

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ**

**SİSTEM TASARIMI
PROJE ÖZETLERİ
2017-2018**

Editör:

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner

Hazırlayan:

Araş. Gör. Özgün Öztürk

İZMİR 2018

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ**

2017-2018

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner

ISBN 978-975-6339-66-4

DİLMAN MATBAACILIK A.Ş.

Egemenlik Mah. 6130 Sok. 15/16 Bornova

İzmir, Mayıs 2018

ÖNSÖZ

Müfredatımızın son yılında yer alan ve mezuniyetten önce öğrencilerimize karmaşık gerçek problemler üzerinde çalışma imkânı sunan lisans mezuniyet projeleri, son sınıf öğrencilerimiz tarafından, akademik ve sanayi danışmanları eşliğinde, “Sistem Analizi” ve “Sistem Tasarımı” dersleri kapsamında gerçekleştirilmektedir. Dokuz aylık bütün bir akademik yılı kapsayan proje süreci, öğrencilerimizin lisans öğrenimleri boyunca edindikleri bilgi ve yetenekleri, yoğun bir takım çalışması ve sanayi tecrübesi ile tamamlamaktadır.

Üniversite-sanayi İşbirliği faaliyetlerimizin temel bir parçasını oluşturan bu projelerde, İzmir ve çevresinde üretim yapan veya servis sağlayan şirket ve kurumların endüstri mühendisliği ve yönetime araştırması teknikleriyle çözülebilecek sorunlarını tespit ederek alternatif çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda yapılan analizler, geliştirilen veri yapıları ve elde edilen çözümler kullanıcı dostu bir karar destek sistemi içine konularak somutlaştırılmaktadır. Her projenin nihai çıktısı tüm bu unsurları içeren karar destek sistemi yazılımıdır.

Hem öğrencilerimize hem de proje ortağımız şirket ve kurumlara büyük değer kattığını düşündüğümüz bu süreç kapsamında, 2017-2018 akademik yılında bölgemizdeki saygın şirketlerde on beş proje hayata geçirilmiştir. Proje konularımız endüstri mühendisliği problemlerinin geniş yelpazesini yansıtacak niteliktedir. Üzerinde çalışılan problemler ve geliştirilen fikirler, SAN-TEZ ve TÜBİTAK destekli projelerin kurgulanması gibi farklı işbirliği imkânlarının ön aşamalarını oluşturmaktadır.

Sistem Tasarımı Proje Özetleri 2017-2018 kitabı aracılığıyla öğrencilerimizin bir yıl boyunca gösterdikleri yoğun çalışmanın sonuçlarını sizlerle paylaşmaktan mutluluk duymaktayız.

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner
Yaşar Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Lisans Mezuniyet Projeleri Koordinatörü

Mayıs 2018

Bu kitapta sunulan özetlerde yer alan veriler, gizlilik gereği gerçeği yansıtmayıp, gözlem ve kıyaslamalara imkân verecek şekilde değiştirilmiştir.

Proje sürecinde özveriyle çalışan **akademik danışmanlarımıza**, projelerimizi destekleyen **şirket danışmanlarımıza** ve yoğun emek veren **öğrencilerimize** en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Sistem Analizi ve Tasarımı Komitesi:
Adalet Öner
Özgün Öztürk

İÇİNDEKİLER

Önsöz.....	iii
Operasyon Yönetimi (Altın Yunus Çeşme Resort&Termal Otel).....	1
Satış Sonrası Üretim Planlaması ve Verimlilik Optimizasyonu (Delphi Otomotiv)	15
Çalışanların Servis Araçlarının Rota Optimizasyonu (Delphi Otomotiv).....	29
Ambalaj İmalatında Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemi (Kaplamin Ambalaj).....	43
Lojistik Merkez-Limanlar Arası Konteyner Taşıma İçin Rotalama Optimizasyonu (Alkon Lojistik)	57
Bir Konteyner Terminalinde Sinyalizasyon ve Trafik Yönetimi (Nemport)....	71
Üretim ve Kapasite Planlama (Schneider Elektrik).....	85
Müşterinin Kendi Tahminleri ve Geçmiş Veriye Dayalı Yeni Bir Talep Tahmin Yöntemi (Schneider Elektrik)	99
Üç Boyutlu Stok Kesme Problemi (Yatsan).....	113
İstatistiksel Süreç Kontrol Programı Uygulaması (DB Tarımsal).....	127
Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi (Yaşar Üniversitesi).....	141
İleri İşlem Bölümü Paketleme Hatları Çizelgeleme Problemi (Abaloğlu)....	155
Dağıtıcı Palet Yükleme Problemi (Türk Tuborg).....	169
Çok Modelli Üretim Hattında Çevik Model Dönüşümü (Bosch).....	183
Sıralı Akış Tipi Çizelgeleme Problemi (Hugo Boss)	197
Proje Uygulama Planı	211
Proje Ekipleri	224

Operasyon Yönetimi

Altın Yunus Çeşme Resort & Termal Otel

Proje Ekibi

Esin ACAR

Gökçe Şeyma DEMİR

İlber GÜNDÜZ

Merve KIRAN

Emre NARİN

Gamze URAK

Nilay YILDIZ

Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, İzmir

Şirket Danışmanı

Orhan KORAL

Akademik Danışmanlar

Necip ATILGAN, Yaşar Üniversitesi

Levent KANDİLLER, Yaşar Üniversitesi

ÖZET

Projemizi Çeşme'de bulunan Altın Yunus Otel'de yürütüyoruz. Projemizde konu, Altın Yunus'un işletme yönetiminin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktır. Altın Yunus'un tanıtımını takiben, oteldeki oda temizliği problemi ele alındı. Çalışmanın temel amacı, hizmet kalitesinde etkinliği ölçmek ve artırmak, oda temizleme işlevlerini yeniden tasarlamak, geliştirilen modellerin ve çözüm yöntemlerinin kullanımını sağlamak için bir karar destek sistemi oluşturmaktır. Sistem ön büro, resepsiyon ve temizlik hizmetleri üzerine odaklanmaktadır. Şimdiye kadar gerekli veriler toplanmış, zaman incelemesi ve regresyon analizi yapılmıştır. Bu veriler doğrultusunda, başlangıç formülasyonu modeli geliştirilmiştir: işçi ataması, paralel makine planlaması ve gezgin satıcı problemleri.

Anahtar Kelimeler: Regresyon, Zaman Etüdü, İşçi Atama, Düzgün Paralel Makine Planlama, Konaklama İşletmeciliği.

1.Giriş

Bu projede yapılan çalışmanın başlangıç noktası Altın Yunus Resort & Termal Otel (Altın Yunus)'de yaşanan yönetsel problemlere yönelik bir Karar Destek Sistemine (KDS) ihtiyaç duyulmasıdır. Birtakım belirtiler görülmüş ve sorunun formüle edilmesinden sonra bu sorunun çözümlenmesi için çalışmalar başlamıştır.

Otelde görülen en önemli sorunlardan biri, dinamik olarak değişen taleplerin gerçek zamanlı yarattığı durumlardır. Örneğin gün içerisinde 12:00-14:00 saatleri arasındaki oda boşaltma ve temizlenmiş odalara müşterileri yerleştirme sürecinin yönetilme güçlüğüdür. Bu sıcak süre içerisinde bir taraftan müşteri memnuniyeti gözetilirken diğer taraftan eldeki ekiplerin verimli kullanılması gerekmektedir. Benzer problemlerin çözümünü kolaylaştırmak adına ilk olarak otel resepsiyon bölümünden kat hizmetleri biriminde bir çalışma yapılmıştır.

İlk olarak sistem analizi yapılmış işin talep tarafında geçtiğimiz dönemlere ait veriler üzerinde tahmin modelleri çalışılmış ve hem taktik seviyede hem de operasyonel seviyede karar modelleri formüle edilmiştir. Birinci modelimiz yıllık personel planlamasını yapmaktadır. İkinci modelimiz yukarıda belirtilen sıcak zaman dahil olmak üzere günlük iş gücü planlaması ve çizelgelemesi yapmaktadır. Üçüncü modelimiz ise hem kat hizmetleri hem teknik servis için navigasyon ve rotalama hizmeti vermektedir. Küçük boyutlu problemlerle doğrulanan bu modeller için çözüm yöntemleri geliştirilmiş olup bu algoritmaların kodlanması süreci devam etmektedir. Projenin planlanan süresi sonunda geliştirilen MS Excel tabanlı bir KDS karar vericilerin kullanımına hazır hale gelecektir.

2. Genel Sistem Analizi

2.1. Genel Bilgiler

Altın Yunus Yaşar Holding'in bir kuruluşu olup, Çeşme ilçesinin Boyalık mevkiinde 140.000 m²'lik alanda kurulmuş Türkiye'nin ilk ve en

büyük tesislerinden biridir. İnşasına 1972 yılında başlanmış olup, 1974 yaz sezonunda faaliyete geçmiştir. Altın Yunus 465 odaya sahip, Türkiye ve Ortadoğu'nun ilk bin kişilik, birinci sınıf tatil köyüdür.

İş organizasyonu; faaliyet, hizmet ve güvenlik departmanları olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır:

- Faaliyet Bölümü: Resepsiyon, Kat Hizmetleri Bölümü, Yiyecek İçecek Bölümü
- Hizmet Bölümü: Personel Departmanı, Muhasebe Bölümü, Teknik Departman, Pazarlama, Satış Bölümü
- Güvenlik Departmanı

Müşterilerin otele girişinden, çıkış zamanına kadar gerçekleştirilen süreç şu şekildedir: Rezervasyonun Yapılması → Odanın Hazırlanması → Müşterilerin karşılanması & Valizlerin taşınması → Müşteri bilgilerinin sisteme girilmesi → Form ve sistem bilgilerini karşılaştırılma → Ödeme işlemleri ve otel hakkında genel bilgi → Bellboy yardımı ile müşterilerin odaya yerleştirilmesi → Müşterilerin odaya yerleşmesi → Konaklama ve diğer işlemler → Odanın kontrol edilmesi → Çıkış süreçleri

2.2 Konaklama

Altın Yunus Otelde 465 oda bulunmaktadır. Odalar tam pansiyon ve yarım pansiyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Giriş saatleri 12:00 ve çıkış saatleri 14:00 olarak belirlenmiştir. Birebir konaklama hizmetinin yanı sıra bazı acentelerle olan anlaşmasıyla müşterilere internet üzerinden rezervasyon ile konaklama imkânı sağlamaktadır. Otelde bulunan oda tipleri şu şekildedir; superior oda, deluxe oda, junior suit, ocean suit, marin oda, marin plus oda.

3. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

3.1 Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde akış ön büroda (resepisyon) rezervasyon işlemlerinin sisteme düşmesiyle başlamaktadır. Sisteme alınan bu

rezervasyonlar şirket tarafından kullanılan Fidelio programına girilir. Bu program aynı zamanda ön büro ile kat hizmetleri arasında bilgi aktarımını sağlar. Ön bürodan yapılan girişler kat servislerinin bilgisine de sunulur ve müşterilerin otele giriş işlemleri başlatılır. Bu işlemler gerçekleşirken odanın hazırlığı ve müşteriye sunumu sırasında bir rotalama sistemi olmaması müşteri talebini karşılayamamaktadır ve bazı sorunlara yol açmaktadır. Değişkenlik gösteren sezonluk yoğunluğa göre tahmin yapıp bu tahmin sonucunda ortaya çıkan verilere göre kat hizmetleri departmanındaki eleman sayılarını belirleyerek elemanların odalara atanması ve atanan odalar için de rotalama sistemi yapılmasıdır.

3.2 Sistemde Gözlenen Semptomlar

Bu bölümde kat hizmetleri operasyonlarında oluşan problem ile ilgili semptomlar ve gözlemlere yer verilmiştir. Bu semptomlar kat hizmetleri sürecindeki rotasız çalışma yöntemleri ve bu yöntemler sonucu oluşan iş akışındaki gecikmelerdir. Bu süreçlerdeki yönetsel problemlerin en önemli nedenlerinden biri sıcak zamanlarda (12:00 ile 14:00 arası) yapılan giriş/çıkış ve temizlik hizmetlerinin planlanmasında karşılaşılan zorluklardır. Gözlemlenen zorluklardan biri otelde konaklamakta olan müşterinin çıkış saatine uymayıp çıkış yapması gereken saatlerde konaklamalarına devam etmesidir. Bu tür olaylar karşısında kat hizmetleri bu probleminden etkilenip oda temizliğini tamamlayamaz ve müşterileri karşılamakla sorumlu olan kişiler (resepsiyonist, bellboy vs.) müşterileri belirlenen odalara atayamamaktadırlar. Bu durum hem çalışanları hem de oteli, müşterilere karşı zor durumda bırakmaktadır, ayrıca operasyon alanında oluşan problemlerden dolayı, devamında gerçekleşecek süreçler sekteye uğratılmaktadır.

3.3 Problem Tanımı

İşletmede yapılan atamalarda sistematik olarak bir düzen bulunmamaktadır ve bu durum operasyon yönetimi alanında bazı

problemlere neden olmaktadır. Şirket bu problemlerin önüne geçmek ve verimliliği arttırmak için bir KDS'ne ihtiyaç duymuştur. Bizden istenilenler doğrultusunda, müşterinin otele girdiği andan itibaren konaklama ve çıkışında içinde bulunduğu süre zarfında resepsiyon ve kat hizmetlerinde karşılaştığı adımlar incelenmiştir.

Asıl problemin yaşandığı kat hizmetleri (kat hizmetleri) departmanından başlamamız gerekirse bu departman işletmenin temizliği, düzeni ve bakımı ile ilgili işlerin tümünü içermektedir, aynı zamanda konuk odalarının, koridorların, genel alanların temizliği ve bakımıyla ilgilenen birtakım görevleri kapsamaktadır. Bu departmanda görülen başlıca sorunlar sezonluk yoğunluğa göre çalışan sayısının eksiltip azaltılması, herhangi bir iş anında hazırda bulunması gereken çalışanların belirlenmesi, hazırlanması gereken odaların temizliği için kat hizmetlerinde çalışanların odalara atanması ve odaların belli bir rotalama sistemine göre düzenlenmesidir.

Bir diğer çalışma olarak çalışanların tecrübelerini de göz önüne alarak (deneyimli, deneyimsiz, stajyer) performans yüzdeleri belirlenip gerekli veri toplanması için zaman etüdü (time study) yapılmıştır. Kat hizmetleri departmanında çeşitli çalışanlar ve çeşitli oda tiplerine uygulanan temizlikler gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerde temizlik süreçleri kaydedilmiş ve yapılan zaman analizine göre her bir çalışanın bir odayı ne kadar sürede temizlediği bilgisine ulaşılmıştır.

Problemi çözmeye yolunda ilerlerken anahtar performans göstergelerimiz olan maliyeti, toplam süreyi ve toplam gecikmeyi azaltmak hedef olarak belirlenmiştir.

3.4 Teknik Yazın Taraması

Bir zaman standardı, bir işin belirli koşullar altında tanımlanması için gereken zamandır. Zaman standardını bulmak için yapılan çalışma zaman incelemesi olarak tanımlanmaktadır (Karayalçın, 1977). Bir zaman incelemesi, belirli koşullar altında belirli bir iş parçasının zaman ve boyutunu kaydetmek ve işin belirli bir iş oranında (performans) gerçekleştirilmesi için gereken zamanı, çalışma koşullarını analiz ederek

belirlemek için kullanılan bir iş ölçme tekniği olarak da tanımlanabilir. Toplanan verilerin zaman standartları, gelecekteki çalışmalarını planlamakta ve geçmiş işi değerlendirmekte kullanılır. Zaman incelemesi, çalışma hızının belirlenebilmesi için performans derecelendirmesi gibi konsantrasyon teknikleri kullanılmasını ve çalışma hızının standart çalışma temposuyla ilişkilendirilmesini gerektirir. Standart iş programında çalışırken ve uygun dinlenme sürelerini kullanırken bir işçi, iş günü veya vardiya sırasında standart performans seviyesine ulaşmış olacaktır. Bileşenlerin tekrarlama sıklığını gözlemleyerek bir iş için standart zaman, tüm zamanların ortaya çıkmasına neden olur (Meyers, 2002).

Sorunu tanımladıktan sonra, talep edilen model için incelenen literatür taraması yapılmıştır. Teknik inceleme için; bu derlemede "Regresyon Analizi", "Zaman Çalışması", "Gezgin Satıcı Problemi", "Paralel Makine Zamanlama Sorunu" ve "Zamanlama Yöntemi" konuları ele alınmıştır. Değişkenleri ilişkilendirmek için kullanılan istatistiksel bir teknik olan regresyon analizinin temel amacı bağımlı değişkenleri bağımsız değişkenlerle ilişkilendiren matematiksel bir model oluşturmaktır (Bowerman, 1990). Genel olarak, bir regresyon modeli formu tek bir cebirsel denklem olarak tanımlanmaktadır (Draper ve Smith, 1981). Çoklu doğrusal regresyonlar, gözlenen tarihler arasındaki doğrusal bir denklemi tanımlayarak, iki veya daha fazla açıklayıcı değişken ile yanıt değişken arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılır. Bağımsız değişkenin x her değeri için, bağımlı değişken y'nin bir değeri bulunur. Doğrusal regresyon X_1, X_2, \dots, X_n içerisindeki kayıtlı açıklayıcı değişkenlerin bireysel değerleri aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

Paralel makine planlama problemi önemli ve zor bir sorundur: maksimum iş tamamlamasını en aza indirmek amacıyla aynı paralel

makinelere (işlemciler) bir dizi bağımsız iş planlaması. Projeler arasındaki benzerlikler temizlenecek odaların herhangi bir personel tarafından temizlenebileceği projelerdir. Projeler amaçlandığı gibi, amaç bağımsız iş planlamak ve maksimum tamamlanma süresini en aza indirmektir (Hiller, 2010).

Gezgin Satıcı Problemi (TSP), her kentin tam bir kez ziyaret edildiği n-şehir durumundaki en kısa (kapalı) turu bulmakla ilgilidir.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{şehir } j'ye \text{ şehir } i'den \text{ ulaşırsa} \\ 0, & \text{bunun dışında} \end{cases}$$

d_{ij} , şehir i 'den kent j 'ye olan uzaklığa göre TSP modeli verilir;

$$\text{Min} \sum \sum d_{ij} * X_{ij}, \dots \dots d_{ij} = \infty \text{ tüm } i = j \text{ için } i = 1, \quad j = 1$$

bağlı olarak

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$X_{ij} = (0,1)$$

Şekil 1. Gezgin Satıcı Modeli için Örnek Çözüm Formülasyonu (Taha, H. A. 2007)

4. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Bu projenin amacı dinamik bir sistem kurmak ve problemleri hızlı bir şekilde çözmektir. Bu problemlerin çözümü için üç farklı model kullanıldı.

4.1 Kısıtlar ve Varsayımlar

Birinci modelimiz kullanılan zamanlama modeli, tahmini kapasitesinin eş değer olacağı kat hizmetçileri sayısını belirler. İkinci modelimiz de üç tür kat hizmetleri çalışanı vardır; tam zamanlı, yarı zamanlı, stajyer. Bu model, hangi çalışan türünün hangi odaları temizleyeceğini belirler. Üçüncü model ise temizlenecek odalar arasındaki mesafeler göz önünde bulundurularak en uygun temizlenecek odaları belirler.

4.2 Matematiksel Model

Bu kısımda problem tanımında da bahsettiğimiz dört model anlatılacaktır.

4.2.1 Talep tahmin modeli

Geçmiş 4 yılın Altın Yunus'a gelen kişi ve oda sayılarına bakarak, 2018 yılını tahmin edebilmek için regresyon analizi yapılmıştır. Öncelikle geçmiş yılların verilerini analize ederek sezonluk bir otel olup hafta sonlarının daha fazla müşteri geldiği görülmüştür. Bu yüzden bir hafta hafta içi ve hafta sonu olarak iki yarım haftaya bölünmüştür. Pazartesiden perşembeye bir yarım hafta, Cumadan pazara bir yarım hafta olarak belirlenmiş ve bir yıl 104 yarım hafta olarak bağımsız değişken belirlenmiştir. Diğer bağımsız değişkenlerimiz ise; o yarım haftaya ait sıcaklık ortalamaları, özel günler, terör olayları aylar ve bunların ikili çarpımlarıdır.

Yapılan regresyon analizinin sonucunda R^2 %95 çıkmıştır. R^2 'in %95 olması regresyon analizimizin uyumunun iyi olduğunu göstermektedir. Otel gizliliği nedeniyle regresyon denklemi gizlenmiştir.

4.2.2 Planlama

Formülasyon, hizmetler için öngörülen talebi karşılarken toplam işgücü maliyetini en aza indirir. Bu, basit bir toplu hizmet planlama (ekip çizelgeleme) modelidir (Taha, H. A. (2007)). Temel olan kısıtta belli bir planlama periyodunda hazır olan ekipler (tam zamanlı çalışanlar, stajyerler, yarı zamanlı çalışanlar) eşitsizliğin sol tarafında yer almaktadır. Eşitliğin sağ tarafında regresyon modeli ile belirlenen gereksinim değerleri yer almaktadır. Bu model maliyet etkin uzun dönem ekip planlaması yapmaktadır. Çözüm metodu olarak Cplex genel çözücü kullanılmıştır. Modelin verdiği sonuçlar Altın Yunus Yöneticileri tarafından anlamlı bulunduğundan modelin geçerliliği kanıtlanmıştır.

Karar Değişkenleri

w: çalışan sayısı w = 1, ..., n

i: oda sayısı i = 1, ..., n

I_w = stajyer çalışanların sayısı

P_w = yarı zamanlı çalışanların sayısı

F_w = tam zamanlı çalışanların sayısı

R_i = temizlenecek oda sayısı

Parametreler

C_i = stajyer çalışanlar için yarım haftalık maliyet

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{w=1}^{104} (C_F F_w + C_P P_w + C_I I_w)$$

bağlı olarak

$$q_f \sum_{w=1}^n F_w + q_i \sum_{w=n-5}^n I_w + q_p \cdot P_w \geq R_n$$

96. haftadan sonra

$$q_f \sum_{w=2}^{97} F_w + q_i \sum_{w=92}^{97} I_w + q_{97} \cdot P_w \geq R_{97}$$

$$q_f \sum_{w=3}^{98} F_w + q_i \sum_{w=93}^{98} I_w + q_{98} \cdot P_w \geq R_{98}$$

$$q_f \sum_{w=4}^{99} F_w + q_i \sum_{w=94}^{99} I_w + q_{99} \cdot P_w \geq R_{99}$$

$$q_f \sum_{w=5}^{100} F_w + q_i \sum_{w=95}^{100} I_w + q_{100} \cdot P_w \geq R_{100}$$

C_P = yarı zamanlı çalışanlar için yarım haftalık maliyet

C_F = tam zamanlı çalışanlar için yarım haftalık maliyet

q_i = stajyer çalışanlar için maksimum temizlenecek odası sayısı

q_P = yarı zamanlı çalışanlar için maksimum temizlenecek odası sayısı

q_F = tam zamanlı çalışanlar için maksimum temizlenecek odası sayısı

R = temizlenecek oda sayısı

$$q_f \sum_{w=6}^{101} F_w + q_i \sum_{w=96}^{101} I_w + q_{101} \cdot P_w \geq R_{101}$$

$$q_f \sum_{w=7}^{102} F_w + q_i \sum_{w=97}^{102} I_w + q_{102} \cdot P_w \geq R_{102}$$

$$q_f \sum_{w=8}^{103} F_w + q_i \sum_{w=98}^{103} I_w + q_{103} \cdot P_w \geq R_{103}$$

$$q_f \sum_{w=9}^{104} F_w + q_i \sum_{w=99}^{104} I_w + q_{104} \cdot P_w \geq R_{104}$$

w = 97, ... ,104

F_w, I_w, P_w ≥ 0 Tam sayı

q_i ≤ 6 q_P ≤ 1 q_F ≤ 96

q_i, q_P, q_F ≥ 0

I_w, P_w, F_w ≥ 0

Şekil 2. Uzun Dönem Planlama Modeli Formülasyonu

4.2.2 İşçi Atama

Bu model belirlenen temizlenmesi gereken odaların, çalışanlara en uygun şekilde atanmasını amaçlamaktadır.

Grup A			Grup B		
Oda Numarası	Odanın Boşalma Zamanı	Odanın Teslim Zamanı	Oda Numarası	Odanın Boşalma Zamanı	Odanın Teslim Zamanı
R1	12:00	12:30	R11	12:15	13:30
R14	12:00	12:45	R21	13:30	14:00
R24	12:00	13:15	R2	12:30	13:00
R3	12:00	12:30	R15	12:30	13:15
R5	12:00	13:00	R12	13:00	14:00
R4	12:00	12:45	R23	12:45	13:30
R13	12:00	12:50	R22	13:00	14:00
			R25	12:30	13:00

Şekil 3. Odalar İçin Temizlenme Süresi Formu

R21	R22	R23	R24	R25
R11	R12	R13	R14	R15
R1	R2	R3	R4	R5

Şekil 4. Odalar İçin Rotalama

R1	R13	R2	R12
12:00	12:17	12:38	12:58
13:17			
R3	R5	R25	R22
12:00	12:19	12:40	13:03
13:25			
R14	R24	R15	R21
12:00	12:21	12:44	13:08
13:35			
R4	R11	R23	
12:00	12:23	12:51	13:18

Şekil 5. Rotalamanın Çalışanlara Dağıtımı

Parametreler:

- RT_r = oda r'nin devir zamanı
 DD_r = oda r'nin teslim zamanı
 $P_{r,w}$ = oda r'nin işçi w'ya atanması halinde işlem zamanı
 M = büyük sayı

Karar Değişkenleri

- L_r = gecikme
 S_r = oda r'nin başlama zamanı
 Z_w = çalışan w kullanılıyorsa
 $X_{rw} = \begin{cases} 1, & \text{çalışan w oda r'ye atandığı} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$
 $Y_{pqw} = \begin{cases} 1, & \text{çalışan w, oda p'den hemen} \\ & \text{sonra oda q'yu temizlerse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

Aşağıdaki hedefleri göz önünde bulundurabiliriz

- (i) Çalışan sayısını en aza indirin

$$\min \sum_{w=1}^W Z_w$$

- (ii) Toplan gecikmeyi en aza indirin

$$\min \sum_{r=1}^R L_r$$

- (iii) Maksimum gecikmeyi en aza indirin

$\min L$
 b.o
 $L \geq L_r \quad r = 1, \dots, R$

Olası kısıtlamalar şunlardır

- (i) Her oda işlem görmelidir.

$$\sum_{w=1}^W R_w \quad r = 1, \dots, R$$

- (ii) Çalışan w'nin işlemlerini belirleyin.

$$\sum_{r=1}^R X_{rw} \leq Rzw$$

- (iii) Bir odanın başlanma zamanı serbest bırakma süresinden daha geç:

$$RT_r \leq S_r \quad r = 1, \dots, R$$

- (iv) Gecikmeyi hesapla

$$S_r + \sum_{w=1}^W P_{rw} X_{rw} - L_r \leq DD_r$$

- (v) x değişkenlerini y değişkenleriyle ilişkilendirin

$$Y_{pqw} \leq X_{pw} \quad \forall p, q = 1, \dots, R,$$

$$\dots, R, p \neq q$$

$$Y_{pqw} \leq X_{qw}$$

- (vi) Çalışan tarafından odaların çakışmaması

$$S_p + P_{p,w} \cdot X_{pw} \leq S_q + M(1 -$$

$$Y_{pqw}) \quad \forall p, q = 1, \dots, R,$$

$$p=q \quad w = 1, \dots, W$$

- (vii) İşaret kısıtlamaları

$$S_r, L_r \geq 0$$

$$X_{rw} = 0 \text{ or } 1$$

$$Y_{pqw} = 0 \text{ or } 1$$

Şekil 6. İşçi Atama Modeli Formülasyonu

Boşalma zamanı 12:00 olan odalar A grubunda, boşalma zamanı 12:00'dan geç olan odalar B grubunda gösterilmektedir. B grubundaki odaların boşalma zamanı geldiğinde bu odalar A grubuna atanmaktadır. A grubundaki bu odalar teslim edilme zamanlarına, mesafe açısından en yakın işçiye ve işçilerin uygunluk zamanlarına göre atanmaktadır. Bu odalar atanırken işçilerin odayı temizleme süreleri de dikkate alınmaktadır. Buradaki amacımız da yürüme ve bekleme sürelerini minimuma indirerek elimizdeki işçileri en uygun şekilde atamaktır. Modelimizin algoritması Şekil 7'deki gibidir ve kodlama aşamasındadır.

```

procedure_construct(Romms(RT,DD,NCT),wo
rkforce(rate),Interroom(walking time))

begin
“Initialization”
construct room list A ordered wrt due date
construct room list B ordered wrt ready time
time = 12:00
do while all workforce assigned @12:00
    r=pop(A)
    w=pop(workforce empty 12:00)
    assign room r to worker w between
time and time + CT(r,w),ready(w) = time +
CT(r,w)
end do
“main loop”
do while A ≠ ∅ and B ≠ ∅
    ww=argmin RT(w)
    pop r from B such that RT(r) ≤
RT(ww)
    push r to A with respect to DD(r)
    t time= RT(ww)
    r=ww's last room
    rr=argmin(Interroom(r,rrr))

    pop rr from A
    assign rr to ww from RT(ww) +
Interroom(r,rr) to RT(ww) +
Interroom(r,rr) + CT(rr,ww)
    RT(ww) = RT(ww) + Interroom(r,rr) +
CT(rr,ww)
    If A = ∅ → Go to
        If A ≠ ∅ or B ≠ 0 → Go
to
end do
“Finish” “ A = ∅”
If B = ∅ then STOP
do while B ≠ ∅
    find rr = argmin(RT(r))
    find available (w: ∀w such that RT(w)
≤ RT(r))
    If available w ≠ ∅ then find ww =
argmin(Interroom(ww's last room,rr))
    else ww = argmin(RT(w) +
Interroom(ww's last room,rr))
    assign room rr to ww
    pop rr from B
end do

```

Şekil 7. İşçi Atama Modeli Algoritması

4.2.3 Gezgin Satıcı Modeli

Bu modelde, kullanıcıya kolaylık sağlamak için MS Excel VBA ile kodlanarak bir karar destek sistemine dönüştürüldü. Öncelikle yapılan

mesafe hesaplamaları MS Excel üzerinde büyük bir diagonal matris oluşturacak şekilde bir formülasyon oluşturularak girildi. Oluşturulan matris işlem yapılamayacak büyüklükte olduğu için MS Excel’de VBA koduyla bir arayüz oluşturuldu. “Add Room” butonu ile listeye, temizlenmesi gereken oda numaraları kullanıcı tarafından girildiğinde büyük matristen çekilen ve sadece ilgili odaların uzaklıklarını içeren küçük bir matris “Find Matrix” butonu ile elde edildi. Daha sonraki işlemler ilgili küçük matris üzerinden devam ettirildi. Kod geliştirilerek “Construct” butonunun bulunduğu başka bir arayüz oluşturuldu. Geliştirilen bu arayüz sayesinde kullanıcı tarafından listeye girilen odalar için yapılacak turu olurlu hale getiren bir rota elde edildi.

Route	Value	Room List	Room No	4054	4103	5116	5077	6112	6036	Room No
4054	10400	4054	4054	0	14100	29800	19400	29400	10400	4054
6036	15300	4103	4103	14100	0	41800	31400	41400	22400	4103
5077	12800	5116	5116	29800	41800	0	12800	44700	25700	5116
5116	41800	5077	5077	19400	31400	12800	0	34300	15300	5077
4103	41400	6112	6112	29400	41400	44700	34300	0	15100	6112
6112	29400	6036	6036	10400	22400	25700	15300	15100	0	6036

Buttons: Add Room, Find Matrix, Construct, Clear All

Sum = 151100

Şekil 8. Gezgin Satıcı Modeli Visual Basic Çalışma Ekranı

Karar Değişkenleri

C_{ij} = oda i 'den oda j 'ye uzaklık $i, j = \{1 \dots n\}$

U_i = alt turları gidermek için yardımcı değişkenler $i = 1, \dots, n$

$X_{rw} = \begin{cases} 1, & \text{oda } i \text{'den oda } j \text{'ye giderse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$ için $i \neq j$ and $i, j = \{1 \dots n\}$

Amaç Fonksiyonu

Min $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$

bağlı olarak

$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad j = 1 \dots n$

$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad i = 1 \dots n$

$U_i - U_j + n X_{ij} \leq n - 1 \quad i, j = 2 \dots n$ and $i \neq j$

$X_{ij} = 0$ or 1

Şekil 9. Gezgin Satıcı Modeli Formülasyonu

İkili yer değiştirme metodu ile elde edilen kazançlar bütün olasılıklar için hesaplandıktan sonra en yüksek kazanç değeri sıfırın altında olana kadar en yüksek kazanç değerini veren ikili iyileştirmeler sırasıyla yapılır. Bu miyop iyileştirme algoritması ile en yakın komşu algoritmasının özellikle turu tamamlarken kullandığı uzun geri dönüş

yolunun getirdiği dezavantaj giderilir. Pratikte literatürde rapor edildiği kadarıyla bu ikili yer değiştirme sezgiseli optimale yakın sonuçlar vermektedir.

5. Çözüm Yöntemi

Projenin amacı dinamik bir sistem kurmak ve problemleri hızlı bir şekilde çözmektir. Bu projenin çözümü için üç farklı model kullanılmıştır. İşçi planlama problemi Cplex üzerinden çözülmüştür. Gezgin Satıcı modeli ise MS Excel VBA kullanarak çözülmüştür. Bu iki modelden gelen veriler, işçi ataması modelinde kullanılarak sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Bu geliştirilen sezgisel yöntem, KDS kullanılarak optimal sonuca ulaşmayı hedeflemektedir.

5.1 Sayısal Sonuçlar

Şirkette önceden yapılan sistematik bir düzen yoktur. Önceden otel tarafından manuel yapılan işlem şimdi program ataması sonucunda yapılacağı için daha verimli ve hızlı sonuç vermiştir. Cplex ve MS Excel VBA kodları kullanılarak oluşturulan model optimal sonuç ile atama yapacaktır.

5.2 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Geliştirilen modeller küçük boyutlu problemlerle çalıştırıldı, algoritmaların ve Cplex sonuçlarının anlamlı olduğu görüldü. Bu sayede doğrulama işlemi tamamlandı ve geçерleme için ilk aşamada gerçek problem boyutunda çözümler elde edildi. Bu çözümler Altın Yunustaki yetkililerle paylaşıldı ve elde edilen sonuçların makul olduğu görüldü. Ancak projenin sonuna doğru KDS Altın Yunus'ta kurulduktan sonra günlük performans birebir olarak ölçülecektir. Bu performanslar, modelin önerdiği sonuçlarla karşılaştırılarak, Altın Yunus'a problem tanımında belirlediğimiz anahtar performans göstergeleri bazında yapacağımız katkı ölçülebilecek hale gelecektir. Kurulan bütün modellerin sonuçları model parametreleriyle bağımlıdır. Dolayısıyla bir

tarafıta KDS'nin kullanıcı ara yüzleri geliştirilirken bir taraftan da model parametrelerine değişik değerler vererek duyarlık analizi yapılacaktır.

6. Sonuç

Bu projede, toplanan veriler kullanılarak yeni bir KDS oluşturuldu. Model, gelecek yıl için yeni değerleri tahmin etmek için kullanılacaktır. Bu tahminle, temizlik departmanında ihtiyaç duyulan personel sayısı belirlenecek ve temizlenecek odalara çalışanları atayacaktır. Ayrıca son karar modeli desteği ile teknik servis ekiplerinin Altın Yunus'ta minimum eforla servis vermeleri sağlanacaktır. Geliştirilen KDS MS Excel sistemi üzerinde çalışmakta olup haziran ayında Altın Yunus'a kurulacaktır.

Sonuç olarak, bu proje ile Altın Yunus Otel'inin bazı operasyonlarının taktik ve operasyonel yönetimine katkı veren bir KDS geliştirilmiştir. Bu KDS ile yıllık masrafları en aza indirmeye ve müşteri memnuniyetini artırmaya yardımcı olacağımızı öngörüyoruz. Sistem uygulamaya alındıktan sonra firma pratiğine yüzde ne kadar katkı verdiğimizi ölçmek mümkün olacaktır.

REFERANSLAR

Anghelache, C., Sacala, C. (2016). "Multiple linear regressions used to analyze the correlation between GDP and some variables", The Journal of National Institute of Statistics, Bucharest University of Economic Studies, Romania.

Groover, M. P. (2007). "Work Systems and the Methods, Measurements and Management of Work", University of Lehigh, UK, Bölüm13,352.

Hiller, F. S., Lieberman, G. J. (2010). "Introduction to Operations Research", University of Stanford, California, Bölüm8, 335.

Taha, H. A. (2007). Operations research: an introduction (8th ed.). Harlow, England: Person Education. Bölüm9,385.

Satış Sonrası Üretim Planlaması ve Verimlilik Optimizasyonu

Delphi Otomotiv Sistemleri (APTIV)

Proje Ekibi

Buse Vural, Elifnas Kahya, Gizem İnce, Melis Vardar
Korgün Özmen, Zeynep Ceren Yüzgeç
Orçun Dikduran

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Bülent Akyıl

Akademik Danışman

Bülent Akyıl
Gülce Haner Güler

ÖZET

Bu projede imalat sanayisine orijinal parça imal eden Delphi fabrikasının satış sonrası üretim planlama ve verimlilik problemi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın amacı manuel olarak gerçekleştirilen üretim süreçlerinin takibinin ve üretim planlanmasının bir sistem geliştirilerek sağlanmasıdır. Gelen talebe göre optimal işçi sayısı hakkında yapılan araştırmalar sonucunda problem matematiksel olarak modellenmiştir ve IBM ILOG CPLEX kullanılarak çözülmüştür. Büyük zaman kayıplarına ve verimlilik düşüşüne neden olan bütün etmenlerin oluşturulan karar destek sistemi ile kaldırılması hedeflenmiştir. Proje sonunda uygun işçi sayısı ile koşullar tam olarak sağlandığında üretime onay verme sürecini iyileştiren bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Karar Destek Sistemi, Satış Sonrası Üretim, Optimum İşçi Sayısı, Verimlilik

1. Genel Sistem Analizi

Delphi Otomotiv Sistemleri, otomotiv endüstrisi için yenilikçi teknolojiler geliştiren, ana merkezi Michigan, Amerika olmak üzere dünyanın birçok yerinde faaliyet gösteren bir firmadır. Yoğun olarak, mobil elektronik ve taşıma sistemlerine tedarikçi olarak yer almakla birlikte güvenlik ve kontrol sistemleri, dinamik güç ve ısı sistemleri ile ticari taşıma araç sistemleri alanlarındaki faaliyetlerine de devam etmektedir. Delphi Türkiye’de, Delphi Otomotiv Sistemleri grubuna bağlı olan 3. Firma olması ile birlikte yürütmekte olduğu bu faaliyetlerine Delphi Otomotiv Sistemleri grubunun yedek parça satışlarını yapmakta olan satış sonrası grubu ile devam etmektedir. Yapılan yeni yatırımlar ile birlikte kapasitesini yıllık 11.160.692 kablo ağına çıkarmıştır.

Bu proje, Delphi’nin satış sonrası üretim kazancını en iyileyerek ve sistemde bulunan eksikliklerden kaynaklı oluşan problemlerini en aza indirerek, verimliliği artırmak ve sistemi iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Mevcut yıllık üretim çizelgeleri ve fabrikadaki üretim süreçleri ayrıntılı olarak analiz edilerek sanayi danışmanları ile yapılan toplantılar yoluyla problem ayrıntılı olarak belirlenmiş ve yapılacak çalışmalar konusunda kararlar alınmıştır.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Bu bölümde, şirketin mevcut sistemi kapsamlı olarak açıklanmakta, problemimiz ayrıntılı olarak tanımlanmakta ve konu ile ilgili gerçekleştirdiğimiz teknik yazın taraması belirtilmektedir.

2.1 Mevcut sistem analizi

Birçok otomotiv şirketi için, satış sonrası hizmetleri giderek daha önemli bir konuma gelmektedir. Satış sonrası üretim için talepler, otomotiv arızası gibi öngörülemeyen bir olay veya servis parçalarının değiştirilmesi ve tahsisi gibi sebeplerden dolayı parçaların tekrar

üretilmesine yönelik bir ihtiyaç ortaya çıkarır.

Delphi Otomotiv şirketi Türkiye aracılığıyla satış sonrası ürün ve hizmet çözümleri sunmaktadır. Delphi, hasar görmüş yedek parçalar için Ford, Volvo, Renault, Mercedes, Land Rover gibi müşterilerin son üç yıldır talep ettiği satış sonrası parçaları üretmektedir. Bu firmalarla geriye dönük üretim sözleşmeleri bulunmaktadır. Bu sözleşmeler firmanın talebi doğrultusunda 10-15 yıl önce üretimde olan parçaların tekrar üretimi üzerine yapılmaktadır. Satış sonrası için gelen üretim talepleri seri üretim talepleri kadar yoğun gelmemektedir. Ayrıca gelen ürünlerdeki talepler düzenli olarak her ay değil farklı zamanlarda, farklı parçalardan ve farklı miktarlarda gelmektedir. Bundan dolayı sipariş ya da talep öngörülemez ve bir sonraki talep için talep tahmini yapılamaz.

