	1420.3	forklift			
								MOTOR ÜST SACI	1	1420.3	1	1421.3	forklift			
								KELEBEKLI PANO KILDI	1	1421.3	0.89998	1422.2	forklift			
								16 YERLİK ÇİTİM KAYNAK	Montaj İst	1	1422.2	0.29999	1422.5	forklift		
								30 YERLİK ÇİTİM KAYNAK	Montaj İst	1	1422.2	0.29999	1422.5	forklift		
								KALÇUK TAPASI	Üretim Hattı	1	1422.5	1.19998	1423.7	forklift		
								REDÜKTÖR AURUM SACI (17 SİGİRE GÖBEKLİ)	Tornalama İstasyonu	1	1423.7	4.50003	1428.2	forklift		
								REDÜKTÖR AURUM SACI (17 SİGİRE GÖBEKLİ)	Tornalama İstasyonu	1	1428.2	2.69995	1430.9	forklift		
								14x8.5 İMM ÇELİK ÇEKME BORU	Kapılama Montaj İstasyonu	1	1430.9	4	1434.9	forklift		
								14x8.5 İMM ÇELİK ÇEKME BORU	Kapılama Montaj İstasyonu	1	1434.9	2.09996	1437	forklift		
								Montaj	Montaj İstasyonu	3	1437	3	1440	forklift		

Depolar Arası Stok Paylaşım Stratejilerinin Geliştirilmesi

Unilever Türkiye

Proje Ekibi

Gökhan Karaarslan

Merve Öztunç

Filiz Sayın

Gizem Topsakal

Seda Üstüner

Özgün Yanaz

Endüstri Mühendisliği

Bilkent Üniversitesi

06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Sıla Kurt, Unilever Türkiye,

Talep Planlama Müdürü

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Osman Alp, Bilkent Üniversitesi,

Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede, Unilever nihai ürün depo sistemine yeni bir deponun katılımıyla beraber ortaya çıkan stok paylaşım ihtiyacına cevap vermek üzere stratejik, taktik ve operasyonel düzeylerde çözümler geliştirilmiştir. İlk olarak dört farklı strateji belirlenmiş ve bu stratejilerin simülasyonu ile depolardaki ortalama envanter düzeyleri, depolar arası hareket eden toplam palet sayıları, depolar arası gidiş gelişler, depolarda yere konan toplam palet sayıları ve firmanın müşteri servis seviyeleri bakımından en iyi olan strateji seçilmiştir. Daha sonra bu strateji için siparişin hızlı ve az maliyetli yapılmasını sağlayacak depo içi stok dağılımı yapılmış ve en son olarak ise Unilever'in günlük üretim miktarları girildiğinde hangi depoya ne kadar ürün gideceğine karar veren bir ara yüz tasarlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Depolar arası stok paylaşımı, müşteri servis seviyesi, stratejik, taktik ve operasyonel kararlar, depo içi stok dağılımı.

1. Firma Tanıtımı

Unilever firması Türkiye’de 1953 yılında faaliyet göstermeye başlamıştır. Farklı ürün kategorilerindeki yenilikçi yaklaşımı ile kısa sürede kişisel bakım(PC), ev ürünleri(HC), dondurma ve yiyecek(FOOD) sektörlerinde önemli başarılar elde etmiştir. Türkiye’de Omo, Rinso, Yumoş, Domestos, Cif, Elidor, Dove, Signal, Clear, Rexona, Lux, Axe gibi markalarıyla kişisel bakım ve ev ürünlerinde; Knorr, Sana, Lipton, Calve, Becel, Algida, Ben&Jerry’s, Carte D’or, Cornetto, Magnum ve Max markalarıyla ise yiyecek ve dondurma sektöründe yer almaktadır.

Unilever firmasının Türkiye’de Çorlu, Çayırova, Gebze ve Rize’de olmak üzere dört ana üretim fabrikası bulunmaktadır. Aynı zamanda iki ana dağıtım merkezlerinden biri Çorlu’da diğeri ise Gebze’de yer almaktadır. Çorlu dağıtım merkezi gıda dağıtımını yaparken, Gebze dağıtım merkezi ise kişisel bakım, ev ürünleri ve kuru gıda dağıtımını yapmaktadır.

2. Projenin Tanımı

2.1 Semptomlar ve firma beklentileri

Unilever için yapılan bu projede, firmanın nihai ürünlerinin, müşteri servis seviyeleri, raf yetersizliğinden dolayı yere konan palet miktarları ve depolar arası stok gidiş-gelişleri göz önünde bulundurularak, üç depoya-Gebze ana depo, Ana depo 2 ve Şekerpinar depo- en etkili şekilde dağılması ve bu depolar içerisinde stokların en verimli şekilde yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanında bu hedeflerin operasyonel karar alma mekanizmasında kullanılabilmesi için bir ara yüz tasarımı beklenmektedir.

Proje başlangıç tarihi olan Eylül 2008’de Gebze Ana depo ve Şekerpinar depolarının yanı sıra üç tane yan depo kullanılmaktaydı; ancak bu yan depoların kullanıma kapatılıp yerine yeni tek bir deponun sisteme entegre edilmesi istenmektedir. Gebze Ana depoya 500 metre uzaklıkta olan bu deponun faaliyete geçebilmesi için, yeni sistemde kullanılacak olan üç depo arasında stok paylaşımı bir ihtiyaç haline gelmiştir. Dolayısıyla stok paylaşımı ve Ana depo 2 içi ürün yerleşimi firmanın temel beklentisi olarak ortaya çıkmıştır. Yeni bir deponun açılmasının dışında firmanın ortadan kaldırmak istediği ve bizi asıl probleme yönlendiren bazı semptomlar da tespit edilmiştir. Bu semptomlar: bir siparişin birden fazla depodan karşılandığının göstergesi olan “çift KYP (Kamyon Yükleme Planı)” sayısındaki artışlar, depolar arası ürün transferlerinin çokluğundan kaynaklanan maliyetler, hedeflenen müşteri servis seviyelerindeki (CCFOT- Bir siparişi karşılarken zamanında gönderilebilen palet sayısının o siparişteki talep edilen toplam palet sayısına oranı) sapmalar ve depolarda yere konmak zorunda kalınan palet sayılarındaki artışlardır.

2.2 Problem tanımı ve kapsamı

Mevcut müşteri servis seviyelerini koruyarak, depolar arası ve depo içi ürün sirkülasyonunu azaltacak, ürünlerin depo içi yerleşimlerini geliştirecek ve operasyonel karar alma süreçlerine katkı sağlayacak bir sistemin tasarlanmasıdır. Bu anlamda proje kapsamı fabrikalardan gelen nihai ürünlerin depolara paylaşılması işleminden başlayıp, farklı kanallardan gelen müşteri siparişleriyle ürünlerin araçlara yüklenip depolardan çıkışına kadar olan süreci kapsamaktadır. Ayrıca her bir depo içinde stok tutma birimi (SKU) bazında ürünleri depolarda belirli bölgelere atama çalışması ve operasyonel karar verme sürecine katkı sağlayacak bir sistem tasarımı da kapsam dahilinde yapılan çalışmalardır.

3. Analiz

3.1 Mevcut sistemin analizi

Yukarıda da belirtildiği gibi kısa bir süre öncesine kadar Unilever'de Şekerpınar ve Gebze Ana depoya ek olarak üç yan depo kullanılmaktaydı. Şubat 2009'dan itibaren yan depoların kullanımı sona erdirilmiş ve ana depo yanına inşa edilen Ana depo 2 yavaş yavaş operasyonlara katılmaya başlamıştır.

Unilever'in en aktif deposu olan Gebze Ana Depo 24.000 paletlik kapasiteyle hizmet verirken, Şekerpınar 14.000 palet, Ana depo 2 ise 12.000 paletlik kapasiteyle hizmet vermektedir.

Mevcut sistemde, sipariş tahminleri geçmişte gerçekleşen sipariş miktarları ve bu siparişlerdeki dalgalanmalara oluşturulmaktadır. Ayrıca ürün üretim yerlerine ve ürün temin sürelerine göre kapsama gün sayıları belirlenmektedir. Üretim planları ise depodaki mevcut stok miktarına, sipariş tahminlerine ve kapsama gün sayısına göre yapılmaktadır. Örneğin FOOD12 kodlu bir ürünün ait olduğu marka numarası 2 ve marka 2'ye atanmış kapsama gün sayısı yedi ise, FOOD12 kodlu üründen yedi gün boyunca gelen siparişleri karşılayacak miktarda stok tutulması gerekmektedir. Depolardaki bu ürünün mevcut stok seviyesi ve tutulması gereken stok seviyesi arasındaki fark ise bu ürünün üretim planının temelini oluşturmaktadır. Ürünlere markalara atanmış kapsama günleri ve mevcut stok seviyeleri kontrol edilerek belirlenen küçük, orta, büyük gibi sınıflar verilmiş olup, ürünlerin depolar arası stok paylaşımı bu sınıflarına göre belirlenmektedir.

Unilever depolarına siparişler üç farklı müşteri kanalından gelmektedir. Bunlar *NA* olarak adlandırılan "Ulusal Zincir Müşterileri", *LC* olarak adlandırılan "Yerel Zincir Müşterileri" ve *Dist* olarak adlandırılan "Distribütör Müşterileri"dir. Müşterilerin mevcut sistemde kendi içlerinde öncelik sırası vardır. Bu öncelik sırasında *NA* birinci, *LC* ikinci, *Dist* üçüncü sıradadır. Buna göre her üç müşteri kanalından sipariş geldiğinde, ana amaç en öncelikli olarak *NA* müşterisinin

talebini karşılamak, daha sonra **LC** müşterisinin ve en son olarak da **Dist** müşterisinin talebini karşılamaktır. Mevcut sistemde müşteriler ve depolar arasında yapılan eşleşmeye göre **NA**'lar Gebze Ana depodan, **LC**'ler Gebze Ana depo ve Şekerpınar'dan, **Dist**'ler ise yalnızca Şekerpınar'dan karşılanmaktadır; ancak pratikte müşteri servis seviyelerinde olası düşüşler yaşamamak için her depo her müşterinin ihtiyacını karşılayabilecek şekilde hareket etmektedir. Ürün çıkışlarında müşteriden gelen siparişler doğrultusunda kamyon yükleme planları hazırlanmaktadır. Genelde siparişlerin tek depodan karşılanması hedeflenmekte olup tek deponun siparişi karşılamaması halinde ise daha önce de belirtildiği gibi diğer depolardan mal takviyesiyle siparişler karşılanmaktadır.