Delphi'deki satış sonrası üretim süreci taleplerin üretim planlamadaki sorumlu kişiye mail yoluyla ulaştırılması ile başlamaktadır. Üretim planlamadaki sorumlu kişi gelen siparişleri teslimat zamanlarına göre çizelgelemektedir. Gelen siparişlerin, üretim çizelgesindeki teslimat tarihi belli olduktan sonra üretime onay verilmesi için gereken süreçler bütün aşamalarıyla incelenir. Tüm bölümler ellerindeki parçalar veya gerekli olan programlar eksiksiz tamamlandığında sorumlu mühendise geri dönüş yaparak üretime onay verirler.

2.2 Sistemde gözlenen semptomlar

Delphi'deki satış sonrası üretim süreci göz önüne alındığında verimliliğin %30-%40 aralığında olduğu görülmektedir. Verimlilik düşüşüne sebep olan faktörlerin başında departmanlar arasındaki iletişim kopukluğu gelmektedir. Satış sonrası üretim takibinin tek bir kişiye bağlı ve manuel olarak yapılması iletişim hızını düşürmektedir. Sorumlu kişi diğer departmanlardan edindiği bilgileri oluşturduğu çizelgelemelere ekleyerek üretim onay işlemini gerçekleştirir. Bu çizelgelemeler her marka için farklı tutulmaktadır. Kişinin yapacağı en ufak bir dikkat hatası

kısa ve uzun vadeli olarak ciddi sorunlara neden olmaktadır.

Sistemde gözlenen bir diğer semptom ise malzeme ihtiyaç planlamasının (MRP) da görülen malzeme stok durumu ile depoda bulunan fiziksel stokların farklı çıkması ve bu durumun üretim başladıktan sonra farkedilmesi sonucu üretimde aksaklıkların meydana gelmesidir. Oluşan bu aksaklığa tedarik sürecinde dahil edildiğinde direk olarak sistemin ve işçilerin verimliliğini büyük ölçüde etkilemekte ve her geçen gün kayıp olarak döndüğü gözlenmiştir. Son olarak, satış sonrası üretim için çalışan belirli bir işçi sayısı bulunmamaktadır. İşçi sayısı haftalık gelen taleplere göre değişmektedir. Oluşturulan matematiksel model ile her hafta gelen taleplere göre haftalık çalışması gereken işçi sayısı optimal düzeye çekilmiştir.

Projemizde gelen talepleri karşılayacak optimum işçi sayısı matematiksel olarak modellenmiş ve IBM ILOG CPLEX programı aracılığıyla çözülmüştür. Ayrıca oluşturulan Karar Destek Sistemi sayesinde;

- Gelen talep doğrultusunda gerekli işçi sayısını hesaplayarak şirketin verimliliğini arttırmak ve ileride ortaya çıkabilecek işçi alım ve çıkarım maliyetini ortadan kaldırmayı,
- Manuel olarak yapılan işlemi ortadan kaldırıp daha düzenli hale getirmeyi,
- Karşılaşılmakta olan hataları minimum düzeye getirmeyi,
- Üretim başlamadan önce stok kontrolü sağlanarak malzemelerin tedarikinin sağlanmasını,
- Üretimde ki duraksamaları ortadan kaldırarak zaman kaybını en aza indirmeyi hedefleyen bir sistem geliştirilmiştir.

2.3 Problemin tanımı

Gözlem ve semptomlar ayrıntılı bir biçimde incelendiğinde, mevcut bulunan ve manuel olarak gerçekleştirilen adımların, geliştirilen

program aracılığı ile kontrol edilir hale getirilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca matematiksel modelleme yöntemi ile bulunan optimal işçi sayısını da sisteme dahil edip %30-%40 civarında bulunan verimliliğin maksimum düzeye çıkarılması Delphi tarafından istenmektedir.

2.4 Teknik yazın taraması

Projenin fabrika içinde uygulama aşamasına geçilmeden önce benzer durumlarda hangi yolların izlendiği literatür araştırması yapılarak incelenmiştir. Literatür taramasında satış sonrası üretim ve karar destek sistemi ile ilgili makaleler incelenmiştir. Satış sonrası, otomotiv sektörünün önde gelen markalarına ilk satıştan sonra sözleşme süresince daha önce üretilen yedek parçalarının tedarikinin yeniden sağlanmasıdır. Satış sonrası üretim seri üretime kıyasla daha karmaşık bir üretim planına sahiptir ve bundan dolayı satış sonrası üretim aşamaları birçok orjinal ekipman üreticisi şirketleri için giderek daha önemli bir hale gelmektedir (Rolstadaas vd., 2008). Seri üretimden farklı olarak talep gelmeden önce ürünü üretmek ve talep gelene kadar ürünü stokta tutmak mümkün değildir (Rolstadaas vd., 2008). Bilgi teknolojileri, satış sonrası üretim süreç yönetimi kapsamında verimliliğin ve sürekliliğinin sağlanmasının da şart olduğunu belirtmiştir. Bu süreç bir takım süreç takibi yazılımıyla desteklenmeli ve böylelikle üretim ve tedarik kararlarının daha doğru şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır (Gebauer vd., 2010). Marakas (1999) karar destek sisteminin ortaya çıktığı ilk araştırmaların Gorry ve Scott Morton tarafından yapıldığını belirtmiştir. Power (2002) karar destek sisteminin 4 bileşenden oluştuğunu belirtmiştir ve bunların karar destek sistemi modeli, karar destek sistemi ağ yapısı, veri tabanı ve kullanıcı arayüzü olduğunu açıklamıştır. Asemi ve Safari (2011), verilerin belirlenen kararlar için bir alanda saklandığını ve bu depolama alanının veri ambarı ile veri tabanına bağlanabileceğini belirtmiştir ayrıca

kullanıcı arayüzünün uygulama ile kullanıcı arasındaki bağlantıyı oluşturduğunu açıklayıp kullanıcıya karar destek sistemi ile uygulamayı yürütmesinin sağlanabileceğini açıklamıştır. Yapılan literatür taraması sonucunda etkili üretim süreci kontrolü için karar destek sistemi oluşturulmasını doğru ve uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ortaya çıkan sistem bileşenlerinin karar destek sisteminin temelini oluşturmasına karar verilmiştir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Problemimizde her hafta çalışan eleman sayısı haftalık gelen taleplere göre değişkenlik göstermektedir. Bu sorunu çözmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modelin amacı haftalık değişken talepleri ve ürün çeşitlerini göz önünde bulundurarak o hafta çalışması gereken işçi sayısını hesaplamaktır. Problemin büyüklüğünden dolayı ele alınan zaman, sürekli zamandan belirli bir zamana indirgenmiştir. Bir haftalık çalışma süresi olan 45 saat, yarım saatlik dilimler olarak incelenmiştir ve bu da 90 yarım saate karşılık gelmektedir. Bu doğrultuda çevrim süreleri de yarım saatlik dilimlere denk gelecek şekilde düzenlenmiştir. Modelin veri girişi olan Excel dosyasında üst tamsayıya tamamlama kullanılmasının sebebi ise ondalıklı çıktıların üst tam sayı zaman dilimini kapsamamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin; çevrim süresi 45 dk ise bunu hazırlanmış olan veri giriş excell dosyasındaki formülizasyon aracılığı ile çevrim süresinin iki zaman dilimine eşit olması sağlanmıştır. Aynı zamanda üretime başlanması için onay emrinin verildiği zaman ve teslimat tarihleri de zaman dilimlerine göre güncellenmiştir.

3.1 Parametreler, setler ve karar değişkenleri

Modelde iki adet set tanımı yer almaktadır.

i : Ürün indisi $i = 1,2 \dots n$

t : Zaman indisi $t = 1,2 \dots 90$

Modele ait parametreler aşağıda tanımlanmıştır.

C_i : i. Ürüne ait standart zaman

D_i : i. Ürünün son teslim süresi

R_i : i. Ürünün üretilmeye başlamasına izin verildiği zaman dilimi

DD_i : i. Ürün için gelen 1 haftalık talep

(R_i parametresine ait ayrıntılı açıklama şu şekildedir. Örneğin pazartesi günü saat 9'da 5. ürünün üretilmesi için onay emri gelmektedir ve bu durumda bize 5. ürünün 3. zaman diliminden itibaren D_i 'ye kadar üretilmesi gerektiğini belirtmektedir.)

Modele ait karar değişkenleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

NN_{it} : i. ürün için t. zaman diliminde çalışan işçi sayısı

N : Haftalık çalışan işçi sayısı

3.2 Matematiksel model

Projenin hedefleri doğrultusunda oluşturulan matematiksel model aşağıdaki gibidir,

$$\text{Min } z = N \quad (0)$$

$$\sum_{i=1}^n NN_{it} \leq N, \forall t \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{it} \leq \sum_{i=1}^n NN_{it}, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{\alpha=t-C_i+1}^t ST_{i\alpha} = Y_{it}, \forall t, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{t=R_i}^{D_i-C_i} ST_{it} = 1, \forall i \quad (4)$$

$$\left(\sum_{t=1}^{R_i-1} ST_{it} \right) + \left(\sum_{t=D_i-C_i+1}^{90} ST_{it} \right) = 1 \quad , \forall i \quad (5)$$

$$C_i * DD_i \leq \sum_{i=1}^n NN_{it} \quad , \forall i \quad (6)$$

$$Y_{it} = 0 \text{ or } 1 \quad , \forall i \quad (7)$$

$$ST_{it} = 0 \text{ or } 1 \quad , \forall i \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu (0) haftalık çalışan işçi sayısının minimum olmasıdır. Kısıt (1)'e göre herhangi bir zaman diliminde (herhangi bir t anında) çalışan işçi sayısına bakıldığında haftalık çalışan işçi sayısından fazla olmaması gerektiği açıklanmıştır. Kısıt (2) ise t zaman diliminde çalışması gereken işçi sayısını hesaplar. Kısıt (3) ise başlangıç zamanları ve Y_{it} arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Ürün eğer t zamanında başladıysa t zaman diliminde Y_{it} 'nin varlığını belirtir. Kısıt (4) ve kısıt (5) ise aynı bilgiyi açıklamaktadır ve birbirlerinin güçlendirici kısıtları olmaktadır ve ürünlerin, işin üretilmesi için onay emrinin verildiği zaman ve teslimat tarihi arasında gelen talebi karşılayacak şekilde üretilmesi gerektiğini açıklamaktadır. Kısıt (6), gelen taleplerin karşılanması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (7) ve kısıt (8) ise ikili sistemi temsil etmektedir.

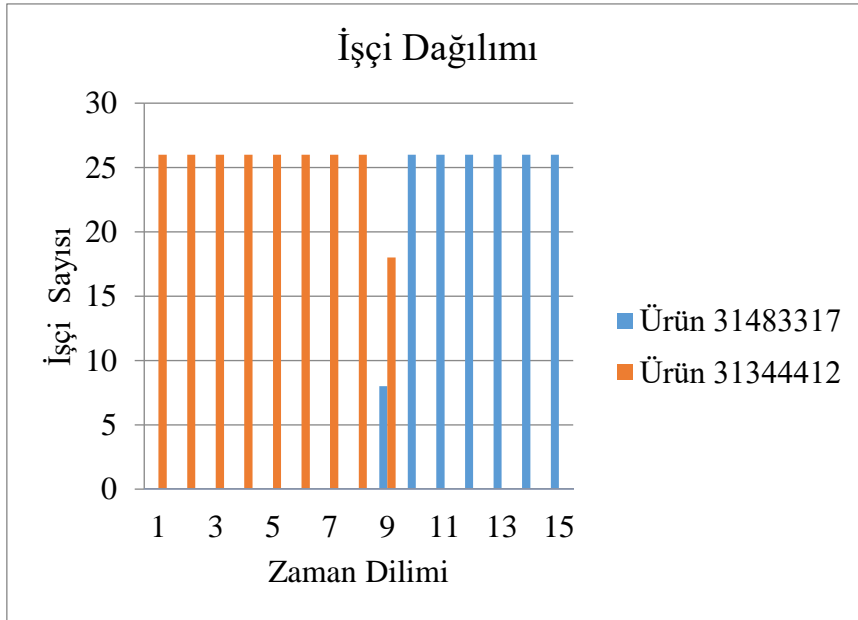
4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde, ele alınan problemin matematiksel modeline ait sayısal çıktılar yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sisteme ait analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

İlk aşamada matematiksel model IBM ILOG CPLEX optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Geliştirilen modelin doğruluğunu test edebilmek için, oyuncak veriler içeren bir problem oluşturulmuştur. Altı

adet farklı ürün için çalıştırılan sistemde haftalık gerekli olan işçi sayısı hesaplanmıştır ve ürünlerin hangi saat diliminde ne kadar işçi kullanılarak üretildiği, ürün bazlı olarak analiz edilmiştir. Böylelikle, üretim sahası içinde ürün bazlı organizasyonu sağlamakla beraber; haftalık olarak işçi sayısının belirlenmesiyle, üretim öncesi organize olma ve seri üretim ile koordine olabilme konusunda da iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Yazılan model firmadan alınan gerçek verilerle optimizasyon programında çözüldüğünde, belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda en uygun sonucu vermektedir. Haftalık üretilmesi gereken ürün çeşidi ve talep miktarı arttıkça çözüm süresi uzamaktadır. Oyuncak verilerin haftalık OPL sonucunun iki gün için rapor grafiği Şekil 1. de görülmektedir. Burada, oyuncak veriler içeren problemimizin ürün koduna bağlı olarak ilk 15 zaman dilimi (x eksen) için işçi dağılımı (y eksen) görülmektedir. Problemin çözümü, kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla oluşturulan karar destek sistemine entegre edilmiştir.



Şekil 1. Haftalık OPL sonucunun pazartesi günü için rapor grafiği

4.2 Karşılaştırma ve uygulama: İyileştirmeler ve Karar Destek Sistemi

Problemin ilk aşamasını oluşturan matematiksel model ile, gelen talebi karşılayacak minimum düzeydeki kişi sayısı IBM ILOG CPLEX aracılığı ile belirlenmiştir. Fabrikada manuel olarak yürütülmekte olan süreçlerin kontrolünün sağlanacağı ve matematiksel model ile elde edilen, gelen talebe göre gerekli işçi sayısının hesaplanıp; sisteme aktarılacağı bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Excel’de VBA kullanılarak oluşturulan karar destek sisteminin, ilgili birimlerce kolay erişilebilir ve kullanıcı dostu olması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda ilgili birimlerin süreç kontrolü hedef alınarak yapılan veri girişleri, üretim ile ilgili olan tüm birimler tarafından görüntülenebilir ve rapor alınabilir şekilde tasarlanıp izlenebilirliği sürdürmesi beklenmektedir.

Üretim aşamasında görülen aksaklıkları düzeltmek amacıyla tüm üretim süreçlerinin alt başlıkları analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, her marka için tutulan ayrı Excel dosyaları ve haberleşme için kullanılan çeşitli araçlar (mail, telefon vb.) karar destek sistemi ile tek bir Excel dosyasına aktarılmıştır ve bu sayede kullanıcı hataları önlenmeye çalışılmıştır. Haberleşme ise Excel üzerinde yapılmış olan formlar aracılığı ile sağlanmıştır. Karar destek sisteminin bir parçası olan ‘‘üretim onay formu’’, yapılan analizler sonucunda oluşturulmuştur ve IBM ILOG CPLEX programı ile elde edilen talebe uygun işçi sayısı çıktısı Excel’de üretim onayı bekleyen parça kodlarının girişinin yapıldığı ana çalışma ekranında (veri girişi) ve üretim onay aşamasına dair bilgilerin görüntülediği karar destek sisteminin bir parçası olan rapor sayfasına da yazdırılmaktadır.

Planlamaya gelen talepler, planlamadaki sorumlu mühendis tarafından projemizde olan Excel talepler sayfasına yeni bir talep olarak eklenmektedir. Bu talep girişinde P/N ve DPN (ürün kodu), talep tarihi,

üretim miktarı, gönderi durumu, parçanın bulunduğu aile bilgisi ve parçanın üretim alanı gibi bilgiler yer almaktadır.

Schedule Wk	Shipment Status	P/N	DPN	Qty	Ship To	Family	Production Area
WK20 2020	OK	3533717	10873489	15	722890	P28 OTHERS	CUSTOMER
WK 25	OK	30797052	10903263	1	722890	E.BAY	
WK 25	OK	3079825	10895422	5	722890	E.BAY	
WK 25	OK	3079826	10895423	2	722890	E.BAY	
WK 25	OK	31270407	13614435	4	722890	E.BAY	
WK 25	OK	30798335	13614440	4	722890	#YCK	
WK27	OK	3533717	10873489	10	722890	Amplifier Harness	CUSTOMER
WK29	OK	30799035	10899013	3	722890	#YCK	
WK29	OK	30797048	10903259	2	722890	E.BAY	
WK37	OK	3533717	10873489	10	722890	Amplifier Harness	CUSTOMER
WK31	OK	31270636	13687805	200	722890	#YCK	
WK32	OK	3079827	10895424	1	722890	#YCK	
WK32	OK	31270518	13685080	1	722890	#YCK	
WK37	OK	30799768	10895376	1	722890	#YCK	
WK37	OK	30797048	10903259	10	722890	E.BAY	
WK37	OK	30797050	10903261	2	722890	E.BAY	
WK37	OK	30797052	10903263	2	722890	E.BAY	
WK37	OK	31270514	13685076	1	722890	#YCK	
WK38	OK	30797048	10903259	10	722890	E.BAY	
WK50	IPITAL	3533717	10873489	15	722890	P28 OTHERS	CUSTOMER
WK39	OK	3072839	10876983	5	722890	E.BAY	
WK39	OK	3073972	10895372	2	722890	E.BAY	
WK39	OK	30797050	10903261	2	722890	E.BAY	

Şekil 2. Ana Excel sayfasında talep giriş ekranı

PLANLAMA										
ÜRÜN TALEP NO	SİPARİŞ TARİHİ	OK & NOK	ÖNCELİK DURUMU	PLANLANAN SEVKİYAT TARİHİ	GERÇEKLEŞEN SEVKİYAT TARİHİ	P/N	DPN	ADET	ALAN	AİLE
3533717	25.09.2018	OK	A1			3533717	10873489	15	CUSTOMER	P28 OTHERS
30797052	20.06.2018	OK	A2			30797052	10903263	1	E.BAY	
3079825	19.06.2018	OK	A1			3079825	10895422	5	E.BAY	
3079826	22.06.2018	OK	A1			3079826	10895423	2	E.BAY	
31270407	22.06.2018	OK				31270407	13614435	4	E.BAY	
30798335	24.06.2018	OK				30798335	13614440	4	#N/A	
3533717	04.07.2018	OK				3533717	10873489	10	CUSTOMER	Amplifier Harness
30799035	18.07.2018	OK				30799035	10899013	3	#N/A	
3533717										

Şekil 3. Kullanıcı veri giriş sayfası

Şekil 2. de ana Excel dosyasına planlama departmanının girmiş olduğu veriler, kullanıcı veri giriş sayfasında ürün talep numarası ve sipariş tarihine bağlı olarak ilgili başlıkların altına gelmektedir. Şekil 3. de P/N numarası ve sipariş tarih girişinin yapılacağı alanlar gösterilmektedir. Ayrıca, P/N numarasının girilişinin ardından tarih bilgisi girme hatırlatması yapılmaktadır. Şekil 4. te görüldüğü üzere, tarih girişi yapıldıktan sonra ekrana her P/N numarasına bağlı olarak bir veri giriş formu açılmaktadır. Üretim sürecine dahil olan departmanlar formda

Şekil 6. da gösterildiği üzere, rapor sekmesine tıkladığında açılan rapor sayfası, planlama departmanı için üretime hazır olup olmama, öncelik durumu ve gerekli işçi sayısı hakkında özet bilgi vermektedir.

ÜRÜN TALEP NO	SİPARİŞ TARİHİ	OK & NOK	ÖNCELİK DURUMU	PLANLANAN SEVKİYAT TARİHİ	GERÇEKLEŞEN SEVKİYAT TARİHİ	P/N	D/P/N	ADET	ALAN	AİLE	OPERASYON SAYI
3533717	25.09.2018	OK	A1			3533717	10879489	33	CUSTOMER	P2B.OTHERS	

Şekil 7. Malzeme ekleme formu

Talep No	HaftaNo	Malzeme Kodu
3533717	39	bant
3533717	39	bant2
3533717	39	bant3

Şekil 8. Malzeme kontrol sayfası

İlgili P/N numarasına ve sipariş haftasına uygun olarak gerekli malzeme listesinin eklenmesi Şekil 7. de gösterilmiştir, ayrıca eklenmiş olan malzemeler Şekil 8. de bulunan malzeme kontrol sayfasında görüntülenmektedir.

5. Sonuç

Bu projede, üretim planlaması ve çizelgesinin oluşturulması için harcanan zaman kaybını en aza indirmek ve sistemin verimliliğini iyileştirmek amaçlanmıştır. Üretim sırasında karşılaşılabilecek, malzeme eksikliği vb. nedenlerden kaynaklı, üretim sürekliliğinin sağlanmasına engel teşkil eden durumların önlenmesi ve sistemsiz kontrolün sağlanabilmesi adına bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Manuel olarak gerçekleştirilen üretim planlaması, oluşturulan sistem ile işlem

yapılabilen etkin bir form haline getirilmiştir. İstenmiş olan üretim planlaması ve çizelgesi oluşturulurken yapılan denemeler sonucunda %10-%13 oranında sistemde verimlilik artışı meydana geldiği gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR NOTU

Bu proje TÜBİTAK 2209/B Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı kapsamında destek almaya hak kazanmıştır. TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- Asemi, A., Safari, A., and Zavareh, A. A. (2011). "The role of management information system (MIS) and Decision support system (DSS) for manager's decision making process." *International Journal of Business and Management*, Vol.6, No.7, pp. 164-173.
- Gebauer, H., Tennstedt, F., Elsässer, S., and Betke, R. (2010). "The Aftermarket in the Automotive Industry—How to Optimize Aftermarket Performance in Established and Emerging Markets."
- Marakas, G.M., (1999) "Decision Support Systems", Prentice Hall, New Jersey.
- Power, D.J., (2002) "Decision support systems: concepts and resources for managers", Westport, Conn., Quorum Books.
- Rolstadaas, A., Hvolby, H. H., & Falster, P. (2008). "Review of after-sales service concepts.", *Lean business systems and beyond*, pp. 383-391. Springer, Boston, MA.

Personel Servis Araç Rotalarının Optimizasyonu Delphi (Aptiv) Otomotiv Sistemleri

Proje Ekibi

Bengisu Tosun, Buket Uzun, Erkan Ege Şenli, Fulya Fidan, Sevim

Ceren Börekçi, Simgenil Arslan, Zeki Adalı

Endüstri Mühendisliği

Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Bülent Akyıl, Üretim Müdürü

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner, Gülce Güler, Yaşar Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu proje Delphi'nin (Aptiv) mavi yaka personeline sağlanan ulaşım hizmetinin iyileştirilmesi için gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, toplam kat edilen mesafeyi ve ulaşım süresini kısaltarak toplam ulaşım maliyetini en aza indirmektir. Bunun için öncelikle, tüm işçi adresleri ile işçilerin en fazla 1000 m yürüme mesafesinde bulundurulması K-Ortalama algoritması ile otobüs durakları belirlenmiş, daha sonra bu otobüs durakları üzerinden Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama meta sezgisel algoritması probleme uyarlanarak rotalar oluşturulmuş, toplam kat edilen mesafeyi %25,69 oranında azaltan ve araçların doluluk oranını %94,27'ye çıkaran bir çözüm geliştirilmiştir. Proje sonunda oluşturulan karar destek sistemi ile en uygun otobüs durağı belirlenmesi ve rota çizdirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Araç Rotalama Problemi, Kümeleme Algoritması, Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama Algoritması

1. Genel Sistem Analizi

Delphi (Aptiv), 171 tesis, 42 ortak girişim, 33 Teknik Servis Merkezi, 53 Müşteri Merkezi, 19.000 Bilim İnsanı ve Mühendis, 173.000 çalışanı ile 44 ülkede faaliyet göstermektedir. Delphi Otomotiv Sistemleri'nin Türkiye'deki faaliyetleri, 1989 yılının Nisan ayında İstanbul fabrikasının kurulmasıyla başladı. Daha sonra, Delphi Otomotiv Sistemleri Türkiye'deki yatırımlarını artırmaya karar verdi ve 1992 yılında Bursa fabrikasını kurdu. Üçüncü üretim tesisi, İzmir fabrikası, Eylül 1997'de üretime başladı. Delphi İzmir fabrikası, Ege Serbest Bölgesi'ndeki tesislerinde toplam 20.200 m² alan içerisinde 15 üretim hattında otomotiv kablo ağı (kablo demeti) üretmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Bu bölümde, şirketin mevcut personel taşıma sistemi kapsamlı olarak açıklanmakta, problem ayrıntılı olarak tanımlanmakta ve konu ile ilgili gerçekleştirilen teknik yazın taraması belirtilmektedir.

2.1 Mevcut sistemin analizi

Şirketin personel servis planlaması, ulaşım hizmetlerini sağlayan farklı bir şirket tarafından manuel olarak yapılmakta ve bu süreç zaman içinde kazanılan tecrübelerle dayanmaktadır. Şirkete işçi alımı yapıldığında yeni adres kayıtları alınıp servis atamalarını gerçekleştiren şirkete gönderilmekte, çalışanlar, adresleri konumları göz önünde bulundurularak var olan en yakın rotaya atanmaktadır. Genellikle bir çalışan işten ayrıldığında, adresi rotalarda değişiklik yapılmaksızın çıkarılır. Mevcut sistemde rota uyarlama, ekleme veya eksiltme işlemleri gerçekleştirilmemektedir.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Delphi Otomotiv Sistemleri tarafından sağlanan ham verilerin incelenmesi sonucunda problemle ilgili semptomlar gözlenmiştir. Şirkette servis rotalama için bir sistemin bulunmaması ve rotalama

işleminin manuel olarak gerçekleştirilmesi zaman alıcı bir işlemdir. İkinci olarak, servislerin kullanım oranları düşüktür. Örneğin, bir vardiyada 16 kapasiteli araçta sadece 4 kişi bulunup kullanım oranı %25'tir. Üçüncü olarak, servis bölge sayısının fazla olması sistemde gözlenen bir diğer bulgudur. Bölgelerin birbirine yakın olması ve bazı bölgelere bir veya iki araç gitmesi servis kullanım oranlarını düşürmektedir. Bir diğer semptom ise her vardiyada çalışan sayısı farklı olmasına rağmen vardiyalarda eşit sayıda servis kullanılmaktadır.

2.3 Problemin tanımı

Problem, Delphi'nin mavi yaka çalışanlarının farklı tip kapasiteleri olan araçlar ile adreslerinden şirkete ve şirketten adreslerine olan zaman pencereli ulaşım rotalarının optimizasyonudur. Problemden servisin rotalamaya başlandığı yere dönme zorunluluğu olmadığından açık uçlu araç rotalama problemi sınıfına dâhil olmaktadır. Problem büyüklüğü 1125 mavi yakalı çalışan sayısına bağlı olup 36 farklı ulaşım güzergâhını içermektedir. Şirkette toplam 4 vardiya bulunmakta ve bunlardan biri sabit olarak gündüz vardiyasında çalışmaktadır. Her vardiyada çalışan insan sayısı birbirinden farklılık göstermektedir. Vardiyalara göre insan sayıları sırasıyla 344, 344, 368 ve 77'dir. Ayrıca servis şirketi maliyet analizini araçların kaç kere kullanıldığına göre hesaplamaktadır. Araçların tüm vardiyalarda git-gel olarak kullanılması "6 tek"; 2 vardiyada kullanılması "4-tek" ve tek vardiya için çalışması "2-tek" olarak adlandırılır. (Sırasıyla maliyet 1, 1,25 ve 1,5 ile çarpılmaktadır.) Maliyetler araçların kullanım sayılarına bağlı olarak hesaplandığından, servis araçlarının günlük bazda 6-tek kullanılması avantajlıdır.

Eldeki veriler doğrultusunda, mavi yaka personel ulaşım maliyetini en aza indirgeyerek kullanılan servis sayısı ve toplam kat edilen mesafeyi azaltmak ve servislerdeki doluluk oranını %85 ve üzerine arttırmak amaçlanmaktadır.

2.4 Teknik yazın taraması

Teknik yazın taramasında incelenen makaleler Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu projede servis durakları belirlenirken referans alınan makale Leksakul vd. aittir. Rotalama problemleri için tüm servis durakları K-Ortalama algoritması ile adreslerin koordinat ortalamalarını hesaplayıp merkez bir orta nokta oluşturmuştur. Merkez ortalama Rotalama problemi sezgisel algoritma ile çözülmüş ve Erdoğan (2017) çalışması referans alınmıştır. Bu çalışma da tüm araç rotalama problemleri için kullanılabilir bir sezgisel algoritma olan Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama meta sezgiseli kullanılmıştır. Bu makalede amaç, her tip araç rotalama problem için kullanılabilir bir çözüm yöntemi sunmaktır. Bu meta sezgisel yöntemin her tip araç rotalama (kapasiteli, açık, zaman pencereli, farklı tipteki araçlı araç rotalama problemleri) için uygun olması bu meta sezgisel yöntemi problemimizde kullanımında etkili olmuştur. Erdoğan’ın makalesi incelendiğinde ve literatürde en iyi sonuçlarla karşılaştırıldığında tutarlı bir sonuç verdiği gözlemlendiğinden bu makaledeki sezgisel yöntem kullanılmıştır.

Tablo 1. Teknik yazın taramasında incelenen makaleler.

Yazar/Tarih	Tanım	Amaç Fonksiyonu	Yöntem
Bektaş vd., 2007	Tam sayılı programla okul servisi rotalama	Toplam kat edilen yolu ve kullanılan araç sayısını minimize etmek	Tam sayılı programlama
Chen vd. 2015	Okul servisi rotalama probleminde tam ve meta-sezgisel yöntemler	Toplam yolu ve toplam kullanılan araç sayısını minimize etmek	Meta- Sezgisel yöntem ile MIP
Cömert vd.,2017	Sıkı Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Yeni Bir Yöntem Önerisi ve Bir Süpermarket Zincirinde Uygulanması	Toplam seyahat süresi ve bekleme sürelerinde geçen toplam süreyi minimize etmek	Doğrusal karar modeli
El-Sherbeny, 2010	Zaman pencereli araç rotalama problemi	Sadece kullanılan toplam aracı değil toplam seyahat süresi, bekleme süresi ve toplam kat edilen yolu minimize etmek	Rota oluşturma sezgiselleri, rota geliştirme sezgiselleri
Erdoğan, 2017	Araç rotalama problemi çözümü için açık kaynaklı hesaplama programı	Toplam kat edilen yolu ve kullanılan araç sayısını minimize etmek	Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama meta sezgisel algoritması
Leksakul vd.,2017	Yer bulma probleminin çözümü için çeşitli yöntemlerin test edilmesi	Otobüs durağı yerlerini, sayısını ve çalışanların toplam seyahat mesafesini minimize etmek	K-Ortalama algoritması
Pisinger ve Ropke, 2007	5 farklı türdeki araç rotalama birleşimi	Zaman pencereli, kapasiteli, birden fazla depolu, mekana dayanan, açık araç rotalama problemi için uygun çözümü bulmak	Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama meta sezgisel algoritması
Repoussis vd., 2007	Açık ve zaman pencereli araç rotalama problemi	Rota ve araç maliyesini karşılaştıran modeller	Aç gözlü rota oluşturma sezgisel algoritması

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar

Bu problemde heterojen bir filo bulunmakta ve servis araçlarının kapasiteleri farklılık göstermektedir. Tüm çalışanların Delphi'ye varış ve ayrılış süreleri belli bir zaman penceresi aralığındadır. Ayrıca servislerin çalışanları evlerine dağıttıktan sonra fabrikaya dönme zorunluluğu yoktur. Bir diğer kısıt ise 3 farklı vardiya olup her vardiyadaki çalışan sayısının farklılığıdır. Ayrıca duraklar belirlenirken çalışanların evlerinden en fazla 1000 m yürümesi göz önünde bulundurulmuştur. Her aracın rota uzunluğu en az 15 km, en çok 70 km olabilir. Her rotada en az 15 km için ücret ödendiği varsayılmaktadır.

3.2 Varsayımlar

Oluşturulan matematiksel modelin en uygun bir şekilde çözülebilmesi ve problemin doğru bir şekilde iade edilebilmesi için aşağıdaki varsayımlara ihtiyaç duyulmuştur.

- Herhangi bir servis durağı bulunmaksızın bütün çalışanların evlerinden teker teker alındığı varsayılmıştır.
- Servislerin 1 günde her vardiya için (6-tek) kullanıldığı varsayılmıştır.
- Servis araçları hem otopan hem de şehir içi yolları kullandığı için ortalama hızı saatte 70 km olarak alınmıştır.

3.3 Matematiksel model

Problem kullanılan servis miktarını ve kat edilen yolu en aza indirerek toplam ulaşım maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır. Bunu yaparken servisin tipine göre toplam kat ettiği yol, şirket tarafından verilen km başına sabit maliyet ile çarpılarak bulunmaktadır. Sabit maliyet, 16 kişilik araç için 2,917 ve 27 kişilik araç için ise 4,224 Türk Lirası olarak varsayılmıştır. Rotalamanın yapılabilmesi için çalışan adreslerinin arasındaki uzaklıklar ve tüm çalışan adreslerinin şirket ile

arasındaki uzaklıklar bilinmek zorundadır. Adresler arasındaki uzaklıkların tutulduğu matris çevrimiçi harita aracılığı ile oluşturulmaktadır. Ayrıca bir aracın hızını saatte 70 km olduğu varsayıldığından seyahat süresi matrisi uzaklık matrisi ile 1,67 ile çarparak bulunmaktadır. Delphi şirketi ve adresler arasında sabit bir zaman penceresi (0,60 dakika) tanımlanmıştır. Modelin karışıklığını önlemek amacıyla araç tipi bazlı bir formülasyonu geliştirilmiştir. Araç tiplerini modelde kullanabilmek amacıyla k (araç türü) tanımlanmıştır.

Rotalama probleminin formüle edilmesi aşağıda gösterildiği gibidir;

Kümeler ve İndisler;

i, j : Adres indisleri

N' : Çalışanların adres kümesi

N : Çalışanların adres kümesi ve şirketin adresi 0, $N = N' \cup 0$

V : Servis araç türlerinin kümesi

Parametreler;

d_{ij} : i adresinden j adresine olan mesafe, $\forall i, j \in N \mid i \neq j$

t_{ij} : i adresinden j adresine seyahat süresi, $\forall i, j \in N \mid i \neq j$

e_i : i adresinden en erken kalkış saati, $\forall i \in N$

l_i : i adresinden en geç kalkış saati, $\forall j \in N$

c_i : i adresinden alınan işçi sayısı, $\forall i \in N$

m_k : k tipindeki servis sayısı, $k \in V$

Q_k : k türündeki servislerin toplam kapasitesi, $k \in V$

F_k : k türündeki servislerin km başına sabit maliyeti, $k \in V$

p_j : j adresinden alınan işçiler için seyahat süresi, $j \in N$

Karar Değişkenleri:

x_{ijk} : k tipindeki servis i adresinden j adresine giderse,

$x_{ijk} = 1$; diğer, $x_{ijk} = 0$. $i, j \in N \mid i \neq j, k \in V$

y_{ik} : k tipindeki servisin i adresine varış süresi $i \in N, k \in V$

Çalışanların servis araçlarını rotalama optimizasyonu probleminin matematiksel formülasyonu aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$\min \sum_{k \in V} \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N'} d_{ij} x_{ijk} F_k + \sum_{i \in N'} \sum_{k \in V} d_{0i} x_{0ik} F_k + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N'} 0.00001 (y_{ik}) + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N'} 0.00001 (x_{0ik})$$

koşulu ile,

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N} x_{ijk} = 1, \forall i, j \in N' \mid j \neq i$$

(1)

$$\sum_{i \in N} x_{iuk} - \sum_{j \in N} x_{ujk} = 0, \forall u \in N', k \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{0ik} \leq m_k, \forall k \in V$$

(3)

$$\sum_{i \in N'} c_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q_k, \forall i \in N', j \in N, k \in V \mid j \neq i$$

(4)

$$e_i \leq y_{ik}, \forall i \in N, k \in V$$

(5)

$$y_{ik} \leq l_i, \forall i \in N, k \in V$$

(6)

$$y_{ik} + t_{ij} + p_j - y_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M, \forall i \in N, j \in N', k \in V \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, k \in V \mid i \neq j$$

(8)

$$y_{ik} \in \{0,1,2, \dots\}, \forall i \in N', k \in V$$

(9)

Modelin amaç fonksiyonu, şirketin toplam ulaşım maliyetini minimize etmek için; servis maliyetini, toplam kat edilen yol ve toplam kullanılan servis araç sayısını minimize etmeyi amaçlar. Kısıt (1) ve (2), her rotanın sadece tek bir araç tarafından gidildiğinden ve aracın her seyahat için yola çıktığından emin olur. Kısıt (3), k tipindeki toplam kullanılan araç sayısının, k tipindeki var olan toplam araç sayısını

geçmemesini sağlar. Kısıt (4), servisin kapasitesini aşmamasını sağlarken (5), (6) ve (7) numaralı kısıtlar servisin adrese zaman penceresi içerisinde gelmesini garanti eder. Son olarak, (8) ve (9) kısıtlar ile karar değişkenlerinin değer aralıkları tanımlanmıştır.

3.3.1 Çözüm yöntemi

Matematiksel model, “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3” programında büyük veri setleri ile normal sürede sonuç verememektedir. Bu nedenle mevcut ulaşım sistemi ışığında belirlenen proje adımlarının sezgisel yöntemler ile çözülmesine karar verilmiştir. Servis duraklarının belirlenmesi ve rotaların oluşturulması problemin alt başlıklarını oluşturmaktadır. Microsoft Excel Visual Basic Application(VBA) kullanımı kolay olduğundan ve şirketlerin nerdeyse tümü tarafından yaygın olarak kullanıldığından, sezgisel yöntemler bu program ile kodlanmıştır. Servis duraklarının belirlenmesi adımı, sezgisel bir yöntem olan K-ortalama algoritması, Leksakul vd. (2017)’nin makalesi göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Öncelikle her çalışan için adresinin koordinatları bulunmuştur. Başlangıç küme merkez belirlemesi rastgele oluşturulmuş ve iterasyonlar ile geliştirilmiştir. Kümelerin merkez noktaları, adreslerin koordinatlarının aritmetik ortalaması ile hesaplanmıştır. Seçilen merkez noktalar coğrafi konumları dikkate alınmadan belirlenmektedir. Rotalama adımı oluşabilecek sorunlar öngörülüp, belirlenen merkez noktalarının en yakın adrese atanması sağlanmıştır. Problem kısıtı olan her çalışanın en fazla 1000 metre yürüme mesafesini sağlamak amacıyla algoritma üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Servis durakları belirlendikten sonra elde edilen merkezlerin adresleri, merkezler arasındaki uzaklıklar, seyahat süreleri, küme sayısı, kümelerin içindeki çalışan sayısı ve araç tipleri çıktıları rotalama adımı girdi olarak kullanılmaktadır. Problem, çeşitli varyasyondaki araç rotalama problemindeki kısıtları içermesinden dolayı

rotalama adımıında uygulanabilirliği esnek olan bir yüksek sezgisel yöntem kullanılmıştır. Erdoğan (2017) makalesi göz önüne alınarak “Büyük Komşuluk Arama” meta sezgisel metodunun çoğu araç rotalama problemi için geliştirilmiş hali olan ve Pisinger ve Ropke (2007)’nin makalesinde yer alan “Uyarlanabilir Büyük Komşuluk Arama” algoritması kullanılmıştır. Algoritma başlangıcında oluşturulan başlangıç çözümü ile dört farklı operatör kullanılarak yerel arama yapılmıştır. Kullanılan operatörler değişim, 1-opt, 2-opt ve araç değişim operatörleridir. Değişim operatörü verilen sonuçta olası tüm müşteri çiftlerini değiştirip daha iyi bir objektif fonksiyon değeri arar. 1-OPT operatörü, her müşteriyi belirli bir çözüm içerisinde kaldırma ve farklı bir rotaya yerleştirip daha iyi bir objektif fonksiyon değeri almayı hedefler. 2-OPT operatörü ile rotanın içerisindeki iki turun silinmesi ve iki parçaya ayrılan rotanın maliyetleri düşürecek şekilde, farklı olarak bağlanmasında kullanılır. Araç değişim operatörü farklı tip araç içeren algoritmalar için oldukça kullanışlı olup, iki aracın rotalarındaki müşterilerin hepsinin birbiri ile değiştirerek daha iyi sonuçlar almayı hedefler. Yerel arama sonrasında oluşan çözüm en iyi çözüm olarak kaydedilir. Daha iyi sonuç bulma amacıyla ilk olarak kaydedilen çözüm içerisinde adresler rastgele silinir. Kötüleştireilmiş çözüm üzerinde açgözlü ekleme ve maksimum pişmanlık sezgisel yöntemleri kullanılarak silinen adresler uygun yerlere eklenir. Bu sezgisel yöntemler her tekrarlama da eşit olasılıkla kullanılır. Sonraki adımda yerel arama operatörleri kullanılarak çözüm güncellenir. Eğer çözüm kaydedilen en iyi çözümden daha iyiyse en iyi çözüm olarak atanır. Algoritmanın çalışma süresi merkezi işlem zamanından büyük olana kadar döngü devam eder ve en uygun sonuca ulaşılır.

4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde çözümlenmesi yapılan modelin çıktılarından elde edilen sayısal sonuçlara göre sistemin analizi yapılmıştır.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Oluşturulan model, “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3” ve VBA kullanılarak çözülmüştür. Model, firmadan alınan gerçek verilerle optimizasyon programında çözüldüğünde belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda optimal sonucu vermektedir. Bu sonucun üzerine matematiksel model için duyarlılık analizi yapılmıştır. Adres sayısı sabit tutulup araç tip sayısı ya da araç sayısı artırıldığında merkezi işlem birimi artmaktadır. Benzer olarak araç tipi sayısı sabit tutulup adres sayısı artırıldığında da çözüm süresinin arttığı gözlenmiştir. Problem için en fazla 15 farklı adres ve 2 farklı tip araç için en uygun sonuca ulaşılmıştır. Problem veri setinin büyüklüğü nedeniyle çözüme sezgisel yöntemlerle devam edilmiştir. Sezgisel yöntem ve matematiksel model ile elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Az sayıda adresin rotalaması karşılaştırıldığı için en uygun çözüm sonuçları ve meta-sezgisel yöntem sonucunda çıkan rotalar, buna bağlı olarak toplam maliyet ve toplam kat edilen yol aynıdır.

Tablo 2. Optimal ve sezgisel yöntem sonuçlarının karşılaştırılması.

Senaryolar	Adres Sayısı	Otobüs Kapasiteleri	Optimal Çözüm Toplam Mesafe	Optimal Çözüm Toplam Maliyet	Meta-Sezgisel Çözüm Toplam Mesafe	Meta-Sezgisel Çözüm Toplam Maliyet
Senaryo 1	10	4-6	25.42	86,28 TL	25.43	86,28 TL
Senaryo 2	10	5-5	26.05	69,44 TL	26,06	69,44 TL
Senaryo 3	15	5-10	27.84	91,97 TL	27,85	91,98 TL
Senaryo 4	15	6-9	28.59	92,59 TL	28,60	92,59 TL

Problemin çözüm yönteminde belirtilen adres sayısı ve araç sayısı artırılarak sonuca ulaşılması amacıyla problem çözümüne VBA üzerinden devam edilmiştir. Problemin sezgisel yöntemle çözümü haritaya aktarılmış, adreslerin ve rotaların gerçekliği doğrulanmıştır.

Adres sayısı sabit tutulup araç kapasitesi arttırıldığında modelin çözülme zamanında etkisinin çok az olduğu saptanmıştır.

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Firmada kullanılan 35 küçük ve 1 büyük servisten, servis sayısını ve kat edilen uzaklığı en aza indirmeye çalışılarak sezgisel yöntem sonucunda toplam maliyet aylık olarak 239.777,84 TL olarak saptanmıştır. Maliyet analizi yapılırken her hafta gündüz sabit çalışan vardiya, o hafta gündüz çalışan ve sabit olmayan vardiya ile birleştirilip, rotaları oluşturulup maliyet hesaplanmıştır. Her hafta gerçekleşen vardiya değişimleri için farklı maliyetler hesaplanıp aylık maliyet elde edilmiştir. Şirketin, mevcut sistemde ulaşım için harcanan maliyet aylık 332.671,17 TL olarak verilmiştir. Tablo 3.1 de görüldüğü üzere sezgisel yöntem ile elde edilen sonuçlar ile şirket aylık 92.893,33 TL ile %27,9 oranında tasarruf sağlayacaktır. Bununla birlikte sezgisel yöntem sonucumuzda kullanılan araç sayısı 27 küçük ve 2 büyük olup toplamda ortalama araç kullanım oranı %71'den %94.27'e çıkarılmıştır. Gidilen toplam mesafe aylık olarak 106.488,00 km'den 79.134,47 km'ye düşürülüp %25,69 tasarruf sağlanmıştır.

Tablo 3.1 Maliyet karşılaştırma.

Mevcut Ulaşım Masrafı	332.671,17 TL
Sezgisel Yöntem Sonucu	239.777,84 TL
Fark	92.893,33 TL

Problemimizin çözümü kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla oluşturduğumuz karar destek sistemine entegre edilmiştir. Tablo 3.2 de görüldüğü üzere servislerin hangi duraklara atandığı, her servisin gittiği toplam mesafe ve kullanım oranlarını inceleme imkânı sunmaktadır.

Tablo 3.2 C Vardiyasında durak araç atama planı.

Rotalar	Servis Durakları	Bir Gidişlik Mesafe	Araç Kapasitesi	Birim Maliyet	Alınan Kişi Sayısı
V-11	Durak 37		16	2,917 TL	3
V-11	Durak 48	2.35	16	2,917 TL	4
V-11	Durak 87	11.10	16	2,917 TL	1
V-11	Durak 60	9.63	16	2,917 TL	4
V-11	Durak 11	1.82	16	2,917 TL	2
V-11	Durak 0	5.31	16	2,917 TL	
Toplam V-11		30.21	16	2,917 TL	14
V-29	Durak 75		27	4,224 TL	8
V-29	Durak 16	0.99	27	4,224 TL	9
V-29	Durak 33	2.84	27	4,224 TL	9
V-29	Durak 0	7.67	27	4,224 TL	
Toplam V-29		11.49	27	4,224 TL	26

Karar destek sisteminde, arayüzler kullanıcı için anlaşılır ve kullanımı kolay olarak tasarlanmış olup girdi olarak kullanılabilir araç sayısı, servis duraklarındaki insan sayısı ve duraklar arasındaki mesafelerdir. Her vardiya için oluşturulan rotalar harita üzerinde gösterilmekte ve istenilirse elde edilen tüm sonuçlar bir rapor çıktısı olarak Excel'e yazdırılmaktadır. Ayrıca oluşturulan karar destek sistemi, firmanın gelecekteki politikalarını göz önünde bulundurarak çalışan ekleme-çıkarma, adres değişikliği veya güncellenmesi gibi faaliyetler için de uygulanabilmektedir. Oluşturulan karar destek sisteminin başlangıç sayfası, kullanıcı dostu arayüzü ile Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Kullanıcı arayüzü örneği.

Projenin hayata geçirilmesi ile dış bir şirketin tecrübesine dayalı rotalama operasyonu yerini, şirketin kendi kullanabileceği planlı ve düzenli bir rotalama sistemine bırakarak manuel hesaplamalardan dolayı doğan sıkıntılar ve harcanan süreler ortadan kaldırılmaktadır. Ulaşım maliyeti en aza indirgenerek sistemli ve düzenli kullanım kolaylığı sağlayan bir karar destek sistemi ile ulaşım rotaları kolayca ve en verimli şekilde oluşturulmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Proje sonucunda, Delphi Otomotiv sistemleri çalışan servisleri rotalama problemi için bilimsel yöntemlere dayanan bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Problem çözümü için “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3” programında geliştirilen model heterojen tipli araçlarda zaman pencere kısıtı ile araç rotalarını oluşturulurken gidilen mesafeyi ve kullanılan servis sayısını minimize etmek amaçlanmıştır. Buna bağlı olarak servis doluluk oranları %85 üzerine çıkarılması hedeflenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde doluluk oranları %94.27’ye ulaşmış ve toplam maliyet tasarrufu 92.893,33 TL olarak saptanmıştır. VBA’de geliştirilen model ile araç durakları belirlenmiş ve rotalama araç duraklarına göre yapılmıştır. Bu sayede servisin tüm çalışan adreslerini gezmesi ile oluşabilecek kat edilen fazladan mesafe en aza indirgenmiştir. Ayrıca çözüm yönteminin kolaylıkla kullanılabilmesi için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu proje, tüm şirketlerin ortak problemi olan çalışan servisleri rotalama problemine çözüm niteliğinde bir algoritma sunmaktadır. Bu problemin sonucunda, kat edilen yol ve araç sayısı azaltılıp aynı zamanda doluluk oranları artırılmıştır. Daha fazla kâr elde edilememesinin sebebi 15 km kısıtı ve 6 tek kullanım maliyetleridir. Gelecek çalışma planlarında her servisin belli bir bölgeye atanması ve 6-tek kısıtının sağlanarak maliyet kaybının önlenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- Bektaş, T., Elmastaş, S. (2007). “Solving School Bus Routing Problems through Integer Programming”, *The Journal of the Operational Research Society*, 58(12), 1599-1604.
- Chen, Kong, Dang, Hou, Ye. (2015). “Exact and Metaheuristic Approaches for a Bi Objective School Bus Scheduling Problem”, *Plos one* 10(7): e0132600.
- El-Sherbeny, N.A. (2010). “Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods”, *Journal of King Saud University – Science*, 22(3), 123-131.
- Erdogan G., (2017). “An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems”, *Comput. Oper. Res.* 84 (2017),62-72.
- Leksakul K., Smutkupt U., Jintawiwat R., ve Phongmoo S. (2017), “Heuristic Approach for Solving Employee Bus Routes in a Large-scale Industrial Factory”, *Advanced Engineering Informatics* 32, 176–187.
- Pisinger, D., Ropke, S., (2007). “A general heuristic for vehicle routing problems.”, *Comput. Oper. Res.* 34 (8), 2403–2435.
- P. P. Repoussis, C. D. Tarantilis ve G. Ioannou. (2007), “The Journal of the Operational Research Society”, *Basım.* 58. No:3, 355-367.

AMBALAJ İMALATINDA ESNEK AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Kaplamin Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Zeycan Aydoğan, İlayda Göllü, Esra Kaplan, Tuğçem Acar,
Aybike Temizsoy, Serhat Özköse

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

Osman Bozcaarmutlu, Murat Oğuz

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. M. Fatih Taşgetiren, Dr. Öğr. Gör. Esra Ekinci,
Talya Temizçeri

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, işleri farklı makinelere atayarak maksimum tamamlanma süresini en aza indirgeyen, sıralı kurulum süreleri ve teslim tarihleri dikkate alınarak ara stokları azaltan doğru çizelgelerin hazırlanmasıdır. Bu çalışmada takip edilen aşamalar, veri toplama, veri analizi, model oluşturma, doğrulama ve geçişleme, deneysel tasarım ve çıktı analizidir. Çalışma sonucunda Kaplamin Ambalaj için oluşturulan karar destek sistemi, üretim planlama sürecinde Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemi (EATÇP)'ne uygun çizelgeler tasarlamada yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, kullanılan model küçük boyutlu örnekler üzerinde hızlı çalışırken, büyük boyutlu örneklerde uzun zaman almaktadır. Bu nedenle EATÇP sorununun NP-zor olduğu belirlenmiştir. Büyük boyutlu örnekler için sezgisel modelin kullanılması kararlaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Tamamlanma Süresi, Esnek Akış Tipi Çizelgeleme, NP-Zor

1. Genel Sistem Analizi

Kaplamın Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş., 1976 yılında genişletilmiş polistren ve kâğıt laminasyonlu ambalaj malzemeleri üretmek üzere çok ortaklı bir şirket olarak kurulmuştur. Farklı sektörler için oluklu mukavva ambalaj malzemeleri üretmektedir. Ambalaj; cam, metal gibi malzemedan yapılan ürünleri dış faktörlerden koruyan, nakliye ve dağıtım operasyonlarını kolaylaştıran oluklu mukavvadan yapılıdır. Kaplamın Ambalaj, birçok farklı sektör için oluklu mukavva ambalaj üretmektedir. Üretilen ambalajlar, sektörlere göre farklı gruplara ayrılmaktadır: Gıda Ambalajları, Dayanıklı Tüketim Ambalajları, Kimya ve Temizlik Ambalajları, Otomotiv Sanayi Ambalajları, Ağır Hizmet Ambalajları, Seramik & Vitrikiye Ambalajları ve Yaş Sebze Meyve Ambalajları.

Fabrikaya yapılan düzenli ziyaretler sonucunda problem belirlenmiş ve yapılacak çalışmalar konusunda kararlar alınmıştır.

Bu proje, işleri sıralı kurulum süreleri ve maksimum tamamlanma süresini en aza indirgeyerek ara stokları azaltan uygun çizelgeleri oluşturmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu çizelgeler doğrultusunda, siparişler teslim tarihlerini aşmayacağı için müşteri memnuniyeti sağlanmış olacaktır.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

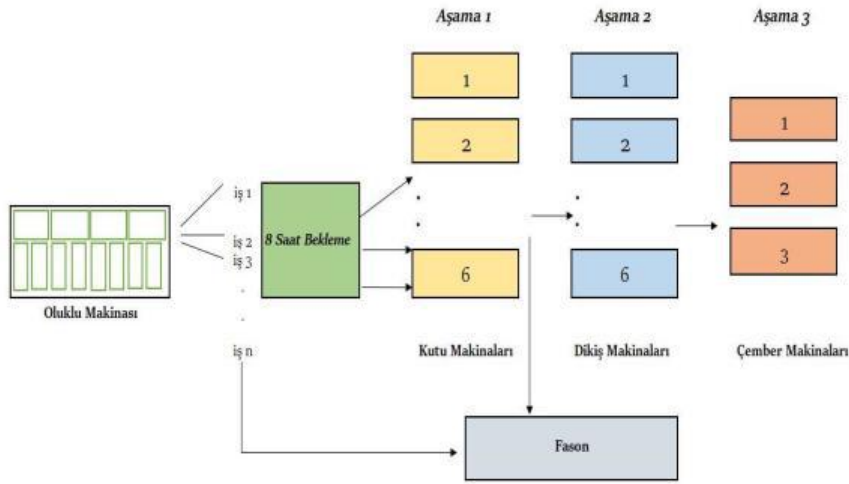
Bu kısımda, şirket sistemi ayrıntılı olarak açıklanmakta, problem detaylı olarak tanımlanmakta ve konu ile ilgili yapılan teknik yazın araştırması belirtilmektedir.

2.1 Mevcut sistem analizi

Mevcut imalat ortamına dayanarak, sistem Esnek Akış Tipi olarak tanımlanır. Esnek Akış Tipi, her biri paralel olarak çalışan birkaç makineye sahip seri üretim aşamalarını içerir. Her aşamada bir veya birden fazla ve birbiriyle özdeş makineler olmalıdır. Sistemdeki işlerin

akışı tek taraflıdır ve her iş her aşamada bir makine tarafından yönetilir. Ayrıca, her iş bir veya daha fazla aşamadan geçmelidir (Linn ve Zhang, 1999).

Tesisteki sistemde yedi temel ürün güzergâhı müşteri siparişine göre kullanılabilir. Tüm güzergahlar Şekil 2.1'de gösterildiği gibi oluklu makinesiyle başlar.



Şekil 2.1 Kaplamin Ambalaj'daki mevcut sistem şeması.

Oluklu makinesi, kâğıt rulolarını oluklu mukavvaya dönüştürür. Üretilen mukavva bir sonraki aşamada kutu makinesine gönderilir. Oluklu makinesinden çıkan oluklu mukavvalar, kutu makinelerinde işlenmeye hazır hale getirilmek üzere sekiz saat boyunca bekletilir. Bu bekleyiş ve yanlış çizelgeleme ara stok oluşumuna sebep olur.

Her kutu makinasında her çeşit ürün işlenemez. Bazı ürünler, bir çeşit kutu makinesinde işlenebilirken bazıları birden fazla kutu makinesinde işlenebilir. Kutu makinelerine gelen ürünler sipariş özelliklerine göre uygun kalıplar ile şekillendirilir. Eğer mukavva üzerine renklendirme yapılacaksa, oluklu mukavvalara baskı bu makineler tarafından yapılmaktadır. Birleşim yerleri kutu makinelerinde belirlenen

yarı mamuller, yarı otomatik dikiş makinelerinde birleştirilir. Ürünün dikiş makinesine yerleştirilmesi işgücü ile gerçekleşir. Son aşama ise palet çember makinesinde gerçekleşir. Çember makinesi, elde edilen ürünlerin gruplara veya firmalara göre ayrılmasını sağlayan ve plastik, polyester, çelik, kâğıt, metal bant veya naylon şeritler ile birleştirerek bir arada kalabilmesini sağlayan makinelerdir.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Mevcut sistemde, farklı zamanlardaki sipariş çizelgeleri incelendiğinde, teslim tarihini geçen çok sayıda sipariş olduğu gözlenmektedir. Aşağıda belirtilen semptomların, bu durumlara yol açan başlıca nedenler olduğu kabul edilmektedir.

- Fabrikada üretim çizelgesi hazırlamak için sistematik bir yöntem uygulanmamaktadır. Bu durum aynı zamanda tampon stok alanlarında yığılmalara neden olmaktadır.
- Gece vardiyasındaki işçiler, teslim tarihlerini dikkate almadan kurulum sürelerini azaltmak için üretim çizelgesine uymadan işleri gruplandırmaktadır.
- Fabrikanın toplam kurulum süreleri (her bir kutu makinesine göre aylık toplam kurulum süresi) varken, ürün çeşitliliğine dayalı kurulum süresine ilişkin herhangi bir veri yoktur. (Mürekkep ve kalıp değiştirme kurulum zamanı vb.)

2.3 Problem tanımı

Bu projede ilgilenilen problem, oluklu makinesinden sonraki aşamada başlamaktadır. Şirket, müşterilerine zamanında ve sorunsuz ürünler sunmak isterken, ürünler müşteriye teslim tarihlerinden daha geç teslim edilmektedir. Kaplamin Ambalaj'da üretim, kurulum gerektirmeyen, sürekli çalışan ve iş gücünün minimum seviyede kullanıldığı oluklu makinesiyle başlar ve kutu makineleri ile devam eder. Kutu makineleri kurulum gerektirir ve kurulum süreleri değişkenlik

gösterir. Bu makineler oluklu makinesi gibi sürekli çalışmaz. Makineler arasındaki bu farklılıklar iş emirlerinin ertelenmesine neden olur. Ürünün rotaları, her makine ve ürün için işlem süresi, vade tarihli gerçek sipariş verileri ve diziye bağlı kurulum süreleri bu çalışmanın ortak girdileridir. Performans kriterleri, toplam akış süresini enazlama ve işlerin teslim tarihlerine uygun üretim yapılmasını sağlamaktır.

2.4 Teknik yazın taraması

Bu projede referans alınan makale, Pan ve diğerleri (2014), esnek akış tipi problemlerinde maksimum tamamlanma süresini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Bu makale, esnek bir modeli temsil etmekte ve problemi çözmek için kod çözme yöntemlerinin bir kombinasyonunu içeren yapay arı kolonisi algoritmasını sunmaktadır. NEH sezgisel ve iki kod çözme yöntemine dayanarak, önce toplam 24 sezgisel yöntem kullanılarak yüksek kalite ve çeşitlilikte ilk popülasyon üretilir. Yapay arı kolonisi algoritmasıyla üretilen sonuçlar, EATP için sunulan en iyi performans gösteren diğer algoritmalar ve tasarlanan sezgisel yöntemlerin uyarlamaları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Önerilen yapay arı kolonisinin, EAT problemini tamamlanma süresi ölçütü ile çözmeye diğer algoritmalarından çok daha iyi performans sonuçları ortaya koyduğu gözlemlenmektedir. Teknik yazın taramasında incelenen diğer makalelerin içerikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Teknik yazın taramasında incelenen makaleler.

Yazar/Tarih	Tanım	Amaç Fonksiyonu	Yöntem
Ruiz ve Maroto (2006)	Deneysel tasarımlarla, farklı parametrelerin ve operatörlerin kapsamlı bir kalibrasyonun gösterilmesi	Akış tipi çizelgeleme problemine üst sezgisel sağlama	Genetik Algoritma

Taşgetiren vd. (2008)	Toplam akış zamanı kriteri için, optimal çözümler, alt sınırlar ve sağlanan en iyi çözümler ile belirleme	Hem tamamlanma zamanı hem de toplam akış zamanı kriterleri ile bekleme süresi olmadan akış çizelgesi planlama problemi hazırlama	Ayrık Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
Kim vd. (2009)	Baskılı devre panoları üreten, gerçek bir üretim sisteminde, üretim çizelgeleme hazırlama	Esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinde maksimum tamamlanma süresini en aza indirme	Sezgisel Algoritma
Ruiz R., Vazquez Rodriguez J.A (2010)	Esnek Akış tipi çizelgeleme problemleri için literatürde bugüne kadarki en iyi performans gösteren algoritmalarla karşılaştırma	İşlerin maksimum tamamlanma süresini en aza indirme	Sezgisel Algoritma & Üst Sezgisel Yöntem
Taşgetiren, M.F., Kızılay, D., Wang, L., & Pan, Q.-K. (2014)	Esnek Akış tipi çizelgeleme problemleri için literatürde bugüne kadarki en iyi performans gösteren algoritmalarla karşılaştırma	İşlerin maksimum tamamlanma süresini en aza indirme	IG_RIS algoritması
Pan, Q.-K., Wang, L., Li, J.-Q., & Duan, J.-H. (2014)	Çizelgeleme problemleri için yapay arı kolonisi algoritması kurulması	Esnek akış tipi problemleri çözmek için ileri ve geriye doğru kod çözme yöntemlerinin kombinasyonları ile tamamlanma zamanını en aza indirme	Sezgisel Yöntem/ Yapay Arı Kolonisi Algoritması

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Matematiksel modelde kullanılan parametreler ve karar değişkenleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Matematiksel modelleme.

İndisler		
i	Makine	$1 \leq i \leq I_k$
j ve r	İş	$1 \leq j, r \leq J$
k ve m	Aşama	$1 \leq k, m \leq M$
Parametreler		
P_{kj} , P_{kr} ve P_{mj}	İşlem Süresi	
Q	Çok Büyük Bir Sayı	
Karar Değişkenleri		
$s_{k,j}$	k aşamasındaki j işinin başlangıç zamanı	
x_{ji}^k	Eğer iş j , aşama k 'de makine i 'de işlenirse 1, diğer 0	
$y_{k,j,r}$	Eğer iş j , aşama k 'de iş r 'den önce ise 1, diğer 0	
C_{max}	Tüm işlerin tamamlanma süresi	

3.2 Matematiksel model

Matematiksel model aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{Minimize } C_{max} \quad (1)$$

k. s.

$$S_{mj} + P_{mj} = C_{max} \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I_k} x_{ji}^k = 1 \quad \forall j \in J, k \in M \quad (3)$$

$$s_{k+1,j} - s_{k,j} \geq p_{kj}, \quad \forall j \in J, (k, k+1) \in M \quad (4)$$

$$S_{kj} - (S_{kr} + P_{kr}) + Q(2 + y_{kjr} - x_{ji}^k - x_{ri}^k) \geq 0 \quad \forall j, r \in J: j < r, k \in M, i \in I_k \quad (5)$$

$$S_{kr} - (S_{kj} + P_{kj}) + Q(3 + y_{kjr} - x_{ji}^k - x_{ri}^k) \geq 0 \quad \forall j, r \in J: j < r, k \in M, i \in I_k \quad (6)$$

$$S_{kj} \geq 0 \quad \forall k \in M, j \in J \quad y_{kjr} \in \{0,1\} \quad \forall j, r \in J, k \in M$$

$$x_{ji}^k \in \{0,1\} \quad \forall k \in M, j \in J, i \in I_k \quad (7)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam işlem süresini en küçükler. Kısıtlama seti (2), tüm işlerin işlem süresini (tamamlanma süresi) belirler. Kısıtlama seti (3), her işin tüm aşamalardan geçmesini ve her aşamada kesinlikle bir makineye atanmasını sağlar. Kısıtlama seti (4), bir sonraki işlemin, önceki işlem bittikten sonra başladığını garanti eder. Kısıtlama setleri (5) ve (6), her makinedeki işlerin sırasını belirler. Aynı makineye atanan iki iş için, bir sonraki iş, bir önceki iş tamamlandıktan sonra başlayabilir. Son olarak, kısıtlama seti (7) karar değişkenlerinin değer aralığını tanımlar.

3.2.1 Çözüm yöntemi

Bir çeşit akış tipi olan esnek akış tipi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma farklı yöntemler hakkında bilgi içermektedir. Bu yöntemlerin bazıları kesin algoritmalar, sezgisel yaklaşımlar ve meta-sezgisel yöntemlerdir.

Projeye başladıktan sonra, proje için gerekli olan veriler üzerinde bir çalışma yapmaya karar verilmiştir. Şirkette kurulum zamanlarının yalnızca toplu verileri olması nedeniyle, kurulum zamanları grup üyeleri tarafından ölçülmüştür. Bu veriler daha sonraki bir aşamada benzer kurulum parametrelerine sahip ürünlerin gruplanarak çizelgelemesinde aşamasında kullanılmıştır. Teknik yazın taraması sırasında, esnek akış tipi problem modelleri belirlenmiş ve bundan sonra sistemin davranışını görmek için küçük ve büyük örnekler yapılmıştır. Teknik yazın taramasından alınan model hızlı bir şekilde küçük örnekleri üzerinde çalışırken, EATÇ problemi olan büyük örneklerde uzun zaman alması NP-zorluğunu göstermektedir. Ayrıntılı teknik yazın taramasından toplanan bu bilgilere göre, büyük örnekler için sezgisel bir model olan NEH Algoritması'nın kullanılmasına karar verilmiştir.

NEH Algoritması, problemlerin planlanmasında kullanılan basit ve çok etkili bir yaklaşımdır (Nawaz, Ensore ve Ham, 1983). Sezginin sözde kodu Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 NEH Algoritması sözde kodu.

```

$$\delta = \text{AzalanSıra}(\sum_{k=1}^m P_{ik})$$

$$\pi_1 = \delta_1$$
for  $i = 2$  to  $n$  do  
     $\pi_i = \text{İşEnİyiYereEkle}(\pi_i, \delta_i)$   
end for  
return  $\pi$  ile  $n$  iş ve  $f(\pi)$ 
```

İlk aşamada, tüm makineler için işlem sürelerinin toplamı her bir iş için hesaplanır. Daha sonra işler δ değerini elde etmek için azalan sıraya göre sıralanır. İkinci aşamada, δ 'daki ilk iş kısmi bir çözüm oluşturmak için seçilir. δ 'da kalan işler kısmi çözümde birer birer eklenir. Her yinelemeden sonra tam bir çözüm elde edilir.

Gerekli model güncellemesi tamamlanıp, mevcut model ile karşılaştırılmış ve toplanan sonuçlar değerlendirilmiştir.

4. Sayısal Sonuçlar

Kullanılan sezgisel yöntemin performansını analiz edebilmek için küçük boyutlu problemler kullanılarak optimal çözümlerle karşılaştırılmıştır. Parametre olarak en fazla 10 iş ve 5 aşamadan oluşan problemler seçilmiş ve maksimum tamamlanma süresinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. IBM ILOG CPLEX 12.6.3 Optimization Studio platformu üzerinde model kodlanmış, örnekler Core i7, 2.60 GHz, 8 GB RAM bilgisayar ile çözülmüştür. Bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler şirketin hesaplamalarına göre çok daha hızlı sonuç vermiştir. Sezgisel yöntem ise Excel VBA kodları ile modellenmiştir.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de iş, aşama ve üretim sürelerinin yer aldığı 2 örnek verilmiştir.

Tablo 4.1 İşlerin üretim süreleri.

İŞLER	AŞAMALAR				
	1	2	3	4	5
1	7	3	3	3	12
2	3	13	15	8	10
3	13	6	3	6	11
4	6	4	8	13	3
5	7	6	5	12	11
6	4	9	11	11	15
7	8	7	4	14	9
8	15	9	13	5	3
9	15	5	3	10	8
10	10	8	5	14	11

Tablo 4.2 İşlerin üretim süreleri.

İŞLER	AŞAMALAR				
	1	2	3	4	5
1	9	5	11	14	11
2	3	12	13	11	11
3	7	9	10	9	14
4	8	11	15	6	4
5	11	14	14	3	7
6	12	12	5	4	13
7	11	13	14	15	14
8	6	5	11	11	4
9	6	13	4	8	15
10	15	3	8	5	11

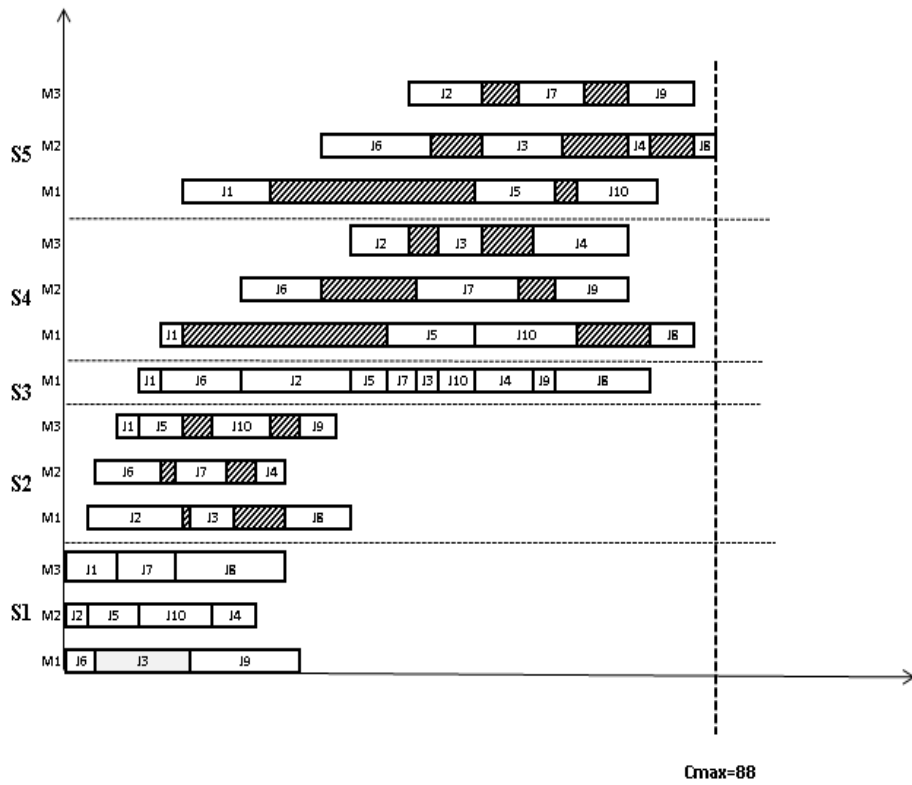
Tablo 4.1’de 1, 2, 4 ve 5. aşamalarda 3 makine, 3. Aşamada 1 makine bulunmaktadır. Tablo 4.2’de 1. Aşamada 1 makine 2, 3 4 ve 5. aşamalarda ise 3 makine bulunmaktadır.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

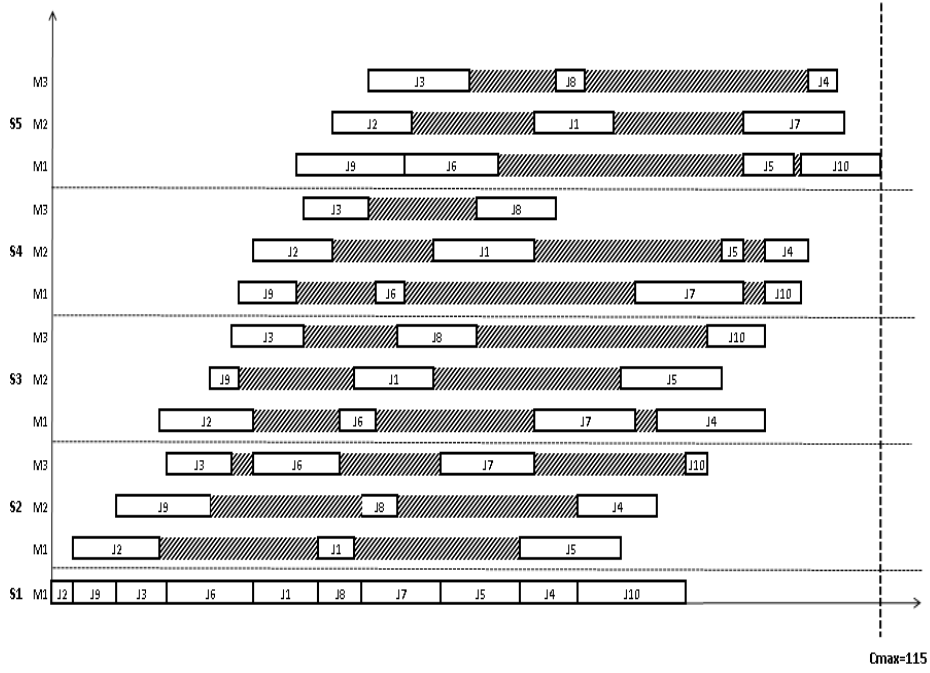
IBM ILOG CPLEX 12.6.3 Optimization Studio’da çalıştırılan matematiksel model, Tablo 4.1’deki verilere göre maksimum tamamlanma süresi 88 dakikayı 4,51 saniyede çözmüş iken, Tablo 4.2’deki verilerin maksimum tamamlanma süresi 115 dakikayı 14,16 saniyede sonuçlandırmıştır. Tablo 4.1’deki veriler için, Şekil 4.1’deki Gantt Şeması çizildiğinde maksimum tamamlanma zamanının 88 dakika olduğu görülmüştür. Tablo 4.2’deki veriler için, Şekil 4.2’deki Gantt

Şeması çizildiğinde maksimum tamamlanma zamanı 115 dakikaya ulaşılmıştır.

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio'da çözülen model sonuçlarıyla, sezgisel yöntemle elde edilen sonuçların ve Gantt Şeması sonuçlarının eşit olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak, sezgisel yöntemin maksimum tamamlanma süresinin optimal sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Gantt şeması.



Şekil 4.2 Gantt şeması.

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Projenin başında, üretim çizelgelemesi manuel bir yöntem ile belirlenmektedir. Projenin ilerleyen aşamalarında şirketle yapılan toplantılar sonucunda kullanılan çizelgeleme yönteminin dinamik bir sistem haline getirilmesi ve buna bağlı bir karar destek sistemi oluşturulmasına karar verilmiştir.

VBA kodları sayesinde, tek bir tuşla kısa sürede çözüme ulaşılabilen bir karar destek sistemi (KDS) tasarlanmıştır. Programdaki veri girişi ekranında işler, aşamalar, aşamalardaki makine sayıları ve işlerin her aşamadaki üretim zamanları tasarlanan ara yüz ile kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Model, kullanıcının girdiği verileri okuyabilecek ve işlem yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi ile kullanıcıya hızlı ve dinamik bir çizelgeleme aracı ortaya konulmuştur. Kullanıcı arayüzü Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Kaplamin Ambalaj Çizelgeleme

kaplamin

BİLGİLERİ GİRİNİZ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

TOPLAM İŞ SAYISI

TOPLAM AŞAMA SAYISI

İŞİN 1. AŞAMADAKİ ÜRETİM SÜRESİ

İŞİN 2. AŞAMADAKİ ÜRETİM SÜRESİ

İŞİN 3. AŞAMADAKİ ÜRETİM SÜRESİ

İŞİN 4. AŞAMADAKİ ÜRETİM SÜRESİ

İŞİN 5. AŞAMADAKİ ÜRETİM SÜRESİ

1. AŞAMADAKİ MAKİNE SAYISI

2. AŞAMADAKİ MAKİNE SAYISI

3. AŞAMADAKİ MAKİNE SAYISI

4. AŞAMADAKİ MAKİNE SAYISI

5. AŞAMADAKİ MAKİNE SAYISI

TAMAM Formu Temizle ÇALIŞMA SAYFASINA DÖN

Şekil 4.3 Karar destek sistemi arayüzü.

5. Sonuç ve Öneriler

Proje sonucunda, fabrika için hazırlanan çözüm odaklı KDS sayesinde; oluşan ara stok en aza indirgenecek, mevcut duruma göre işlerin tamamlanma zamanında iyileşme meydana gelecek, müşteri siparişlerinin zamanında teslim edilmesi sağlanacaktır. Bununla birlikte, düzenlenen kurulum süreleri ile makinelerin verimliliği artırılmış olacaktır.

Tüm müşteri taleplerini en iyi şekilde karşılayabilen çizelgeleri oluşturabilecek yapıyı bir karar destek sistemi bünyesinde toplamak amaçlanmıştır. Mevcut üretim sisteminde farklı performans ölçütlerine göre model güncellenerek ihtiyaç duyulan çizelgeler oluşturabilir. Proje için yapılan çalışmaların esnek akış tipi çizelgeleme problemi yaşayan birçok sektör ve kuruluşa örnek olması ve bu probleme çözüm sunması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

Kaplamin Ambalaj San. ve Tic. A.Ş, Hakkımızda,

<http://www.kaplaminambalaj.com.tr/hakkimizda.aspx>. Son erişim tarihi:
18 Nisan 2018

Li, J.-q., Pan, Q.-k., & Wang, F.-t. (2014, November). A hybrid variable neighborhood search for solving the hybrid flowshop scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 24, 63-77.

Linn, R. (1999). Hybrid flow shop scheduling: A survey. *Computers & Industrial Engineering*, 37(1-2), 57-61.

Nawaz, M., Ensore, E. E., & Ham, I. (1983, December). A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-Shop Sequencing Problem. *Omega*, 11, 91-95.

Pan, Q. K., Tasgetiren, M. F., & Liang, Y. C. (2008). A discrete particle swarm optimization algorithm for the no-wait flowshop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 35(9), 2807-39.

Pan, Q.-K., Wang, L., Li, J.-Q., & Duan, J.-H. (2014, June). A novel discrete artificial bee colony algorithm for the hybrid flowshop scheduling problem with makespan minimisation. *Omega*, 45, 42-56.

Ruiz, R., & Maroto, C. (2006). A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility. *European Journal of Operational Research*, 169, 781-800.

Soewandi, H., & Elmaghraby, S. (2001, November). Sequencing three-stage flexible flowshops with identical machines to minimize makespan. *IIE Transactions*.

Tasgetiren, M. F., Kizilay, D., Wang, L., & Pan, Q.-K. (2014). An iterated greedy algorithm for the hybrid flowshop problem with makespan criterion. *2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Production and Logistics Systems (CIPLS)*.

Lojistik Merkez-Limanlar Arası Konteyner Taşıma İçin Rotalama Optimizasyonu

Alkon Lojistik

Proje Ekibi

Hasibe Serap Baş,
Ayşe Tolan,
Duygu Barış,
Yasin Özkabak,
Duygu Şentürk,
Hüseyin Suçsuz

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Can Aydolun

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe
Araş. Gör. Cansu Yurtseven

ÖZET

Alkon Lojistik'te haftalık sevkiyat planlaması problemi ele alınmıştır. Toplam sevkiyat maliyetlerini en aza indirgeyecek karmaşık tamsayılı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model IBM ILOG CPLEX Optimizasyon Stüdyosu 12.8 programı ile çözülmüştür. Ayrıca farklı senaryoları gözlemlemek amacıyla da Arena Software 15.000 yazılım programında benzetim modeli oluşturulmuştur. Problemden oluşabilecek bütün olası senaryolar göz önünde bulundurularak karar destek sistemi tasarlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Rotalama optimizasyonu, karar destek sistemi, sevkiyat planlaması

1. Genel Sistem Analizi

Alkon Lojistik, Biçerova Konteyner Terminali'nin lojistik faaliyetlerini yürütmektedir. Terminalde, depolama, konteyner iç dolum ve konteyner sevkiyat hizmetleri sunmaktadır. Depolama süresine Alkon Lojistik ve müşteriler arasındaki anlaşmaya göre karar verilir. Bu sözleşme bir haftadan bir yıla değişmektedir. Firmanın hizmet verdiği üç liman bulunmaktadır. Bunlar, Nempport, APM ve Ege Gübre limanlarıdır. Konteyner sevkiyat işlemi müşterilerin talepleri doğrultusunda gerçekleşir.

2. Mevcut Sistemin Analizi

Konteynerler müşterilerin talepleri doğrultusunda, Biçerova'dan limanlara ya da limanlardan Biçerova'ya sevk edilmektedir. Konteyner sevkiyat işlemi, müşterilerin talep ettiği teslim zamanına göre yapılır. Teslim zamanı, konteynerin limanlara kabul edildiği son tarih ve saati ifade eder. Limanlara erken teslim edilen konteynerler, liman yönetimi tarafından belirlenen süre boyunca limanlarda ücretsiz olarak bekletilebilmektedir. Eğer konteynerler bu belirlenen süreden de önce limanlara ulaşırsa, firma bir ardiye bedeli ödemek durumunda kalmaktadır.