Mevcut durumda depo içi yerleşimi ise, ürün depoya geldiğinde boş olan raflara sadece ürünün ait olduğu kategori(HC-PC-FOOD) dikkate alınarak rasgele yapılmaktadır. Daha sonra bu ürünler ilk gelen ilk çıkar stratejisiyle depodan çıkmaktadır. Ürünler paletler halinde depolanmakta; ancak koli bazlı siparişi olan ürünler "toplama gözü" adı verilen bölgelerde koliler halinde de depolanmaktadır.

3.2 Performans ölçütleri ve hedefler

Firma yetkilileri ile yapılan toplantılar sonucunda depolardaki ortalama envanter düzeyleri, depolar arası hareket eden toplam palet sayısı, depolarda yere konan toplam palet sayısı ve firmanın müşteri servis seviyeleri göstergesi olan CCFOT değeri projede temel alınacak performans ölçütleri olarak belirlenmiştir. Farklı nihai ürün stok paylaşırma stratejileri bu dört performans ölçütü üzerinden değerlendirilmiştir. Bu projedeki temel hedef, hedeflenen müşteri servis seviyeleri içerisinde, ortalama envanter düzeylerini, depolarda yere konan palet sayısını, depolar arası ve depo içi hareketleri azaltıcı stok paylaşırma stratejilerinin geliştirilmesidir. Belirlenen strateji doğrultusunda her bir depoda ABC analizi çalışması yaparak depo içi yerleşimleri sağlamak ve ürün toplama süresini iyileştirmek de hedeflerimiz dahilindedir. Ayrıca önerilen stratejiye uygun tasarlanacak bir sistemle firma çalışanlarının günlük stok dağılımını etkili bir şekilde yapmasını sağlamak da temel hedeflerimiz arasındadır.

4. Önerilen Yöntem

4.1 Genel yaklaşım

Bu projede, problemin çözümüne yönelik stratejik, taktik ve operasyonel düzeylerde çözümler geliştirilmiştir. İlk olarak sistem üzerinde etkisi olduğu düşünülen kriterler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda üç temel kriter seçilmiştir. Bunlar eşleşme olup olmaması (MTC), depolar arası stok aktarmaya izin verilip verilmemesi (LT) ve Gebze Ana depo ve Ana depo 2'nin tek bir depo gibi davranıp (İki depolu sistem) davranmamasıdır (Üç depolu sistem).

Bu kriterlerin açıklamaları ve sistem üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri aşağıda yer almaktadır.

- Depo müşteri eşleşmesi olup olmaması (MTC):
Eğer müşteri kanalı ile depolar arasında bir eşleşme yapılırsa, ürünler depolara müşteri kanalı bazlı tahminlere göre dağıtılır ve her bir müşteri kanalından talep geldiğinde, o müşterinin talebi eşleştirildiği depodan karşılanır. Aksi takdirde, her müşteri kanalı tüm depolardan karşılanır. Eşleşme olan sistemde depolar arasında gidiş gelişlerin ve buna bağlı olarak gelişen maliyetlerin ve zaman kayıplarının az olması beklenmektedir. Bunun yanı sıra her depo tek bir müşteri kanalına odaklanacağından depo yönetiminin daha kolay olacağı tahmin edilmektedir. Eşleşmesiz sistemde ise depolar arası risk paylaşımının avantaj sağlayacağı beklenirken, bu sistemde az öncelikli müşterinin daha öncelikli müşterinin stokunu bitirme ihtimali ortaya çıkabilmektedir.
- Depolar arası stok aktarmaya izin verilmesi/izin verilmemesi (LT):
Eğer depolar arası stok gidiş gelişine izin veriliyorsa, bir depodaki talep edilen ürünün stok miktarının müşteri talebini karşılayamaması halinde başka bir depodan bu sipariş tamamlanabilecektir. Stok aktarımına izin verilen sistem sipariş karşılamada esneklik sağladığı için CCFOT seviyelerinde artışlar beklenmektedir; ancak depolar arası gidiş geliş olacağından maliyet artışı ve zaman kayıpları ortaya çıkabilmektedir.
- Gebze Ana depo ve Ana depo 2'nin tek bir depo gibi davranıp(Üç depolu sistem)/davranmaması (İki depolu sistem):
Üç depolu sistem, Gebze Ana depo, Ana depo 2 ve Şekerpınar depo olmak üzere ayrı faaliyet gösteren üç depodan oluşurken; iki depolu sistemde, Gebze Ana depo ve Ana depo 2 tek bir depo gibi faaliyet göstermektedir. İki depolu sistemde Gebze Ana depo ve Ana depo 2 arasındaki gidiş gelişler depo içi hareket olarak düşünüldüğünden, bu hareketlerde artış, depolar arası hareketler de ise bir azalış beklenmektedir.

Farklı stratejiler geliştirmek için seçilen kriterlerden ilk olarak eşleşme kriteri dikkate alınıp, eşleşmenin yapılıp yapılmaması gerektiğine karar veren matematiksel modeller oluşturulmuştur. Matematiksel modelde doğrusallığı bozmamak amacıyla, mevcut sistemdeki gibi sabit oransal dağıtım kabul edilmiştir. Bu modellerde 2008 sipariş dataları kullanılmış ve daha sonra da bu datalarda oluşabilecek %10'luk varyasyonlarla modeller tekrar çözülmüştür. 2008 üretim verilerini ve başlangıç envanter düzeylerini parametre olarak alan bu modeller, hedeflenen CCFOT seviyeleri ve depo kapasitelerini ise kısıt olarak kabul etmektedir. Modeller değerlendirilirken ise müşteri siparişlerini karşılamada kullanılan ortalama depo sayısı ve raf

yetersizliğinden dolayı yere konan palet miktarları ölçüt olarak alınmıştır. Çıktılar doğrultusunda eşleşmenin yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Müşteri depo eşleşmesinin nasıl gerçekleşmesi gerektiğine karar verirken ise 2008 gerçek satışlar ve 2009 tahmin edilen sipariş dataları incelenmiş ve buna göre Gebze Ana depo-*NA*, yan depo-*LC* ve Şekerpınar-*Dist* eşleşmesi kabul edilmiştir.

Yukarıda belirtilen kriterler üzerinde değişiklikler yapılarak belirlenen stratejiler aşağıdaki gibidir:

- Strateji 1: Depolar arası stok aktarmaya izin verilir, eşleşme vardır ve üç depo bağımsız davranır.
- Strateji 2: Depolar arası stok aktarmaya izin verilmez, eşleşme vardır ve üç depo bağımsız davranır.
- Strateji 3: Depolar arası stok aktarmaya izin verilir, eşleşme vardır ve Gebze Ana depo ile Ana depo 2 tek depo gibi davranır.
- Strateji 4: Depolar arası stok aktarmaya izin verilmez, eşleşme vardır ve Gebze Ana depo ile Ana depo 2 tek depo gibi davranır.

Taktik düzeyde ise ürünlerin depo içindeki yerleşimi ele alınmıştır. Bu düzeyde amaç, verilen kısıtları göz önünde bulundurarak (deodorantlara ayrılan özel bölüm, yiyecek ve deterjanların yan yana gelmemesi gibi) depo içlerini A, B ve C ile adlandırılan bölgelere ayırmak ve en hızlı giden ürünleri çıkış kapılarına en yakın bölgelere (A bölgesi), en yavaş gidenleri ise çıkışlara en uzak bölgelere (C bölgesi) atamaktır. Bu analiz sonucu, depoya ulaşan ürünlerin A, B ve C bölgelerine dağıtılması ve böylece depo içi hareketlerinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Bir başka deyişle ABC analizi ile hazırlanan siparişlerin daha hızlı ve daha az maliyetli olması hedeflenmiştir.

Önerilen stratejinin operasyonel düzeyde firma çalışanları tarafından uygulanabilmesi için ürünleri depolara dağıtırken mevcut envanter düzeylerini dikkate alacak şekilde stok paylaşımını yapan ara yüz tasarlanmıştır. Bunun için de Java yazılımı tercih edilmiştir. Yazılan Java kodu ile kullanımı kolay, entegre edilebilir bir ara yüz yaratılmış ve Excel dosyalarının girdi olarak kullanılması sağlanmıştır (Ek 1).

Tüm bu noktalar göz önünde bulundurulursa, önerilen sistemin firmaya kolaylık sağlaması adına çözümler ve alınan kararlar üç ayrı düzeyde incelenmiş ve her bir düzey için farklı çözüm yöntemleri uygulanmıştır. Sistem mimarisi ise Ek 2’de görülmektedir.

4.2 Tasarlanan sistemin bileşenleri ve çözüme yönelik yaklaşımlar

Sistem tasarımı üç ana düzeyden oluşmaktadır. Bunlar stratejik, taktik ve operasyonel düzeylerdir. Stratejik düzeyde ilk olarak sistemde üzerinde önemli etkileri olduğu düşünülen kriterler belirlenmiş ve bu kriterlerin olumlu ve olumsuz etkileri tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda belirlenen üç temel kriterden biri olan müşteri depo eşleşmesi için yazılan matematiksel modeller GAMS programında

çözdürülmüş ve daha önce de ifade edilen performans ölçütleri bazında yapılan karşılaştırma doğrultusunda eşleşme kararı alınmıştır.

Bu kriterin her stratejide kabul edilmesine karar verildikten sonra, diğer kriterlerin varyasyonları sonucunda oluşturulan dört strateji birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için dört strateji için “Excel - Visual Basic” programında makrolar yazılmış ve her bir stok sistemi için simülasyon yapılmıştır. Şirket tarafından verilen 2008’de gerçekleşen marka bazlı satış miktarları, yine şirket tarafından verilen 2009 satış tahmini datasının yardımıyla ürün bazına kırılmış ve 2008 yılında gerçekleşen ürün bazlı satış miktarları datası oluşturulmuştur. Simülasyonda girdi olarak bu 2008 yılında gerçekleşen satış miktarları datası, depoların başlangıç envanter düzeyleri, marka kapsama gün sayıları ve 2008 günlük üretim miktarları kullanılmış ve daha sonra sistemin simülasyonu 312 gün ve 644 SKU için yapılmıştır. Sonuç olarak, stratejiler ortalama envanter düzeyleri, depolar arası taşınan toplam palet miktarı, CCFOT seviyeleri ve raf yetersizliğinden depolarda yere konulan palet sayıları temel alınarak karşılaştırılmış ve en iyi stratejinin seçimi amaçlanmıştır.

Simülasyon sonucunda çıkan en iyi strateji doğrultusunda da sistem mimarisinin bir alt düzeyini oluşturan taktik düzeyde çalışmalar yapılmıştır. Bu düzeyde her üç depo için depo içi yerleşimi amaçlanmıştır. Bu çalışmada tüm ürünlerin bir yıllık satış verileri, depo kapasiteleri girdi olarak alınmıştır. İlk olarak, ürünler yıllık satış rakamlarına göre sıralanmış ve “kapsama günleri” kadar envanter tutulduğunda depoların kapasitelerinin yetip yetmediğini kontrol edilmiştir. Daha sonra ABC analizi uygulanmıştır. Bu analizi yaparken ürünler talep hızlarına göre sıralanmış ve görülmüştür ki Tompkins ve Smith’in (1998) belirttiği gibi depo içi hareketin %80’i ürünlerin yaklaşık %20’lik bir kısmından oluşmaktadır. Her müşteri kanalından gelen siparişler ayrı ayrı göz önünde bulundurularak *NA*, *LC* ve *Dist* için en hızlı giden bu %20’lik dilime giren ürünler her depoda A bölgelerine atanırken, diğer ürünlerin belirli oranları da B ve C bölgelerine atanmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen oranlar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. ABC analizinde stok tutma birimi (SKU) sınıflandırması.

Sınıflandırma	SKU yüzdesi	Hareket yüzdesi
A	%17,8	%80
B	%22	%15
C	%60,2	%5

Bu atama işlemi sonrasında da bölgelere atanan ürünlerin toplam palet miktarı kadar alan her depoda çıkışlara olan yakınlık uzaklıklar da göz önünde bulundurularak ayrılmıştır.

Her deponun içindeki A, B ve C bölgeleri ve bu bölgelere yerleştirilecek stok tutma birimleri (SKU'lar) belirlendikten sonra, gerçek sistemi yansıtabilmesi açısından özellikle farklı marka numaralarına ve farklı istenme oranlarına sahip ve firmanın da incelenmesini önerdiği 15 SKU belirlenmiş ve bu SKU'ların sipariş geldiğinde depo içinde hangi bölgelerden alındıkları depo ziyaretleri sırasında tespit edilmiştir. Stratejik düzeyde önerilen stratejiyle uyumlu olarak yapılan ABC analizi sonucunda ise bu 15 SKU'nun ait olduğu bölgeler (A, B veya C) belirlenmiş ve kamyon yükleme bölgelerine uzaklıklarının ağırlıklı ortalamaları alınarak tespit edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında en hızlı çıkışı olan ürünlerde (A) yaklaşık %12,8 oranında, orta hızda çıkışı olan ürünlerde (B) %4 oranında bir iyileşme gözlenirken, en yavaş çıkışı olan ürünlerde (C) %22,4 bir gerileme yaşanmıştır. (C) ürünlerinin diğer bölgelerdeki ürünlere göre depo içi sirkülasyonunun çok daha az olması, yani şirket için daha az öneme sahip olması, (A) ve (B) ürünlerinin çıkışlarındaki iyileştirmenin (C) ürünlerinin çıkışlarındaki gerilemeyi telafi ettiği sonucuna varılmasını sağlamıştır. Dolayısıyla (C) ürünlerindeki gerileme sisteme çok büyük bir zarar vermezken, (A) ve (B) ürünlerindeki iyileştirmeler sisteme büyük katkı sağlamaktadır. Tüm bu yapılan çalışmayla tüm depolarda iç hareketlerin ve buna bağlı olarak ortaya çıkan maliyetlerin asgari düzeye indirilmesi hedeflenmiştir. Depoların ABC analizi yapılmış planları Ek 3'te verilmiştir.

Operasyonel düzeye inildiğinde ise önerilen stratejiye uygun, günlük kullanılacak ara yüz tasarlanmasına karar verilmiştir. Bu ara yüze, stok tutma birimi (SKU) bilgileri ki bunlar SKU kodu, ismi ve "kapsama gün" sayısını içermektedir, çalışma gün sayısı, satış tahminleri ki bunlar her stok tutma birimi için müşteri kanal bazında haftalık satış tahminlerini içermektedir, anlık envanter seviyesi ve üretim miktarı kullanıcı tarafından girilince, sistem verilen satış tahminleri ışığında, stok seviyeleri temel alınarak yapılan üretimin depolara nasıl dağıtılacağı bilgisini kullanıcıya çıktı olarak verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde önerilen envanter kontrollü stratejiye uygun daha gerçekçi ve firma ihtiyaçlarının daha çok karşılanacağı bir depolar arası dağıtım gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Ara yüz olarak ise şirketin kullanabileceği JAVA seçilmiştir.

4.3 Test ve çıktuların değerlendirilmesi

İlk olarak eşleşme kararını vermek için yazdığımız matematiksel modelin sonucu incelendiğinde görülmüştür ki, müşteri depo eşleşmesi olsun olmasın hedeflenen CCFOT seviyeleri her zaman sağlanmıştır.

Fakat 2008 datalarına göre çözüldüğünde performans ölçütü olan “bir siparişin hazırlanmasında kullanılan depo sayısı”, eşleşme olmayan stratejide eşleşme olana göre 328 adet daha fazladır ve eşleşmede Gebze Ana depoda yere hiç palet koyulmazken, ana depo 2’de 1472 ve Şekerpınar’da 3194 adet palet yere konulmaktadır. Gebze ana depo gibi sirkülasyonu hızlı olan bir depoda yere hiç palet koyulmaması operasyonel işlemler açısından oldukça büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca 2008 datası üzerinde çeşitli varyasyonlar uygulayıp tekrar tekrar çözdürüldüğünde her seferinde eşleşmenin daha iyi olduğunu görülmüştür. Bunun sonucunda her zaman eşleşmenin kabul edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Aşağıda ise Ek 4’te bulunan dört stratejinin simülasyon çıktıları her bir performans ölçütü temel alınarak değerlendirilmiştir:

- *Ortalama Envanter Seviyesi*: Tüm stratejiler için toplam depolarda ortalama envanter düzeyleri aynıdır ve bundan dolayı bu performans ölçütümüz stratejiler arasında fark yaratmamıştır.
- *Depolar arası taşınan palet miktarı*: Strateji 2 ve 4’te depolar arası palet taşımaya izin verilmediğinden bu iki stratejide depolar arası taşınan palet sayısı her zaman sıfırdır. 2008 datası ve çeşitli varyasyonlar denendiğinde strateji 1’de strateji 3’ten daha az palet taşındığı görülmektedir.
- *Yere konan toplam palet sayıları*: Strateji 1 ve 2’de her depo için aynı miktarlarda palet yere koyulurken, strateji 3 ve 4 diğer stratejilere göre daha fazla miktarda paleti yerde konumlandırmaktadır.
- *Müşteri servis seviyeleri (CCFOT)*: Unilever için en önemli performans ölçütü olan CCFOT incelendiğinde görülmüştür ki strateji 1 diğer stratejilerden üstün durumdadır. *NA* ve *LC* kanalında strateji 1’e en yakın strateji 3 olurken, *Dist* kanalında ise en yakın strateji 4 olmuştur.

Genel olarak veriler değerlendirilecek olursa, ortalama envanter seviyesi açısından hiçbir strateji büyük farklılıklar göstermemiştir. Strateji 1’de strateji 2 ve 4’e göre depolar arasında daha fazla palet taşınsa da müşteri servis seviyeleri ve raf yetersizliğinden dolayı yere konan palet sayıları açısından bir değerlendirme yapıldığında strateji 1’in açık bir üstünlük sağladığı görülmektedir. Bu nedenlerden ötürü, strateji 1 en iyi strateji olarak seçilmiş ve firmaya önerilmiştir.

4.4 Duyarlılık analizi

Yapılan analizlere ek olarak stratejilerin taleplerde yaşanabilecek olası değişkenliklere nasıl bir duyarlılık göstereceğini bulmak da sonuçları değerlendirmek açısından önem taşımaktadır. Proje kapsamında alınan kararların stratejik, taktik ve operasyonel düzeyde olduğu göz önünde bulundurularak geleceğe yönelik bir analiz

yapılmıştır. Normal şartlar altında bu projede baz alınan talep tahminleriyle gerçek talepler arasındaki %10'luk sapmanın yapıldığı analizde dört stratejinin bu sapmaya nasıl cevap vereceği gözlenmiştir. Ek 5'te yer alan analiz çıktılarına göre talep tahminlerine göre yapılan üretimde %10'luk ek bir sapma strateji 1 için *NA* ve *LC* CCFOT seviyelerini %0,1'in altında düşürmüş, *Dist* kanalında ise %1,3 oranında azaltmıştır. Strateji 2 ise bu sapmadan dolayı CCFOT seviyeleri *NA* kanalında %1,6, *LC* kanalında %2,1 ve *Dist* kanalında ise %3,7 oranında azalma göstermiştir. Strateji 3'te servis seviyeleri *NA* kanalında %2,2, *LC* kanalında %0,3 ve *Dist* kanalında %1,8 azalmıştır. Son olarak strateji 4 bu değişime müşteri servisleri bazında *NA* kanalında %2,7 azalarak, *LC* kanalında %1,2 artarak ve *Dist* kanalında %2 azalarak tepki göstermiştir. Bu sonuçları incelendiğinde strateji 1 için Unilever tarafından öncelikli olarak görülen *NA* ve *LC* kanallarındaki kayıplar diğer stratejilere göre daha az miktarlarda yaşandığı için strateji 1 diğer stratejilere göre daha ön plandadır.

5. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Mevcut Sistemle Karşılaştırma

Bölüm 4.3'teki çıktı analizleri doğrultusunda, tüm stratejilerin bütün bu performans ölçütlerine göre değerlendirilmesi yapıldığında görülmüştür ki strateji 1 hem daha az depolar arası palet taşımakta hem de müşteri servis seviyeleri açısından oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Strateji 1'in performansı diğer stratejilere göre daha iyi olduğu için bu çalışma sonucunda firmaya depo müşteri eşleşmesinin olduğu, gerektiğinde depolar arası stok aktarımına izin verilen ve her deponun bağımsız hareket ettiği bir depo sistemi önerilmektedir. Dolayısıyla sisteme yeni entegre edilen Ana depo 2 Gebze Ana deponun bir uzantısı gibi davranmamalı ve bağımsız olarak sadece *LC* müşterilerine hizmet etmeli; fakat gelen siparişleri karşılayamaması halinde diğer depolarda stok takviyesi yapılmalıdır.