2.1 Tır Operasyonları

Konteynerler tırlar vasıtasıyla limanlara taşınmaktadır. Tırların tek yön, çift yön ve çapraz yön olmak üzere üç farklı hareket yönü vardır. Tek yön tırın sadece bir istikamette konteyner taşımasıdır. Örneğin, Biçerova'dan Nempport'a konteyner taşıyan bir tır, Nempport'dan Biçerova'ya dönüşünde konteyner taşımamaktadır. Çift yön ise tırın her iki istikamette de konteyner taşımasıdır. Çapraz yön ise, tırın Biçerova'dan bir limana seyahat edip, ardından başka bir limana daha uğradıktan sonra Biçerova'ya dönmesidir. 20 feet ve 40 feet olmak üzere

iki farklı konteyner tipi vardır. Bir tır 20 feet konteyner ve ya 40 feet konteyner taşıyabilmektedir.

2.2 Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

Mevcut sistemde, firma gün içinde talepleri karşılayabilmek için tek yönlü taşımalar yapmaktadır. Bu durum, tırların seyahat maliyeti, yakıt maliyetleri gibi ek maliyetlere sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak, firma yoğun zamanlarda tır kiralamakta ya da konteyner, ücretsiz depolama süresinden önce limanlara sevk edilmektedir.

2.3 Problem Tanımı

Alkon Lojistik’de konteyner sevkiyat planlamasında toplam maliyeti etkileyen tüm faktörler göz önünde bulundurulmalı ve en iyi senaryoya karar verilmelidir. Problemin temel amacı, toplam maliyeti en aza indirmektir. Toplam maliyet: tırların seyahat maliyeti, kiralanmış tır maliyeti ve ardiye bedeli denilen, limanda depolama maliyetinden oluşmaktadır.

2.4 Yazın Taraması

Deniz limanlarındaki terminaller arası taşımayı analiz etmek için, Tierney, Voß ve Stahlbock tarafından bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir (2013). Konteynerler terminaller arasında birden fazla farklı taşıma yöntemi ile demiryolu, deniz ve karayolu gibi, sevk edilebilmektedir. Terminaller arası taşıma, konteynerlerin gecikmesine ve sıkışık zamanlarda tıkanıklığa yol açmaktadır. Tierney vd., kurdukları sistemin amacının, gecikmelerin enazlanması ve limanların uzun vadede stratejik kararlar verebilmesini sağlamak olduğunu vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, konteynerlerin ve tırların en uygun akışlarını belirlemek için bir yer-zaman ağ grafiği oluşturmuşlardır. Grafik, tırların uzun süreli yükleme ve boşaltma işlemlerini, gecikme ceza maliyetlerini ve trafik tıkanıklığını modellemeye olanak sağlamıştır. Sistem, birden fazla ulaşım modu kullanılması gibi gerçek dünya unsurlarını modele dahil edebilecek

bileşenleri içermektedir. Bu sebeple, yaptıkları çalışma geleceğe yönelik yapılabilecek kritik yatırımların belirlenmesine yardımcı olabilmektedir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Haftalık konteyner sevkiyat planlaması, özel olarak tasarlanmış bir yer-zaman ağ grafiği üzerinde modellenmiştir. Oluşturulan model, tırların gün içindeki hareketlerine karar vermekte olup; çapraz harekete de olanak sağlamaktadır. Ayrıca model, tır filosunun yetersiz olduğu durumlarda, dışarıdan kaç adet tır kiralanması gerektiğine karar verebilecek olan bileşenleri içermektedir.

3.1 Varsayımlar

Matematiksel model oluşturulurken, bir takım varsayımlar yapılmıştır. Birinci varsayım, tüm tırların kapasitelerinin aynı olmasıdır; her bir tır bir bölgeden bir bölgeye, bir adet konteyner taşıyabilmektedir. İkinci varsayım, konteynerlerin içinin dolu ya da boş olmasının bir öneminin bulunmamasıdır. Üçüncü varsayım, tüm tırların günlük çalışma saatlerinin aynı ve sınırlı olmasıdır. Son olarak talep miktarı, seyahat süreleri ve taşıma maliyetleri bilinmektedir.

3.2 Yer-zaman Ağ Grafiğinin Oluşturulması

Öncelikle, Biçerova Konteyner Terminali ve üç adet liman arasındaki bağlantıları tanımlayan ve zamansal olmayan temel bir grafik oluşturuldu. Düğüm sayısının n olduğu kabul edilir ise; temel grafik $G = (N, A)$ olarak oluşturulabilir. Burada, $N = \{1 \dots n\}$ tüm düğümlerin kümesi, A ise tüm i, j yaylarının kümesidir.

Temel grafik kullanılarak, problemi modellemek için gerekli olan bir yer-zaman grafiği tasarlandı. Zaman periyotlarının sayısının τ olduğu varsayılır ise; yer-zaman grafiği $G^T = (N^T, A^T)$ olarak oluşturulabilir. Burada, $N^T = \{1 \dots \tau \cdot n\}$ yer-zaman grafiğindeki tüm düğümlerin kümesi, A^T ise yer-zaman grafiğindeki tüm i, j yaylarının kümesidir.

Sabit (Stationary) Yaylar: Konteynerlerin ve tırların, zaman aralıklarında aynı düğümlerde kalmalarına izin vermek için, sabit yaylar tanımlanmıştır. Sabit yaylar her bir düğümü, bir sonraki zaman periyodunda kendisine bağlamaktadır. Sabit yaylar kümesi:

$$A^S = \bigcup_{1 \leq i \leq n \cdot (\tau-1)} \{(i, i + n)\} \text{ olarak tanımlanabilir.}$$

3.3 Yay ve Düğüm Özellikleri

Yer-zaman grafiğindeki her bir i düğümünün, yaylar aracılığı ile erişebileceği düğüm setleri mevcuttur ($i \in N^T$). Bu setleri; her bir i düğümüne yaylar aracılığı ile girebilecek düğüm seti $\{In(i) = \{(j, i) \in A^T \wedge j < i\}$, ve her bir düğümünden yaylar aracılığı ile çıkabilecek düğüm seti $\{Out(i) = \{(i, j) \in A^T \wedge j > i\}$ olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Optimizasyonun başlangıcında, yer-zaman grafiğinde bulunan her bir i düğümü, kendi üzerinde bulunan tır sayısı s_i ile ilişkilendirilir ($i \in N^T$). Diğer bir deyişle, s_i tır akışlarının başlangıç noktasını belirlemektedir. Günün sonunda tüm tırların Biçerova Konteyner Terminali'ne dönmesi beklenir. Bu yüzden, üzerinde taşıt bulunan tek düğüm sıfır noktasındaki Terminal düğümü olmaktadır.

Talep: Konteyner talepleri, Biçerova Konteyner Terminali'ne gruplar halinde ulaşmaktadır. Talep grupları sayısının D olduğu kabul edilsin: $D = \{1 \leq d \leq D\}$. Her bir talep grubu için aşağıdaki parametreler tanımlanmıştır:

- Başlangıç ve varış düğümleri; $o_d \in N$, $d_d \in N$.
- Konteynerlerin gönderilmeye hazır olduğu zaman periyodu; $r_d \in \{1 \dots \tau\}$
- Konteynerlerin teslim edileceği zaman periyodu; $u_d \in \{1 \dots \tau\}$

3.4 Matematiksel Model

Oluşturulan model, toplam maliyeti en aza indirerek, konteynerlerin yer-zaman grafiği üzerinde taşınmasını sağlamaktadır.

Setler ve İndisler

N = Düğüm tipi $N = \{1,2,3,4\}$

τ = Bir haftadaki zaman periyodu sayısı

N^T = Yer-zaman grafiğindeki düğüm seti, $N^T = \{1 \dots \tau \cdot N\}$

A^T = Yer-zaman grafiğindeki yay seti

A^S = Yer-zaman grafiğindeki sabit yay seti

D = Talep grubu seti $1 \leq d \leq D$

W = Gün seti $1 \leq w \leq W$

$In(i)$ = Her bir i düğümüne yollar ile girebilecek düğüm seti, $i \in N^T$

$Out(i)$ = Her bir düğümünden yollar ile çıkabilecek düğüm seti, $i \in N^T$

Parametreler

$Amount_d$ = Talep grubu d 'de bulunan talep sayısı

o_d = Talep grubu d 'nin başlangıç düğümü $o_d \in N$

d_d = Talep grubu d 'nin varış düğümü $d_d \in N$

r_d = Talep grubu d 'nin gönderilmeye hazır olduğu zaman periyodu

u_d = Talep grubu d 'nin teslim edilmesi gereken zaman periyodu

st_d = Talep grubu d 'nin ücretsiz ardiye süresini veren zaman periyodu

c_{ij} = Düğüm i ve düğüm j arasındaki boş seyahat maliyeti, $i, j \in N^T$

cf_{ij} = Düğüm i ve j arasındaki, dolu ve boş seyahatlerin maliyet farkı,

$i, j \in N^T$

$stcost$ = Zaman periyodu başına düşen ardiye bedeli

s_i = i düğümünde bulunan tır sayısı, $i \in N^T$

z_{ij} = Yay (i, j) sabit yay ise 0, diğer koşulda 1, $z \in \{0,1\}$

$Hirecost$ = Tır kiralama maliyeti

Karar Değişkenleri

x_{ij} = Yay (i, j) üzerinde seyahat eden tır sayısı, $(i, j) \in A^T$

y_{ijd} = Yay (i, j) üzerinde talep grubu d 'ye ait gönderilen konteyner sayısı, $(i, j) \in A^T$

h_{ij} = Yay (i, j) üzerinde seyahat eden kiralanmış tır sayısı, $(i, j) \in A^T$

$Hired_w$ = Her günün başında kiralanmış tır sayısı, $w \in W$

Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

$$(1) \text{Min } \sum_{i,j \in A^T} (x_{ij} + h_{ij}) \cdot c_{ij} + \sum_{w \in W} Hired_w \cdot hirecost + \sum_{i,j \in A^T} \sum_{d \in D} y_{ijd} \cdot cf_{ij} + \sum_{i,j \in A^S \wedge j < d_d + (st_d - 1) \cdot N} \sum_{d \in D} y_{ijd} \cdot stcost$$

$$(2) \sum_{d \in D} z_{ij} \cdot y_{ijd} \leq x_{ij} + h_{ij}, \quad (i, j) \in A^T$$

$$(3) \sum_{j \in Out(i)} x_{ij} - \sum_{k \in In(i)} x_{ki} \leq s_i, \quad i \in N^T$$

$$(4) \sum_{j \in Out(i)} h_{ij} - \sum_{k \in In(i)} h_{ki} \leq Hired_w$$

$$(5) \sum_{j \in Out(i)} h_{ij} - \sum_{k \in In(i)} h_{ki} \leq 0, \quad i \in N^T \setminus \{1\}$$

$$(6) \sum_{k \in In(i)} x_{ki} + \sum_{k \in In(i)} h_{ki} = s_1 + Hired_w, \quad w \in W$$

$$(7) \sum_{j \in Out(i)} y_{ijd} = Amount_d \quad d \in D, i \in N^T, i = o_d + (r_d - 1) \cdot N$$

$$(8) \sum_{i \in In(i)} y_{ijd} = Amount_d \quad d \in D, j \in N^T, j = d_d + (u_d - 1) \cdot N$$

$$(9) \sum_{j \in Out(i)} y_{ijd} - \sum_{k \in In(i)} y_{kid} = 0 \quad d \in D, j \in N^T$$

$$i \neq o_d + (r_d - 1) \cdot N \text{ ve } i \neq d_d + (u_d - 1) \cdot N$$

Amaç fonksiyonu (1) , toplam maliyeti en aza indirmektedir. Kısıt (2), bir yay üzerinden gönderilen konteyner adedinin, aynı yay üzerinde seyahat eden tır sayısından fazla olmamasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, yay sabit yay ise, $z_{ij}=0$ değerini alır. Bu durumda, konteyner bulunduğu düğümde bekletilebilir ve herhangi bir aracın

konteyneri taşınması gerekmez. Kısıt (3), tırların yer-zaman grafiği üzerinde seyahat etmesini sağlayan denge kısıtıdır. Kısıta göre, bir düğümden ayrılan tır sayısının; bir düğüme giren tır sayısı ve o düğüm üzerinde bulunan tır sayısının toplamından fazla olamaz. Bu kısıt aynı zamanda, tırların yer-zaman grafiği üzerinde boş seyahat etmesini de sağlamaktadır. Kısıt (4), her günün başlangıcında Biçerova'dan çıkan kiralık tırların sayısını belirlemektedir. Kısıt (5), kiralık tırların yer-zaman grafiği üzerinde seyahat etmesini sağlayan denge kısıtıdır. Kısıt (6), her günün sonunda tüm tırların Biçerova'ya dönmesini sağlar. Kısıt (7)-(9), konteynerlerin grafik üzerindeki hareketini sağlar. Kısıt (7), her bir talep grubunun yer-zaman grafiği üzerindeki başlangıç düğümünü belirler. Kısıt (8), her bir talep grubunun, teslim edileceği zaman periyoduna yetişmesini sağlar. Kısıt (9), konteyner denge kısıtıdır. Bir düğüme giren konteyner sayısının, aynı düğümden çıkan konteyner sayısına eşit olmasını sağlar. Bu kısıt, her bir talep grubu için, yer-zaman grafiğindeki başlangıç ve varış düğümlerini kısıta dahil etmemektedir.

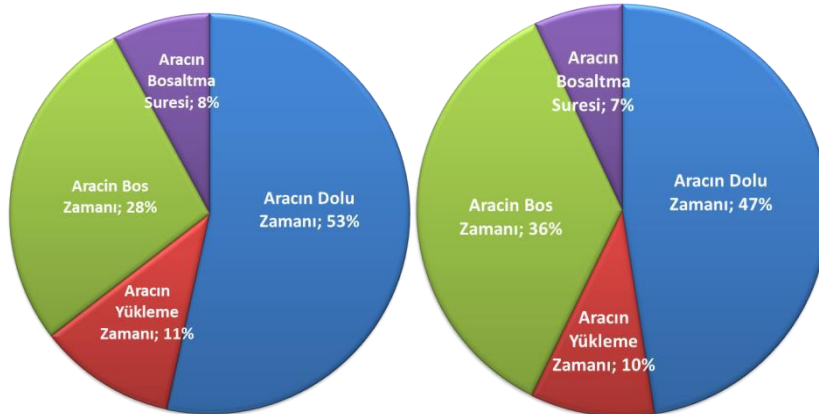
3.5 Benzetim Modeli

Oluşturulan benzetim modeli, Biçerova ve 3 liman arası konteyner sevkiyatının farklı senaryolar ve koşullar karşısında nasıl gerçekleştiğini gösterir.

Modelde öncelikle Biçerova'dan limanlara gidecek konteynerler ve limanlardan Biçerova'ya gidecek konteynerler için sipariş varlıkları oluşturuldu ve Excel'den veriler okutuldu. Daha sonra sürekli olarak konteyner kuyruğu kontrolü yaparak, araç olmadığında herhangi bir talep gelmesi durumunda konteynerin alınmama durumunu engellemek amacıyla bir sinyal varlığı oluşturuldu. Oluşturulan sinyal, limanlardaki araç sayısına ve limanlardan Biçerova'ya gelecek sipariş sayısına bakar, limanlardaki araç sayısı, limanlardan Biçerova'ya gelecek sipariş sayısından az ise, aradaki fark kadar sinyal gönderilerek limanlara boş

araç çıkartılır, büyük veya eşit olması durumunda sinyal çıkartılmaz. Oluşturulan akış şemasına göre, Biçerova'ya siparişler gelir, araçlar için çıkış sinyali verildikten sonra sinyal Biçerova'dan limanlara gidecek siparişin olup olmadığını kontrol eder. Biçerova' da bekleyen konteyner var ise üç liman için teslim tarihi en yakın olan konteyneri alır. Eğer sadece 2 limanda konteyner var ise, araç 2 liman arası yine teslim tarihine öncelik verecek şekilde konteyner taşıması yapar. Araçlar konteynerleri gitmesi gereken limana götürür ve araçlar boşaltılır. Serbest kalan araçlar öncelikli olarak buldukları limanda Biçerova'ya gitmesi gereken konteyner olup olmadığına bakar. Eğer konteyner varsa ilgili konteyneri alır ve Biçerova'ya geri döner. Eğer yoksa diğer limanlarda konteyner olup olmadığına bakar; diğer 2 limanda da konteyner varsa; limanda bekleme süresi en fazla olan konteyner alınır. Eğer hiçbir limanda Biçerova'ya gönderilecek konteyner yoksa araç boş bir şekilde geri döner.

Oluşturulan benzetim modelinde amaç, sistemde oluşabilecek darboğazları saptayıp maliyeti en aza indirgeyecek senaryolar belirlemektir. Ayrıca modelde farklı koşullar altında araçların boş/ dolu gitme yüzdeleri ve araçların yüklenme-boşaltılma süreleri karşılaştırılabilir.



Şekil 3.5 Arena Sonuç Yüzde Grafik Karşılaştırması

Model, konteynerlerin son teslim tarihine en fazla 2 saat kala alınması ve en fazla 3 saat kala alınması senaryolarına göre çalıştırılmıştır. Konteynerlerin teslim tarihine 3 saat kala alınması durumunda araçların dolu gitme oranı %53 iken, 2 saat kala alınması durumunda bu oranın %47'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Alınan çıktılar incelendiğinde, araçların konteynerleri teslim tarihine 3 saat kala alması senaryosunun daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

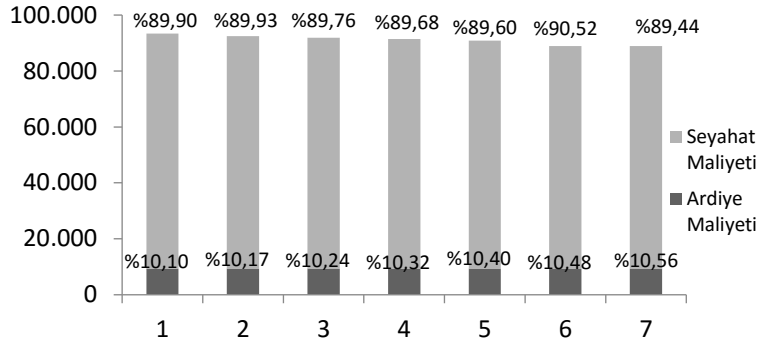
4. Sayısal Sonuçlar ve Duyarlılık Analizi

Matematiksel model, farklı senaryolarla ILOG IBM CPLEX programında çalıştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda, farklı senaryolardan elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, talebin yoğunluğuna göre gereken tır sayısı belirlenebilmektedir.

Tablo 4.1 CPLEX Sonuçları

Senaryo Numarası	Konteyner Adedi	Firmaya Ait Tır Sayısı	Kiralık Tır Sayısı	Ardiye Bedeli (TL)	Seyahat Maliyeti (TL)	Toplam Seyahat Maliyet (TL)	Çözüm Süresi
1	1000	12	6	9.414	83.833	93.247	00:07:00
2	1000	13	5	9.414	83.154	92.568	00:06:51
3	1000	14	4	9.414	82.475	91.889	00:06:53
4	1000	15	3	9.413	81.797	91.210	00:06:38
5	1000	16	2	9.414	81.118	90.532	00:05:18
6	1000	17	1	9.414	80.439	89.853	00:07:13
7	1000	18	0	9.414	79.761	89.175	00:05:01

Şekil 4.1'de toplam maliyete etki eden ardiye ve seyahat maliyeti yüzdellikli olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 CPLEX Sonuç Grafiği

4.1 Karşılaştırma ve Uygulama

Tablo 3.4.1 Cplex sonuçlarında görüldüğü gibi 1000 konteyner adedi için tır sayısı değiştirilerek farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bu verilere dayanarak, 1000 konteyner için kiralanan tır sayısı azaldıkça toplam maliyet de azalmaktadır ve en az maliyeti 18 tır vermektedir. Fakat konteyner adedi değişikçe ihtiyaç duyulan tır sayısında değişeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Karar Destek Sistemi

Karar destek sistemi (KDS), matematiksel modelin ve verilerin etkin bir biçimde kullanılmasını sağlamaktadır. KDS, IBM ILOG CPLEX Optimizasyon Stüdyosu 12.8 ve Visual Basic for Applications (VBA) entegre edilerek oluşturulmuştur. Aynı zamanda, oluşturulan KDS gerçekleştirilecek tüm farklı senaryolara karşılık verebilecek bileşenleri içerir. KDS dosyası açıldığında, ilk olarak kullanıcı adı ve şifre girilmesi gerekmektedir. Bilgiler doğru girildikten sonra kullanıcı; veri girişi, haftalık sevkiyat planlaması ve sonuç seçeneklerinin bulunduğu giriş sayfasına yönlendirilmektedir (Şekil 4.1). Kullanıcı, “Veri girişi” butonuna basarsa ise, ikinci bir sayfa olan “Talep” sayfasına yönlendirilir (Şekil 4.2). Burada dikkat edilmesi gereken husus, taleplerin

haftalık olarak girilmesidir. Talep formuna girilen; konteyner hazır olma saati, konteyner teslimat saati ve ardiye bilgileri oluşturulan model açısından kritik bir yere sahiptir. Bu saat bilgileri, gizli bir Excel sayfasında zaman adımlarına dönüştürülmektedir. Gizli bir sayfada tutulmasının sebebi, kullanıcının herhangi bir müdahalede bulunmasını engellemektir. Kullanıcı gerekli olan talep bilgilerini girdikten sonra “Tamam” butonuna basarak veri kaydını gerçekleştirir. Talep bilgileri girildikten sonra KDS, haftalık sevkiyat planlaması yapmaya hazır hale gelmiştir. “Haftalık sevkiyat planlaması” butonuna basıldığında ise oluşturulan matematiksel model IBM ILOG CPLEX Optimizasyon Stüdyosu tarafından çözülmektedir. Kullanıcı, planlama sonucunu görmek için, “Giriş” sayfasına dönerek buradaki “Sonuç” butonuna basmalıdır. Ardından kullanıcı, “Sevkiyat” adlı Excel sayfasına yönlendirilir. Bu sayfada; pazar günü hariç tüm hafta için hazırlanan sevkiyat planını görebilmektedir. “Sevkiyat” sayfasında konteynerlere ait 11 bilgi yer almaktadır. Bunlar; konteyner başlangıç noktası, yola çıkma zamanı, konteyner varış noktası, seyahat eden tır sayısı, seyahat tipi, talep grubu, taşınan konteyner adedi, talep teslim günü, talep teslim saati ve kiralanan tır adedidir. Seyahat tipinde aracın bekleme, dolu seyahat ve boş seyahat bilgisi yer almaktadır. İlgili hücrede; tır bulunduğu konumda duruyor ise bekleme, tır konteyner taşıyor ise dolu seyahat, tır konteyner taşıyor ise boş seyahat yazmaktadır.



Şekil 5.1

Şekil 5.2

6. Sonuç

Bu projede, Biçerova konteyner terminalinde konteyner sevkiyat planlama problemi çözümlenmiştir. Mevcut sistemde problemin semptomları belirlenmiş ve ilgili veriler toplanmıştır. Bu semptomlara göre yoğun zamanlar ve tek yönlü tır hareketleri ele alınmıştır. Haftalık konteyner sevkiyat planlaması için, toplam ulaşım maliyetlerini en aza indirgeyen bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model IBM ILOG CPLEX’de çözümlenmiştir. Kullanıcılar için tasarlanan ve problemde oluşabilecek bütün senaryolara hızlı cevap verebilmek adına IBM ILOG CPLEX ve Excel entegre edilerek karar destek sistemi oluşturulmuştur. Sistem, haftalık değişen konteyner taleplerine göre tırların en uygun akışını belirlemektedir. Yapılan analizler sonucunda; kullanılan tır adedindeki değişimlerin maliyet üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir ve daha az araç kiralanarak taleplerin karşılanabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte farklı senaryoların karşılaştırılması ve sistemdeki darboğazların gözlemlenebilmesi için Arena Software 15.000 programında benzetim modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak, sistemde meydana gelebilecek bütün olasılıklar göz önünde bulundurularak haftalık sevkiyat planlaması oluşturulmuştur. Yapılan proje başka konteyner terminallerinin sevkiyat planlamasında kullanılmaya elverişli bir sonuç vermiştir.

KAYNAKÇA

Allen Bradley Rockwell Software. (2010, Mart). Arena User's Guide. Amerika Birleşik Devletleri.

Tierney, K., Voß, S., & Stahlbock, R. (2013). A mathematical model of inter-terminal transportation. *ELSEIVER*, 448-460.

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12 Release 7. (1987). Amerika Birleşik Devletleri.

Bir Konteyner Terminalinde Sinyalizasyon ve Trafik Yönetimi

Nemport Liman İşletmeleri Tic. A.Ş.

Proje Ekibi

Özge Zeynep Hatunoğlu, Özlem Daşdemir, Cansın Arda
Utku Can Karadeniz, Nesil Okar, Hulusi Başoğlu, Doğan Can Demir
Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Özer Arıca, Nemport A.Ş. , Genel Müdür

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Deniz Türsel Eliyi, Dr. Orkun Karabaşoğlu, Araş. Gör. Cansu Yurtseven, Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Nemport Konteyner Terminali'ndeki trafik sıkışıklığını azaltacak etkili bir trafik yönetimi ve sinyalizasyon gerçekleştirerek liman girişinde ve liman içerisinde oluşan kuyruklardaki araç bekleme ve konteynerlerin gemilere gecikme sürelerini en aza indirmektir. Bu problemin çözümü için dışarıdan gelen araçlara yönelik sıralama elde etmek amacıyla tam sayılı programlama modeli ve sezgisel yöntemler uygulanmış ve bu sıraya bağlı olarak bir randevu sistemi geliştirilmiştir. Elde edilen araç sıralamaları, randevu sistemi ve fayda sağlayacağı öngörülen elektronik sistemlerin sağlayacağı iyileştirmelerin gözlemlenebilmesi için kesikli olay benzetim modeli geliştirilmiştir. Tasarlanan karar destek sistemi sayesinde Nemport, uygun sıraya göre dış araçlara randevu atayabilecek ve trafik durumunu gözlemleyebilecektir.

Anahtar kelimeler: Konteyner terminali, trafik sıkışıklığı, araç sıralama, kesikli olay benzetim modeli, karar destek sistemi

1. Genel Sistem Analizi

2009 yılının Ekim ayında hizmet vermeye başlayan Nemport, Ege Bölgesi'nin %100 Türk sermayeli ilk özel konteyner limanıdır. Nemport Limanı, Ege bölgesinin yükselen sanayi ve endüstri değeri olan İzmir'in Aliğa ilçesinde bulunan Nemrut körfezinde faaliyet göstermektedir. Doğal liman derinliği ve geniş hinterland potansiyelinin yanı sıra, demiryolu ve karayolu seçenekleri ile önemli bölgelere yakınlığı sayesinde, yüksek kalitede entegre lojistik hizmeti sunmaktadır. Nemport'a uğrak yapan hatlar aracılığıyla dünya üzerindeki her ülke ile ticaret yapabilmektedir. Nemport Şirketi, MSC, Hapag-Lloyd, CMA CGM ve diğer bir çok firma ile çalışmaktadır. Konteyner limanlarında elleçleme faaliyeti yapılmaktadır. Nemport Limanı da diğer konteyner limanları gibi elleçleme ve CFS hizmeti verir. CFS, konteyner yük istasyonu anlamına gelmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistemin analizi

Nemport terminalinde, bir ön giriş alanı, bir adet giriş kontrol noktası, rıhtım ve liman içerisinde A, B ve C sahası olmak üzere üç adet depolama alanı bulunmaktadır. A sahası A1, A2, A3 ve A4 olmak üzere 4 ve C sahası C1, C2, C3 ve C4 olmak üzere 4 bloktan oluşmaktadır.

Limanda gerçekleşen yük aktarımları için bir çok araç kullanılır. Nemport'a ait 23 iç araç, gemilerden tahliye edilen konteynerleri ilgili sahalara taşımak ve liman içinden dolu konteynerleri alıp gemilere taşımak için kullanılır. Limana giriş-çıkış yapan dış araçlar ise dışarıdan dolu konteynerlerle gelip, liman içerisine konteyner bırakıp boş olarak çıkabilir ya da tekrar ithal ya da boş konteyner yüklenilip dolu olarak çıkabilir. Limana konteyner bırakmak için dışarıdan gelen araçlar giriş kontrol noktasında işleme tabi tutulur. C sahası haricinde diğer sahalara gitmek için gelen araçlar doğrudan içeri alınırken, içeri C Saha için giren

araçlar, liman içinde C Saha girişinde sıralanarak işlem sırasına alınırlar. C sahası içerisinde trafik akışını yönlendirmek için otomasyon sistemi bulunduran tek sahadır.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Mevcut sistem gözlemlendiğinde trafik sıkışıklığına ve konteyner gecikmelere sebep olan bazı durumlarla karşılaşılmıştır. Liman alanının dar ve limana giriş çıkış yapan araç sirkülasyonunun fazla olmasından dolayı trafik sıkışıklığı sorunu yaşanmaktadır. Liman giriş alanının yeterli büyüklükte olmaması ve dışarıdan konteyner almak ve bırakmak için gelen araçların geliş zamanlarının belirsizliğinden dolayı girişte uzun kuyruklar oluşmaktadır. Liman içi araçlara geçiş önceliğinin sınırlandırıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum gemiye konteyner yükleme ve boşaltma işlemi gerçekleştirmesi gereken iç araçların bu işlemlerinin gecikmesine neden olabilmektedir. Liman içinde bulunan dışarıdan gelen araç sayısı için hiçbir sınırlama yoktur. Bu durumun limanda trafik sıkışıklığına neden olduğu gözlemlenmiştir. C sahasındaki Lastikli Gezer vinçlerin (RTG) ve blokların isimlendirilmesinden kaynaklanan bir karışıklık tespit edilmiştir. RTG vinçler ile sahanın blok numaraları birbirine ters olarak eşleştirilmiştir. Bu şekilde araç yanlış bir bloğa yönelindiğinde, C sahası içerisindeki yolun tek yönlü olmasından dolayı aracın çıkış yolundan geçerek tekrar saha girişine geri dönmesi gerekmektedir. Bu gibi hatalar yüzünden de gecikmeler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca C sahasındaki ışıklandırmanın ve yönlendirmenin yetersizliği kamyonların yanlış bloğa yönelmesine neden olmaktadır.

2.3 Problemin tanımı

Nemport Limanına giriş-çıkış yapan ve bu liman içerisinde hareket eden araçlar, limanın yeterli genişlikte bir alana sahip olmamasından dolayı liman alanlarında, liman yolunda ve giriş kapısında yoğun bir trafik sıkışıklığına neden olur. Bu trafik sıkışıklığı,

konteynerlerin zamanında sahalara ya da gemiye ulaşamıyor olmasından dolayı şirket için mali kayıplara sebep olabilmektedir. Bu projede amaç, liman içinde başarılı bir trafik yönetimi ve sinyalizasyon gerçekleştirmektir. Yapılmak istenen öncelikli unsurları dikkate alarak liman giriş-çıkış alanları ve liman içi sahalarda trafik yönetim sisteminin verimliliğini arttırarak hem konteynerlerin hareketlerindeki gecikmeyi hem de araç bekleme sürelerini en aza indirmektir.

Problemin performans ölçütleri konteynerlerin gemilere gecikme süresi, araçların liman içerisinde bekleme süresi ve liman girişindeki araç bekleme süresinin azaltılması, trafiğin boyutunun kontrol altına alınması ve yönlendirilebilirliğin sağlanmasıdır.

2.4 Teknik yazın taraması

Problemin tanımlanmasından sonra modelimizi geliştirmek için teknik yazın taraması yapılmıştır. K.H. Kim ve diğerleri (2003), kamyonların gecikme maliyetini en aza indirmek amacıyla sıralama yöntemleri üzerinde çalışmıştır. Bu makalede dinamik programlama, ilk giren ilk çıkar kuralı, tek yönlü seyahat kuralı, en yakındakine ilk hizmet kuralı ve en kısa işlem süresi kuralı karşılaştırılmıştır. V. Sels ve diğerleri (2011) çalışmasında ise atölye tipi çizelgeleme modeli ele alınmıştır ve bu çizelgeleme modelinin amacı ise tamamlama süresi minimize edilmiştir. Statik ve dinamik iş girişleri arasındaki performans kalitesini kontrol etmek için işlerin dinamik gelişlerinin etkisi araştırılmıştır. M.-H. Phan ve K.H. Kim (2015)'nin yaptığı çalışmada ise, trafik sıkışıklığı analiz edildi. Yapılan model, kamyonların geliş zamanlarını yeniden belirlemeye çalışmış, böylece gecikme maliyetinin en aza indirilebileceği düşünülmüştür. Bu çalışmada yapılan gemi operasyonlarını önceliklendirme de projemiz için önemli bir fikir oluşturmuştur. D. Ambrosino ve L. Peirano (2015), bir limandaki kamyonların girişlerinin yönetimini ve gerekli olmayan bir Kamyon Randevu Sisteminin

uygulanmasını ele almıştır. Sonuçlar, modelin, araçların geliş dağılımını düzeltmede etkili olduğunu göstermiştir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Dışarıdan konteyner terminaline gelen her aracın önceden belirlenmiş bir rotası olduğu bilgisine dayanarak dış araçlara terminal girişinde bir sıra sağlamak amacıyla atölye tipi çizelgeleme (ATÇ) problemine uygun bir karmaşık tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Ayrıca Nempot Limanının spesifik özelliklerine göre uyarlanmış kesikli-olay benzetim yaklaşımına sahip, dinamik ve stokastik, detaylı bir trafik yönetimi benzetim modeli oluşturulmuştur. Birçok değişkene sahip karmaşık sistemleri modellemek ve gözlemek için benzetim yöntemi kullanılmaktadır.

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Matematiksel modele ait varsayımlar; bütün araçlar işlem görmek ve bütün makineler işleri işlemek için aynı anda hazır durumdadır ve birbirinden bağımsızdır, araçların işlem görme süreleri deterministiktir, başlayan her işlem tamamlanana kadar devam etmek zorundadır ve iç araçların gördükleri işlemlerin dış araçları etkilemediği varsayılmıştır.

Sistemin kesikli-olay benzetim modeline ait kısıtları ve varsayımları ise; limanın çalışma saatleri, iç araçlar için 7x24 ve dış araçlar için 08:00-23:00 arasındadır, dışarıdan gelen araçların liman girişine varışlarının dağılımı Poisson olarak kabul edilmiştir, araçların geri manevra yapamadıkları varsayılmıştır, liman içindeki araçların ve vinçlerin bozulma ihtimalleri sıfır olarak kabul edilmiştir, liman sahasının genişletilmesi mümkün değildir ve liman içindeki araç rotalarında ve otomasyon sistemlerinde herhangi bir değişiklik yapılamamaktadır.

3.2 Matematiksel model

Oluşturulan tam sayılı matematiksel modelin parametre, karar değişkenleri ve formülasyonu aşağıda verilmiştir.

Parametre ve karar değişkenleri

M = Makine Kümesi, $i \in M, i \in \{1, 2, \dots, m\}$

J = Araç Kümesi, $j \in J$

P_{ij} = j aracının i makinesinde geçirdiği işlem süresi

TP = Toplam işlem süresi

C_j = j aracının sistemde geçirdiği toplam süre

X_{ij} = j aracının i makinesinde işleme başlama zamanı

$Z_{ijk} = \begin{cases} 1, & j \text{ aracı } i \text{ makinesinde } k \text{ araçından hemen önce işleme alınır,} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

Oluşturulan matematiksel model aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min } \sum_{j=1}^J C_j \quad (1)$$

Koşulu ile

$$C_j \geq X_{mj} + P_{mj} \quad \forall j, m \quad (2)$$

$$X_{hj} \geq X_{(h-1)(j)} + P_{(h-1)(j)} \quad \forall j \in J, h = 2, \dots, m \quad (3)$$

$$X_{ij} \geq X_{ik} + P_{ik} - TP * Z_{ijk} \quad \forall j, k \in J, j < k, i \in M \quad (4)$$

$$X_{ik} \geq X_{ij} + P_{ij} - TP * (1 - Z_{ijk}) \quad \forall j, k \in J, j < k, i \in M \quad (5)$$

$$Z_{ijk} + Z_{ikj} \leq 1 \quad \forall i, j, k \in J, i \in M \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J Z_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in J, i \in M \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^J Z_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \in J, i \in M \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^J Z_{ijk} = m - 1 \quad \forall i \in M \quad (9)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall j \in J, i \in M \quad (10)$$

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

Modelin amaç fonksiyonu (1), araçların limanda geçirdiği toplam süreyi en aza indirmektedir. Kısıt (2), her bir araç için ayrı ayrı olacak şekilde, aracın limanda geçirdiği süreyi hesaplar ve bunu hesaplarken o aracın işleme başlama süresi ile makinelerde geçirdiği işlem sürelerini toplar. Kısıt (3), aracın bir makinedeki işlemini bitmeden diğer bir

makinede işleme başlamasını önler. (4) ve (5) numaralı kısıtlar, bir makinede aynı anda birden fazla aracın işlem göremeyeceğini gösterir ve sıralamada hangi aracın hangi araçtan önce gelmesi gerektiğine karar verir. Kısıt (6), 2 farklı aracın aynı anda birbirinin öncülü olma durumu engeller. Kısıt (7), bir aracın öncülü en fazla bir araç olabilir. Kısıt (8) her bir aracın arkasında en fazla bir aracın olma durumunu kısıtlar. Kısıt (9), bir makinede sıralama yapılırken toplam araç sayısının bir eksiği kadar öncüllük tanımlanabildiğini açıklar. (10) ve (11) numaralı kısıtlar, sürekli karar değişkenlerinin tanım kümelerini ifade eder.

3.3 Benzetim modeli

Benzetim modeli, bir benzetim aracı olan Systems Modeling Corporation adlı bir firmanın geliştirdiği Arena yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir ve araç gelişi, araçların ilgili alanlara gidiş/dönüşü, operasyon süreçleri ve bekleme süreçleri aşamalarından oluşmaktadır. Nempport tarafından verilen 9 günlük veri kullanılarak bir girdi analizi yapılmıştır. Nempport Limanı, dışarıdan gelecek araçlar için 08:00-23:00 saatleri arasında hizmet vermektedir.

Benzetim modelinde kullanılan parametreler; dışarıdan gelen araçların varış oranı (λ), Nempport şirketine ait iç araç sayısı, liman girişinde yapılan kayıt işlemi için harcanan süre, rıhtıma yanaşan gemi sayısı, gemilerin beklenen varış ve kalkış saatleri, gemilerden boşaltılan ve gemilere yüklenen konteyner sayıları, liman içi konteyner operasyon süreleridir. Mevcut durum için oluşturulan kesikli-olay benzetim modelinin akış süreçleri iki kısımda anlatılmıştır.

Dış araç akış süreci: Süreç, dış araçların liman giriş alanına λ ile Poisson sürecine göre gelmesiyle başlamaktadır. Kapıda kuyruk varsa araç kuyruğun sonuna geçirilir ve önündeki araçların kayıt işlemleri tamamlanana kadar kuyrukta bekletilir. Kayıt sürecinden sonra araçlar ilgili alanlara yönlendirilir. İlgili alanda bekleyen başka araç ya da araçlar

var ise araç kuyruğunun sonuna geçirilerek kuyruk sayısı bir artırılır ve bekleme yaptırılır. Saha bloklarında işlemi biten araçlar eğer başka bir sahada işlemi varsa o sahaya yönlendirilir yoksa araçlar sistemden ayrılır.

İç araç akış süreci: Süreç geminin konteyner boşaltım/yükleme işlemleri için limanın rıhtımına yanaşması ile başlar. İç araçlar birer birer gemiden konteynerleri alarak ilgili alana konteynerleri bırakır. Bu süreç gemiden boşaltılması gereken konteyner sayısı tek tek düşürülerek sıfır olana kadar devam eder. Boşaltılma sürecinin bitmesinin ardından dolum süreci başlar. Konteyner bırakım/alım yapmak için sahalara giden iç araçlar, dış araçlara göre sahalardaki operasyonlarda önceliğe sahiptir.

3.4 Trafik Sinyalizasyon ve Yönlendirme Sistemi Tasarımı

Liman içerisinde, C sahasındaki araçların yanlış bloklara yönelmesini önlemek amacıyla güneş enerjili yol butonları kullanılabilir. Bu güneş enerjili yol butonlarının, araç hızları ve C sahası içerisindeki mesafeler göz önünde bulundurularak 4 metre aralıklarla toplamda 130 adet döşenmesi uygun görülmektedir. Bu durumun, %5 olan hata oranını %0'a kadar düşürebileceği öngörülmektedir. Ayrıca liman girişine, içeri giren araç sayısını tutan sayaçlar ve buna bağlı olarak araç kapasite bilgisini gösteren led paneller yerleştirilerek liman içerisinde bulunan araç sayısının kontrolü sağlanabilir.

3.5 Çözüm yöntemi

Geliştirilen matematiksel model, mikro veriler ile IBM ILOG CPLEX Optimizasyon Studio 12.8.0 yazılımı kullanılarak çözüme ulaştırılmıştır. Tipik atölye tipi çizelgeleme problemi, *NP-zor* problemler sınıfında olduğundan dolayı makul sürelerde problemlere en iyi çözümü bulmak zordur. Bu sebeple daha kısa hesaplama süresiyle en iyi çözüme yakın çözümler elde etmek amacıyla sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Bu problem kapsamındaki en uygun sezgisel yöntemi

belirlemek için, NYU tarafından geliştirilmiş, bir çizelgeleme yazılımı olan LEKIN kullanılmıştır. Bu yazılımda, en kısa işlem süresi, en uzun işlem süresi, ilk giren ilk çıkar, lokal arama ve değişken darboğazlı sezgisel çözüm yöntemleri denenmiştir. Lokal arama yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir.

LEKIN yazılımı kullanılarak oluşturulan araç sıralarının yanı sıra matematiksel modelden elde edilen sonuçlar baz alınarak bir kural tabanlı araç sıralama yöntemi yaratılmıştır. Bu yöntemde amaç, aynı saha bloğuna gidecek araçların arka arkaya sıralanmasını engellemek ve araçların saha ve bloklara göre dağılımına uygun olarak orantılı bir biçimde araçları sıralamaktır. Matematiksel modelde farklı C bloklarına gidecek 2 araç ve sonrasında A bloğuna gidecek 1 araç ya da farklı C bloklarına gidecek 3 araç ve sonrasında A bloğuna gidecek 1 araç şeklinde bir sıralama bulunmaktadır. Bu sıralama baz alındığında; A ve C sahasına gidecek olan araçlar kendi içerisinde eşit olasılıklarla saha bloklarına gideceği için oluşturulan algoritmada bu bloklara gidecek cinsteki araçlardan eşit miktarda olmasını sağlamak amacıyla 13'lük bir kalıp sıra elde edilmiştir. Bu sırada toplam araçların %69.23'ü yani 9 adedi C sahasına ve %30.77'si yani 4 adedi A sahasına gidecektir. Elde edilen kalıp sıra ile 2080 araç için bir döngü sağlanmıştır. Bu döngü içerisinde gelen araçların arasından sıralamada bulunması gereken bloğa gidecek araç yoksa algoritma, bir sonraki sırada bulunan bloğa gidecek araç varsa onu sisteme almaktadır. Bu algoritma, Visual Basic for Application programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Aynı zamanda bu araç sıralarının uygulanabilirliğini arttırmak, liman giriş kapısındaki tıkanıklığı hafifletmek, kamyonların rastgele gelişlerini kontrol edebilmek ve limanın yoğun saatlerinde giriş yapacak olan kamyon sayısını düzenleyebilmek amacıyla VBA programı kullanılarak bir randevu sistemi geliştirilmiştir. Randevu sisteminde;

8:00-23:00 saatleri arası olan limanın çalışma zamanları 15 saat aralığına bölünerek araçlara bu 1 saatlik zaman aralıklarında randevular verilmiş; rıhtıma gemi yanaştığı saat aralıklarında saatlik 10 araca ve rıhtımda gemi bulunmadığı saat aralıklarında saatlik 20 araca randevu verilmiştir.

En iyi sonuç veren sezgisel yöntem ve kural tabanlı yöntem ile elde edilen araç sırası ve randevu sistemi, oluşturulan benzetim modeline girdi olarak aktarılarak, dinamik ve iç araçların da etkili olduğu durumda çıktıların nasıl sonuç vereceği ve değişeceği gözlemlenmiştir.

4. Sayısal Sonuçlar

Oluşturulan kural tabanlı yöntemin doğru işlediğini kontrol etmek amacı ile matematiksel modelin çözüm sağlayabildiği 20 araçlık veri benzetim modeline girilerek matematiksel model ile kural tabanlı yöntemin çıktıları Tablo 4.1’de karşılaştırılmıştır ve sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple 2080 araç için matematiksel model uygulanamayacağından kural tabanlı yöntemin uygulanması uygun görülmüştür.

Tablo 4.1 Matematiksel Model ve Kural Tabanlı Yöntemin Karşılaştırılması

		Matematiksel Model	Kural Tabanlı Yöntem
Sahalardaki Dış Araç Bekleme Süresi (dk.)	A1	0,99	0,99
	A2	0,75	0,75
	A3	0	0
	A4	1,69	1,69
	B	1,26	1,27
	C1	1,25	1,29
	C2	1,62	1,90
	C3	1,73	1,85
Liman Girişindeki Kuyruk Bekleme Süresi (dk.)		2,67	2,74

Arena Simülasyon programında 9 günlük bir data ile oluşturulan benzetim modelinden elde edilen konteynerlerin gemilere gecikme süresi, dış ve iç araçların sahalardaki bekleme süreleri ve dış araçların

liman girişindeki kuyrukta bekleme süresi çıktıları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Yöntem Bazlı Gecikme ve Bekleme Sürelerinin Karşılaştırılması

Kullanılan Yöntemler	Gemi Gecikme Süresi (dk.)	Dış Araç Bekleme Süresi (dk.)			İç Araç Bekleme Süresi (dk.)			Liman Girişindeki Kuyruk Bekleme Süresi (dk.)
		A Sahası	B Sahası	C Sahası	A Sahası	B Sahası	C Sahası	
<i>Mevcut Durum</i>	25,7	1,41	3,07	16,88	1,59	2,08	2,88	67,94
<i>İlk Giren İlk Çıkar Yöntemi</i>	15	1,33	3,01	10,80	0,88	1,32	2,78	31,06
<i>Lokal Arama Yöntemi</i>	9	1,20	2,65	7,06	0,78	1,27	2,61	14,12
<i>Kural Tabanlı Yöntem</i>	4,4	0,81	2,34	3,48	0,59	1,23	1,83	9,07

Tablo 4.3 Sürelerin Mevcut Duruma Göre İyileşme Oranları Karşılaştırılması

Kullanılan Yöntemler	Gemi Gecikme Süresindeki İyileşme Oranı	Dış Araç Bekleme Süresindeki İyileşme Oranı	İç Araç Bekleme Süresindeki İyileşme Oranı	Liman Girişindeki Kuyruk Bekleme Süresindeki İyileşme Oranı
<i>İlk Giren İlk Çıkar Yöntemi</i>	% 41,6	% 29,1	% 24,0	% 54,3
<i>Lokal Arama Yöntemi</i>	% 65,0	% 48,9	% 28,8	% 79,2
<i>Kural Tabanlı Yöntem</i>	% 82,9	% 68,9	% 44,2	% 86,6

Tablo 4.3’de ise gecikme ve bekleme sürelerinin mevcut duruma göre iyileşme oranları verilmiştir. Tablolarda da görüldüğü üzere mevcut durum haricinde uygulanan randevu sisteminin etkisinin gözlemlenebilmesi için ilk giren ilk çıkar yöntemi, sezgisel yöntemler arasından en iyi sonucu sağlayan lokal arama yöntemi ve matematiksel

modelden yola çıkılarak oluşturulan kural tabanlı yöntem olmak üzere 3 farklı performans ölçütü benzetim modeli üzerinde denenmiştir.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Benzetim modeli geliştirme sürecinde doğrulama amacıyla, her bir modül hata ayıklama aracı ile adım adım izlenmiştir. Oluşturulan modelin geçerliliğini kanıtlamak amacıyla şirketten alınan mevcut durum verileri ve bu benzetim modeli çıktıları karşılaştırılmıştır. Dış araçların gidecekleri sahalara göre karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 4.1.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1.1 Dış Araç Sayılarının Sahalara Göre Karşılaştırılması

Sahalar	Mevcut Durum	Benzetim Modeli
A1	168	160
A2	168	160
A3	168	160
A4	144	160
C1	506	480
C2	503	480
C3	503	480
Toplam	2160	2080

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla problemin çözümü ile oluşturulan karar destek sisteminin entegrasyonu sağlanmıştır. Karar Destek Sistemi kullanıcının belirlenen araç sırasına uygun olarak araçlara randevu atmasına ve trafik durumunu gözlemlemesine olanak vermektedir. Kullanıcı ana ekranı Şekil 4.2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1 Karar Destek Sistemi kullanıcı ana ekranı

Şekil 4.2.2’de gösterilen arayüz ile, randevusu oluşturulacak araç bilgileri, taşıdığı konteyner markası, konteyner numarası ve gidecekleri alanlar, sisteme kaydedirilir.



Şekil 4.2.2 Karar Destek Sistemi arayüzü

Sisteme kaydedilme işleminin ardından aynı arayüzde sunulmuş olan, araçlara ait istatistik bilgilerinde hangi alan ve bloğa gideceğine bağlı olarak bir değişim gözlemlenir. Ayrıca gemi bilgisine göre gemilerin geliş tarihleri ve günlük araç kapasiteleri sisteme parametre olarak girilebilmektedir. Bütün girdiler sağlandığında geliştirilen kural tabanlı yöntem ile sağlanan sıralamaya göre randevu saatleri atanır. Bu saatler atanırken gemilerin limana yanaşma tarihinden en geç 2 gün öncesine kadar giriş yapması gerektiği durumu göz önüne alınmıştır. Randevu zamanlama işleminin ardından açığa çıkan tarih bölmesinden seçilen tarih ile o güne ait araç sırası ve randevu saatlerine kolaylıkla ulaşılabilir. Tüm bunlara ek olarak rezervasyon tamamlandıktan sonra liman sahalarındaki araç hareketliliği de gözlemlenebilmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu proje, bir konteyner terminalindeki araçların bekleme sürelerini, konteynerlerin gemilere gecikme sürelerini ve araçların liman içerisinde geçirdikleri süreleri en aza indirmek ve sistemi iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Bu performans kriterlerine dayanarak dışarıdan gelen araçları

sıralamak amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir. Araç sayısı arttıkça matematiksel model ile en iyi sonuca ulaşma süresi giderek artmıştır. Bu sebeple kullanılan sezgisel yöntemler ve matematiksel model baz alınarak oluşturulan kural tabanlı sıralama yöntemi arasından kural tabanlı sıralama yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği, oluşturulan kesikli-olay benzetim modelinde gözlemlenmiştir. Elde edilen sıralama algoritması ve araç bilgilerine dayanarak VBA üzerinden kullanıcının kolayca kullanabileceği bir araç randevu sistemi oluşturulmuştur. Her konteyner terminali kendine has bir yerleşim yapısına sahip olduğundan dolayı bu proje Nempport Terminali'ne uygun olarak tasarlanmıştır. Fakat oluşturulan randevu sistemi farklı terminallere adapte edilebilir olması sayesinde diğer konteyner terminallerine de uygulanabilir.

KAYNAKÇA

Ambrosino, D. ve Peirano, L. (2015). *Truck Arrival Management At Maritime Container Terminals*. ECMS, Sayfa 114-120

Sels, V., Vanhoucke, M., Gheysen, N. (2012) , *A comparison of priority rules for the job shop scheduling problem under different flow time- and tardiness-related objective functions*, Taylor & Francis, 2011, Sayfa 1.

Phan, M. H., & Kim, K. H. (2015). *Negotiating truck arrival times among trucking companies and a container terminal*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 75, 132-144.

Kim K. H., Lee K.M., Hwang H. (2003), *Sequencing delivery and receiving operations for containers terminals*. International Journal of Production Economics 84(3): 283-292

NYU, LEKIN® – Flexible Job-Shop Scheduling System, <http://web-static.stern.nyu.edu/om/software/lekin/> , 18 Nisan tarihinde erişilmiştir.

Üretim ve Kapasite Planlama

Schneider Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Fatih Akamca, İrem Amaç
Ece Başar, Elif Ercan
Alper Uyar, Nilay Yapıcı
Pınar Yunusoğlu

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Ender Uymaz

Akademik Danışman

Prof. Dr. Deniz Türsel Eliyi
Öğretim Görevlisi Sel Özcan Tatari
Araştırma Görevlisi Sinem Özkan

ÖZET

Bu projede Schneider Elektrik/Manisa fabrikasının üretim ve kapasite planlama problemi ele alınmıştır. Projenin amacı mevcut kapasiteyi etkili bir biçimde kullanarak geciken ve erken üretilen müşteri siparişleri en aza indirgeyen bir üretim planı oluşturmak ve mevcut sistemde manuel olarak oluşturulan üretim planı için harcanan zamanı en aza indirmektir. Ele alınan problem için öncelikli hedef programlama modeli geliştirilmiştir ve model IBM ILOG CPLEX çözücüsünde çözülmüştür. Ayrıca, büyük verilerde kısa sürede en iyiye yakın çözüme ulaşabilmek için sezgisel yöntem geliştirilmiştir ve bu yöntem Excel VBA'de kodlanmıştır. Proje sonunda, şirkete en iyi/en iyiye yakın üretim planını otomatik olarak sağlayan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Üretim planlama, optimizasyon, öncelikli hedef programlama, karar destek sistemi

1. Genel Sistem Analizi

Schneider Elektrik, 1836'dan beri enerji yönetiminde küresel bir uzman olarak kabul edilmektedir. İzmir'de ilk olarak 1997 yılında Kemalpaşa'da kurulan Schneider Elektrik fabrikası, 2009 yılında Manisa Organize Sanayi Bölgesi'ne taşınmıştır. Şirket müşterilerinin talebini karşılayabilecek geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Bu proje kapsamında, mevcut üretimin çoğunu kapsayan, 7 ana devre kesici ürün için üretim planlaması yapılmıştır.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistemin analizi

Schneider Elektrik müşteri siparişleri ve stok için üretim yapmaktadır. Şirket mevcut üretim planlama sisteminde, müşteri siparişlerinin üretim tarihini belirlemek için sezgisel bir karar sistemi kullanmaktadır. Üretim planı, üretim planlama mühendisinin tecrübesine dayalı, öngördüğü kurallar doğrultusunda, her gün manuel olarak hazırlanmaktadır. Üretim planı üretim hatlarının kapasitesine ve siparişlerin teslim tarihine göre oluşturulmaktadır. Bir üretim hattının kapasitesi, o hatta bir günde üretilebilecek maksimum ürün sayısıdır. Şirket için mevcut kapasiteyi en etkili biçimde kullanarak müşteri siparişlerini zamanında üretmek önem taşımaktadır. Ancak mevcut üretim planlama yaklaşımı bu amacı sağlayan en iyi çözümü verememektedir.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Mevcut üretim planlama yaklaşımıyla günlük üretim planının hazırlanması doksan (90) dakika sürmektedir. Geçmiş planlar analiz edildiğinde, müşteri siparişlerinin sadece %8,71'inin zamanında teslim edildiği, siparişlerin %12,86'sının geciktiği ve kalan %78,43'ünün ise erken üretildiği gözlemlenmiştir. Özellikle geciken siparişler müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyebildiği için şirket, tam zamanında

üretim yapmayı hedeflemektedir. Ayrıca, erken üretilen ürünlerin ise öngörülmeven envanter maliyetlerine sebep olduğu bilinmektedir. Sonuç olarak, mevcut üretim sistemindeki ilk semptom, geciken ve erken üretilen müşteri siparişlerinin fazlalığı, ikinci semptom ise planlama sürecinde etkin bir sistematik yapının eksikliğinden kaynaklı zaman kayıplarıdır. Bu proje kapsamında mevcut üretim planlama süresinin ve oluşturulan üretim planının iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

2.3 Problemin tanımı

Bu proje kapsamında ele alınan problemde, müşteri siparişlerinin teslim tarihi ve sipariş miktarı dikkate alınarak ilgili üretim hattının/hatlarının kapasitesini aşmadan her gün hangi sipariştan ne kadar üretim yapılacağına karar verilmektedir. Böylece her müşteri siparişi için üretim tarihi belirlenerek üretim planı oluşturulmaktadır. Bu bakımdan ele alınan problem kapasiteli parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme probleminin özel hali olarak tanımlanabilir. Problemde öncelikli amaç, müşteri siparişlerinde toplam gecikme ve erken üretmeyi enazlayarak siparişlerin zamanında üretilmesini sağlamak ve ikincil olarak toplam bölünen müşteri siparişi sayısını enazlamaktır.

2.4 Teknik yazın taraması

Bu projede ele alınan problem için teknik yazın taraması yapılmıştır. Karimi vd. (2003), parti büyüklüğü belirleme problemlerini, türlerini ve çözüm yaklaşımlarını incelemiştir. Sawik (2003), toplam gecikme, geciken sipariş sayısı, maksimum gecikme ve gecikmeli çalışma oranının enazlanmayı hedeflemiştir. Gicquel vd. (2008) de kapasiteli parti boyutu belirleme problemlerini ve türevlerini incelemiştir.

Literatürdeki çalışmalarda, parti büyüklüğü belirleme problemi NP-zor olarak sınıflandırıldığı için, çözüm yöntemi olarak sezgisel yöntemler kullanılmıştır (Karimi vd. (2003), Gicquel vd. (2008)).

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Her üretim hattının günlük üretim kapasitesi adet cinsinden bilinmektedir ve bu değer parametre olarak alınmıştır. Matematiksel model ile sadece müşteri siparişlerinin üretim miktarına karar vermektedir. Hattın kapasitesinin tam kullanılmadığı durumda, üretim planlama mühendisi boş kapasiteyi stoğa üretilecek olan siparişlerle doldurmaktadır. Operatörler için mesai ve dış kaynak kullanımı yoktur. Üretim için gerekli olan malzeme ve ekipmanların üretimden önce doğru zamanda ve doğru miktarda hazır olacağı varsayılmaktadır.

3.2 Problem formülasyonu ve çözüm yöntemi

Mevcut sistemin analizi ve sistemde gözlenen semptomlara bağlı olarak, şirkete en iyi çözümü sunabilmek için matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin set, parametre ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmıştır.

3.2.1 Setler, parametreler ve karar değişkenleri

I = Ürün grubu seti

T = Periyot (gün) seti

N = Müşteri siparişleri seti

$N_i = i$. ürün grubuna ait müşteri siparişleri $N_i \subseteq N$

K = Üretim hatları seti

$L_k = k$. üretim hattında üretilen müşteri siparişleri seti $L_k \subseteq N$

α = Her sipariş için günlük gecikme katsayısı

$Cap_{kt} = k$. üretim hattının t günündeki üretim kapasitesi (adet/gün)

$d_n = n$. müşteri siparişinin teslimat tarihi

$q_n = n$. müşteri siparişinin miktarı (adet)

t^{last} = Planlama periyodunun son günü

M : Büyük sayı

$X_m = t$ gününde n . müşteri için üretilen ürün sayısı

$Y_{nt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } X_m > 0 \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$

$$\rho_{nt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } n. \text{ müşteri siparişinin } t \text{ gününde üretimi tamamlanırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$Tard_n = n.$ müşteri siparişinin gecikme miktarı (gün)

$Earl_n = n.$ müşteri siparişinin teslim tarihine göre erken üretilme miktarı (gün)

3.2.2 Matematiksel model

Problemde birden fazla amaç olması ve amaçlar arasında önem derecesi bulunduğundan, öncelikli hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min } P_1 \left(\sum_{n=1}^N \alpha Tard_n + \sum_{n=1}^N (1-\alpha) Earl_n \right) + P_2 \left(\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T Y_{nt} \right) \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam bölünmüş müşteri siparişi sayısını ve gün başına ceza katsayısıyla toplam erken üretme ve gecikmeyi enazlamaktadır. P_1 ve P_2 bu amaçlar için öncelik faktörleridir. Bu proje kapsamında öncelikli olan amaç, siparişlerdeki toplam gecikmeyi ve erken üretmeyi enazlayıp, siparişleri zamanında üretmektir. İkinci amaç ise bölünen sipariş sayısını enazlayarak, ayar maliyetini azaltmaktır. Bu yüzden problemimiz iki aşamalı bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır.

İlk aşamada, siparişlerde gecikme ve erken üretmeyi enazlayan model çözülmüştür. Öncelikli hedef programlama modelinin ilki aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min } L = \sum_{n=1}^N \alpha Tard_n + \sum_{n=1}^N (1-\alpha) Earl_n \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{n \in L_k} X_{nt} \leq Cap_{kt} \quad \forall k, \forall t \quad (3)$$

$$X_{nt} \leq MY_{nt} \quad \forall n, \forall t \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{nt} = q_n \quad \forall n \quad (5)$$

$$Y_{nt} - Y_{n(t+1)} \leq M \rho_{nt} \quad \forall n, \forall t \in T - \{t^{last}\} \quad (6)$$

$$Y_{n(t+1)} \leq (1 - \rho_{nt}) \quad \forall n, \forall t \in T - \{t^{last}\} \quad (7)$$

$$q_n - \sum_{i=1}^t X_{ni} \leq M(1 - \rho_{nt}) \quad \forall n, \forall t \in T - \{t^{last}\} \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^T \rho_{nt} = 1 \quad \forall n \quad (9)$$

$$Tard_n \geq \left(\sum_{t=1}^T t \rho_{nt} \right) - d_n \quad \forall n \quad (10)$$

$$Earl_n \geq d_n - \left(\sum_{t=1}^T t \rho_{nt} \right) \quad \forall n \quad (11)$$

$$\sum_{n \in N_1} X_{nt} \leq \frac{2}{5} Cap_{kt} \quad \forall t, n \in N_1, k = 1 \quad (12)$$

$$\sum_{n \in N_4} X_{nt} \leq \frac{2}{3} C_{kt} \quad \forall t, n \in N_4, k = 3 \quad (13)$$

$$\sum_{n \in N_5 \cup N_6} X_{nt} \leq \frac{2}{3} Cap_{kt} \quad \forall t, n \in N_5 \cup N_6, k = 3 \quad (14)$$

$$X_{nt} \in Z^+ \cup \{0\} \quad \forall n, \forall t \quad (15)$$

$$Tard_n, Earl_n \in Z^+ \cup \{0\} \quad \forall n \quad (16)$$

$$Y_{nt}, \rho_{nt} \in \{0, 1\} \quad \forall t, \forall n \quad (17)$$

Amaç fonksiyonu (2), toplam gecikme ve erken üretmeyi enazlamaktadır. Kısıt (3) her hat için üretim miktarının en fazla o hattın günlük üretim kapasitesi (adet/gün) kadar olmasını sağlar. Kısıt (4) her müşteri siparişi için o gün üretim yapılıp yapılmadığını kontrol etmektedir. Kısıt (5) her müşteri siparişi için talebin karşılanmasını sağlar. Kısıt (6-9) müşteri siparişinin bölünüp bölünmediğini kontrol eder, bölünen müşteri siparişlerinin ertesi gün üretime devam edilmesini sağlar ve üretim miktarı sipariş miktarına eşit olduğunda siparişin tamamlandığı tarihi verir. Kısıt (10) her sipariş için üretimin tamamlanma tarihi ve teslim tarihi arasındaki farkı bularak gecikme miktarını (gün) hesaplar, kısıt (11) her siparişin erken üretilme miktarını (gün) hesaplar. Kısıt (12-14) bazı üretim hatlarındaki üretim

kapasiteleriyle ilgili, şirketin talep ettiği özel kısıtlardır. Kısıt (12) spesifik bir ürünün günlük üretim miktarının ilgili hattının kapasitesinin (adet/gün) her gün için %40'ını geçmemesini garanti eder. Kısıt (13) ve (14) farklı iki ürünün günlük maksimum üretim miktarının ilgili hattın üretim hattının kapasitesinin en fazla 2/3'ü kadar olmasını sağlar. Kısıt (15-17) karar değişkenlerinin aralıklarını tanımlar.

İkinci aşamada, bölünen sipariş sayısını enazlayan matematiksel model çözülmüştür. Bu model, ilk modelden farklı olarak amaç fonksiyonu (18) için çözülmüş ve ilk modeldeki kısıtlara ek olarak kısıt (19) eklenmiştir.

$$\text{Min} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T Y_{nt} \quad (18)$$

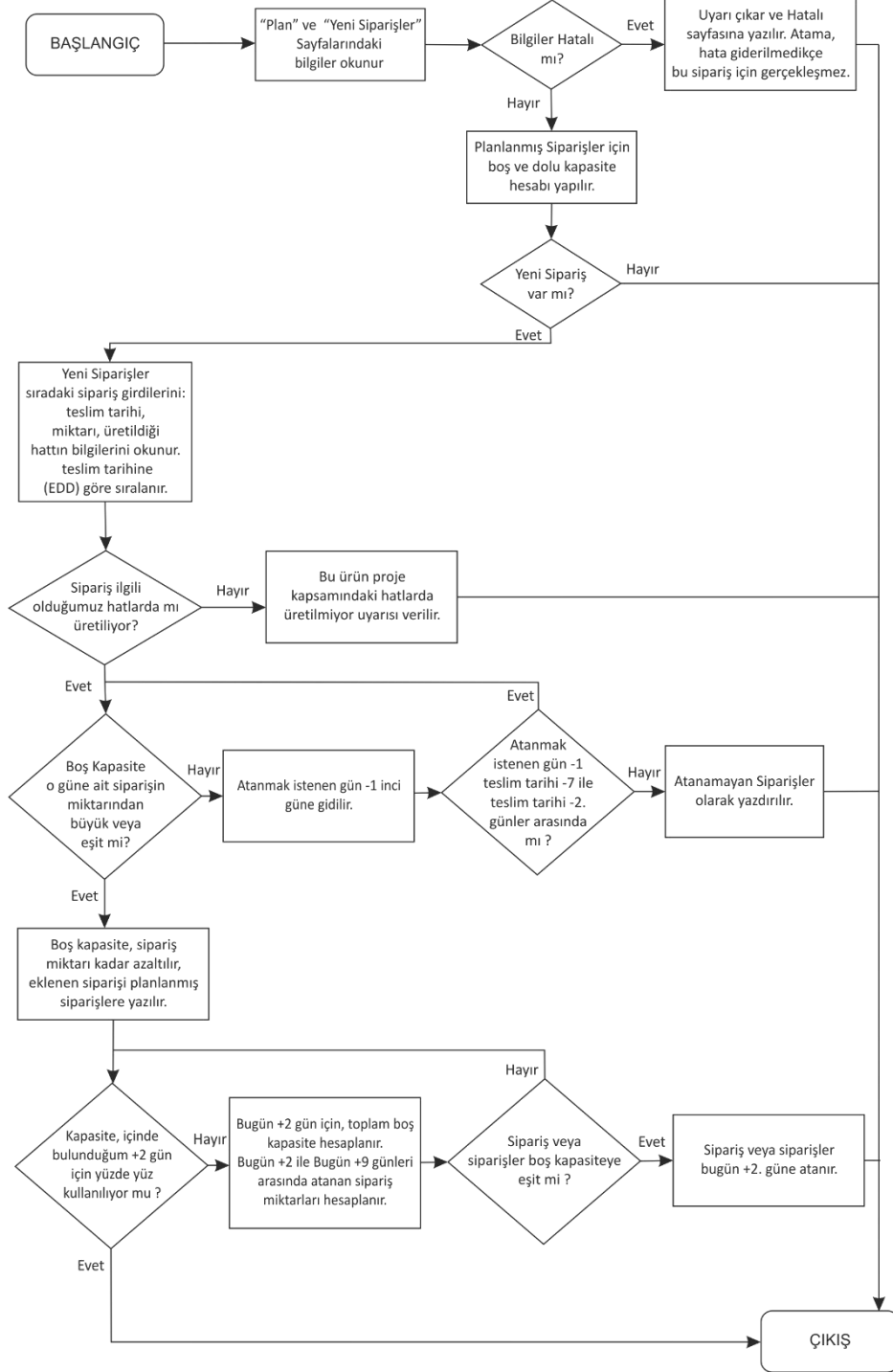
$$\sum_{n=1}^N \alpha Tard_n + \sum_{n=1}^N (1-\alpha) Earl_n \leq L^* \quad (19)$$

Amaç fonksiyonu (18) bölünen müşteri siparişi sayısını enazlamaktadır. Eklenen (19) nolu kısıt, ilk aşamada elde edilen en iyi sonucun korunmasını garanti etmektedir. L^* ilk aşamada ele alınan toplam gecikmeyi ve erken üretmeyi enazlayan modelin en iyi çözümüdür. Kısıt (19) sayesinde ikinci aşamada, ilk aşamadaki çözümü kaybetmeden toplam bölünen sipariş sayısını enazlayan çözüme ulaşılmıştır. Sonuç olarak, öncelikle şirket için öncelikli amaç olan siparişlerdeki toplam gecikme ve erken üretmeyi enazlayan model çözülmüştür. Bu modelin sonucu kullanılarak, toplam bölünen sipariş sayısını enazlayan ikinci model çözülmüştür. Böylece, birden fazla amaç için amaçların öncelik faktörlerine göre en iyi çözüme ulaşılmıştır.

3.2.3 Sezgisel yöntem

Modelin performansı değişik boyutlarda veri setleri ile denendiğinde, büyük boyutlu veri setlerinde çözüm verme süresi çok uzun olduğu için, problemimiz için ikinci bir çözüm yöntemi olan

sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntemin akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sezgisel Yöntem Akış Şeması

Problemin girdileri, daha önceden oluşturulmuş kısmi üretim planı, SAP'den o gün çekilmiş müşteri siparişleri ve üretim hatlarının günlük üretim kapasiteleridir. Geliştirilen sezgisel yöntemde, ilk olarak, verilerin doğruluğu kontrol edilir ve daha önceden planlanmış olan siparişler için boş ve dolu kapasite hesabı yapılır. Yeni siparişler en erken teslim tarihine uygun olarak sıralanır ve her siparişin ilgili hatlarda üretilip üretilmediği kontrol edilir. Siparişler, her hattaki boş kapasitenin, o güne planlanmak istenen siparişteki ürün miktarından büyük veya eşit olup olmadığı kontrol edilerek atanır. Eğer boş kapasite yeterli değil ise, bir önceki günde ilgili hattın boş kapasitesine bakılır ve uygunsuz sipariş o güne planlanır. Bu süreç siparişin ideal üretim gününden beş (5) gün öncesine kadar tekrar eder. Beş gün sonra, eğer hala hattın boş kapasitesi yeterli değil ise, sipariş ilgili günler için planlanamaz ve üretim planlama mühendisine rapor olarak sunulur. Daha sonra, kapasitenin planlama yapılan günde ve sonraki iki (2) günde yüzde yüz kullanılıp kullanılmadığı kontrol edilir. Eğer kapasite yüzde yüz kullanılmıyorsa, planlama gününden 2 gün sonrası ve 9 gün sonrasındaki siparişlere bakılır ve boş kapasitenin tamamını dolduracak olan sipariş ya da siparişler o güne atanır.

Mevcut üretim planlama süresini en aza indirmek için geliştirilen sezgisel yöntem Excel VBA'de kodlanmış, şirketin günlük olarak kullanabileceği dinamik bir üretim planlama arayüzü oluşturulmuştur.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Geliştirilen matematiksel model, küçük bir veri seti için IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3 çözücüsü ile çözülmüş, sonuçların tutarlılığı kontrol edilmiş ve matematiksel model doğrulanmıştır. Modelin performansını test edebilmek için farklı büyüklükte veri setleriyle dört farklı problem oluşturulmuştur. İlk problem için oyuncak veri seti oluşturulmuş, diğer üç problem için şirketten alınan gerçek veri

setleri kullanılmıştır. Test edilen veri setlerinin özellikleri, çözüm süresi ve en iyi çözüme yaklaşma oranı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Problemlerin Çözüm Süreleri ve En İyi Çözüme Yaklaşma Oranları (%)

Problem	Sipariş Sayısı	Ürün Sayısı	Hat Sayısı	Çözüm Süresi (s)	En iyi Çözüme Yaklaşma (%)
1	10	5	3	0,08	0
2	52	8	6	0,19	0
3	144	8	6	50,97	0
4	352	9	6	21600	51,68

Model küçük veri setleri için kısa sürede en iyi çözümü verebilirken, veri setinin boyutu arttıkça en iyi çözümü verme süresi artmaktadır ve çok büyük veri seti için en iyiye yakın çözüm elde edilmektedir. Tablo 1’de verilen Problem 4 için 6 saatlik çözüm süresi sonunda en iyi çözüme ulaşamamıştır, fakat en iyi çözüme %51,68 oranında yaklaşan bir çözüm elde edilmiştir.

Amaç fonksiyonunda yer alan siparişlerin günlük gecikme katsayısı (α) için duyarlılık analizi yapılmıştır. Tablo 1’de karakteristik özellikleri belirtilen problemler, farklı α değerleri için çözülmüştür ve her α değeri için elde edilen toplam gecikme ve erken üretme miktarı (lateness) Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. α için Duyarlılık Analizi

α	Toplam Gecikme ve Erken Üretme (gün)		
	Problem 1	Problem 2	Problem 3
0,2	4	0	13
0,5	4	0	13
0,7	4	0	13
0,9	4	0	13
0,995	4	0	13
1	13	0	646

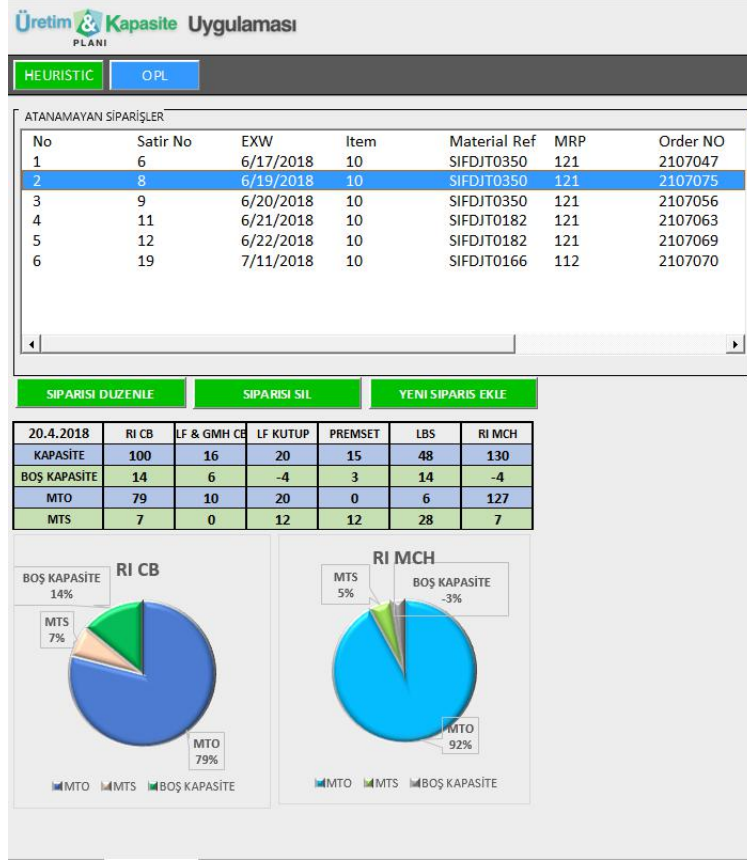
Tablo 2’ye bakıldığında, $\alpha = 1$ değeri hariç, bütün problemlerde en iyi çözümün değişmediği gözlemlenmiştir. Gerçek hayatta, hem sipariş gecikmesi hem de erken üretilmesi enazlanmak istendiği için α değeri hiçbir zaman 1 alınmayacaktır. Sonuç olarak, bu proje için α değerinin oluşturulan matematiksel modelin en iyi çözümünü etkileyen bir faktör olmadığına karar verilmiştir.

4.2 Karşılaştırma ve uygulama: iyileştirmeler ve KDS

Problemi çözmek için geliştirilen matematiksel model ve sezgisel yöntemin performansları değerlendirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model, şirketten alınan gerçek veriler için (Tablo 1’deki Problem 2 ve 3) çözülmüştür ve elde edilen sonuçlar mevcut sistemdeki sonuçlarla kıyaslanmıştır. Problem 2 için elde edilen çözümde mevcut sisteme göre erken üretilen sipariş sayısında %92,86 oranında iyileşme sağlanırken, gecikmiş sipariş sayısının %66,67 oranında azaltıldığı gözlemlenmiştir. Problem 3’ün çözümünde ise erken sipariş sayısında %99,03 ve gecikmiş sipariş sayısında %73,33 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Ayrıca, Geliştirilen sezgisel yöntem Excel VBA’de kodlanmıştır ve böylece günlük üretim planlama süresinde %94,44 oranında iyileştirilme sağlanmıştır.

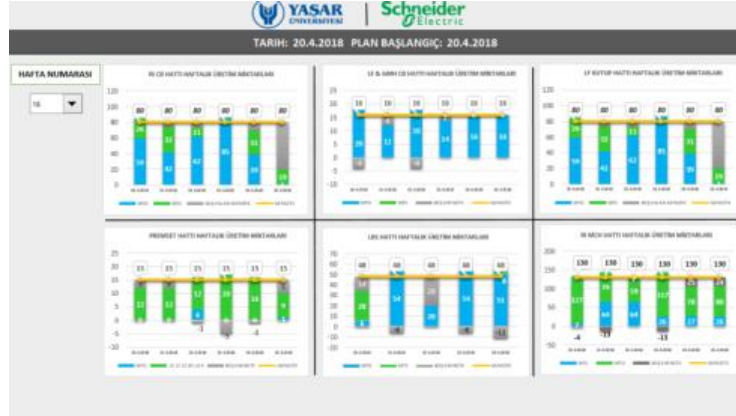
Geliştirilen matematiksel modeli ve sezgisel yöntemi içeren, kullanıcı dostu arayüze sahip, bir karar destek sistemi (KDS) oluşturulmuştur. KDS ana ekranı sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilmiştir. Kullanıcı “Heuristic” veya “OPL” butonlarından birine tıklayıp, sezgisel yöntem veya matematiksel modeli optimal çözerek, güncel üretim planına ulaşır. Şekil 2’de ‘Atanamayan Siparişler’ bölümünde sezgisel yöntemde üretim planı henüz oluşturulamayan siparişler gösterilmektedir. Kullanıcı, bu siparişle ilgili bütün bilgileri listeleyebilir ve bu siparişler üzerinde güncelleme yapabilir. Elde edilen sonuçlar ana ekranda grafiklerle gösterilir. Grafikler hatların, günlük ve

haftalık doluluk oranlarını gösterir ve plan değişikçe otomatik olarak güncellenir.



Şekil 2. KDS Ana Ekran (1)

Şekil 3'te bütün hatlar için kapasite kullanım grafiği seçilen haftanın kapasite durum bilgisini dinamik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. KDS Ana Ekran (2)

KDS'de planlanan yeni siparişler raporunda, belirlenen üretim günü ve müşterinin talep ettiği üretim günü karşılaştırılmaktadır. Şekil 4'te 14 sipariş için toplamda sadece iki gün erken üretildiği görülmektedir. Sunulan bu rapor ile üretim departmanı ve üretim planlama departmanı siparişlere ait tüm bilgileri açık bir şekilde bir sayfada görebilir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	No	Satır No	EXW	Item	Material Ref	MRP	Order NO	Quantity	Status	Expected date of production	Production date	Date difference
1	1	2	13.4.2018	10	895038A	122	2107059	14	MTS	11.4.2018	10.4.2018	1
2	2	5	16.4.2018	10	51826938	162	2107061	4	MTS	14.4.2018	14.4.2018	0
3	3	7	18.4.2018	10	MV261205	113	2107072	6	MTO	16.4.2018	16.4.2018	0
4	4	10	20.4.2018	10	51000162L	152	2107062	4	MTS	18.4.2018	18.4.2018	0
5	5	13	3.5.2018	10	732539	125	2107057	200	MTO	1.5.2018	1.5.2018	0
6	6	14	3.5.2018	10	891542FA	123	2107065	10	MTO	1.5.2018	1.5.2018	0
7	7	15	3.5.2018	10	889705BF	123	2107066	10	MTO	1.5.2018	1.5.2018	0
8	8	16	4.5.2018	10	SIFDIT0182	121	2107071	4	MTO	2.5.2018	1.5.2018	1
9	9	17	7.5.2018	10	874508	125	2107074	500	MTO	5.5.2018	5.5.2018	0
10	10	18	8.5.2018	10	895004A	122	2107064	2	MTS	5.5.2018	5.5.2018	0
11	11	20	14.5.2018	10	887644B	123	2107073	48	MTO	12.5.2018	12.5.2018	0
12	12	21	23.5.2018	10	889705BJ	123	2107067	20	MTO	21.5.2018	21.5.2018	0
13	13	22	23.5.2018	10	889705AJ	123	2107068	20	MTO	21.5.2018	21.5.2018	0
14	14	23	11.6.2018	20	889772CH	123	2107064	5	MTO	9.6.2018	9.6.2018	0
15												
16												

Şekil 4. Planlanan Siparişler Raporu

5. Sonuç ve Öneriler

Bu projede, Schneider Elektrik/Manisa fabrikasının üretim ve kapasite planlama problemi, makro ve mikro düzeyde yapılan analizler sonucu belirlenmiş ve bu doğrultuda mevcut durumdaki üretim planlama sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, erken ve geç planlanan müşteri siparişlerini ve bölünen müşteri siparişlerinin sayısını enazlamayı hedefleyen bir matematiksel model geliştirilmiş, öncelikli hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Model, IBM ILOG CPLEX

çözücüsünde çözülmüştür. Ek olarak, büyük veri setlerinde kısa sürede iyi bir sonuca ulaşmak amacıyla sezgisel bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntem Excel VBA’de kodlanmıştır. Geliştirilen KDS sayesinde, kullanıcı en iyi/en iyiye yakın üretim planını günlük olarak oluşturabilmektedir. Bu projede, her gün otomatik olarak üretim planını oluşturan KDS’nin, Schneider Elektrik/Manisa fabrikasının üretim planlama probleminin çözümünde ve başka üretim planlama problemlerine kolaylıkla uyarlanabilir düzeydedir.