Önerilen bu sistem ile mevcut sistem birebir karşılaştırılmamaktadır; çünkü üzerinde çalışılan depo sisteminde yeni bir depo entegrasyonu söz konusudur. Eski depo sisteminde ise bu Ana depo 2 yerine Gebze Ana depoyu besleyen üç adet yan depo bulunmaktaydı. Bu nedenden ötürü Ana depo 2 ile diğer depolar arasında aktarılan palet miktarları, ortalama envanter düzeyleri, yere konan palet miktarları karşılaştırılmamaktadır. Karşılaştırma yapılabilen tek performans ölçütü müşteri servis seviyeleridir; çünkü mevcut sistemde de CCFOT ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümlere göre 2008'deki CCFOT değerleri şu şekildedir: *NA* müşterileri için %98,27 ve *LC* müşterileri için %94,6'dır. Bunun dışında firmanın 2009 yılı için hedeflediği CCFOT değerleri ise *NA* için %95, *LC* için %87 ve *Dist* müşterileri için %80 şeklindedir. Ek 4'te de görüldüğü üzere strateji 1 sonucunda çıkan CCFOT değerleri ile (*NA* %99,2, *LC* %97,9 ve *Dist*

%89,8) 2008 değerleri ve yukarıda belirtilen 2009 hedef değerleri karşılaştırıldığında görölmektedir ki strateji 1'in uygulanması halinde elde edilecek müşteri servis seviyeleri tüm müşteri kanalları için çok daha yüksektir.

6. Sistemin Uygulanması için Gerekli Altyapı

Sistemin uygulanması için öncelikle yan depoların kapatılıp yerine Ana depo 2'nin faaliyete geçmesi gerekiyordu. Unilever'in şu andaki sistemi bu ortamı zaten desteklemektedir. Dolayısıyla Ana depo 2'de önerilen stok paylaşımı hemen uygulanabilir. Ayrıca, Ana depo 2'nin boş olması yerleşimin bu depoda kolayca yapılmasına çok elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Diğer depolarda ise önerdiğimiz yerleşim planı hemen yapılamasa da zamanla yapılmasına bir engel yoktur. Bunun dışında stratejik düzeyde çözülen iki tane matematiksel model için GAMS kullanılmıştır; ancak firmanın da GAMS programına sahip olması beklenmemektedir. Bunun nedeni ise bu modellerden çıkan çıktıların makroları yazılan stratejilerde kullanılmış olmasıdır. Böylece firmanın GAMS programında çözdürülen bu modelleri bir daha çözdürmesine gerek yoktur. Diğer dört strateji ise Visual Basic ile çözülmüş ve uzun vadeli bir stratejinin uygulanmasına olanak sağlamıştır. Operasyonel düzeyde ise Java ara yüzü tasarlandığından ötürü Unilever'in de bu sistemi destekleyecek bir altyapısı olması gerekmektedir. Firmayla yapılan görüşmeler doğrultusunda Java'nın rahatlıkla kullanılabilmesi belirtilmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda Unilever'in bilgi teknolojileri yönünden gerekli altyapıya sahip olduğu belirlenmiş ve Ana depo 2'nin da sisteme entegre edilmesiyle önerilen çözümün uygulanma potansiyelinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

7. Projenin Firmaya Getireceği Beklenen Katkılar

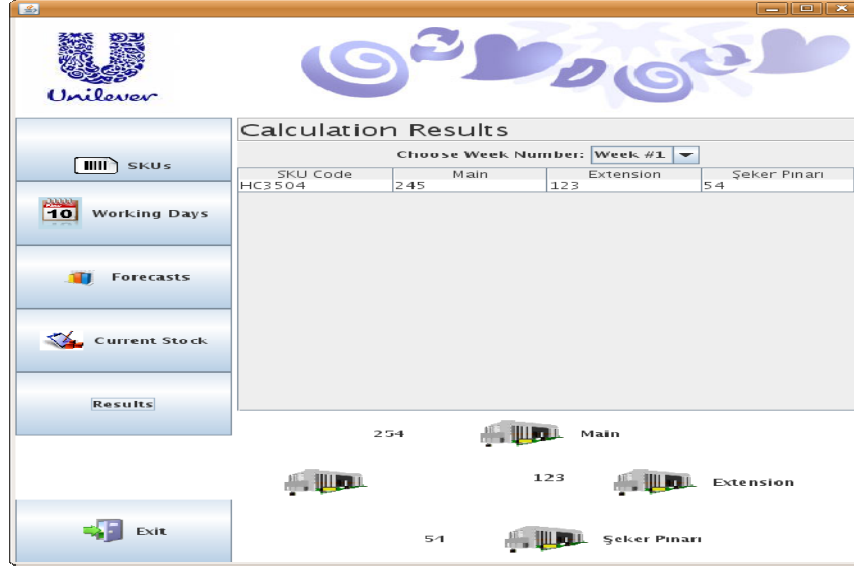
Bu proje sayesinde Unilever'in üretim fabrikalarından gelen veya ithal edilen tüm ürünler Unilever'in 3 adet nihai ürün deposunda etkili stok paylaşırma stratejisi altında dağıtılacaktır. Bu stok paylaşırması sayesinde depolar arası taşınan palet miktarları, depolarda yere konulmak zorunda kalınan palet miktarları azalacak, zamandan tasarruf edildiği gibi maliyetler yönünden de kazanımlar olacaktır. Hedeflenen strateji altında geliştirilen depo içi yerleşimleri ise siparişlerin hazırlanmasında kolaylık sağlayarak depo içi çalışma zamanları iyileştirilecektir. Bu iyileştirme de müşteri servis seviyelerine olumlu yönde yansiyacaktır. Bunun yanında önerilen stratejiye uygun olarak sunulan yazılım sayesinde de operasyonel karar alma süreçlerinde matematiksel bir temel baz alınarak, sürecin verimliliği artırılacaktır.

KAYNAKÇA

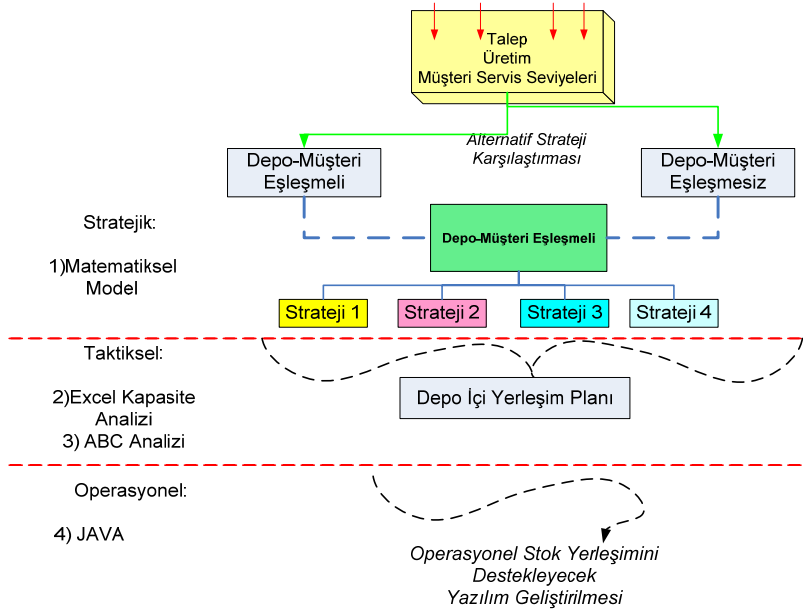
Smith, J.D., Tompkins, J.A. (1998). "The Warehouse Management Handbook", Bölüm 11, 835.

EKLER

Ek 1. Java arayüzü

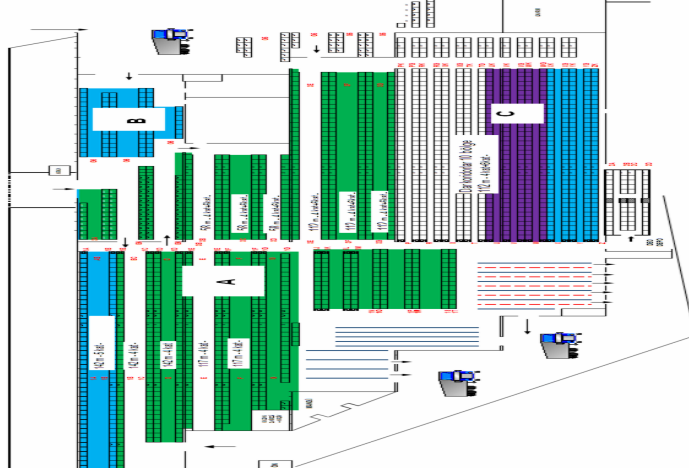


Ek 2. Sistem mimarisi



Ek 3. ABC analizi yapılmış depo planları

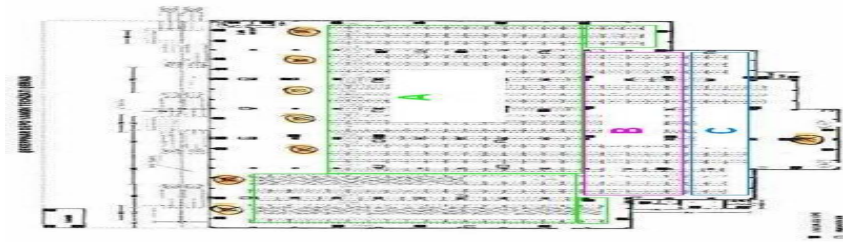
Ek 3.1 ABC analizi yapılmış Gebze Ana Depo planı



Ek 3.2 ABC analizi yapılmış Ana depo 2 planı



Ek 3.3 ABC analizi yapılmış Şekerpinar planı



Ek 4. Visual Basic programında çözdürülen makroların çıktıları

Ortalama Envanter			
	GAD	YD	SEKER
Strateji 1	8312,23	6914,53	5430,708
Strateji 2	8312,23	6914,53	5430,708
Strateji 3		11095,65	9561,815
Strateji 4		11124,59	9532,874
Depolar Arası Giden Palet Sayısı			
Strateji 1	GAD	YD	SEKER
GAD	0	376	0
YD	684	0	0
SEKER	943	672	0
Strateji 2	GAD	YD	SEKER
GAD	0	0	0
YD	0	0	0
SEKER	0	0	0
Strateji 3	GAD&YD	SEKER	
GAD&YD	0	1045,006	
SEKER	6167,846	0	
Strateji 4	GAD&YD	SEKER	
GAD&YD	0	0	
SEKER	0	0	
Strateji 1	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	473,8264	695,34	4737,984
CCFOT:	0,992165	0,979201	0,898873
Strateji 2	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	7004,098	4396,391	8399,282
CCFOT:	0,884184	0,868497	0,820726
Strateji 3	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	828,3975	1257,054	6127,189
CCFOT:	0,986302	0,962399	0,869222
Strateji 4	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	9041,991	5635,211	6706,377
CCFOT:	0,850486	0,831441	0,869666
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	7004,098	4396,391	8399,282
CCFOT:	0,884184	0,868497	0,820726
Yerdeki Toplam Palet Sayısı			
Strateji 1	GAD	YD	SEKER
GAD	121,36	341,27	213,45
YD			
SEKER			
Strateji 2	GAD	YD	SEKER
GAD	121,36	341,27	213,45
YD			
SEKER			
Strateji 3	GAD&YD	SEKER	
GAD&YD	984,69	651,47	
SEKER	1354,25	848,54	

Ek 5. Talep tahminlerinde %10'luk sapma sonucu çıkan değerler

Ortalama Envanter			
	GAD	YD	SEKER
Strateji 1	8526,91	6371,84	5612,52
Strateji 2	8526,91	6371,84	5612,52
Strateji 3		11873,41	9417,35
Strateji 4		11634,33	9216,27
Depolar Arası Giden Palet Sayısı			
Strateji 1	GAD	YD	SEKER
GAD	0	412	0
YD	716	0	0
SEKER	1015	729	0
Strateji 2	GAD	YD	SEKER
GAD	0	0	0
YD	0	0	0
SEKER	0	0	0
Strateji 3	GAD&YD	SEKER	
GAD&YD	0	1186,28	
SEKER	6848,91	0	
Strateji 4	GAD&YD	SEKER	
GAD&YD	0	0	
SEKER	0	0	
Strateji 1	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	513,8392	762,2954	5382,119
CCFOT:	0,991500	0,977207	0,885125
Strateji 2	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	8013,074	5128,142	10154,84
CCFOT:	0,867501	0,846614	0,783274
Strateji 3	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	2167,87	1367,91	6982,752
CCFOT:	0,964151	0,959081	0,850977
Strateji 4	NA	LC	DIST
Toplam Talep:	60476,01	33431,77	46851,73
Toplam Kayıp:	10724,882	5231,982	7087,902
CCFOT:	0,822673	0,84350	0,848736
Yerdeki Toplam Palet Sayısı			
Strateji 1	GAD	YD	SEKER
GAD	198,72	387,65	178,32
YD			
SEKER			
Strateji 2	GAD	YD	SEKER
GAD	198,72	387,65	
YD			
SEKER			
Strateji 3	GAD&YD	SEKER	
GAD&YD	862,25	667,82	
SEKER	1413,86	875,91	

Toz Deterjan için Üretim Planlama ve Çizelgeleme Sistemi Tasarımı

Unilever Gebze Fabrikası

Proje Ekibi

Deniz Akdemir
Merve Nazlı Eralp
Gökhan Memişoğlu
Mehmet Özcan
Tardu Selim Sepin
Mehmet Diyar Yatkın

Endüstri Mühendisliği
Bilkent Üniversitesi
06800 Ankara

Şirket Danışmanı

Tamer Güneş, Unilever Gebze Fabrikası,
Üretim Müdürü

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Rüştü Taner, Bilkent Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Unilever Gebze Fabrikasının toz deterjan üretimi planlama sürecinde çizelgeleme işlemi için karar destek sisteminin eksikliği, ürün değişikliklerinin neden olduğu kurulum sayısının ve fırsat maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Projenin amacı, sürekli imalat yapısına sahip olan toz deterjan üretimine hızlı ve tutarlı sonuçlar veren, toplam kurulum sayı ve süresini en aza indirecek bir çizelgeleme sistemi tasarlanmasıdır. Problem dört aşamada incelenmiş; sırasıyla bütünleşik, bölünmüş, kısıtlı bölünmüş matematiksel modeller ve sezgisel metot ile çözülmüştür. Bu bağlamda matematiksel modelin çözümünde Xpress programı, sezgisel metodun çözümünde ise Java yazılımı kullanılmıştır. Sonuçların karşılaştırılmasıyla sezgisel metodun kısa zamanda tutarlı çözümler verdiği görülmüş ve oluşturulan arayüz sayesinde sisteme entegrasyon edilebilecek hale getirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çizelgeleme, sürekli imalat, karışık tam sayı programlama, geçerli eşitsizlikler, sezgisel metot.

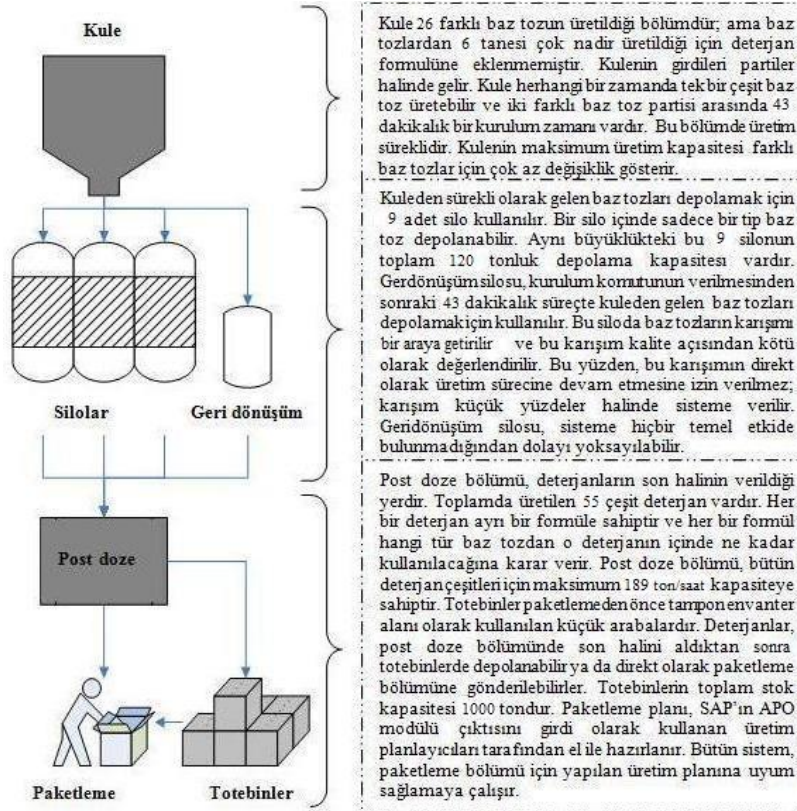
1. Firma Tanıtımı

Unilever Gebze Fabrikası Dilovası mevkinde 42.000 m² lik açık alan içinde 30.000 m² lik alan üzerine kurulmuştur. Gebze Fabrikası çamaşır deterjanı, sıvı deterjan ve kişisel bakım ürünlerinin üretimini içeren üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde sırasıyla Omo ve Rinso marka çamaşır deterjanları; Cif, Domestos ve Yumoş marka sıvı deterjanlar; Elidor, Dove ve Clear marka şampuanlar üretilmektedir. Bütün son ürünler Unilever'in Muallimköy'de bulunan deposuna gönderilir ve buradan Türkiye içindeki perakende ve toptancı şirketlere dağıtılır. Unilever Gebze Fabrikası ürünlerini başka ülkelere de ihraç etmektedir; İsrail ve Suudi Arabistan bu ülkelerin içinde en önemlileridir. Şirketin toplamda 113 milyon dolarlık ihracatı, toplam üretimin %5 ini oluşturur.

2. Projenin Tanımı ve Analizi

2.1 Problem ortamı

Fabrikadaki üretim işleyişi Şekil 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Üretim ortamı ve işleyiş şeması.

Yukarıda da belirtildiği gibi fabrikada “sürekli imalat” yapılmaktadır. Fabrikanın üretim sistemi incelenirken literatürden yararlanılmıştır. Leung (2004), sürekli parti imalatı ile ilgili çizelgeleme algoritma ve modellerini incelemiştir.

Fabrikanın üretim ortamı ve işleyişi ile ilgili veriler, firmanın ticari sır niteliğindeki bilgilerini korumak amacıyla gerçek verilerin belirli bir aralıkta normalize edilmesiyle oluşturulmuştur.

2.2 Semptomlar

Gözlemlerimiz ve şirket yetkilileri ile yaptığımız görüşmeler sonucunda aşağıdaki semptomlar belirlenmiştir:

- Ürün değişiminin sık olması nedeniyle yapılan kurulumların sıklığının fazla olması (bir vardiyada ortalama dört dönüş gerçekleştiği söylenmiştir).
- Paketleme anında gerekli deterjanın mevcut olmamasından dolayı paketleme bölümünde yeniden planlama yapılması.
- Süreç mühendislerinin tek vardiyalık planlama yapma anlayışına sahip olması (bir sonraki vardiyanın düşünülmemesi).
- Kurulumla harcanan toplam zamanın toplam üretimin kayda değer bir kısmının üretilmesi için gerekli olan zamana karşılık gelmesi.

2.3 Problem tanımı

Toz deterjan üretiminden elde edilen gelir, Unilever Türkiye'nin elde ettiği toplam gelirinin önemli bir kısmına karşılık gelmektedir. Şirket tarafından belirtilen yıllık üretim kaybı yine şirket tarafından belirtilen yıllık belirtilen kayıp zamandan kaynaklanmaktadır. Bu miktar yıllık toplam üretimin kayda değer bir kısmına karşılık gelirken, Unilever Türkiye için büyük bir fırsat maliyeti oluşturmaktadır.

Fabrika paketleme planı olarak SAP'ın APO modülünün çıktısından yararlanır ve yapılacak üretim bu plana uygun olmak zorundadır. Sık gerçekleşen ürün değişimleri için yapılan kurulum sayısının fazlalığı ve üretim planının süreç mühendisleri tarafından çeşitli sistemler yardımıyla manuel ve günlük olarak hazırlanması nedeniyle fabrika, SAP'nin çıktısına göre hazırlanan planı takip etmekte zorluk yaşamaktadır.

Daha önce belirtilen üretim ortamının kısıtları ile birlikte *donmuş alan*¹ metodunun kullanılmaması, üretim planını paketleme bölümüne göre hazırlayan süreç mühendisleri için büyük bir zorluk teşkil etmekte olup yaptıkları üretim planını günlük değişimlere maruz bırakmaktadır.

Tüm bunlara göre fabrikanın problemi, kule ve post doze bölümündeki üretim süreçlerinin paketleme için yapılan plana ayak uydurabilmesi için çok fazla sayıda ürün değişimi yapması ve dolayısıyla kurulum sayısının artmasıdır. Kule ve post doze

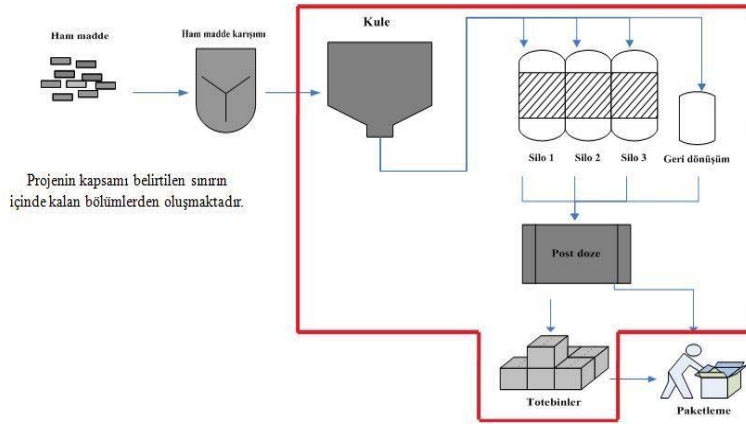
¹ Belirli bir süre içinde üretim planlamasında değişiklik yapılmaması.

bölümlerinde yapılan sezgisel, basit ve kısa vadeli üretim planları, üretim hattında uyumsuzluğa sebep olmaktadır.