KAYNAKÇA

- B. Karimi, S.M.T. Fatemi Ghomi, J.M. Wilson. 2003. “The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms”, Omega 31 (2003) 365 – 378
- Gicquel, C., Minoux, M., Dallery, Y. 2008. “Capacitated Lot Sizing models: a literature review.”, Hal-00255830
- Sawik, T. 2003. “Integer Programming Approach to Production Scheduling for Make-To-Order Manufacturing”, Mathematical and Computer Modelling 41 (2005) 99-118
- Şirket Profili. (n.d.). <https://www.schneider-electric.com.tr/tr/about-us/company-profile.jsp>. Son erişim tarihi: Şubat 12, 2018

Müşterinin Kendi Tahminleri ve Geçmiş Veriye Dayalı Yeni Bir

Talep Tahmin Yöntemi

Schneider Elektrik

Proje Ekibi

İlker Mutlu, Duygu Alan, Doğaç Sancar, Ege Naz Altın

Semih Balaban, Turancan Cesur, İsmail Serkan Kabataş

Endüstri Mühendisliği

Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Tutku Ağır

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut, Araş. Gör. Mert Paldrak

ÖZET

Bu projede, Schneider Electric Manisa firmasının son ürün talep tahmin problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, geçmiş talep verileriyle birlikte müşterilerin tahmin davranışlarını daha iyi anlayan, yorumlayabilen ve gerçek talep verileriyle tahminler arasındaki farkı en aza indirebilen bir sistem tasarlamaktır. Problemin çözümü için, *Winter's yönteminin tek başına* ve *Ayrıştırma (Decomposition) yöntemiyle* birleştirilerek uygulanmıştır. Alışlagelmiş tahminleme yöntemlerinden farklı olarak, şirketin müşterileri tarafından raporlanan tahmin verileri istatistiksel işlemlerden geçirilip, genel modele dahil edilmiştir. Excel VBA ile bir Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Winter's Metodu, Karar Destek Sistemi, Schneider Elektrik, Ayrıştırma, Sınıflandırma.

1. Genel Sistem Analizi

Schneider Electric (SE) 1836 yılında kurulan yoğunlukla enerji sektöründe faaliyet gösteren Fransız kökenli bir firmadır. Firmanın Türkiye’de 2000 çalışanı, 200 bayi ve partneri, 18 ofisi ve 3 adet üretim firması bulunmaktadır. Alçak ve orta gerilim dağıtım ürünleri üreten Manisa fabrikası 1987 yılında kurulmuştur. Fabrikada aynı şemsiye altında iki farklı tesis vardır. Bunlardan biri proje bazlı üretim yapan *Ekipman Tesis* (ETO), diğeri ise seri üretim yapan *Ürün Tesis* (PP & E)’dir. Bu proje ürün tesisinin tedarik zinciri departmanının talep tahminleme sistemini iyileştirmek amacıyla yapılmıştır.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistemin analizi

Firmanın mevcut talep tahminleme süreci, belirli bilimsel yöntem kullanılmadan daha öznel kararlar ile tecrübeye dayalı olarak yürütülmektedir. Bunun yanında, firma müşterileri de tahminlerini bildirmektedirler fakat müşteri tahminlerinin, geçmiş talep verileriyle etkin bir şekilde birleştirilerek tahmin yapıldığı gözlemlenmemiştir. Çok sayıda ürün grubunun ve müşterinin yer aldığı bu karmaşık sistemde tahminleme işleminden yalnızca bir kişi sorumludur. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında, bir karar destek sistemi olmadan talebi doğru belirlemek teknik olarak mümkün değildir. Firma mevcut sistemin performansını ölçmek için MAPE (1) (Mean Absolute Percent Error – Ortalama Mutlak Yüzde Hatası) kullanmayı amaçlamaktadır. Bu ölçüt Tablo 1’de ilk sütunda gösterilmektedir. Fakat bu yöntem, herhangi bir ürün için talep değerinin 0 olduğu durumlarda hata payını tanımsız olarak vermektedir. Firma, bu durumdan kaçınmak için MAPE (2)’yi Tablo 1’in ikinci sütunda olduğu gibi kullanmıştır. Ayrıca sistemin performansını doğru bir şekilde ölçmek için literatürde yer alan MAPE kullanılmıştır.

Tablo 1: 2017 yılının Tahmin Hataları

Ana Ürün Grupları	MAPE (1)	MAPE (2)
	$100 \frac{\sum_{i=1}^N Talep_i - Tahmin_i }{Tahmin_i}$	$100 \frac{\sum_{i=1}^N Talep_i - Tahmin_i }{Talep_i}$
LBS	% 31,36	% 59,28
LF CB	% 56,11	% 327,45
LF Pole	% 89,26	% 89,26
Premset	% 25,35	% 30,63
SF CB	% 14,79	% 17,95

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Sistem analizi sonucunda, gerçekleşen talep ve tahminler arasındaki farkın yüksek olduğu görüldü. Firma, üretim planlarını, malzeme ve kapasite gereksinimini talep tahmini sonuçlarına dayanarak gerçekleştirmektedir. Firma, talebi gerçekleştenden fazla tahmin ettiğinde, aşırı tahmin edilen talebe bağlı olarak kapasite planlamasını takip edemez. Fazla tahmin edilen talep, kullanılmayan kapasiteye, verimsiz üretime ve ekstra maliyet oluşturan fazla stoka sebebiyet verir. Ayrıca, bu durum planlanan iş gücünün uygulanamamasına, bazen hat değişimine ve işçilerin verimsiz çalışmalarına neden olur. Şirket, talebi gerçekleştiren değerler altında tahmin ettiği durumlarda ise, müşteri talebini karşılayabilmek için kapasite gereksinimi ve üretim planlarını hızlıca değiştirmek zorunda kalır. Bunun sonucunda, üretim hatlarında darboğazlar oluşur ve işçiler fazla mesaiye kalmak zorunda kalır. Ek olarak, bazı ham maddelerin tedarikçiden temin edilmesi 3 ayı bulabilir ve hammadde kıtlığıyla karşı karşıya kalmamak için, ham maddeleri hemen temin etmek için ek nakliye masrafları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca talebin az tahmine dildiği durumlarda, şirket için en kötü senaryo olan üretimin durmasıyla bile karşı karşıya kalınabilir.

2.3 Problemin tanımı

Semptomlar göz önünde bulundurulduğunda, ana problem, içerisinde bilimsel yöntem barındıran ve tahmin hatalarını en aza indirebilecek bir

karar destek sisteminin olmamasıdır. Müşterilerden alınan tahminlerin, uygulanan tahminleme süreci ile etkin bir şekilde birleştirilemediği gözlemlenmiştir. Sürecin, şirket yönetiminde belirli bir bilimsel yöntem gerektirmeyen daha çok öznel kararlar ile yetkili kişiler tarafından yürütüldüğü saptanmıştır.

2.4 Teknik yazın taraması

Projenin hayata geçirilmesi için öncelikle teknik yazın araştırması yapıldı ve geçmiş verileri kullanıp tahmin üreten yöntemler (objektif yöntemler) üzerine odaklandı. Objektif yöntemler kendi içinde *ilişkisel modeller* ve *zaman serisi modelleri* olarak ikiye ayrılır. İlişkisel modeller, SE'in tahminlerini etkileyen faktörlerin veri birikimi olmadığı için elendi. Zaman serisi yöntemlerinden *hareketli ortalama tahmin* yöntemi N (gözlem sayısı), *üstel düzeltme yöntemi* α yumuşatma sabitiyle ve sabit seriler için, *Holt's (Çift Üstel Düzeltme)* Yöntemi α ve β parametreleriyle trend içeren serilerin tahminlerinde kullanılan başlıca yöntemlerdendir. Mevsimsel serilerin tahmininde ise Ayrıştırma (Decomposition) ve Winter's yöntemleri kullanılır. Kalekar'a göre, Winter's yönteminde çift üstel düzeltme yönteminin parametrelerine ek olarak, mevsimsellik için γ sabiti de vardır [1]. Müşteri tahminlerini ve geçmiş veriye uygulanan tahmin yöntemlerinin çıktısını hata varyansları oranında birleştirmek için literatürden [3] yararlanılmıştır. Literatürdeki tahmin performansını ölçen yöntemlerden yüzdesel değerler veren PAE (Percentage Absolute Error – Yüzdalık Mutlak Hata) [4] ve MAPE 'den yararlanılmıştır.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

SE talep tahminleme sürecinin girdilerinin, geçmiş talep verileri ve raporlanan müşteri tahminleri olduğu belirlenmiştir. Geçmiş talep verilerinin tahmini için yazın taramasındaki yöntemlerden yararlanılırken, raporlanan müşteri tahminlerini ikinci girdi olarak modele dâhil edebilen bir yöntem yazın taramasında bulunamamıştır.

Problemin doğasına uyan ve müşteri tahminlerini de bir takım istatistiksel süreçlerden geçirecek geçmiş talep verilerin tahminleriyle birleştiren bir yöntem geliştirilmiştir. Aşağıda, geçmiş talep verilerini kullanan yöntem *Y.1.*, müşteri tahminlerini baz alan yöntem *Y.2.* olarak adım adım anlatılmıştır. *Birleştirme (B)* adımı ise bu iki ana yöntemin çıktıları birleştirilmiştir.

Y.1. Geçmiş Talep Verilerine Bağlı Tahminleme: İki farklı yöntem uygulanarak iki çıktı elde edilir.

Y.1.1. Tek başına Winter's yöntemi

Y.1.2. Ayırıştırma yöntemiyle birlikte uygulanan Winter's yöntemi

Y.1.3. En iyi alt yöntemin seçilmesi

Y.2. Raporlanan müşteri tahmini yöntemi

Y.2.1. Normalize edilen müşteri tahmin yöntemi

Y.2.2. Müşteri tahminlerinin tahminlenmesi

Y.2.3. En iyi alt yöntemin seçilmesi

B. Birleştirme Aşaması (*Birleştirme* aşaması olduğu için B ile ifade edilmektedir.) *Y.1.* ve *Y.2.* aşamalarının çıktıları belirli koşullarda hesaplanmış ağırlıklılarıyla birleştirilmesi.

S. Sınıflandırma

Ürünlerin talep yapısındaki farklılıklardan dolayı yöntemlere verdiği tepkilerin belirlenerek uygun yöntemin seçilmesi için sınıflandırma yapılır.

Yukarıda açıklanan yöntem bileşenleri aşağıda detaylandırılarak anlatılmıştır.

Y1.1. aşamasındaki *Winter's yönteminin* durağanlık, trend ve mevsimsellik içeren verilerin tahmininde kullanıldığından firmanın probleminin doğasına uygun olduğuna karar verildi. Yöntemin üç parametresi vardır; α zaman serilerinin başlangıç değerini, β trendi ve γ mevsimselliği kontrol eder. S.Nahmias [2] 'e göre, Winter's yöntemi

hazırlık ve *güncelleme* olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Hazırlık adımı mevsimlerin birbirleri arasındaki ilişkileri belirlemek için her sezonun ortalamaları (V_i) hesaplanır. Ortalamalar arasındaki farklar kullanılarak başlangıç eğim değeri G_0 elde edilmektedir. Hesaplanan sezon ortalamalarına dayanarak talep verisinin $t=0$ zamanındaki değerini (S_0) hesaplanmaktadır. Başlangıç değerleri (G_0, S_0, V_i) kullanılarak başlangıç mevsimsel faktörleri c'_t mevcut olan her periyod için hesaplandı. Aynı aya denk gelen faktörlerin ortalaması alınarak, mevsimsellik faktörleri elde edilip faktörlerin normalizasyonu yapıldı. Winter's yönteminin ikinci basamağı S_t, G_t ve c_t değerlerinin güncellenmesidir.

- $S_t = \alpha \left(\frac{D_t}{c_{t-N}} \right) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + G_{t-1})$
- $G_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)(G_{t-1})$
- $c_t = \gamma \left(\frac{D_t}{S_t} \right) + (1 - \gamma)c_{t-N}$

Hesaplanan bu değerlerle t anında, τ zaman sonrası için tahmin yapılmaktadır ($F_{t,t+\tau} = (S_t + \tau G_t)c_{t+\tau-N}$). Bu adımda elde edilen tahmin değeri eniyileme kısmında kullanılır.

Eniyileme: Tahmini yapılacak ürünlerin talep yapıları farklılık gösterdiğinden, parametrelerin her ürün için ayrı ayrı seçilmesi tahmin sisteminin performansını arttıracaktır. Bu yüzden parametreler 0 ve 1 aralığında 0,1lik aralıklarla taranarak amaç fonksiyonu olan ve aşağıda formülü verilen PAE'nin en aza indirilmesiyle eniyilenir. N (Sezon uzunluğu) firmayla belirlenen 3, 4, 6 ve 12 sayı kümesinden PAE en aza indirilerek karar verilir.

$$PAE(\alpha, \beta, \gamma, N) = \frac{\sum_{i=1}^N |D_i - F_{i-1,i}(\alpha, \beta, \gamma)|}{\sum_{i=1}^N D_i} \cdot 100$$

Her ürün için tahmin eniyilenmiş parametrelerle yapılmaktadır.

Y1.2. aşamasındaki *Ayrıştırma (Decomposition)* yöntemi tek başına bir tahmin yöntemi değildir ve tahmin yapmak için veriyi mevsimsellik özelliğinden ayırır, tahmin sürecine hazırlar. Yöntem sezon ortasına bularak hareketli ortalamaları konumlandırır. Sonraki adımda talebin konumlandırılmış ortalamalara bölünmesiyle mevsimsel faktörlerin hesaplanır (c'_t). Aynı aya denk gelen faktörlerin ortalaması alınır ve faktörlerin normalizasyonu yapılarak mevsimsel faktörler (c_t) elde edilir. Sonrasında, talep verilerini mevsimsellik özelliğinden arındırmak için, talep verileri mevsimsel faktörlerine bölünür ($D'_t = D_t / c_t$). Ayrıştırma yöntemi uygulanmış talep verileri mevsimsellik dışındaki bütün özellikleri içinde barındırmaktadır. Talebi tahmin etmek için, mevsimsellik özelliğinden arındırılmış talep verisine Winter's yöntemi uygulanacaktır. Tahmin işleminden sonra tahminlerin mevsimsellik özelliğini tekrar kazanması için Winter's yönteminin çıktıları (F'_t) mevsimsel faktörler (c_t) ile çarpılır. F_t ayrıştırma yöntemiyle birleştirilen Winter's yönteminin çıktısını ifade etmektedir ($F_t = c_t \cdot F'_t$).

Y1.3 aşamasında ise **Y1.1. ve Y1.2.** aşamalarının çıktılarından hata payı düşük olan seçilerek F_t^1 olarak kaydedilir ve son tahminde kullanılmak üzere *Birleştirme* aşamasına iletilir.

Raporlanan Müşteri Tahminlerinin (Y.2.) analiz edilmesi müşterilerin davranışlarının saptanarak tahmin yöntemi olarak kullanılması ve genel modele entegrasyonu için yapılan literatür araştırması sonucunda problem tanımına uygun bir çözüm bulunamamıştır. Bu yüzden müşteri tahminlerinin, talep ile arasındaki hataların istatistiksel süreçlerden geçirilmesiyle müşterinin tahminin güvenilirliği hesaplanmasına karar verilmiştir. Müşteriler belirli bir t anında 1, 2 ve 3 ay (i) sonrası için tahminlerini raporlamaktadırlar.

Normalize Edilen Müşteri Tahmin Yöntemi (Y2.1) kısmında, müşteri tahminleri davranışlarına göre normalize edilerek müşteri tahminlerinin

emniyet stoklu verilmesiyle başa çıkabilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak müşterilerin tahminlerini gerçek taleplerinin üzerinde mi yoksa altında mı raporlamaya eğilimli olduklarını tespit etmek amacıyla hatalar ($E_{t,i}$) vektörel olarak hesaplanır ($t = 0$ bulunulan ayı temsil etmektedir). Sonrasında müşterilerin tahminlerinin gerçekleşen talebin üzerinde (P_i^1) ve altında (P_i^2) kalma olasılıkları bulunur ($n =$ inceleme yapılan verinin uzunluğu).

- $E_{t,i} = CF_{t,i} - D_t \quad 1 - n \leq t \leq 0 \quad \forall t \in Z$

- Müşteri tahminin talebin üzerinde olma olasılığı (P_i^1):

$$f_1(E_{t,i}) = \begin{cases} 0, & E_{t,i} \leq 0 \\ 1, & E_{t,i} > 0 \end{cases} \quad P_i^1 = \sum_{t=1-n}^{t=0} \frac{f_1(E_{t,i})}{n}$$

- Müşteri tahminin talebin altında olma olasılığı (P_i^2):

$$f_2(E_{t,i}) = \begin{cases} 0, & E_{t,i} \geq 0 \\ 1, & E_{t,i} < 0 \end{cases} \quad P_i^2 = \sum_{t=1-n}^{t=0} \frac{f_2(E_{t,i})}{n}$$

- $E_{ort_i} = \frac{\sum |E_{t,i}|}{n} \quad \forall i$

Tahminlerin üstte ve altta kalma olasılıkları kullanılarak ortalama hata, müşteri tahminlerine entegre edilerek tahminler normalize edilir ($CF_{t,i}^*$).

- $CF_{t,i}^* = CF_{t,i} - P_i^1 * E_{ort_i} + P_i^2 * E_{ort_i} \quad \forall i$

Hataların ortalama hatadan yüzdelik sapması bulunur.

- Tahmin Hatası ($FE_{t,i}$) = $\left| \frac{CF_{t,i}^* - D_t}{D_t} \right| \times 100 \quad \forall i$

Tahmin hatalarından yararlanılarak tahmin isabetliliği hesaplanır.

- Tahmin İsbetliliği ($FA_{t,i}$) = $\text{Mak}(0, 100 - FE_{t,i}) \quad \forall i$

- r_i (Güvenilirlik Katsayısı) = $\frac{\sum_{t=1-n}^{t=0} FA_{t,i}}{n} \quad \forall i$

$$F_t^2 = (CF_{t,i} - P_i^1 * E_{ort_i} + (1 - P_i^2) * E_{ort_i})$$

Müşteri tahmin yöntemi (Y2.2.): Normalizasyon işlemi geçmiş verileri ve dolayısıyla müşterinin son tahminini güvensizleştirebilir. Bu durumları engellemek amacıyla hata hesaplaması haricindeki işlemler ve normalizasyon yapılmadan, doğrudan ham veriler kullanılarak tahmin

hatası, tahmin isabetliliği ve güvenilirlik hesaplanarak müşteri tahmini direkt olarak alınır.

- $E_{t,i} = CF_{t,i} - D_t \quad 1 - n \leq t \leq 0 \quad \forall t \in Z$
- Tahmin Hatası($FE_{t,i}$) = $\left| \frac{CF_{t,i} - D_t}{D_t} \right| \times 100 \quad \forall i$
- Tahmin İsbetliliği($FA_{t,i}$) = $\text{Mak}(0, 100 - FE_{t,i}) \quad \forall i$
- $r_i = \frac{\sum_{t=1-n}^0 FA_{t,i}}{n} \quad \forall i$
- ($F_t^2 = CF_{t,i}$)

Y.2.3 adımında ise **Y2.1** ve **Y2.2**'de hesaplanan güvenilirlik indekslerinden en yüksek olanın yarattığı tahmini seçilir (F_t^2).

B adımındaki birleştirme yöntemi ilk kısımda algoritmik açıklanan **Y.1.** ve **Y.2.** çıktılarının birleştirilmesini kapsar.

W_i : Raporlanan müşteri tahminin birleştirmedeki ağırlık katsayısı ($0 \leq W_i \leq 1$)

- σ_1 : Raporlanan müşteri tahmininin hata varyansı
- σ_2 : Klasik yöntemlerin çıktılarının hata varyansı

a,b: firmaya göre parametrik tasarlanan üst ve alt güvenilirlik eşikleri

Genel Birleşim Formülü: $F_t^* = (1 - W_i) \cdot F_t^1 + W_i \cdot F_t^2$

B.1: Müşterinin güvenilir olduğu durumlar; $r_i \geq a$; $W_i = 1$

B.2: Müşterinin güvenilir olduğu durumla ; $a > r_i > b$; $W_i = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$

B.3: Müşterinin güvenilmez olduğu durumlar; $r_i \leq b$; $W_i = 0$

Sınıflandırma'nın asıl amacı, PAE değerlerinin farklı ürün sınıflarında farklı sonuçlar vereceği öngörüsüne dayanarak bu sınıfların neler olacağını belirleyerek bu ürünleri sınıflara yerleştirmektir. Bu yüzden ürünler talep verilerine bağlı olarak *Düzenli* rassallığa, *Yüksek varyansa*, hem yüksek varyansa hem de *Seyrek* talep yapısına sahip, sisteme yeni giren (*Yenidoğan*) ve artık talebi görülmeyen ürünler (*İnaktif*) olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmalar firmayla birlikte karar verilen parametreler çerçevesinde oluşturulmuştur. *Düzenli* sınıfı için metotların daha iyi tahmin vereceği beklenirken, *yüksek varyans* sınıfın yöntemle

daha yüksek hatayla cevap vermesi beklenir. *Inaktif* ve *yeni doğan* sınıfları yeterli veriye sahip olmadığından yöntem girmez.

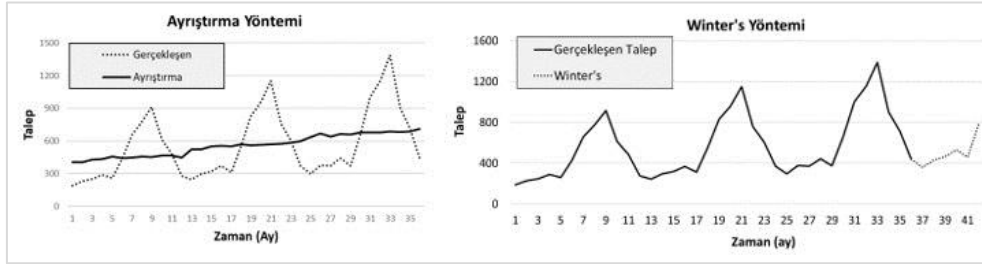
4. Sayısal Sonuçlar

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

4.1.1 Doğrulama

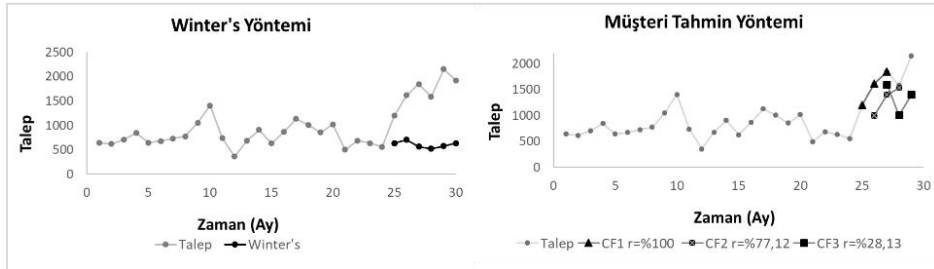
Geliştirilen modelin doğrulanması için 2 aşamalı çalışma yapılmıştır: 1) Modelin bütün birleşenleri için KDS çıktıları ile bundan bağımsız Excel çözümlerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. 2) Modelin her bileşeni oyuncak verileriyle test edilerek beklenen verdiği gözlenmiştir. Aşağıda bu çalışmanın detayları yer almaktadır.

Ayrıştırma (Decomposition) yönteminin doğrulanması için trend ve mevsimsellik içeren örnek veriler kullanılmıştır. Beklenildiği üzere Şekil (1)'de görüldüğü gibi yöntem, talep verilerini mevsimsellikten ayırarak daha durağan hale getirmiştir.



Şekil 1. Ayrıştırma ve Winter's Yöntemlerinin Doğrulaması

Aynı verilerin Winter's yönteminin de verini yapısındaki trendi ve de mevsimselliği de yakaladığı Şekil (1)'de gözlenebilir.



Şekil 2. Müşteri Tahmin Yönteminin Doğrulaması

Müşteri Tahmin yönteminin doğrulanması için ise; oyuncak bir veri örneği Winter's ve Müşteri Tahminleri yöntemiyle ayrı ayrı çözülmüştür. CF_i i ay sonrası için verilen müşteri tahminlerini ifade eder. Kullanılan verinin önceki yıllardaki müşteri tahminleri grafik üzerinde gösterilemediği için güvenilirlik katsayıları (r_i) belirtilmiştir. Winter's Şekil 2'deki 1. grafikte verideki ani değişimleri yakalayamazken Şekil 2'de 2. Grafikte müşteri tahminleri yönteminin gerçekleşen talep verisine daha yakın tahmin ürettiği gözlenmektedir.

4.1.2 Geçerleme

Firma veri tabanında 323 ürün (referans) için PAE (Mutlak Yüzdese Hata) 6 aylık ölçümleri ürün grubu ve ürün talep sınıflandırması bazında yapılmıştır. Yeni doğan ve inaktif sınıfları, yeterli verisi olmadığı için tahmin yöntemine dâhil edilmemiştir. En yüksek, en düşük ve ortalama PAE değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Yüksek Varyans talep yapısındaki ürünler istatistiksel metotlara iyi tepki veremez. Tablo 2'de, beklenildiği üzere yüksek varyans sınıfının ortalama PAE değeri diğer sınıflara göre daha yüksek çıkmıştır ve yöntemin düzenli sınıflara daha iyi tepki verdiği görülmüştür.

Tablo 2. Ürün Grubu ve Sınıflandırma Bazında PAE Hesaplanması

SINIFLANDIRMA	PAE ORT.	PAE MAKS.	PAE MIN.	ÜRÜN ADET	ÜRÜNLER	PAE ORT.	PAE MAKS.	PAE MIN.	ÜRÜN ADET
YÜKSEK VARYANS	21%	156%	7%	94	LBS	18%	29%	16%	18
SEYREK	19%	94%	17%	53	SF CB	21%	99%	5%	251
DÜZENLİ	21%	99%	5%	176	LF CB	19%	56%	12%	17
TOPLAM				323	PREMSET SD	23%	156%	14%	27
					LF POLE	21%	57%	17%	10
					TOPLAM				323

Raporlanan müşteri tahmin yönteminin gerçekleştirilmesinin yapılabilmesi için 3 ay istatistiksel süreçler, 3 ay da performans ölçümü olmak üzere en az 6 aylık veri bulunması gerekmektedir. Bu koşulları sağlayan yalnız bir müşteriye ait 18 ürün (referans) bulunmaktadır. Tablo 3'te CF_i i ay sonrası için verilen müşteri tahminlerini ifade eder. Bu müşteri-ürün çiftleri için 1, 2 ve 3 aylık güvenilirlikler ayrı ayrı hesaplanmış,

müşterinin tüm referansları için ortalama olarak PAE ve MAPE değerleri de gösterilmiştir. Buradaki güvenilirlik değerleri, bazı referanslar için yüksek, bazıları için ise düşük bulunmuştur. Veri havuzunun kısıtlı olması genel bir analiz ve çıkarım yapmayı zorlaştırmaktadır.

Tablo 3. Müşteri Tahmin Yönteminin Güvenilirliği: Örnek bir müşteri için analiz

	Normalize Edilen MT (Y2.1)			MT (Y2.2)			F _i ² (Y2.3)			CF1	CF2	CF3	
	CF1	CF2	CF3	CF1	CF2	CF3	CF1	CF2	CF3				
Güvenilirliği En Yüksek	90%	99%	89%	89%	92%	89%	90%	99%	89%	417%	333%	411%	
Güvenilirliği En Düşük	37%	40%	20%	39%	22%	18%	39%	40%	20%	3%	5%	6%	
Güvenilirlik Ortalaması	70%	65%	66%	66%	53%	52%	70%	65%	66%	23%	19%	23%	
										Ortalama MAPE	2%	2%	2%

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Şirketin müşteri tahmin sistemine 2017 yılında geçmesi ve düzenli bir veri tabanı bulunmamasından dolayı tüm yöntemin performans ölçümleri karşılaştırması yapılamamıştır.

SE'in veri tabanında 323 ürün (referans) olmasına rağmen, firma sadece 100 ürün için tahmin verisi bulunduğundan, mevcut sistem analizi ve geliştirilen model karşılaştırılması 100 ürün için yapılmıştır. Elimizdeki verilerle mevcut sistemin genel ortalama PAE'si %87, en fazla %700 ve en az %15 iken, geliştirdiğimiz modelin ortalama PAE'si %23 olarak hesaplanmıştır.

Projenin sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde uygulanması için geliştirdiğimiz yöntemleri uygulayarak ve algoritmaları takip ederek kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) Excel VBA ile tasarlanmıştır. Parametreler (Sınıflandırma ve Müşteri Tahmin Güvenilirlikleri parametreleri) kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Ek olarak, firmadan gelen talep doğrultusunda ABC analizi hem ürün bazında hem de müşteri bazında yapılarak grafikleri KDS'de görülmektedir.



Şekil 3.KDS'nin Anasayfası

Şekil 3’de KDS’nin ana ekranı görülmektedir. Müşteri tahminleri bir önceki döneme göre %30 sapma gösterdiğinde ürün grubu bazında kullanıcıya uyarı verir. Kullanıcı yeni ürün, yeni müşteri, müşteri tahmini ve satış verisi eklemek istediğinde ana sayfadaki *New Information* tuşuna tıklayarak Şekil 4’deki ara yüz karşısına çıkar. *Add User Forecast* seçeneğiyle, kullanıcı tarafından girilen tahmin değeri, yöntemleri geçersiz kılar. Ana sayfada *Forecast* tuşundan tahminleme işlemi, müşteri ve ürün bazlı olarak yapılabilir. Tahminleme sonunda tüm detayları form ekranında görür ve görselleştirebilir. Kullanıcı ürün ve müşteri bazında ABC analizi, ürün grubu sınıflandırması, ürün sınıflandırma analizlerini görmek için ana sayfadaki *Analysis* tuşuna tıklayabilir. Bu formda bulunan çoklu analiz seçenekleri ile kullanıcıya isteği doğrultusunda grafikler de sunmaktadır.

Figure 1. Yeni Bilgi Girişi için Ara Yüz

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu proje, Schneider Electric'in tahminleme sürecini geçmiş talep verilerine uygun bilimsel yöntemin seçilerek uygulanması, raporlanan müşteri tahminlerini de bir takım istatistiksel süreçlerden geçirip sisteme dahil eden ve gerçek talep verileriyle tahminler arasındaki farkı en aza indirebilen bir karar destek sistemi oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Literatürde, raporlanan müşteri tahminlerini, yorumlayan ve tahminleme yöntemleriyle birleştirebilen herhangi bir metot olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden bu proje genel istatistiksel tahminleme süreçlerine katkıda bulunmaktadır. SE raporlanan müşterileri tahminlerini de tahminleme sürecine dâhil etmeye yeni başladığından veri havuzu henüz yeterli büyüklüğe ulaşmamıştır. Havuz genişledikçe yapılan iyileştirmelerin daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir. Projenin bir diğer çıktısı da tahminleme sürecine ait bütün bilgileri düzenli, güvenilir ve sürdürülebilir bir kullanımla bir veri tabanı oluşturup burada tutmasıdır. Hatta ürünlere ABC analizi yapması ve ürünleri kendi içerisinde sınıflandırması da projenin getirilerindedir.

REFERENCES

- [1] Kalekar, P.S. (2004) Time series Forecasting using Holt-Winters Exponential Smoothing.
- [2] Nahmias, S. (2013). Production and Operations Analysis. Boston: McGraw-Hill Irwin.
- [3] <https://www.ssc.wisc.edu/~bhansen/390/2010/390Lecture24.pdf>
- [4] Adalı.E,Ataş.Y,BaykanO.M,GüldoğanI.Koral E.(2016). Demand Tracking and Forecasting System for Finished Goods in DYO Paint Izmir, Bachelor Thesis Project
- [5] Enerji Yönetiminde Global Uzmanı - Schneider Electric Türkiye.(t.y.). adresindenerişildi <https://www.schneider-electric.com.tr>

Üç Boyutlu Stok Kesme Problemi

Yatsan A.Ş

Proje Ekibi

Buğra Akboy, Selin Altın, Simay Kardeşahin, Tefik Ercan
Tezcan Aydılek, Umut Şirvan, Yusuf Rıdvanoğulları

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Faruk Sekkin, Üretim ve Bakım Müdürü

Akademik Danışman

Öğr. Gör. Nejat Kutup, Araş. Gör. Damla Kesikburun

ÖZET

YATSAN A.Ş'de gerçekleştirilen bu proje, yatak üretim sürecinin başlangıcı olan, sünger bloklarının kesimi sonucunda oluşan fire oranını azaltmaya yönelik bir çalışmadır. Hâlihazırda fabrikada kesim planlaması, bu işten sorumlu personelin tecrübe ve alışkanlıklarına dayanmaktadır. Bilimsel temele dayanan sistematik bir planlama süreci yoktur. Projenin amacı, sünger kesim planlarının sistematik bir şekilde hazırlanmasını sağlayacak yöntemleri araştırmak, daha etkin doğrama planları geliştirerek, israf edilen hammadde miktarını olabildiğince indirmektir. Bu projede, üç boyutlu sünger kesme probleminin çözümleri üzerinde çalışılmaktadır. Çözüm sürecinde araştırılan yöntemler karar destek sistemi içine gömülerek etkili bir kesim planı oluşturulmuş ve firmaya sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: eniyileme, çok boyutlu stok kesme problemi, sütun türetme, dal ve sınır algoritması

1. Genel Sistem Analizi

Proje ortağımız olan YATSAN A.Ş. kendi sektöründe önde gelen markalardan birisidir. YATSAN A.Ş. Torbalı'da 1974 yılında kurulmuş bir üretim tesisine sahiptir. Fabrikada çeşitli tip ve boyutlarda yatak üretilmektedir. YATSAN yıllık 175.000.000 TL ciroya sahip olup yılda ortalama 100.000 yatak üretmektedir. Torbalı'da 60.000 m² alana yayılmış üretim tesisinde yaklaşık 800 kişi çalışmaktadır. Satış kanalı olarak, yurt çapında yayılmış 150 direk satış noktası ve yaklaşık 700 adet bayisi bulunmaktadır. Şirket ülke dışında da 50'den fazla ülkeye yatak ihraç etmekte ve toplam ihracatı satış hacminin %45'ini oluşturmaktadır.

YATSAN oldukça geniş ürün yelpazesi ile sektörde önemli bir yere sahiptir. Fabrikada, yatak üretiminin yanı sıra yatak başlığı, baza, uyku ürünleri, mobilya ve bebek ürünleri de üretilmektedir.

YATSAN'da yatak üretim süreci dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, sünger kesim, yatak montaj, mobilya döşeme ve konfeksiyon işlemleridir. İşbirliği yapılan şirket ile üzerinde çalışılan proje, sünger kesim süreci ile ilgilidir. Proje kapsamında, talep edilen yatak miktarını karşılamak için gerekli sayıda parçanın kesildiğinden emin olunarak, fire miktarını en aza indirmek için verimli bir kesme planı hazırlanması amaçlanmaktadır.

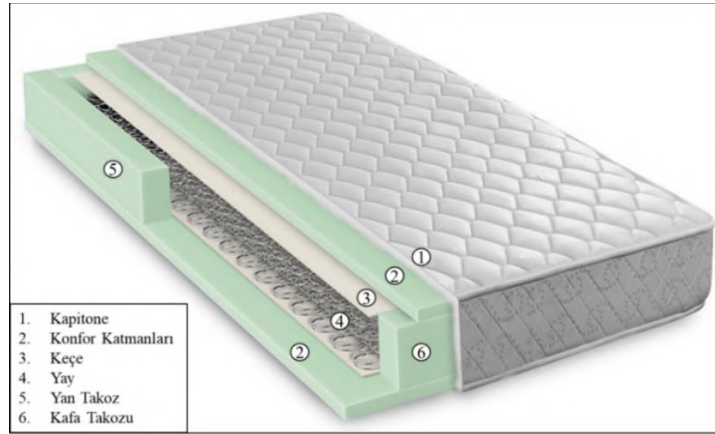
2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistem analizi

YATSAN'da üretilen yatakların ana hammaddeleri süngerdir. Süngerler fabrikaya farklı densitelerdeki büyük dikdörtgenler prizması şeklindeki bloklar halinde gelir. Bu bloklardan yine dikdörtgenler prizması şeklinde küçük parçalar kesilerek yataklar üretilir. Yatağı oluşturan sünger parçaları iki kafa takozu, iki yan takoz ve konfor

katmanlarıdır. Sünger parçaları dışında yatağın üretiminde keçe, kapitone ve yay gibi bileşenler de kullanılmaktadır.

Üretim sürecinde ilk olarak kafa ve yan takozlar birleştirilerek yatağın çerçevesi oluşturulur. Daha sonra oluşturulan çerçevenin içine yay konulur. Yatağın konforunu sağlamak için konfor katmanı ve keçe birbirine yapıştırılarak yatağın alt ve üst kısımlarına sıkıştırma makinesi yardımıyla yerleştirilir. Yatağın kapitoneler yapıştırılmadan önceki yarı mamül haline karkas adı verilir. Karkasın kapitone ile kaplanmasıyla yatak üretimi son bulmaktadır. Yatak üretim sürecinde kullanılan bileşenler örnek bir yatak için Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yatağı Oluşturan Bileşenler

Yatak üretim sürecindeki sünger kesme işlemi sırasında oluşacak fireyi azaltmak için etkili bir kesim planlaması gerekmektedir. Bu proje, şirket yönetiminde tespit edilen bu ihtiyaçtan dolayı ortaya çıkmıştır.

2.2 Sistemde gözlenen semptomlar

Dünya yatak üreticileri arasında yüksek pazar payına sahip olan YATSAN, standart ölçülü yatakların yanı sıra kişiye özel yataklar da

üretmektedir. Yerli müşterilerin beklentileri genellikle standart ölçülü yataklarken, yabancı müşteriler özel üretim yatak tercih etmektedirler. Özel üretim yataklar ile birlikte 800'ün üzerinde yatak tipi vardır. Bu durum üretimdeki varyasyonu arttıran başlıca nedendir. Bu varyasyon aynı zamanda YATSAN'ın müşteri odaklı üretime verdiği önemi göstererek piyasadaki farkını ortaya koyar.

Üretimdeki bu karışıklığın kendini en belli ettiği yer sünger kesme operasyonudur. Fabrikada sünger kesme planlanması, şirket bünyesindeki deneyimli bir kesme operatörünün bilgi ve tecrübesine dayanarak elle kâğıt üzerinde yapılmaktadır. Kesme işleminde sistematik ve bilimsel herhangi bir yöntemin kullanılmaması nedeniyle ortaya çıkan fire oranı yüksektir. Ayrıca kesme süreci kişiye bağımlı yürümektedir. Bu operatörün işten ayrılması veya çıkarılması durumunda kesme sürecindeki kayıplar daha da büyüyecektir.

YATSAN'da, kesme operasyonlarında kullanılan makinelerde kesim işlemleri giyotin olarak gerçekleştirilmektedir. Giyotin kesim, kesilen parçanın köşelerine paralel olmak zorunda olup, kesilmeye başlanılan noktanın simetrik karşılığı olan noktadan çıkmasıdır. Geliştirilmiş olan matematiksel modelde bu kısıt göz önünde bulundurulmuştur.

Kesme operasyonlarında kullanılan iki tip makine vardır. Bunlar, sünger bloklarını sırası ile yatay ve dikey olarak kesmektedirler. Kesme işlemleri manüel ve otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir.

YATSAN'ın sünger bloğu tedarikçisi sınırlı sayıda. Dolayısı ile yatak üretim süreci için gerekli olan sünger pahalı bir hammaddedir. Kesim için gerekli olan süngerler büyük bloklar halinde ya da üretim gereksinimlerine bağlı olarak kesilmiş parçalar halinde tedarik edilebilirler. Ancak şirket yaptığı analizler sonucunda kesilmiş parça almayı tercih etmemektedir.