2.4 Projenin kapsamı

Proje, temel olarak toz deterjanın paketleme bölümüne gidene kadar hazırlandığı bölümleri kapsamaktadır (Şekil 2):

- Baz tozların üretildiği kule bölümü.
- Baz tozların depolandığı silolar.
- Baz tozların farklılaştırıldığı ve bitmiş ürüne dönüştürüldüğü post doze bölümü.
- Son ürünlerin paketleme için bekletildiği totebinler.



Şekil 2. Projenin kapsamı.

2.5 Projenin amaçları

Projenin amaçları ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çizelgeleme problemlerinden dolayı meydana gelen kayıp üretimi en aza indirmek.
- Sisteme entegre edilebilecek kapsamlı bir çizelgeleme sistemi teslim etmek.
 - Fabrikanın üretim planı halen SAP'ın APO modülünün çıktısına göre çeşitli sistemler kullanılarak manuel yapılmaktadır. Tasarlanan sistem kullanıcı dostu bir arayüzle fabrikanın mevcut sistemine entegre edilecek hale getirilecektir.
- Üretimin yapıldığı alandaki tıkanma sayısını azaltmak.
 - Totebinlerin paketleme bölümünden istenen üründen farklı ürünlerle dolu olması halinde meydana gelebilecek tıkanmalar.
 - Bütün siloların dolu olması halinde meydana gelebilecek tıkanmalar.

- Sistemin manuel olarak yapılan planlamaya olan bağılılığını azaltıp, yapılması gereken en iyi üretim planını otomatik olarak hazırlamak.
 - Günlük planlama esas olarak üretim mühendisleri tarafından paketleme bölümündeki plana göre yürütülür. Üretim mühendislerinin çeşitli sistemler yardımıyla manuel olarak yaptığı planlama paketleme planına uyum sağlamak için yeterli düzeyde değildir.

2.6 Projenin performans ölçütleri

İlgilenilen sistemin iki adet performans ölçütü vardır:

- Vardiya başına gerçekleşen toplam kurulum sayısı.
- Kurulumlar için harcanan toplam zaman.

3. Sistem Tasarımı

3.1 Sistemin amacı

Önerilen sistem, kule ve post doze bölümleri için toplam kurulum sayısını en aza indirecek ve paketleme bölümünün istediği zamanda doğru miktarda deterjan çeşidini tedarik etmesini sağlayacak üretim çizelgelerini oluşturmayı amaçlamaktadır.

3.2 Sistemin özellikleri

- Tasarlanan sistemin girdileri:
 - Paketleme planı.
 - Planlama zaman aralığı (vardiya sayısı).
- Üretim planı oluşturulurken o andaki sistem verileri göz önüne alınır:
 - Baz toz ve deterjan çeşitleri için sırasıyla o andaki silo ve totebin seviyeleri¹
Sistemin o andaki durumu² (sistem kurulum halinde ya da kurulum gerekli).
- Sistem, ihtiyaç duyulan herhangi bir anda gerekli girdiler verilerek sonuç alınabilecek şekilde tasarlanmıştır.
- Program herhangi bir anda çalıştırıldığında sistem çıktı olarak şunları vermektedir:
 - Kulede her bir baz tozu için üretim miktarı ve zamanlaması.
 - Post dozede her bir deterjan için üretim miktarı ve zamanlaması.
 - Bütün periyodlar için silolarda bulunan her bir baz tozunun envanter seviyesi.

¹Uygunluk açısından sistemin sıfırdan başladığı ve stok düzeyinin sıfır olduğu kabul edilmiştir.

²Uygunluk açısından sistemin sıfırdan başladığı ve herhangi bir üretim için henüz kurulum gerçekleştirilmediği kabul edilmiştir.

- Bütün periyodlar için totebinlerde bulunan her bir deterjanın envanter seviyesi.
- Kurulumların hangi periyodlarda gerçekleşeceği.
- Hangi ürünler için kurulum gerçekleşeceği.

3.3 Sistemin modellenmesi ve modellerin çözümleri

Sistem dinamikleri ve sistemin işleyiş prensipleri göz önünde bulundurularak üretim hattı matematiksel olarak modellenmiştir. Süreç çizelgeleme problemlerinin genellikle karışık tam sayı programlama ile modellendiği belirtilmiştir (Anasov vd., 2006), (Floudas ve Xiaoxia, 2005), (Mendez vd., 2006).

3.3.1 Bütünleşik model

Paketleme planı ve o anki sistem verilerini girdi olarak kabul edip post doze ve kule bölümlerini bir bütün olarak ele alan ve buna göre bir üretim çizelgesi oluşturan modeli Ek 1'de sunulmuştur.

Modelin doğrulanması:

Modelin gerçek sistemi yansıtmadığından emin olunması için model birkaç özel durum için denenip gözlemlenmiştir.

- İlk durumda, başlangıçta üç silo da farklı baz tozlarla dolu ve totebin boş olarak alındı. Silolarda olmayan bir baz tozun hemen üretilmesini gerektiren bir paketleme planı verildi. Mantık şemasına göre geçersiz olan bu durumda model de geçersiz çözümünü verdi.
- İkinci durumda, totebinde bulunmayan ve post dozede üretilmeyen bir deterjanı hemen talep eden bir paketleme planı verildi. Bu durumda da mantık şemasında olduğu gibi modelimizde geçersiz çözüm verdi.
- Üçüncü durumda, model üretim kapasitesini aşan paketleme planları ile denendi. Bu durum için de model mantık şemasında olduğu gibi geçersiz çözüm verdi.
- Son olarak geçerli durumlar için de modelin elde ettiği çözümlerin doğruluğu kontrol edildi. Yapılan bütün denemelerde, modelin çözümlerinin kısıtları sağladığı ve mantık şemasına uygun olduğu tespit edildi.

Sonuçların Analizi:

Formulasyonumuz 0-1 değişkenleri içerdiğinden, planlanmak istenen vardiya sayısı arttırıldığında çözüm zorlaşmakta ve çözüm süresi artmaktadır. Dolayısıyla, hesaplama süresi model için en büyük zorluğu oluşturmaktadır.

3.3.2 Bölünmüş model

Bütünleşik modelde çok uzun süren çözüm süreleri projenin amaçlarından olan uygulanabilirlik açısından bir engel teşkil etmektedir. Çözüm sürelerinin kısaltılabilmesi amacıyla bütünleşik modelde bir bütün olarak ele alınan post doze ve kule birbirinden bağımsız iki model

olarak tekrar ele alınmıştır. Yeni formulasyonda post doze paketleme planına göre bir üretim planı oluşturur ve oluşturduğu planı kule modeline vererek ikinci bir problem daha çözdürür. İki üretim ünitesinin ayrı ayrı ele alınması zaman açısından bir iyileştirme sağlamıştır. Elde edilen çözümler yerel en iyi çözümler olup bu çözümlerin toplamı genel anlamda en iyi çözümü veremeyebilir. Aynı zamanda elde edilen iyileştirme beraberinde sistemin işleyiş prensiplerinden bazı tavizler verilmesine sebep olmuştur. Bir örnek vermek gerekirse; post dozede verilen bir deterjanın üretim talimatının gerektirdiği toz silolarda bulunmadığı ve siloların hepsinin farklı tozlarla dolu olduğu bir durumda bölünmüş modelden çözüm elde edilemez. Fakat bütünleşik model böyle bir senaryo altında silolardaki tozu boşaltacak bir deterjan üretimi yapıp bu üretimi totebinde stoklar ve silolarda açılan yerde talimatı verilen deterjanın gerektirdiği toz üretimine başlayabilir. Sonuç olarak bölünmüş model değerlendirildiğinde hala uygulanabilirlik açısından kayda değer bir iyileşme elde edilememiştir ve bu formulasyon, bazı sistem prensiplerinin ihlal edilmesini de beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda bazı üretim planları bütünleşik modelde de karşılaşılan ve uzun süren hesaplama zamanından kaynaklanan sistem belleği yetersizliği nedeni ile de çözülememiştir. Fabrikanın üretim kapasitesini ve siparişlerin son tarihlerini zorlayacak şekilde en kötü durumu örnekleyebilecek veriler hazırlanmıştır. Tablo 1’de iki vardiya için yapılacak üretim planlarının, aynı veriler kullanılarak bütünleşik ve bölünmüş modellerdeki çözüm sürelerinin saniye cinsinden karşılaştırılması görülebilir. Bölünmüş model, bütünleşik modele oranla daha hızlı çözümler sunmaktadır.

Tablo 1. İki vardiyalı üretim planları için bütünleşik ve bölünmüş modellerin çözüm süreleri.

Örnek Veri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bütünleşik Model	13974	12968	12662	6140	5708	4390	4423	13767	251	12620
Bölünmüş Model	10400	10950	8613	1648	1994	64.9	2042	9615	10.4	10720

3.3.3 Kısıtlı bölünmüş model

Bölünmüş modelde uygulanabilirlik açısından kayda değer bir iyileştirme elde edilemediğinden bölünmüş modele kısıtlar eklenmek suretiyle bazı çözümlerin problem çözüm kümesinden atılması ve çözüm süresinde iyileştirme elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda en iyi çözümleri çözüm kümesinden atmayan iki kısıt formüle edilmiştir. Prensip olarak siparişlerin üretiminin bölünmemesi gerektiği anlaşılmıştır. En iyi çözüm/çözümler bu özelliği sağlamak zorundadır.

Bu bağlamda oluşturulan ilk kısıt paketleme planındaki siparişleri bölmeme kısıtıdır.

Kısıt 1:

$$\sum_{i=t}^{t+k_{pq}-1} Y_{piq}^{Post} \geq k_{pq} - k_{pq} \cdot Y_{p(t-1)q}^{Post} - k_{pq} \cdot (1 + Y_{p(t-1)q}^{Post} - Y_{ptq}^{Post}) \quad \forall t \quad \forall p \in P \quad \forall q \in Q$$

İlk kısıtın eklenmesi ile birlikte modelde yapılan değişiklikler şunlardır:

- Modele siparişler kümesi olan Q kümesi eklenmiştir.
- Modele k_{pq} parametresi eklenmiştir; bu parametre p deterjanına ait q siparişinin üretilmesi için gerekli olan zaman aralığı sayısını göstermektedir.
- Modelin ilk halinde Y_{pq}^{Post} olan değişken, Y_{ptq}^{Post} olarak yeniden tanımlanmıştır. Bu değişken p deterjanına ait q siparişinin t zaman aralığında üretilip üretilmediğine dair bilgiyi taşımaktadır.
- Y_{pt}^{Post} değişkeninin değiştirilmesinden dolayı, modeldeki bütün Y_{pt}^{Post} ifadeleri Y_{ptq}^{Post} değişkeninin q üzerinden toplamı olarak ifade edilmiştir.

İkinci kısıt ise sipariş tarihi en yakın olan siparişin diğer siparişlerden önce üretilmesi gerektiğidir.

Kısıt 2:

$$S_{ptq}^{Post} \geq 1 - Y_{p(t-1)q}^{Post} - (1 + Y_{p(t-1)q}^{Post} - Y_{ptq}^{Post}) \cdot BigM \quad \forall t > 0 \quad \forall p \in P \quad \forall q \in Q$$

$$S_{ptq}^{Post} \leq (Y_{ptq}^{Post} - Y_{p(t-1)q}^{Post} + 1) / 2 \quad \forall t > 0 \quad \forall p \in P \quad \forall q \in Q$$

Bu iki kısıtın eklenmesiyle birlikte ilk kısıtta yapılan değişikliklerin üzerine aşağıdaki değişiklikler eklenmiştir:

- Modele S_{ptq} değişkeni eklenmiştir. Bu değişken p deterjanına ait q siparişinin üretimi t zaman aralığında üretilmeye henüz başlanmıyorsa 1 değerini, aksi durumlarda 0 değerini alacak şekilde tanımlanmıştır.

Bu iki kısıt eklendikten sonra verilen örnek senaryolara göre çözülen modellerden sadece ilk kısıtın kullanıldığı model bazı örneklerde çözüm süresinde bir iyileşme sağlamıştır. İki kısıtın da eklendiği model ise çözüm süresini kötüleştirmiştir. Çözüm süreleri kıyaslanıp genel bir değerlendirme yapıldığında ilk kısıtlı modelin çözümleri yine yeterince kısa sürede elde edemediği görülmektedir. Tablo 2’de iki vardiya için yapılacak üretim planlarının, aynı veriler kullanılarak bölünmüş, tek kısıtlı ve iki kısıtlı modellerdeki çözüm sürelerinin saniye cinsinden karşılaştırılmaları görülebilir.

Tablo 2. İki vardiyalı üretim planları için bölünmüş, tek kısıtlı ve iki kısıtlı modellerin çözüm süreleri.

Örnek Veri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölünmüş Model	10400	10950	8613	1648	1994	64.9	2042	9615	10.4	10720
1 Kısıtlı Böl.Mod	11935	7702	7405	2610	1891	1791	400	9447	9.7	9956
2 Kısıtlı Böl. Mod	14466	7525	7525	7884	7493	11115	7056	10601	8504	8174

3.3.4 Sezgisel metot

Bu çözüm metodolojisi sezgisel bir yoldan en iyiye yakın bir çözüme ulaşmayı amaçlamaktadır. Amaç post dozede en iyi çözüme olabildiğince yaklaşmak ve kuledede geçerliliği sağlamaktır. Literatürde benzer problemler için önerilen modellerdeki problemle tam bir uyum sağlamamaktadır. Bu nedenle, önerilen yaklaşımdeki problemin en iyi çözümünün genel özellikleri esas alınarak oluşturulan kurallar ile gerçekleştirilmektedir. Bu kurallar şöyle sıralanabilir:

- Eğer problemin en iyilenen çözüm ya da çözümleri mevcutsa, siparişlerin hiçbirinin bölünmediği bir en iyi çözüm vardır. Bu yüzden siparişler bölünmeden birleştirilebilir ve birçok alternatif en iyi çözüm elenebilir.
- Birleştirilecek siparişlerin belirlenmesinde, geçerliliği bulmaya veya korumaya yönelik ve ileride yapılabilecek birleştirmeleri engellemeyecek bir yöntem kullanılması gereklidir. Bu bağlamda, birleştirilecek siparişlerin belirlenmesinde birleşmeye aday iki siparişin arasında kalan iş sayısının azlığı, dolayısı ile birleştirmeden olumsuz etkilenebilecek sipariş sayısının az olması, asıl kriterdir.

Sezgisel çözüm iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada amaç, verilen paketleme planından geçerli bir üretim planı elde etmektir (Ek 2). İkinci aşamada ise elde edilen üretim planı iyileştirilmeye çalışılmaktadır (Ek 3).

Teorik açıdan bakıldığında esas olarak çözüm aradığımız çizelgeleme problemine geçerli bir çözüm bulmak bile polinom zamanda çözülemeyen bir problemdir. Bu nedenle geçerli bir çözüm elde etmek dahi oldukça zordur; fakat genel olarak pratikte karşılaşılan problemlerin teoriye oranla daha kolay olması nedeniyle, uygulamada böyle bir sorunla karşılaşılmayacağı öngörülmektedir.

Sezgisel çözüm ile iki ve üç vardiya için sonuçlar, yaklaşık olarak bir saniyeden bile az bir sürede elde edilmiştir. Elde edilen çözümler çoğu zaman post doze için mümkün olan en iyi çözümü vermiştir. Tablo 3'te iki vardiya için yapılacak üretim planlarında, matematiksel modellerin ve sezgisel metodun aynı veriler kullanarak post doze için elde ettiği en az kurulum sayıları görülebilir.

Tablo 3. İki vardiyalı üretim planları için bölünmüş, tek kısıtlı, iki kısıtlı ve sezgisel metotların çözümünden elde edilen kurulum sayıları.

Örnek Veri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bölünmüş Model	M/D	M/D	M/D	7	6	6	5	7	5	M/D
1 Kısıtlı Böl.Mod.	M/D	M/D	M/D	7	6	6	5	7	5	M/D
2 Kısıtlı Böl.Mod.	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D
Sezgisel Metot	9	8	7	7	6	6	5	7	5	5

3.4 Çözüm alternatiflerinin karşılaştırılması

Tablo 4'te belirtilen esaslar ışığında firmanın ihtiyaçlarını karşılama potansiyeline en çok sezgisel metot sahiptir. Bütünleşik modelle en iyi çözüme ulaşılsa da, çözüm süresi veriye de bağlı olarak çok uzun zaman alabilmekte, zaman zaman sistem belleği yetersiz kalabilmektedir. Bölünmüş ve kısıtlı modeller buna kıyasla daha kısa zamanda çözüme ulaşmasına karşın en iyi çözümü bulma garantisi yoktur, ve yine çözüm süresi istenilen seviyeye çekilememiştir. Sezgisel çözüm bu süreyi önemli ölçüde azaltmış, önceki modellerde saatlerle ölçülen çözüm süresini saniyeler birimine indirmiştir. Her ne kadar sezgisel çözümün teorik olarak en iyi sonucu verme garantisi olmasa da yapılan denemelerde genellikle en iyi, nadiren de optimale çok yakın çözümler verdiği gözlemlenmiştir. Firma yetkilileriyle yapılan görüşmeler sonucu kısa zamanda ulaşılacak mantıklı çözümlerin, uzun zamanda alınacak en iyi çözümlere tercih edildiği konusunda fikir birliğine varılmıştır.

Tablo 4. Çözümlerin genel olarak karşılaştırılması.

Çözüm	Bütünleşik Model	Bölünmüş Model	Kısıtlı Bölünmüş Model	Sezgisel Metot
+	<ul style="list-style-type: none"> Kesim olarak en iyi sonucu vermesi 	<ul style="list-style-type: none"> Problemi daha kısa sürede çözmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Sadece 1. kısıt eklenmiş modelin daha kısa sürede sonuç vermesi 	<ul style="list-style-type: none"> Çok hızlı olması Genelde mantıklı ve iyi çözümler vermesi Solver almaya gerek olmaması
-	<ul style="list-style-type: none"> Çözüm süresinin çok uzun olması Bazı örneklerin çözümüne bilgisayar hafızasının yetmemesi 	<ul style="list-style-type: none"> Söyların en iyi şekilde kullanılmaması En iyi çözümü vermeme olasılığı olması Çözüm süresinin çok uzun olması 	<ul style="list-style-type: none"> 2. kısıt eklenmiş modelin bir ilerleme kaydedememesi Çözüm süresinin çok uzun olması 	<ul style="list-style-type: none"> Geçerli çözüm vermesi 'teoride' kesin çözümler verememesi En iyi çözümü vermeme olasılığının bulunması

4. Genel Değerlendirme ve Uygulama

Projenin uygulanması üretim ortamında ortaya çıkan karışıklıkları engelleyecek ve alınacak hızlı çözümlerle, mevcut planlama süresini önemli ölçüde azaltacak ve planlama kalitesini yükseltecektir. Ayrıca, projenin sunduğu üretim planlama şekli süreç mühendislerinin elle hazırlamak zorunda olduğu planı otomatik ve standart hale getirerek

fabrikanın sorunlarına çözüm getirecektir. Buna ek olarak, üretim yapılan zamanlar enerji masraflarının düşük olduğu aralıklara denk getirilerek üretim maliyeti düşürülebilecek, ayrıca ürün değişimi sebebiyle gerçekleşen kurulum sayısının azaltılmasıyla enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Süreç mühendislerinin elle yaptığı kısa vadeli üretim planları sık ürün değişimlerine yol açmakta ve üretim ortamında aksaklıklara neden olmaktadır. Her ne kadar şu anki üretim miktarı, fabrikanın kapasitesini zorlamasa da ileride herhangi bir sebeple talep artışı yaşandığı takdirde üretim süreci sırasında yapılacak planlama sunulan sistem sayesinde hazırlanabilecektir. Bu bağlamda proje ileriye dönük bir yaklaşım da göstermekte olup gelecekte karşılaşılabilecek olası sorunları engellemeyi amaçlamaktadır.

Proje sisteme kullanıcı dostu bir ara yüzle entegre edilmiş ve kullanıma hazır haldedir. Ayrıca sisteme entegre edilen yazılımın firmaya herhangi bir maddi yükü yoktur.

KAYNAKÇA

- Anosov, A. A., Antonov A. V., Khobotov, E. N. (2006). “Modeling in the Problems of Equipment Selection for Oil Product Mixing Systems”, *Automation and Remote Control*, 67, 170–189.
- Bose, S. K., Bhattacharya, S. (2007). “Mathematical Model for Scheduling Operations”, *European Journal of Operational Research*, 182, 1-14.
- Floudas, C. A., Xiaoxia, L. (2005). “Mixed Integer Linear Programming in Process”, *Annals of Operations Research*, 139, 131-162.
- Leung, J. Y. T., (2004). “Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis”, Chapman & Hall/CRC Press, New York, 48.1-48.21.
- Méndez, C. A., Cerda, J., Grossmann, I. E., Harjunkski, I., Fahl, M. (2006). “State-of-the-art Review of Optimization Methods for”, *Computers and Chemical Engineering*, 30, 913-946.