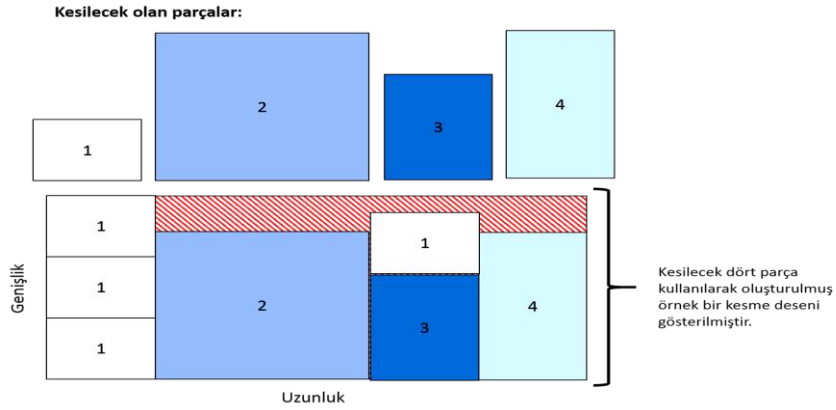
2.3 Problemin tanımı

Daha önce de bahsedildiği gibi, YATSAN'da kesim sürecinde kullanılan ana hammadde süngerdir. Kesme sürecinin başında endüstriyel boyutlarda büyük sünger blokları yatay kesim makinesine yerleştirilerek çeşitli kalınlıklarda sünger plakaları kesilmektedir. Daha sonra bu plakalar dikey kesim makinelerine alınarak istenen sünger parçalarını üretmek üzere giyotin şeklindeki bıçaklarla doğranmaktadır. Kesme işleminde sistematik ve bilimsel herhangi bir yöntemin kullanılmaması nedeniyle ortaya çıkan fire oranı oldukça yüksektir.

Projenin amacı, fire oranını azaltmak üzere bilimsel esaslara dayalı sistematik yöntemleri araştırmak ve bu yöntemleri bilgisayarda kodlayarak kullanıcı dostu bir karar destek sistemini (planlama aracını) ortaya koymaktır. Projenin sonucunda, süreç kişiye bağımlı olmaktan çıkarılacak ve daha etkin kesme planları hazırlanabilecektir. Bu sayede fire miktarı ve buna bağlı olarak sünger maliyeti azalacaktır.

2.4 Teknik yazın taraması

Teknik yazın taraması sırasında birçok farklı stok kesme problemi için çözüm metotları incelenmiştir. Literatürde problemin çözümü ile ilgili basit bir matematiksel model bulunmaktadır. Fakat basit matematiksel modelde parametre olarak kesme desenleri kullanılmalıdır. 'Şekil 2'de örnek bir kesme deseni oluşumu görülebilir. Ancak kesme desenlerinin oluşturulması problemin asıl zorluğudur. Sonuç olarak, model, kullanılan hammadde miktarını mümkün olduğunca düşürmeye çalışırken, aynı zamanda talebi karşılamaya çalışmaktadır.



Şekil 2. Kesme Deseninin Oluşumu

İlk olarak üzerine daha çok çalışılmış olan ve matematiksel olarak stok kesme problemine benzerliği göz önünde tutularak güncel konteyner yükleme problemleri hakkındaki makaleler incelenmiştir (Chen vd., 1996). Bu makaleler giyotin kesim kurallarına uymamaktadır. Bu yüzden konteyner yükleme problemleri ve çözümleri, matematiksel olarak stok kesme problemine benzese de kullanılamamaktadır.

Literatürde stok kesme problemleri için bazı karmaşık tamsayı programlama modelleri (mixed integer programming) bulunmakla birlikte bu modeller, problem büyüdükçe zorlaşmaktadır. Bazı uygulamalarda problem, doğrusal programlama olacak şekilde esnetilerek çıkan sonuçlar yuvarlanmıştır. Fakat doğrusal programlama sonuçlarının yuvarlanması doğru bir işlem değildir (Suliman, 2001). Tam anlamıyla stok kesme probleminden ilk kez Gilmore P.C ve Gomory R.E'nin 1961 yılı makalesinde bahsedilmiştir. İncelenen makalede örnek problem bir boyut için çözülmüştür.

Problem çözümünde parametre olarak kullanılacak kesme desenleri "sütun türetme" yöntemi ile oluşturulmuştur. Daha sonra aynı yazarların 1963 ve 1965 yıllarındaki makaleleri de incelenmiş, problemi birden fazla boyutta çözmek için farklı yaklaşımları görülmüştür.

Sütun türetme yöntemi simpleks metodunun farklılaştırılmış bir versiyonudur ve bu yöntemde simpleks metodunun çözümünde ortaya çıkan gölge fiyatlar (shadow price) kullanılmıştır. Bahsedilen terimler üzerine çalışılarak, terimlerin tanımları ve işlevleri anlaşılmıştır.

Daha öncede bahsedildiği gibi stok kesme problemlerinin zorluğu kesme desenlerinin oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. İki boyutlu stok kesme problemi için desen oluşturma sürecini açıklayan bir makale bulunmuştur (Rodrigo vd., 2012). Bu makale dal ve sınır (branch and bound) algoritmasına dayanmaktadır. Makalede bahsedilen dal ve sınır algoritması, üst ve alt sınırları güncellerken; tüm uygulanabilir modellerin denenmesinden oluşmuş bir algoritmadır. Makalenin yazarları, diğer makalelerinde, kesme desenlerini oluştururken kesilecek parçaların desen içindeki koordinatlarını da göz önünde bulundurmuşlardır.

Literatür taramasında görülmüştür ki, sütun türetme yöntemi ile dal ve sınır algoritmasının karışımından yeni bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma, dal ve fiyat adında ki bir (branch and price) hibrit algoritmadır. Projemiz için bu metottan ilham alınarak, sütun türetme yöntemi ve dal ve sınır algoritması birlikte kullanılmıştır.

Tablo 1. Literatür Tablosu

Yazar/ Tarih	İçerik	1 Boyut	2 Boyut	3 Boyut	Kısıtlar	
					Giyotin	Giyotin olmayan
Gilmore ve Gomory 1961	Doğrusal yaklaşım ile stok kesme problemi:Part 1	x			x	
Gilmore ve Gomory 1963	Doğrusal yaklaşım ile stok kesme problemi:Part 2		x		x	
Gilmore ve Gomory 1965	2 yada daha fazla boyut için çok aşamalı stok kesme problemi		x	x	x	

Chen 1996	Konteyner yükleme problemi	x				x
Sulimnan 2001	Kesme deseni oluşturmak üzerine yöntemler		x		x	
Rodrigo, Daundasek era, Perera 2012	2 Boyutlu stok kesme problemi için desen üretme		x		x	
Rodrigo, Daundasek era, Perera 2012	2 Boyutlu stok kesme problemi için desen üretme (lokasyonlar dahil)		x		x	

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

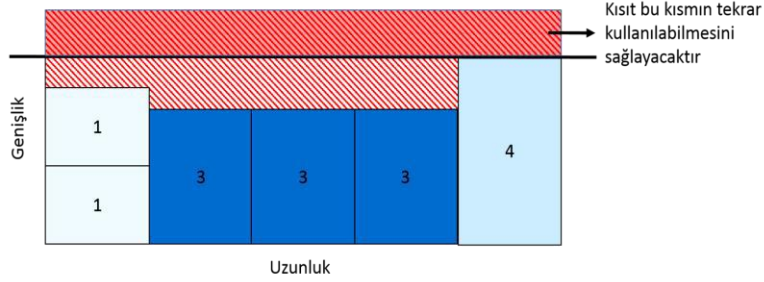
Problemin çözümü için gerekli olan kısıtlar ve varsayımlar, oluşturulan parametreler ile karar değişkenleri ve matematiksel model bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

YATSAN'da sünger bloklarının kesim operasyonu, sırası ile yatay ve dikey giyotin (kenardan kenara kesim) kesim olarak gerçekleşmektedir. Kesimde kullanılan makinelerin özellikleri ve uygulanan yöntemler incelendiğinde, yatay kesim makinesine yerleştirilen büyük hammadde sünger bloklarının oryantasyonu tek bir şekilde mümkündür ve kesim esnasında değiştirilememektedir. Bu nedenle görünürde üç boyutlu giyotin kesme problemi bir ve iki boyutlu olmak üzere iki ayrı alt probleme bölünebilir.

YATSAN'da üretim kesme planı yapılırken, haftalık üretim talepleri göz önüne alınır. Bu talepleri karşılamak problemimizin asıl amacıdır. Bu yüzden, kesim planlaması talepten büyük veya eşit olacak şekilde yapılmalıdır. Dal ve sınır algoritmasında oluşturulan kesme desenlerinin uzunluklarına ve genişliklerine bakılarak, desen içerisindeki en uzun veya en geniş parça belirlenir. Bu parçalar baz alınarak, kesme deseninin geriye kalan kullanılabilir alanı saptanarak daha sonraki

işlemlerde kullanılması için stokta bekletilir. Bu kısıt fire hesaplamasında kullanılır.



Şekil 3. Kesme Deseninden Ayrılan Kullanılabilir Parça

3.2 Parametreler ve karar değişkenleri

Karar Değişkeni:

X_j : j deseninin kullanım sayısı

Parametreler:

i = i'inci kesilecek sünger parçası, $i = 1, \dots, n$

j = j'inci desen, $j = 1, \dots, m$

n = Kesilecek sünger parça sayısı

m = Oluşturulan desen sayısı

p_{ij} : i'inci kesilecek sünger parçasının j'inci desende kullanım sayısı

D_i = i'inci kesilecek sünger parçasının talebi

3.3 Matematiksel model

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = \sum_j^m X_j \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j^m P_{ij}X_j \geq D_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2)$$

$$X_j \in Z^+ \quad \forall j \in \{1, \dots, m\} \quad (3)$$

Amaç fonksiyonu, toplam kullanılacak desen sayısını en aza indirir. Kısıt (2), üretilmesi gereken parçaların istenen sayıda üretilmesini garanti eder. Kısıt (3) ise tam sayılı çözüm istendiğini gösterir.

3.4 Çözüm yöntemi

Teknik yazın taramasında anlatılan dal ve sınır algoritması Excel VBA'da kodlanmıştır. Bu algoritmayla oluşturulan kesme desenleri matematiksel modelin girdisi olup LINGO programıyla çözdürülerek kesim planları elde edilmektedir.

Belirlenen çözüm yöntemlerine göre haftalık plandaki kesilmesi gereken parçalar ilk olarak densitelerine göre gruplandırılır. Her bir densite grubu, ana problemin birer alt problemi olarak değerlendirilir ve bu alt problemlerin öncelikle kendi içinde iki boyutlu olarak çözdürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada kesme desenlerini oluşturabilmek için genişliği ve uzunluğu belirli olan sünger parçaları yerleştirilmektedir. İki boyutlu problem için çözdürülen matematiksel model sonucunda elde edilen en iyi kesme desenleri, kaç adet ve hangi yüksekliklerde sünger plakaya ihtiyaç olduğu bilgisini vermektedir. Elde edilen bu bilgi ise bir boyutlu problemin girdisi olmaktadır. Bu yöntemler tek boyut için çözdürüldüğünde hangi sünger bloğundan kaç adet kullanılacağı belirlenmiş olup istenilen kesme planı ortaya çıkmaktadır.

Kesme desenlerinin oluşturulmasında, iki boyut için dal ve sınır algoritması Excel VBA'da kodlanmış, bir boyutlu çözüm için ise sütun turetme yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra matematiksel modelin çözümünde talebi karşılayan desenler belirlenmiştir.

4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde, örnek problemlerimizin doğruluğu kanıtlanmış, gerekli iyileştirmeler yapılmış ve karar destek sistemi oluşturulmuştur.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Oluşturulan problem, “LINGO 17.0” isimli optimizasyon programı ve “Visual Basic for Applications (VBA)” kullanılarak çözdürülmüştür. Bu problem için yazılan model, fabrikadan alınan gerçek verilerle eniyileme programında çözüldüğünde, belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda fireyi olabildiğince en aza indirgemektedir. Modelin performansını ölçmek üzere duyarlılık analizi yapılmıştır. Problemde var olan üç parametrenin Central Processing Unit (CPU) etkisi olmadığı saptanmıştır. Bunlar, kesilecek parça sayısı, bu parçaların talep miktarı ve algoritmanın sonucunda oluşan kesme desenlerinin sayılarıdır. Problemin sonucunu etkileyen en önemli parametrelerden biri kesme desenleridir. Farklı boyutlardaki kesilecek parçalar, aynı boyutlardaki sünger bloklarına atanarak, fire miktarlarındaki değişiklik gözlemlenmiştir.

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Oluşturduğumuz kesim planlama sistemi sayesinde hesapladığımız fire oranları, fabrika tarafından tutulan fire miktarlarından, %1 ile %4 arasında daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Bunun nedeni öncesinde sezgisel olarak yürütülen sürecin sistematik bir yonteme dayandırılmasıdır. Bu iyileştirme aynı zamanda, blok fiyatlarına bağlı olarak fabrikaya mali açıdan kazanç sağlayacaktır.

4.3 Karar destek sistemi

Yaptığımız çalışmalara göre LINGO ve Excel programlarının beraber çalıştırılabileceği bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Projemizde, Excel VBA kullanılarak oluşturulan karar destek sistemini kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir. Kullanıcı, tarafından yapılan

seçimlere en kolay ve hızlı şekilde ulaşılması sağlanmıştır. Elde edilen tüm çıktılar Excel'e yazdırılmaktadır.

- İlk olarak karar destek sistemimize güncel haftanın sipariş listesi yüklenir. Sipariş listesi üzerinde herhangi bir değişiklik yapılacaksa, 'Şekil 4'teki' ilk buton sayesinde düzenlenebilir.



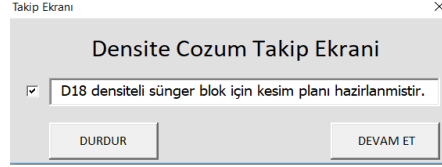
Şekil 4. Karar Destek Sistemi Ana Menü

STOK_KODU	STOK_ADI	Sipariş Mik.
510CLD1015401	CLEMENTINE DELUXE YATAK 160X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	1
510CLD1015401	CLEMENTINE DELUXE YATAK 160X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	1
510CLMD15401	CLEMENTINE YATAK 100X200 FERMUARSIZ STANDART	2
510ELB1215401	ELISABETH YATAK 180X210 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	1
510ELB1416401	ELISABETH YATAK 200X210 FERMUARSIZ STANDART	1
5105971315401	METROPOLITAN C&S YATAK 190X200 FERMUARSIZ STANDART	1
510D171015401	MONTPELLIER YATAK 160X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	2
510D171215401	MONTPELLIER YATAK 180X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	1
510D171215401	MONTPELLIER YATAK 180X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	1
510D171415401	MONTPELLIER YATAK 200X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	2
510CE20417403	VICTORIA DELUXE YATAK 100X220 FERMUARSIZ FIRM	1
510DTP0915401	NEW OTANTIQUE PLUS YATAK 150X200 FERMUARSIZ STANDART	22
610HDT0013	OTEL HILTON DOUBLETREE YATAK 180X200	100
110SW200030013	YATSA SWITZERLAND YATAK 090X200	5
110SW200040013	YATSA SWITZERLAND YATAK 100X200	5
110SW200050013	YATSA SWITZERLAND YATAK 120X200	10
110SW200070013	YATSA SWITZERLAND YATAK 140X200	5
110SW200080013	YATSA SWITZERLAND YATAK 150X200	10
110SW200090013	YATSA SWITZERLAND YATAK 160X200	50
110SW200100013	YATSA SWITZERLAND YATAK 180X200	20
110SW200110013	YATSA SWITZERLAND YATAK 200X200	5
510C160815401	200 HR YATAK 140X200 FERMUARSIZ STANDART-MEDIUM	1
510C160816403	200 HR YATAK 140X210 FERMUARSIZ FIRM	1

Şekil 5. Sipariş Görüntüleme ve Düzenleme Formu

- Bir sonraki aşamada, sisteme yüklenen siparişler dal ve sınır algoritmasında ve sütun türetme yönteminde kullanılabilir şekilde düzenlenir ve düzenlenmiş veri içerisinde kesilecek sünger parçaları ayıklanır.

- Yatak üretimi için çok sayıda farklı densitelerde sünger blokları kullanılır. Bu aşamada, kesilmek üzere ayıklanmış parçalar densitelerine göre gruplandırılır. Bu densitelerin içindeki yüksekliklerin her biri kendi içinde çözülecek birer problemi oluşturur.
- Densitelerine göre ayrılmış kesilecek parçalar için kesme desenleri oluşturulur. Oluşturulan bu desenler matematiksel modele parametre olarak verilir. Bu aşama problemin matematiksel olarak çözüldüğü adımdır. Çözülen her densite grubundan sonra aşağıdaki ekran belirmektedir.



Şekil 6. Densite Çözüm Takip Ekranı

- Son olarak, operatörün kullanabileceği haftalık kesim planı, excel sonuçlar sayfasına yazdırılmaktadır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Projeden elde edilmesi beklenen sonuç, sünger kesimi için bilgisayar destekli bir karar destek sistemi ile sünger fire oranlarının azaltılmasıdır. Bu azalma, fabrikadaki güncel olarak hazırlanan raporlardan takip edilerek belirlenecektir. Azalan fire oranları sayesinde, mevcut durumdaki sünger blok maliyetlerinin azalması beklenmektedir. Oluşturulan karar destek sistemi, problemin girdilerini yönetmekte ve çözümleri kullanıcı dostu bir arayüz aracılığıyla kullanıcıya sunmaktadır. Sunulmuş çözüm yöntemleri, az sayıdaki sünger blok ve farklı yatak tipleri için çözdürülüp bu yöntemlerden etkili sonuçlar elde edilmiştir. Sonraki süreçte fabrikada var olan tüm sünger blok ve yatak tipleri için test edilecektir.

KAYNAKÇA

- Chen, C.S., Lee, S.M., Shen, Q.S. (1996) “An Analytical Model for Container Loading Problem” *European Journal of Research*
- Gilmore, P.C., Gomory R.E. 1961. “A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem: Part I”, 9(6), 849-859.
- Gilmore, P.C., Gomory R.E. 1963. “A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem: Part II” *Operations Research* 11, 863 - 888
- Gilmore, P.C., Gomory R.E. 1965. “Multi Stage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions.” *Operations Research* 13, 94-120
- Hillier, F. S. (2010). *Introduction to operations research*. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2010.
- Rodrigo, W.N.P, Daundasekera, W.B., Perera, A.A.I. 2012. “Pattern Generation for Two-Dimensional Cutting Stock Problem”, *International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT)*, 3(2), 54-62.
- Rodrigo, W.N.P, Daundasekera, W.B, Perera, A.A.I 2012 “Pattern Generation for Two-Dimensional Cutting Stock Problem with Location”
- Suliman, M.A (2001) “Pattern Generating Procedure for the Cutting Stock Problem” *Int. J. Production Economics*, 74 (2001), 293-201.
- Yatsan “<https://yatsan.com>”, 2016

İstatistiksel Süreç Kontrol Programı Uygulaması

DB Tarımsal Enerji A.Ş.

Proje Ekibi

Cem Bozkuş, Ezginur Okur, Gülizar Kaya

Mehmet Şahin, Serkan Kaya, Yusuf Güler, Yaşar Can Bilgilibaşlar

Endüstri Mühendisliği

Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Ayla Semerci, Ersin Sürücü, Ece Sural

Akademik Danışman

Dr. Efthymia Staiou

Talya Temizçeri

ÖZET

Bu projede DB Tarımsal Enerji A.Ş.'nin gliserin üretiminde istatistiksel süreç kontrolü uygulayarak değişkenliklerin azaltılması hedeflenmiştir. Çalışmanın amacı tüm gliserin üretim süreci için bir istatistiksel süreç kontrol programı geliştirmek ve şirketin günlük üretim hayatında bir araç olarak geliştirilen istatistiksel süreç kontrol programını kullanmasına yardımcı olacak bir karar destek sistemi (KDS) tasarlamak ve uygulamaktır. İstatistiksel süreç kontrolü (İSK) ve ardışık bağımlılık hakkında yapılan araştırmalar sonucunda problemin çözümü için bir yol haritası belirlenmiştir. Proje sonunda fabrikadaki laboratuvar analiz ölçümlerinin girileceği ve uygun kontrol grafiklerinin çevrimiçi olarak güncelleneceği bir KDS oluşturulmuştur.

Anahtar sözcükler: Kritik Kalite Karakteristikleri (KKK), Ardışık Bağımlılık, Normal Dağılım, İstatistiksel Süreç Kontrolü, Karar Destek Sistemi

1. Genel Sistem Analizi

DB Tarımsal Enerji A.Ş., 2005 yılında, İzmir'in Torbalı ilçesinde kurulmuştur. Şirket, tarımı enerji sektörüyle birleştirerek yenilenebilir enerji alanında faaliyet göstermektedir. Şirketin ana ürünleri Biyodizel ve Gliserindir ve yıllık 100.000 ton biyodizel ve 10.000 ton gliserin üretimi kapasitesine sahiptir. ^[1] Projemiz sadece şirketin gliserin üretim sürecine odaklanacaktır. Gliserin, kimya endüstrisinden ilaçlara, deterjan endüstrisinden kozmetik ve gıda endüstrisine kadar birçok farklı kullanım alanına sahip olan çok değerli bir üründür.

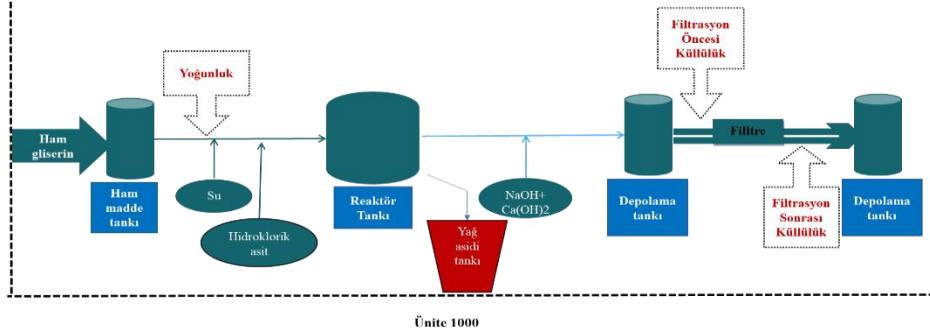
2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Bu kısımda, şirketin üretim süreci ve problemimiz ayrıntılı olarak tanımlanmış ve konu ile ilgili teknik yazın taramamız belirtilmiştir.

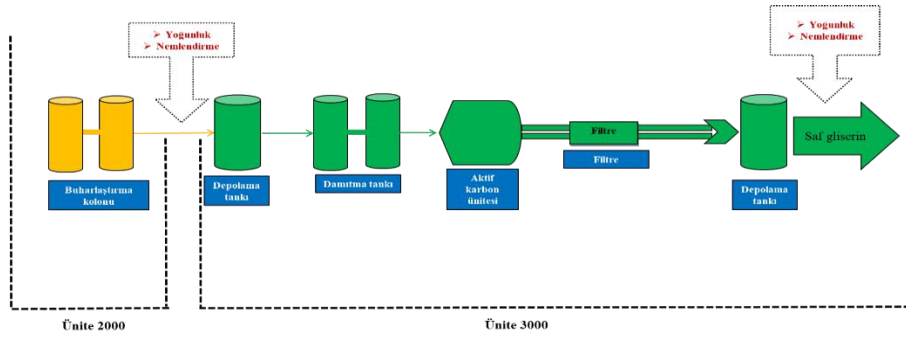
2.1. Mevcut Sistem Analizi

DB Tarımsal Enerji gliserin üretim sürecini Ünite 1000, Ünite 2000 ve Ünite 3000 olarak üçe ayırmıştır.

Ham gliserin, hammadde tankına alınır. Su ve hidroklorik asit eklenerek seyreltilir ve safsızlıkların ayrıştırıldığı reaktör tankına aktarılır. Reaktör tankında ayrılan yağ asitleri, yağ asidi tankına gönderildikten sonra kalan gliserin, depolama tankına alınır. Bu tankta gliserine kalsiyum hidroksit ve kostik eklenir. Karışım, filtrelere gönderilir. Hava ile filtrasyon tamamlandıktan sonra, Ünite 1000 tamamlanır. Ünite 2000, sadece buharlaşma kolonlarını içerir. Bu kolonlar teknik gliserinden yüksek ısı ile suyu buharlaştırır. Ünite 2000'den sonra gliserin depolama tankına gönderilir ve burada yeterli dinlenmeden sonra damıtma işlemi başlar. Damıtma bittiğinde kalan gliserin, renk ve kokunun giderildiği aktif karbon birimine gönderilir. Daha sonra tekrar bir filtrasyon işlemiyle aktif karbon partikülleri temizlenir ve Ünite 3000 sona erer. Saf gliserin, son ürün olarak ortaya çıkar.



Şekil 1. Ünite 1000 Süreç Akış Şeması



Şekil 2. Ünite 2000 ve Ünite 3000 Süreç Akış Şeması

Analizler yapılırken girdi olarak kullanılacak veriler, Kritik Kalite Karakteristikleri (KKK) olarak belirlenmiştir. Bu KKK'lar şu şekilde özetlenebilir;

Ünite 1000'de yoğunluk ölçümü için ham madde tankından, küllendirme için de filtrasyondan önce ve sonra; Ünite 2000'de yoğunluk ve nem için distilasyon kolonlarından sonra; Ünite 3000'de yoğunluk ve nem için, son üründen numune alınarak ölçüm ve gözlem yapılması gerekmektedir.

2.2.Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

İstatistiksel Süreç Kontrolü (İSK – Statistical process control – SPC), yirminci yüzyılın en büyük teknolojik gelişmelerinden biridir çünkü kullanımı çok kolaydır, herhangi bir işlemde uygulanabilir ve önemli bir etkisi vardır. İSK, üretim maliyetlerini düşürmek ve bu taraftaki ürünlerin kalitesini kontrol etmek için çok kullanışlıdır. Üretim açısından, üretim döngüsünün istikrarını sağlayarak, kullanıcıların her düzeydeki kalite raporları hakkında anlık raporlarını gösterirken, aynı

zamanda İSK, bir firmanın uygun olmayan üretim yapmasını engellemesine yardımcı olur. Şirketin üretim sürecini analiz etmesine yardımcı olur. [2]

DB Tarımsal Enerji A.Ş., tolerans limitleri dışında üretim yapmaktan kaçınmak için, ürünlerinin kalite seviyesini sürekli geliştirmeye ve süreci kontrol altında tutmaya ihtiyaç duymaktadır. Çünkü hatalı ürün üretimini engellemek üretim maliyetlerini azaltmak anlamına gelmektedir.

DB Tarımsal Enerji A.Ş.'nin üretim maliyetlerini azaltması için üretim sürecini kontrol altında tutması ve hatalı ürün üretimini engellemesi gerekmektedir. Ayrıca şirket, kaliteyi kontrol etmek, süreç parametrelerini (ortalama ve değişkenlik- μ ve σ) izlemek ve onları istikrarlı (istatistikî kontrol) düzeyde tutmak için üretim sürecinin her aşamasında kalite verileri için çevrimiçi izleme aracı istemektedir. İSK, tüm bu konularda şirkete yardımcı olabilir.

2.3.Problem Tanımı

DB Tarımsal Enerji A.Ş. gliserin üretimindeki değişkenlikleri azaltmamakta, üretim sürecini sürekli kontrol altında ve KKK'ların parametrelerini sabit bir düzeyde tutmamaktadır. Tüm bu sebepler hatalı ürün üretme olasılığını yükseltmektedir. Bütün bu yan problemlerin ana sebebi ise istatistiksel süreç kontrol programı kullanılmamasıdır.

2.4. Teknik Yazın Taraması

Sürekli iyileştirme için etkili bir yöntem olan İSK, 1920'lerde Bell Laboratuvarlarında, Walter A. Shewart tarafından bulunmuştur. Günümüzde birçok sektörde yaygın olarak kullanılan İSK, analiz ve kararlar için kontrol çizelgeleri kullanır. Kontrol tablosu, bir sürecin zamanla nasıl değiştiğini incelemek için kullanılan bir grafiktir. Elde edilen veriler zaman sırasına göre çizilir. Bir kontrol çizelgesinde her zaman bir üst kontrol sınırı, bir alt kontrol sınırı ve ortalama için merkezi

bir çizgi vardır. Bu kontrol sınırları geçmişteki verilere göre belirlenir. Mevcut verileri kontrol sınırlarıyla karşılaştırarak, işlem çeşitlenmesinin tutarlı olup olmaması (kontrolde veya kontrol dışı) hakkında sonuçlar çıkartılabilir. [2,3]

Kontrol grafiklerinin birçok çeşidi vardır. Bu kontrol grafikleri arasından projemize uygun olan grafikler, süreç değişkenliğinin büyüklüğüne göre Bireysel Hareket Aralığı Kontrol Grafiği (I-MR) ve Zaman Ağırlıklı Kontrol Grafikleridir (CUSUM veya EWMA).

Süreç ortalamalarındaki kaymalar büyük olduğunda, Bireysel Hareket Aralığı Kontrol Grafiği (I-MR) kullanılabilir. I-MR kontrol grafiği, her bir ardışık veri noktasından normal olarak, tek bir grafik üzerinde bireysel gözlemleri gösterir. Bireysel grafik, her bir ölçümü ayrı bir veri noktası olarak çizer. Her veri noktası kendi başına bir alt grup olarak kabul edilir. Hareket Aralığı grafiği ise, ardışık sırayla birbirini izleyen iki veri noktası arasındaki aralığı çizer. Süreç ortalamalarındaki kaymalar küçük olduğunda kullanılacak 2 farklı kontrol grafiği vardır. Bunlar Birikimli Toplam Kontrol Grafiği (CUSUM) ve Üssel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Kontrol Grafiğidir (EWMA).

CUSUM grafiği, belirli zamanlarda işlemde alınan örneklere dayanan bir işlemin ortalamasını izlemek için kullanılır. Belirli bir zamanda numunelerin ölçümleri bir alt grup oluşturur. CUSUM grafiği, Shewhart kontrol grafiklerine göre bir sürecin ortalamalarındaki küçük kaymaları tanımlamak için genellikle daha iyidir, çünkü CUSUM grafiği, her bir alt grubun ortalamasını bağımsız olarak analiz etmek yerine mevcut ve önceki örneklerin bilgi toplanmasını sunar. [2,3,5]

Süreç ortalamalarındaki küçük kaymaların tanımlanması istendiğinde, EWMA kontrol grafiği de Shewhart kontrol grafiklerine göre daha iyi bir seçenektir. EWMA kontrol grafiğinin kurulması ve çalıştırılması daha kolaydır, ancak performansı neredeyse CUSUM'a

eşittir. CUSUM ile olduğu gibi, EWMA tipik olarak bireysel gözlemler için kullanılır. Çünkü normaliteye karşı duyarlılığı yoktur. [2,4,5] Kimya endüstrilerinde, süreç ortalamalarındaki kaymalar çok küçüktür. Bu kaymaları ayırt edebilmenin en kolay ve kullanışlı yolu, EWMA kontrol grafiğini kullanmaktır. [2]

Hangi kontrol grafiğinin yararlı olduğunu anlamak için önce, normalite ve ardışık bağımlılık (otokorelasyon) testi yapılmalıdır. Normalite testi için normal olasılık grafiği ve histogram çizimi kullanılabilir. Normal bir olasılıkta, normal dağılımı takip eden veriler sırasıyla doğrusaldır. Ayrıca bazı hipotez testlerini de kullanabiliriz. [2]

Ardışık bağımlılık, bir zaman dizisinin kendi geçmiş ve gelecekteki değerleri arasındaki ilişkiyi ifade eder. Ardışık bağımlılığın saptanabilmesi için kullanılacak çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı grafik yöntemidir. Grafik yönteminde, ardışık bağımlılığın söz konusu olup olmadığını örnek hata değerleri (e_t) faydalanarak grafik yoluyla tespit edebiliriz. Bunun için zaman ve hata değerlerini grafik çizdirerek bulabiliriz. [2]

Gerekli kontrol grafiğinin analizi yapılırken kullanılacak bir diğer yöntem ise, zaman serileri yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak oluşan farklı modeller bulunmaktadır. Bu modeller arasında bizim kullanacağımız model Özbağlanımsal Tümlleşik Hareketli Ortalama (ARiMA) modelidir. ARiMA geçmiş dönem ile ilgili verileri gözlem yaptığımız değerler yardımı ile gelecekte elde edeceğimiz sonuç için tahmin yapmayı amaçlayan bir zaman serisi modelidir. ARiMA seriyi oluşturan veriler arasında doğrusal ilişkiyi kontrol eder ve olduğunu varsayar, ardından bu doğrusal ilişkiyi modeller. ARiMA modelleri durağan olmayan fakat fark alma işlemi yapılarak durağan bir hale getirilmiş serilere uygulanan bir modeldir. Durağan zaman serileri için

kullanılacak olan ARiMA modeli, (1.0.0) iken, durağan olmayan zaman serileri için kullanılacak olan ARiMA modeli (0.1.1)'dir. ^[2,6]

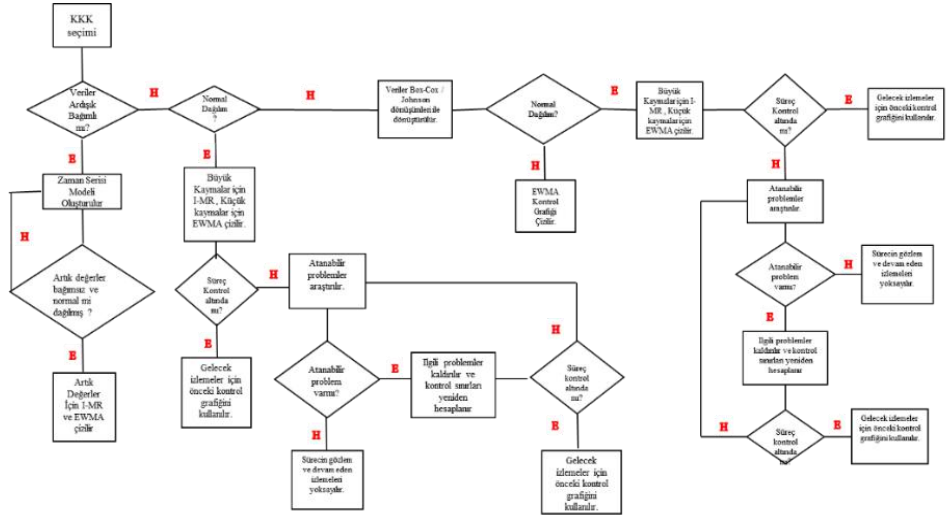
3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemi

Problem Tanımı alt başlığında da bahsedildiği gibi, DB Tarımsal Enerji A.Ş.'nin belirtilen KKK'lar için istatistiksel süreç kontrolü uygulamamaktadır. Projemizde, şirketin İSK için kullanabileceği bir Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturulmuştur. Bu KDS'yi tasarlamak için öncelikle verilerin analizi ve çizilmesi gereken grafiklerin belirlenmesi gerekmektedir. Teknik yazın taraması sonucunda çizdiğimiz yol haritasında, çözüm süresi boyunca izlenmesi gereken yollar tanımlanmıştır. Bu haritaya göre, KKK'lar için süreç başladığında ilk olarak, verilerin ardışık bağımlılığına bakılır. Veriler ardışık bağımlı ise zaman serisi analizi uygulanır. Analiz sonucu dağılım istediğimiz gibiyse I-MR ya da EWMA grafikleri çizilir.

Eğer verilerde ardışık bağımlılık yok ise, verilerin dağılımı kontrol edilir. Veriler normal dağılımda ise büyük süreç kaymaları için I-MR grafiği ve küçük süreç kaymaları için EWMA grafiği kullanılır. Uygun grafikler çizildikten sonra süreç boyunca toplanmış bütün veriler kontrol noktaları arasındaysa (alt ve üst kontrol noktaları), gelecekteki gözlemler için çizilmiş olan grafikler kullanılmaya uygundur. Eğer veriler kontrol noktalarının dışında kalıyorsa, atanabilir problemler ve sebepleri araştırılır. Eğer atanabilir problem yoksa süreç gözlemlemesi mümkün değildir; fakat atanabilir problem varsa, ilgili veriler kaldırılıp kontrol noktaları yeniden hesaplanır. Eğer süreç kontrol altına alınmışsa, çizilen grafikler gelecek gözlemler için kullanılmaya uygundur.

Verilerin dağılımı, korelasyon yokken, normal değil ise, Box-Cox ya da Johnson dönüşümleri kullanılır ve dönüşümlerden yeni veriler elde edilir. Elde edilen yeni veriler normal dağılımda değilse EWMA grafiği çizilir. Yeni verilerin dağılımları tekrar kontrol edilip, normal dağılım

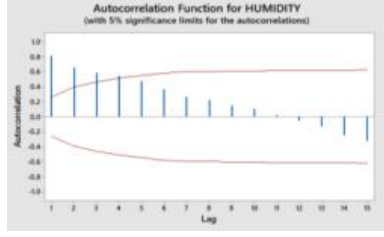
ise büyük süreç kaymaları için I- MR grafiği, küçük süreç kaymaları için EWMA grafiği çizilir. Tekrar sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılır ve süreç kontrol altındaysa gelecek gözlemler için çizilen grafik kullanılmaya uygundur. Aksi halde, atanabilen problemler yeniden kontrol edilir. Atanabilir problemler yoksa, süreç gözlemlenmesi mümkün değildir. Atanabilir problemler var ise, ilgili veriler kaldırılır ve kontrol sınırları yeniden hesaplanır. Çizilen grafikte süreç kontrol altındaysa, çizilmiş olan grafik gelecek gözlemler için kullanıma uygundur. Şekil 3'te yol haritamızın çizilmiş hali bulunmaktadır.



23

Şekil 3. Çözüm Yöntemi Yol Haritası

Şekil 3'te gösterilen yol haritasında sorulan sorulara cevap verebilmek için toplanan veriler ile, öncelikle gerekli analizler yapılmıştır. Örnek olarak, Ünite 2000'deki Nem KKK'sı için bu yol haritasına göre şirket tarafından sağlanan verilerle ardışık bağımlılık ve zaman serisi testi yapılmıştır.

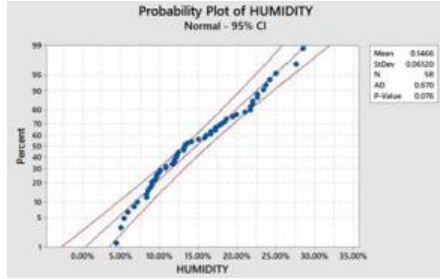


Şekil 4. Ünite 2000'deki Nem Karakteristiğine Ait Ardışık Bağımlılık Grafiği

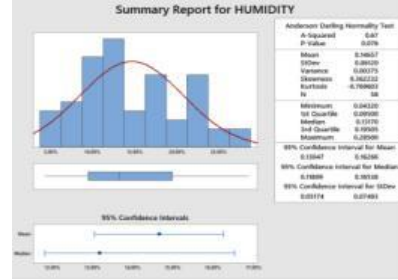


Şekil 5. Ünite 2000'deki Nem Karakteristiğine Ait Zaman Serisi Grafiği

Şekil 4, ardışık bağımlılığın Nem KKK'sı için var olduğunu gösterirken Şekil 5, verinin durağan bir süreçte olduğunu belirtmektedir. Bu analizlerden sonra histogram ve normal olasılık grafiği kullanılarak verilere normalite testleri uygulanmıştır. Şekil 6 ve 7'de görüleceği gibi, Nem KKK'sı normal dağılıma sahiptir.

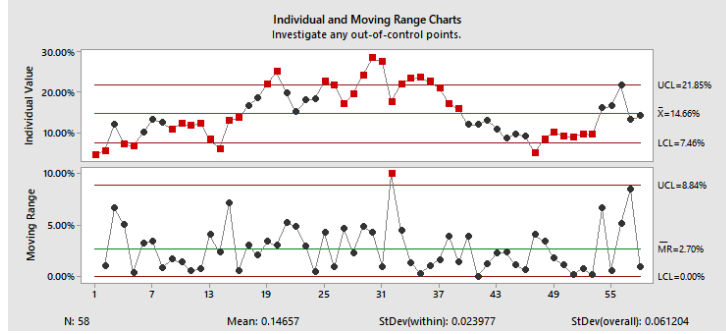


Şekil 6. Ünite 2000'deki Nem Karakteristiğine Ait Normal Olasılık Grafiği



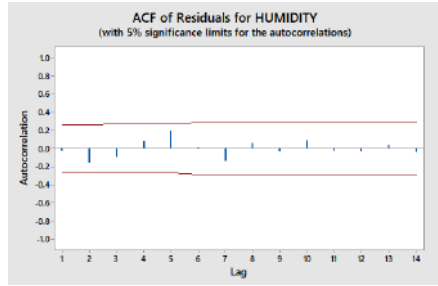
Şekil 7. Ünite 2000'deki Nem Karakteristiğine Ait Histogram

Yapılan ilk analizlere göre çizilen I-MR kontrol grafiğinde birçok verinin kontrol dışında olduğunu gözlemlenmiştir. Şekil 8'de gösterilen grafikteki tüm noktalar farklı bir güne ait verilerdir.