EKLER

Ek 1. Bütünleşik model

KÜMELER

B : Baz toz kümesi

P : Son ürün kümesi

S : Silolar kümesi

PARAMETRELER

V_s : Silo s'nin hacmi

$V_{totebin}$: Totebinlerin hacmi

f_{pb} : p ürünü için kullanılan b baz tozunun yüzdesi

D_t^p : p ürüne t anındaki talep

$calip$: 1 eğer b baz tozu p deterjanının üretiminde kullanılıyorsa p | 0 aksi takdirde

$BigM_{Post}$: Post dozenin maksimum üretim kapasitesi

$BigM_{Tower}$: Kulenin maksimum üretim kapasitesi

DEĞİŞKENLER

X_{bt}^{Tower} : Kulede t anında üretilen b baz tozu

X_{pt}^{Post} : Post doze t anında üretilen b baz tozu

Y_{bt}^{Tower} : 1 eğer t anında kulede b baz tozu üretiliyorsa | 0 aksi takdirde

Y_{pt}^{Post} : 1 eğer t anında post dozede b baz tozu üretiliyorsa | 0 aksi takdirde

W_{bt}^{Tower} : 1 eğer t anında kulede b baz tozuna kurulum varsa | 0 aksi takdirde

W_{pt}^{Post} : 1 eğer t anında post dozede p ürününe kurulum gerçekleşiyorsa | 0 aksi takdirde

I_t^p : t anında totebinlerde p ürünün miktarı

I_t^b : t anında totebinlerde b baz tozu miktarı

y_{ib}^j : Baz toz envanterini parçalı fonksiyon olarak ifade eden 0-1 değişkenleri $i=1,2,3$

Z_{ib}^i : Baz toz envanterini parçalı fonksiyon olarak ifade eden doğrusal değişkenler $i=1,2,3,4$

N_t : t periodunun sonunda dolu kalan silo miktarı

KISITLAR

$$(1) \sum_{b \in B} W_{bt}^{Tower} \leq 1 \quad \forall t$$

$$(2) \sum_{p \in P} W_{pt}^{Post} \leq 1 \quad \forall t$$

$$(3) W_{bt}^{Tower} \geq Y_{b(t+1)}^{Tower} - Y_{bt}^{Tower} - Y_{b(t-1)}^{Tower} \quad \forall t \quad \forall b \in B$$

$$(4) W_{pt}^{Post} \geq Y_{p(t+1)}^{Post} - Y_{pt}^{Post} - Y_{p(t-1)}^{Post} \quad \forall t \quad \forall p \in P$$

$$(5) Y_{pt}^{Post} \leq (1 - W_{mt}^{Post}) \quad \forall t \quad \forall p, m \in P$$

$$(6) Y_{bt}^{Tower} \leq (1 - W_{mt}^{Tower}) \quad \forall t \quad \forall b, m \in B$$

$$(7) \sum_{b \in B} Y_{bt}^{Tower} \leq 1 \quad \forall t$$

$$(8) \sum_{p \in P} Y_{pt}^{Post} \leq 1 \quad \forall t$$

$$(9) X_{bt}^{Tower} \leq BigM_{Tower} \cdot Y_{bt}^{Tower} \quad \forall t \quad \forall b \in B$$

$$(10) X_{bt}^{Tower} \leq BigM_{Tower} \cdot \sum_{i=1}^3 y_{ib}^i + BigM_{Tower} \cdot (3 - N_{t-1}) \quad \forall t > 0 \quad \forall b \in B$$

$$\begin{aligned}
(11) \quad X_{bt}^{\text{Post}} &\leq \text{BigM}_{\text{Post}} \cdot Y_{bt}^{\text{Post}} && \forall t \quad \forall p \in P \\
(12) \quad I_t^p &= I_{t-1}^p + X_{pt}^{\text{Post}} - D_t^p && \forall t \quad \forall p \in P \\
(13) \quad \sum_{p \in P} I_t^p &\leq V_{\text{storein}} && \forall t \\
(14) \quad I_t^b &= I_{t-1}^b + X_{bt}^{\text{Tower}} - \sum_{p \in P} \omega_{bp} \cdot f_{pb} \cdot X_{pt}^{\text{Post}} && \forall t \quad \forall b \in B \\
(15) \quad I_t^b &= z_{tb}^1 \cdot 0 + z_{tb}^2 \cdot V + z_{tb}^3 \cdot 2V + z_{tb}^4 \cdot 3V && \forall t \quad \forall b \in B \\
(16) \quad \begin{cases} z_{tb}^1 &\leq y_{tb}^1 \\ z_{tb}^2 &\leq y_{tb}^1 + y_{tb}^2 \\ z_{tb}^3 &\leq y_{tb}^2 + y_{tb}^3 \\ z_{tb}^4 &\leq y_{tb}^3 \end{cases} &&& \begin{aligned} \forall t \quad \forall b \in B \\ \forall t \quad \forall b \in B \\ \forall t \quad \forall b \in B \\ \forall t \quad \forall b \in B \end{aligned} \\
(17) \quad z_{tb}^1 + y_{tb}^1 &< 2 && \forall t \quad \forall b \in B \\
(18) \quad \sum_{i=1}^4 z_{tb}^i &\leq 1 && \forall t \quad \forall b \in B \\
(19) \quad \sum_{i=1}^4 z_{tb}^i &= \sum_{i=1}^3 y_{tb}^i && \forall t \quad \forall b \in B \\
(20) \quad \sum_{b \in B} \sum_{i=1}^3 i \cdot y_{tb}^i &= N_t && \forall t \\
(21) \quad N_t &\leq 3 && \forall t \\
(22) \quad I_t^b &\leq (y_{tb}^1 \cdot V + y_{tb}^2 \cdot 2V + y_{tb}^3 \cdot 3V) + (3 - N_{t-1}) \cdot V && \forall t \quad \forall b \in B \\
W_{b0}^{\text{Tower}} &= 0 && \forall b \in B \\
W_{p0}^{\text{Post}} &= 0 && \forall p \in P \\
Y_{b0}^{\text{Tower}} &= 0 && \forall b \in B \\
Y_{p0}^{\text{Post}} &= 0 && \forall p \in P \\
Y_{b1}^{\text{Tower}} &= 0 && \forall b \in B \\
Y_{p1}^{\text{Post}} &= 0 && \forall p \in P \\
I_t^b &= 0 && \forall t \quad \forall b \in B \\
I_t^p &= 0 && \forall t \quad \forall p \in P \\
y_{tb}^i &\in \{0,1\} \quad \forall i = 1,2,3 && \forall t \quad \forall b \in B \\
W_{pt}^{\text{Post}} &\in \{0,1\} && \forall t \quad \forall p \in P \\
W_{bt}^{\text{Tower}} &\in \{0,1\} && \forall t \quad \forall b \in B \\
Y_{pt}^{\text{Post}} &\in \{0,1\} && \forall t \quad \forall p \in P \\
Y_{bt}^{\text{Tower}} &\in \{0,1\} && \forall t \quad \forall b \in B
\end{aligned}$$

AMAÇ FONKSİYONU

$$\min \sum_t \left(\sum_{b \in B} W_{bt}^{Tower} + \sum_{p \in P} W_{pt}^{Post} \right)$$

KISITLARIN AÇIKLAMASI

- (1) t zamanında kulede aynı anda bir tane kurulum olabilir. (Bose ve Bhattacharya, 2007)
- (2) t zamanında kulede aynı anda bir tane kurulum olabilir. (Bose ve Bhattacharya, 2007)
- (3) $t+1$ anında $t-1$ anında üretilen ürün üretilmiyorsa kulede gerçekleşen kurulum.
- (4) $t+1$ anında $t-1$ anında üretilen ürün üretilmiyorsa post dozede gerçekleşen kurulum.
- (5) t zamanında kurulum yapılıyorsa post dozede ürün ataması yapılamaz. (Bose ve Bhattacharya, 2007)
- (6) t zamanında kurulum yapılıyorsa kulede ürün ataması yapılamaz. (Bose ve Bhattacharya, 2007)
- (7) Kulede aynı anda bir ürün ataması yapılabilir. (Bose ve Bhattacharya, 2007)
- (8) Post dozede aynı anda bir ürün ataması yapılabilir. (Bose ve Bhattacharya, 2007)
- (9) b baz tozunun t zamanındaki üretimi kule kapasitesiyle sınırlanmıştır.
- (10) b baz tozunun t zamanındaki üretimi yalnızca boş silo varsa ya da aynı tür baz toz depolayan başka silo varsa mümkündür.
- (11) p deterjanının t zamanındaki üretimi post dozenin kapasitesiyle sınırlanmıştır.
- (12) p deterjanının t anındaki envanter eşitsizliği
- (13) Toplam depolanan deterjan miktarı toz silo depolama kapasitesini geçemez.
- (14) b baz tozunun t zamanındaki envanter seviyesi, eski tutulan seviye şimdiki üretim ve şimdiki tarifine uygun şimdiki tüketime göre değişir.
- (15) b baz tozunun t zamanındaki envanter seviyesi $z_{b,t}$ 'lerin parçalı doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilir.
- (16) Bu kısıtlar envanter seviyesinin hangi aralıkta olduğunu ve hangi $z_{b,t}$'s değişkenlerinin pozitif değer alabileceğini ifade etmektedir.
- (17) Envanter seviyesinin sıfır olduğu bir senaryonun modelde temsil edilebilmesi için $z_{b,t}$'s değişkeninin bir değeri almaması koşulu eklendi.
- (18) b baz tozu için herhangi bir t anında $z_{b,t}$'s değişkenlerinin toplamı en çok bir olabilir.
- (19) b baz tozu için $z_{b,t}$ ve $y_{b,t}$ değişkenlerinin kendileri arasındaki toplamları herhangi bir t anında eşit olmalıdır.
- (20) Herhangi bir t anında kaç adet silonun kullanıldığına envanter hacminin hangi aralıkta olduğunu belirten $y_{b,t}$ değişkeninin değerine bakılarak karar verilir.
- (21) Herhangi bir t anında en fazla üç silo kullanılıyor olabilir.
- (22) b baz tozu için t anında tutulabilecek envanter üstten, kalan silo hacmi ile sınırlıdır.

EK 3. Geçerli çözümü geliştirme aşaması.