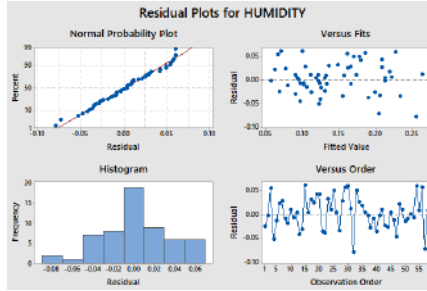


Şekil 8. Ünite 2000'deki Nem Karakteristiğine Ait I-MR Kontrol Grafiği

Bu noktaların kontrol dışında olarak gözükmesinin sebebi, ardışık bağımlılığın var olmasıdır. Teknik yazın taramasından elde edilen bilgilere göre, ardışık bağımlılığın olduğu durumlarda, ARiMA modeli uygulanmalıdır. Bu yüzden, yol haritamızda belirtildiği gibi, aynı verilere ait artık değerler (residual) bulunarak analizler gerçekleştirilmiştir.

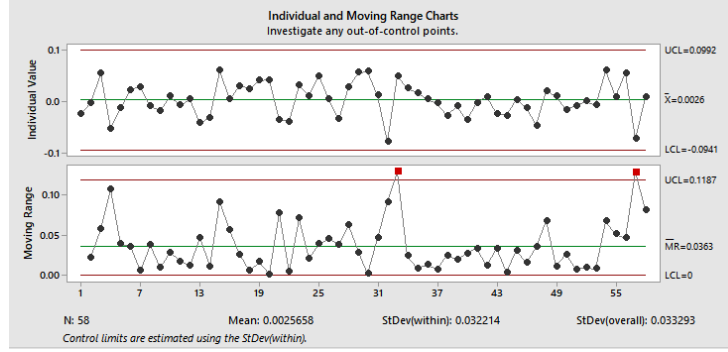


Şekil 9. Artık Değerler İçin Ardışık Bağımlılık Testi

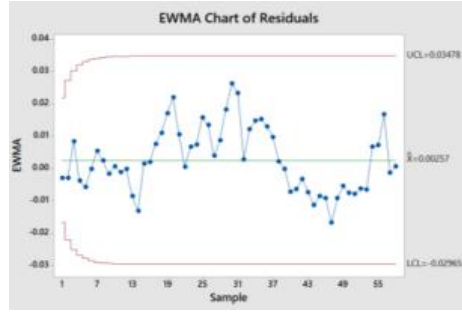


Şekil 10. Artık Değerlerin Analiz Sonuçları

Artık değerlerin analizleri sonucunda, Şekil 9 ve 10'da gösterildiği gibi, değerlerin ardışık bağımlı olmaması ve normal dağılıma sahip olması sebebiyle, I-MR ve EWMA kontrol grafiği çizildiğinde, kontrol edilebilir bir sürece sahip olunmuştur.



Şekil 11. Artık Değerler İçin I-MR Kontrol Grafiği



Şekil 12. Artık Değerler İçin EWMA Kontrol Grafiği

Şekil 11’de görülen kırmızı noktalar, ölçüm tarihlerinde, süreç içinde atanabilir problemler meydana geldiğinin göstergesidir. Bu iki problemin sebebi ortadan kaldırıldığı takdirde, süreç kontrol altına alınabilecektir. Diğer KKK’lara ait testlerin sonuçları, aşağıdaki tabloda verilmiştir.

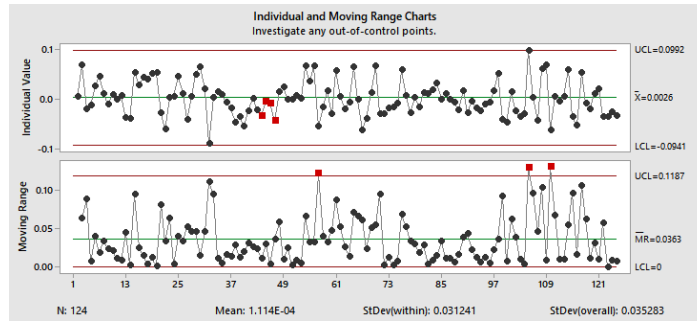
KKK	Ardışık Bağımlılık Testi	Normalite Testi	Zaman Serisi Testi
Ünite 1000 Yoğunluk	Ardışık Bağımlı	Normal Olmayan Dağılım	Durağan
Filtrasyon Öncesi Küllendirme	Ardışık Bağımlı	Normal Olmayan Dağılım	Durağan
Filtrasyon Sonrası Küllendirme	Ardışık Bağımlı	Normal Dağılım	Durağan
Ünite 2000 Yoğunluk	Ardışık Bağımlı	Normal Olmayan Dağılım	Durağan
Ünite 2000 Nem	Ardışık Bağımlı	Normal Dağılım	Durağan Değil
Ünite 3000 Yoğunluk	Ardışık Bağımlı	Normal Olmayan Dağılım	Durağan
Ünite 3000 Nem	Ardışık Bağımlı	Normal Olmayan Dağılım	Durağan

Tablo 1. Kalite Karakteristikleri Analiz Sonuçları

4. Sayısal Sonuçlar

4.1. Doğrulama ve Geçerlilik

DB Tarımsal Enerji A.Ş.'nin sağladığı 24.11.2017 – 24.01.2018 tarihlerine ait verilerle, gerekli analizler yapılmış, kontrol grafikleri çizilmiş ve KDS oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan model 25.01.2018 – 17.04.2018 tarihleri arasındaki veriler kullanılarak aynı testlerden geçirilmiştir.



Şekil 13. Ünite 2000 Nem KKK'sına Ait Alınan Eski ve Yeni Verilerle Çizilen Kontrol Grafiği

Şekil 13'te Ünite 2000' deki Nem KKK'sının yeni verilerine ait I-MR kontrol grafiği gösterilmiştir. Şekil 11'de de görülen, daha önceki verilere ait olan kontrol limitleri uygulandığında, süreç kontrol altında görünmektedir. Kırmızı noktalar, yine atanabilir problemlerin olduğunu göstergesidir. Sonuç olarak, çözüm yöntemimiz doğrulanmıştır.

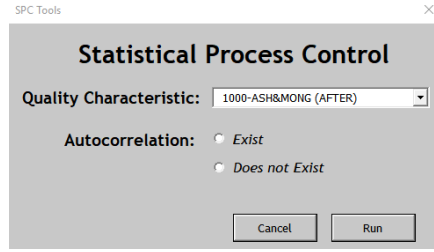
4.2. Karşılaştırma ve Uygulama: KDS

Yaptığımız araştırmalar ve problemimizi çözmek için oluşturduğumuz yol haritası ışığında, şirketin günlük işleyişini kolaylaştıracak ve üretim sürecini sürekli kontrol etmelerini sağlayacak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Excel VBA kullanılarak oluşturduğumuz KDS'nin, kolay anlaşılabilir ve kullanıcıya yardımcı olmasına dikkat edilmiştir. KDS oluşturulurken, bütün veriler, Excel üzerinde analiz edilmiş ve bu analizler kayıt altına alınmıştır. Sonrasında analizler doğrultusunda çizilecek kontrol grafiklerine karar verilip, VBA

kodu yazılmıştır. Kullanıcı, sistemi açtığı anda, karşısına Şekil 14'deki ekran gelmektedir.

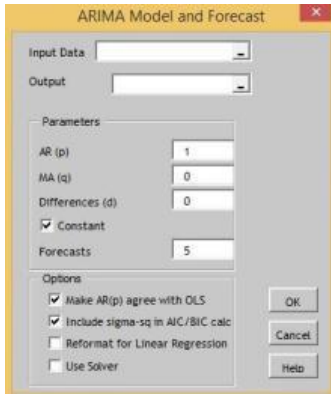


Şekil 14. KDS Giriş Ekranı

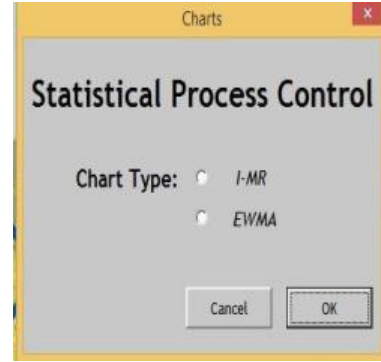


Şekil 15. Kalite Karakteristiği seçim ekranı

Kullanıcı, Şekil 14'te gösterildiği gibi bir ana giriş ekranıyla karşılaşacaktır. 'DSS SPC' butonuna tıkladıktan sonra, Şekil 15'te belirtilen ekranda istediği kalite karakteristiğini seçerek, ardışık bağımlılığın var olup olmadığını işaretledikten sonra, 'RUN' butonuna tıkladığında, Şekil 16'da gösterilen biçimde, gerekli ARiMA modelini oluşturarak, çizdirmek istediği grafiği seçebileceği Şekil 17'deki ekrana ulaşmaktadır. Son olarak, seçtiği kalite karakteristiğine ait grafik, ekrana gelmektedir.



Şekil 16. ARiMA Modeli Oluşturma Ekranı



Şekil 17. Grafik Özelliği Seçim Ekranı

Karar Destek Sistemi, şirket tarafından günlük olarak, sürecin gelecekte izlenmesini sürdürmek için kullanılacaktır. Kullanıcı, Excel veritabanını kalite özelliklerinin ölçüleriyle günlük olarak güncelleyebilir ve kontrol dışı durumdan çıkan sinyalleri veya

varyasyondaki artışı algılamak için kontrol tablolarını güncelleyebilecektir.

5. Sonuç

Bu projede, DB Tarımsal Enerji A.Ş.'nin gliserin üretim süreci için bir İSK programı oluşturulmuştur. İSK programı oluşturulurken, fabrikanın günlük üretim sürecinde son ürüne etki eden aşamalar (KKK'lar) belirlenmiştir. Bu KKK'lardan elde edilen veriler analiz edilerek, ardışık bağımlılık, normalite ve zaman serisi testleri yapılarak, uygun kontrol grafiklerine karar verilmiş ve oluşturulan KDS sayesinde gliserin üretimindeki değişkenliğin azaltılması hedeflenmiştir. KDS, kendi içerisinde ardışık bağımlılık durumuna göre kontrol grafiklerini çizebilmektedir. Proje sonucunda DB Tarımsal A.Ş.'nin gliserin üretiminde günlük olarak güncelleyebileceği, gerekli kontrolleri kolayca yapabileceği, Excel VBA ile kodlanmış bir İSK programı elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] <http://www.dbtarimsalenerji.com.tr>
- [2] Montgomery D.C., Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, 7th Ed., 2013.
- [3] Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country, Ignatio Madanhire, Charles Mbohwa, 2016.
- [4] Cusum Kontrol Grafikleri Ve Bir Uygulama, E. OKTAY, M. S. ÖZÇOMAK, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2001.
- [5] A Single EWMA Chart for Monitoring Process Mean and Process Variance, A. F. B. Costa, M. A. Rahim, 2005.
- [6] Time Series Modelling for Statistical Process Control, L. C. ALwan, H. V. Roberts, Jan. 1988.

Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi

Yaşar Üniversitesi

Arın Soyer
Zehra Emir

Proje Ekibi
Hilal Foçalı
Ahmet Özsarı
Ezgi Yeşiloğlu

Yiğit Gülmezoğlu
Zeynep Altınbulak

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Akademik Danışmanlar
Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek
Araş. Gör. Hande Öztop
Araş. Gör. Sinem Özkan

ÖZET

Ders çizelgeleme problemi tüm eğitim kurumları için önemli bir sorundur. Artan ders sayısı dikkate alındığında, akademik yıl boyunca açılacak olan derslerin en uygun derslik ve zaman dilimlerine tahsis edilmesi giderek zorlaşan bir problem haline gelmiştir. Yaşar Üniversitesi'nde, programların herhangi bir program kullanılmaksızın manuel olarak hazırlanması zaman kaybına sebep olmaktadır ve kullanıcı hatalarına yol açabilmektedir. Bu projenin amacı, hızlı ve kullanıcı dostu bir program geliştirilerek hatasız bir şekilde ve daha kısa zamanda ders çizelgelerinin oluşturulmasını sağlamaktır. Problem için bir matematiksel model geliştirilmiş ve IBM ILOG CPLEX çözücüsünde kodlanmıştır. Ardından model ile entegre çalışan Excel VBA tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilerek kullanıcıya sunulmuştur. Mevcut sistemle kıyaslandığında, kaynak kullanımında %63, zamandan ise %99 kazanç sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Ders Çizelgeleme, Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi, Matematiksel Modelleme, Tamsayılı Programlama

1. Genel Sistem Analizi

Selçuk Yaşar Spor ve Eğitim Vakfı, 1999 yılında bir üniversite kurma kararı almıştır. Bu karar, TBMM tarafından onaylanan 4633 sayılı kanun ile yasalaştı ve Yaşar Üniversitesi 2002-2003 akademik yılında İzmir’de kent içindeki Alsancak Kampüsü’nde yaklaşık 40 öğrenci ile eğitime başladı (Yaşar Üniversitesi, 2017).

2005’ten 2008’e kadar hazırlık okulu Alsancak Kampüsü’nde kalırken, diğer bölümler eğitime DYO Kampüsü’nde devam etmiştir. Bu tarihler arasında öğrenci sayısında önemli derecede artış olmuştur. Artan talebi karşılamak için, 15 Ekim 2008’de Selçuk Yaşar Kampüsü açılmıştır. 2013 yılında Y-binası adıyla yeni bir binanın da inşaatının tamamlanmasıyla beraber hazırlık sınıfları da bu kampüse taşınmıştır. O zamandan beri eğitim sadece Selçuk Yaşar Kampüsü’nde devam etmektedir. Son olarak, 2016 yılında T-binası olarak isimlendirilen ek bir binanın yapımına başlanmış, 2017 yılında da yapımı tamamlanarak kullanıma başlanmıştır.

Üniversitede; 9 fakülte, 2 enstitü ve 4 yüksekokul bulunmaktadır. Kasım 2017 verilerine göre, kadrolu olarak 432 akademik personel ve 297 idari personel görev yapmaktadır. 2017-2018 akademik yılı güz dönemi itibariyle öğrenci sayısı yaklaşık olarak 10.000’dir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Bu projede, Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nün ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

Mevcut sistemde, programlar araştırma görevlileri tarafından herhangi bir program kullanılmaksızın manuel olarak hazırlanmaktadır. Öncelikle, Merkezi Akademik Planlama Koordinasyon Birimi her fakültenin kullanabileceği derslikleri belirlemektedir. Ardından her

bölümün program sorumluları, fakülteye verilen sınıfları öğrenci sayılarını göz önünde bulundurarak aralarında paylaşmaktadırlar.

Daha sonra, her bölümün program sorumluları kendi bölümü için ders programını manuel olarak Excel üzerinde oluşturmaktadır. Öğretim görevlisi, program ve derslik bilgilerini içeren üç ayrı Excel dosyası bulunmaktadır. Her Excel dosyasında konuyla ilgili çok sayıda sayfa bulunmaktadır. Örneğin; 2017-2018 güz dönemi için, öğretim görevlisi dosyasında 66, programlar için 26, derslik bilgileri için 36 sayfa bulunmaktadır. Program sorumluları çoğunlukla bölümleriyle ilgili sayfaları kullanmaktadırlar, ancak ortak derslerin ataması yapılırken tüm fakülteyi kontrol etmeleri gerekmektedir.

Öncelikle, fakültenin ortak derslerini yerleştirmektedirler. Daha sonra, uygun gördükleri zaman aralıklarına bölüm derslerinin atamalarını yapmaktadırlar. Bu atamalar yapılırken öncelikle iki konuya dikkat edilmektedir; her sınıfın zorunlu derslerinin çakışmaması ve ardışık sınıfların derslerinin mümkün olduğunca çakışmamasıdır. Bu durum alttan veya üstten ders alabilecek öğrenciler için göz önünde bulundurulmaktadır.

Her atama için üç sayfa da güncellenmektedir. Bu işlem çok fazla dikkat gerektirdiği için hatalar olabilmektedir. Bu nedenlerle ilk elde edilen ders programı hiçbir zaman son hali olmamaktadır. Son haline getirmek için birçok kez revize yapılmaktadır ve program sorumluları bunun için haftalarca uğraşmaktadırlar. Bu süreç, onlar için yorucu, zaman alıcı ve karmaşıktır. Ayrıca uygulanabilir bir sonuç elde ettikten sonra başka değişim yapmamaktadırlar. Dolayısıyla, mevcut sistemde en iyi çözümden bahsetmek mümkün değildir. Hazırlanan programlarda, kaynak kullanımı ve istekler açısından verimli sonuçlar alınmamaktadır.

2.2 Problemin Tanımı

Ders çizelgeleme problemi, derslerin, öğretim elemanlarının ve dersliklerin ilgili eğitim kurumunun fiziki ve teknolojik kısıtları dikkate alınarak uygun gün ve saatlere atanmasıdır. Öğretim elemanlarının ve öğrencilerin istek ve ihtiyaçlarını karşılayacak olası bir ders programı oluşturmanın zorluğu, ders çizelgeleme problemlerinin önemini ortaya koymaktadır. Bazı durumlarda tek bir uygun programın bile oluşturulması imkansız hale gelebilir.

Üniversite ders çizelgeleme problemini etkin bir şekilde çözebilmek için; olaylar, kaynaklar, zaman dilimleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Olaylar, yani planlanan aktiviteler, öğretim elemanları, dersler ve öğrencilerdir. Mevcut kaynaklar sınıflardır. Zaman dilimleri günlük ve haftalık olarak ayrılabilir. Amaç fonksiyonu ise, en az sayıda derslik kullanmak, kaynaklardan olabildiğince yararlanmak veya en fazla sayıda esnek kısıtı sağlamak olabilir. Kısıtlar dikkate alınması gereken sınırlayıcı faktörlerdir. Kısıtlar, zorunlu ve esnek olmak üzere ikiye ayrılır. Esnek kısıtlar arzu edilen ama uygulanabilir bir çözüm için gerekli olmayan kısıtlardır. Kısıtlar aşağıdaki gibi örneklendirilebilir:

Zorunlu kısıtlar:

- Hiçbir öğrenci grubu veya öğretim elemanı aynı anda birden fazla derste veya sınıfta olamaz.
- Programdaki bütün dersler eksiksiz olarak en fazla bir dersliğe atanmalıdır.
- Dersi alan öğrenci sayısı dersin atandığı sınıfın kapasitesinden büyük olamaz.

Esnek kısıtlar:

- Derslerin, öğretim elemanlarının istediği sınıf veya zaman dilimlerine atanması

- Bir günde öğretim elemanın verdiği toplam ders saatinin sınırlandırılması
 - Öğrenciler ve öğretim elemanları için öğle tatili verilmesi
- Kısıtlar ve amaç fonksiyonu kurum ve departmanların ihtiyaçlarına göre değişiklik gösterebilir. Bu projede dikkate alınan kısıtlar ve amaç fonksiyonu 3. bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.3 Teknik Yazın Taraması

1960'lı yıllardan günümüze kadar geçen süreçte ders programı çizelgeleme probleminin çözümü için birçok yöntem kullanılmıştır.

Bu yaklaşımlardan ilk ve en çok kullanılmış olanı matematiksel programlamadır. Bu bir optimizasyon tekniğidir. Bu çalışmalarda, matematiksel programlamanın uzantıları olan tamsayılı programlama ve doğrusal programlama tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu yöntemin kullanıldığı çalışmalardan biri, üniversitenin sadece bir bölümü için derslik boyutunun göz ardı edildiği bir ders programlama modelinin geliştirilmesidir (Akkoyunlu, 1973). Ardından, öğretim üyelerinin tercihlerinin dikkate alındığı bir ders programlama modeli önerilmiştir (Harwood ve Lawless, 1975). Ayrıca, iki yıl sonra, aynı problemin çözümü için, öğretim üyelerinin ders ve zaman tercihlerini mümkün olan en iyi şekilde gerçekleştirmeyi amaçlayan 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir (Shih ve Sullivan, 1977).

İlerleyen zamanlarda ise, fakülte, dersler, zaman dilimleri ve sınıf büyüklüklerini içeren karar destek sistemi önerilmiştir (Dinkel vd., 1989). Çakışan ders sayısını ve ek kaynak kullanımını en aza indiren bir model de sunulmuştur (Boronic, 2000).

Matematiksel programlama dışında birçok farklı yöneylem araştırma tekniği de bu problemi çözmek kullanılmıştır. Grafik renklendirme tekniği bunlardan biridir. Bir başka yöntem ise, çok kriterli/çok amaçlı modelleme tekniğidir (Lee ve Schniederjans, 1983).

Kısıt ve değişken sayılarına bağlı olarak problemin boyutunun üstel olarak büyümesiyle birlikte araştırmacılar metasezgisel temelli yaklaşımlara yönelmiştir. Bu yaklaşımın bir tekniği olan tabu arama algoritması kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Başka bir yöntem olan genetik algoritma yaklaşımının oldukça iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür (Holland, 1975). Karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) da kullanılan bir başka metasezgisel yaklaşımdır.

Yöneylem araştırması ve metasezgisel temelli yaklaşımların üstün yönleri dikkate alınarak, birlikte kullanıldığı hibrit yöntemlere özellikle son yıllarda sıklıkla başvurulmaktadır (Ayob ve Jaradat, 2009).

Bunlara ek olarak, yapay zeka tekniği olan bulanık mantık yaklaşımı da problemi çözmek için kullanılmıştır (Chaudhuri ve Kajal, 2010).

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Sistem analizi ve literatür taraması doğrultusunda projede matematiksel programlama tekniği kullanılmıştır. Model 0-1 tamsayılı programlama tekniği ile oluşturulmuştur. Modeli çözmek için IBM ILOG CPLEX Optimization Studio kullanılmıştır.

3.1 İndeksler, Parametreler, Kümeler ve Karar Değişkenleri

İndeksler:

s: Ders indisi

c: Derslik indisi

d: Gün indisi

h: Zaman dilimi indisi

t: Öğretim elemanı indisi

k: Ders indisi

Parametreler:

l_s : *s* dersinin saati

N_h : Zaman dilimi sayısı

N_s : Ders sayısı

N_c : Derslik sayısı

N_d : Gün sayısı

N_t : Öğretim elemanı sayısı

\bar{l}_h : Ardışık olan maksimum ders saati

M : Büyük tamsayı sabiti

to_i : Çakışabilecek maksimum i . sınıf ders sayısı, $i \in \{2, 3, 4, 5\}$

o_j : Çakışabilecek maksimum j . sınıf bölüm dersi sayısı, $j \in \{1, 2, 3\}$

$nosb$: 8.30'da başlayabilecek maksimum ders sayısı

$$CM_{sc} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } s \text{ dersi } c \text{ sınıfında verilebiliyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$TM_{st} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } t \text{ öğretim elemanı } s \text{ dersini veriyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Kümeler:

D : Günlerin kümesi, $d \in \{1, 2, \dots, N_d\}$

T : Öğretim elemanlarının kümesi, $t \in \{1, 2, \dots, N_t\}$

S : Bütün derslerin kümesi, $s \in \{1, 2, \dots, N_s\}$

S_1 : Endüstri mühendisliği bölüm derslerinin kümesi, $S_1 \subset S$

C : Kullanılan bütün sınıfların kümesi, $c \in \{1, 2, \dots, N_c\}$

C_1 : Endüstri mühendisliği bölüm dersleri için kullanılan sınıfların kümesi, $C_1 \subset C$

H_1 : Zaman dilimi kümesi, $\{1, 2, \dots, N_h\}$, $H_1 \subset H_2$

H_2 : Zaman dilimi kümesi, $\{0, 2, \dots, N_h + \bar{l}_h\}$

H_3 : Zaman dilimi kümesi, $\{0, 2, \dots, N_h\}$, $H_3 \subset H_2$

N_i : i . sınıf derslerinin kümesi, $i \in \{2, 3, 4, 5\}$, $N_i \subset S$

ie_j : Endüstri mühendisliği j . sınıf bölüm derslerinin kümesi, $j \in \{1, 2, 3\}$,

$ie_j \subset S$

CT : T-binasında bulunan sınıfların kümesi, $CT \subset C$

CY : Diğer binalarda bulunan sınıfların kümesi, $CY \subset C$

(s, k) : teori (s) ve laboratuvar (k) ders ikilileri

(s, c, d, h) : Önceden dersliği (c), günü (d) ve saati (h) belirlenmiş olan ders (s) atamaları

Karar Değişkenleri:

$$x_{scdh} = \begin{cases} 1, \text{eğer } s \text{ dersi } c \text{ sınıfında } d \text{ gününde } h \text{ saatinde verilebiliyorsa} \\ 0, \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$Y_c = \begin{cases} 1, \text{eğer } c \text{ sınıfı kullanıldıysa} \\ 0, \text{diğer durumda} \end{cases}$$

3.2 Matematiksel Model

Amaç Fonksiyonu:

$$\sum_{c \in C_1} Y_c \tag{1}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{c \in C_1} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H_1} CM_{sc} x_{scdh} = l_s \quad \forall s \in S_1 \tag{2}$$

$$\sum_{c \in C_1} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H_1} x_{scdh} = l_s \quad \forall s \in S_1 \tag{3}$$

$$\sum_{s \in S} x_{scdh} \leq 1 \quad \forall c \in C, d \in D, h \in H_1 \tag{4}$$

$$\sum_{c \in C} x_{scdh} \leq 1 \quad \forall s \in S, d \in D, h \in H_1 \tag{5}$$

$$x_{scdh} = 0 \quad \forall s \in S_1, c \in C, d \in D, H_2: h > N_h \text{ or } h = 0 \tag{6}$$

$$-x_{scdh} + x_{scd(h+1)} - x_{scd(h+l_s)} \leq 0 \quad \forall S_1, C, d, H_3 \text{ and } l_s = \{2,3\} \tag{7}$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{h \in H_1} x_{scdh} \leq M Y_c \quad \forall c \in C \tag{8}$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{c \in C} TM_{st} x_{scdh} \leq 1 \quad \forall d \in D, h \in H_1, t \in T \tag{9}$$

$$\sum_{s \in S_1} \sum_{c \in C} \sum_{h=4}^5 x_{scdh} \leq 1 \quad \forall d \in D, t \in T \tag{10}$$

$$\sum_{d \in D} d \sum_{c \in C} \sum_{h \in H_1} x_{scdh} - \sum_{d \in D} (d-1) \sum_{c \in C} \sum_{h \in H_1} x_{kcdh} \leq 0 \quad \forall (s, k) \tag{11}$$

$$\sum_{s \in N_i} \sum_{c \in C} x_{scdh} \leq t_{0i} \quad \forall d \in D, h \in H_1, i \in N_i \tag{12}$$

$$\sum_{s \in i e_j} \sum_{c \in C} x_{scdh} \leq o_j \quad \forall d \in D, h \in H_1, j \in i e_j \quad (13)$$

$$x_{scdh} = 1 \quad \forall (s, c, d, h) \quad (14)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{s \in S} \sum_{c \in C} TM_{st} x_{scd1} \leq nosb \quad \forall t \in T \quad (15)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{c \in CT} TM_{st} x_{scdh} + \sum_{s \in S} \sum_{c \in CY} TM_{st} x_{scd(h+1)} \leq 1 \quad \forall t, d, h \in H_1: h \neq N_h \quad (16)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{c \in CY} TM_{st} x_{scdh} + \sum_{s \in S} \sum_{c \in CT} TM_{st} x_{scd(h+1)} \leq 1 \quad \forall t, d, h \in H_1: h \neq N_h \quad (17)$$

Kısıt (2) ve (3) dersin, uzunluğu kadar bir zaman dilimine ve uygun bir dersliğe atanmasını sağlamaktadır. (4) numaralı kısıt, bir derslikte aynı anda sadece bir ders olmasını sağlamaktadır. Benzer bir şekilde, kısıt (5)'te bir dersin aynı zamanda birden fazla dersliğe atanmasını engellemektedir. (7) numaralı kısıt, bir dersin tüm saatlerinin ardışık olarak atanmasını sağlamaktadır. Bu kısıtı sağlayabilmek için birbirinden farklı tanım aralıklarına sahip yapay zaman dilimi kümeleri (H_2, H_3) oluşturulmuştur. Kısıt (6) ise, kullanılabilir olmayan bu zaman dilimlerine atama yapılmasını engellemektedir. (8) numaralı kısıt, iki karar değişkenini birbirine bağlamak amacıyla yazılmıştır. Kısıt (9) öğretim elemanlarının derslerinin çakışmasını önlemektedir. (10) numaralı kısıt, öğretim elemanlarının öğle tatili olmasını garanti etmektedir. (11) numaralı kısıt, teori ve laboratuvar derslerinin farklı günlerde olmasını ve teori derslerinin önce gelmesini sağlamaktadır. Kısıt (12), herhangi bir sınıfın (ikinci, üçüncü, dördüncü, yüksek lisans) derslerinin kendi içerisinde en fazla kaç tanesinin çakışabileceğini belirlemektedir. Benzer bir şekilde (13) numaralı kısıt da, birinci, ikinci ve üçüncü sınıf öğrencileri için bölüm derslerinin kendi içerisinde çakışma sayısını sınırlandırmaktadır. (14) numaralı kısıt, daha önceden yeri ve zamanı belirlenmiş olan bölüm dışı derslerin belirtilen zaman aralıklarına ve dersliklere yerleştirilmesini sağlamaktadır. Kısıt (15) öğretim elemanlarının ilk zaman diliminde hafta boyunca (bu model için

08:30) verebilecekleri ders sayısını kısıtlamaktadır. Kampüste, T-binası diğer binalara uzak olarak konumlanmıştır. Ders aralarının 10 dakika olduğu göz önüne alındığında, T-binasından çıkıp diğer binalara gitmek veya tam tersi durum için yeterli vakit yoktur. Bu nedenle, (16) ve (17) numaralı kısıtlar öğretim elemanlarının ardışık derslerinin birbirine uzak olan binalarda olmasını engellemektedir.

(1) numara ile belirtilen amaç fonksiyonu ise Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün kendi dersleri için kullandığı derslik sayısını en aza indirmek amacıyla yazılmıştır. Bunun amacı, kaynak kullanımını düşürerek kullanılan kaynaktan alınan faydayı arttırmaktır. Gelecekte meydana gelebilecek olan bölüm veya ders artışı da göz önünde bulundurularak bu yönde bir amaç fonksiyonu kararlaştırılmıştır.

2017-2018 akademik yılı bahar dönemi verileriyle yaklaşık olarak iki dakikada optimal çözüm elde edilmiştir. Doğası gereği, yılda yalnızca iki defa çalıştırılacağı için herhangi bir sezgisel yöntem geliştirilerek hızlandırılması fikrine gerek duyulmamıştır. Optimal çözüm yeterince hızlı bir şekilde elde edilmektedir.

4. Sayısal Sonuçlar

4.1 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Öncelikle, zorunlu kısıtların istenildiği gibi çalışıp çalışmadığı daha küçük bir veri seti ile doğrulanarak matematiksel model kontrol edilmiştir. Bulunan hatalar giderilmiş, modelin doğruluğundan emin olunduktan sonra kampüs hayatını iyileştirmek için esnek kısıtlar eklenmiştir. Onların da kontrolü tamamlandıktan sonra, model son haline getirilmiştir. Sonrasında, gerçek veri ile çalıştırılan modelin geçerliliği doğrulanmıştır.

Model girilen parametrelere duyarlıdır. Farklı parametreler ile çalıştırılan model sonuçları Tablo1'de görülebilir (Belirtilmeyen parametreler sabit kalmıştır). Örneğin, gün ve saati belirli olan derslerde

üç tane çakışan ders varsa, modele en fazla iki ders çakışmasına izin ver demek modelin çözümünü imkansız hale getirecektir. Çok sayıda dersin çakışmasına izin vermek, kullanılan sınıf miktarını düşürecektir. Parametrelerin mantıklı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Sistem dinamik bir şekilde oluşturulduğu için, sistem dinamiklerinin değişmesi durumunda kullanıcı parametreleri değiştirerek, modelde herhangi bir değişim gerekmeksizin programı kullanmaya devam edebilecektir.

Tablo1. Farklı Senaryolar Altında Amaç Değerleri

Parametre	Amaç Değeri
$t_{o_2}=2$	Uygun çözümü yok
$t_{o_3}=1$	Uygun çözümü yok
$nosb=4$	12

4.2 Karşılaştırma ve Uygulama: İyileştirmeler ve KDS

Projemizde, IBM ILOG CPLEX ile Excel programlarının beraber çalıştığı bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Excel VBA kullanılarak oluşturulan karar destek sistemi, kullanıcının istek ve görüşleri doğrultusunda tasarlanmıştır, bu sayede kullanması kolay kullanıcı dostu bir sistem ortaya çıkmıştır. Şekil 1’de sistemin ana ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil1. KDS Ana Ekran Görüntüsü

KDS ana ekranında 10 adet buton bulunmaktadır. (1) numaralı buton, kullanıcının ders listesini içeri aktarmasını sağlar. Ders listesi,

bölüm başkanı tarafından bir Excel dosyasında kullanıcıya gönderilir, kullanıcı Excel dosyasını seçerek aktarır. Diğer bölümlere ait olan derslerin sisteme girişi (2) numaralı buton ile sağlanır. Okulumuzda, bazı dersler için birden fazla şube bulunmaktadır; bu derslerden bazılarında teori dersleri birleştirilir laboratuvar dersleri ise ayrı yapılır. (3) numaralı buton ile derslerin birleştirilme işlemi yapılır. Diğer departmanlar tarafından günü ve saati belirlenmiş dersler (4) numaralı butona basılarak açılan kullanıcı formu ile sisteme girilir. Parametreler (5) numaralı buton ile istenilen şekilde ayarlanır. Sistem parametreleri, her sınıf için kaç tane bölüm dersi ve toplam kaç tane dersin (bölüm dışı dersler dahil) çıkacağı, öğretim elemanlarına en fazla kaç tane 8:30'da başlayan ders atanabileceği ve ardışık olan maksimum ders saatidir. (6) numaralı çalıştır butonuyla girilen veriler CPLEX çözücüsüne aktarılır ve çözüm alınır. (7), (8) ve (9) numaralı butonlara basılarak sırasıyla, dersliklerin, öğrencilerin ve öğretim elemanlarının ders programları istenilen formatta elde edilir (Şekil 2-4). (10) numaralı buton yardımıyla da girilen veriler ve oluşturulan programlar silinmektedir.

2017-2018 akademik yılı bahar dönemi ders programı için mevcut sistem ile hazırlanan programda 19 sınıf kullanılmış ve programın hazırlanması üç hafta sürmüştür. Sunulan sistem ile çözüldüğünde ise 12 sınıf kullanılmış ve veri hazırlık süreci dahil yarım saatte sonuç alınmıştır.

Y324	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
08.30 - 09.20	IE 152 - 1		IE 252 - 3 - LAB	IE 212 - 2 - LAB	IE 212 - 1 - LAB
09.30 - 10.20				MATH 230 - 1 - LAB	
10.30 - 11.20				IE 362 - 2 - LAB	
11.30 - 12.20				IE 152 - 2 - LAB	IE 212 - 3 - LAB
12.30 - 13.20					
13.30 - 14.20	IE 362 - 1	IE 152 - 2			
14.30 - 15.20			IE 252 - 1 - LAB		IE 152 - 3 - LAB
15.30 - 16.20					
16.30 - 17.20					
17.30 - 18.20					

Şekil2. Y324 Dersliğinin Programı

Sel Özcan Tatari	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
08.30 - 09.20				ENGR 102 - 4 - LAB C116	
09.30 - 10.20	ENGR 102 - 3 Y215		ENGR 102 - 3 - LAB C011		ENGR 102 - 2 - LAB F001
10.30 - 11.20					
11.30 - 12.20					
12.30 - 13.20					
13.30 - 14.20					
14.30 - 15.20				IE 212 - 3 Y216	IE 212 - 3 - LAB Y324
15.30 - 16.20					
16.30 - 17.20			ENGR 102 - 4 T212	ENGR 102 - 2 F001	
17.30 - 18.20					

Şekil3. Sel Özcan Tatari'nin Ders Programı

İKİZİ	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
08.30 - 09.20	IE 224 - 1 Endüri Öner T311	IE 213 - 2 HMR Pasyon C120	ECON 120 - 1 İH T214	MATH 230 - 1 Refer Panel Y215	IE 212 - 1 LAB ERI Statist Y324
09.30 - 10.20	IE 219 - 4 Genel Mavi Doku F006				
10.30 - 11.20					
11.30 - 12.20					
12.30 - 13.20					
13.30 - 14.20					
14.30 - 15.20					
15.30 - 16.20					
16.30 - 17.20					
17.30 - 18.20					

Şekil4. İkinci Sınıf Öğrencilerinin Ders Programı

5. Sonuç

Bu proje, Yaşar Üniversitesi'nde ders programlarının oluşturulması için harcanan zaman kaybını en aza indirmek ve varolan kaynakları daha verimli kullanmak için yapılmıştır. Sistem ihtiyaçları ve dinamikleri analiz edilmiş ve en uygun model geliştirilmiştir. Bunun sonucunda ise, kullanıcı istekleri doğrultusunda kaynak kullanımını minimize eden ve hazırlanma süresini azaltan otomatik bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Mevcut sistemde, manuel olarak gerçekleştirilen ders programları, oluşturduğumuz sistem ile otomatik hale getirilmiştir. Bu sayede, mevcut sistem ile kıyaslandığında kaynak kullanımında %63, zamandan ise %99 kazanç sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

Akkoyunlu, E.A. 1973. "A linear algorithm for computing the optimum university timetable". The Computer Journal, 16(4), 347-350.

- Ayob, M., Jaradat, G. 2009. “Hybrid ant colony systems for course timetabling problems”. IEEE 2nd Conference on Data Mining and Optimization Selangor, Malaysia.
- Boronico, J. 2000. “Quantitative modeling and technology driven departmental course scheduling”. Omega, 28(3), 327-346.
- Chaudhuri, A., Kajal, D. 2010. “Fuzzy genetic heuristic for university course timetable problem”. International Journal Advance Soft Computation Applications, 2(1), 100-123.
- Dinkel, J.J., Mote, J., Venkataramanan, M.A. 1989. “An efficient decision support system for academic course scheduling”. Operations research, 37(6), 853-864.
- Harwood, G.B., Lawless, R.W. 1975. “Optimizing organizational goals in assigning faculty teaching schedules”. Decision Sciences, 6(3), 513-524.
- Holland, J.H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, Ann Arbor, USA, University of Michigan Press.
- Lee, S., Sehniederjans, M. 1983. “Multi criteria assignment problem: A goal programming approach”. Interfaces, 13(4), 75-81.
- Shih, W., Sullivan, J.A. 1977. “Dynamic course scheduling for college faculty via zero-one programming”. Decision Sciences, 8(4), 711-721.
- Yaşar Üniversitesi, “Tarihçemiz”, <https://www.yasar.edu.tr/universitemiz-tarihcemiz>. Son erişim tarihi: 1 Aralık 2017.

İleri İşlem Bölümü Paketleme Hatları Çizelgeleme Problemi Abaloğlu Yem Soya ve Tekstil Sanayi A.Ş.

Proje Ekibi

Atakan Arslan
Baturay Çağlasın
Berkay Yükselir
Buse Bahçacı
Emre Tekin
Görkem Ceyhan
Mert Özaşkın

Yaşar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İzmir

Şirket Danışmanı

Ersan KOÇER-Üretim Planlama Müdürü
Türker ÇAVUŞ-İleri İşlem Planlama Şefi

Akademik Danışman

Doç. Dr. Banu Yetkin Ekren, Anıl Akpunar
Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

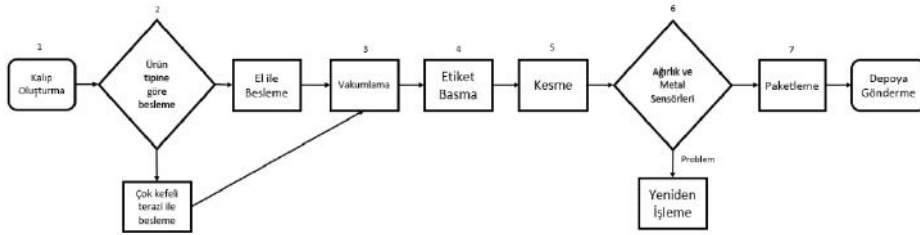
ÖZET

Lezita fabrikası, ileri işlem paketleme hatlarında, yüksek hazırlık süreleri nedeniyle verimsizlikler yaşanmakta, bu durum işlerin sevkiyata zamanında yetişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu projenin amacı paketleme hatlarında maksimum tamamlanma sürelerini enküçükleyecek çizelgeleme yöntemlerini kullanarak, paketleme alanında verimlilik artışı sağlamaktır. Bunun için, problemin yapısına da uyan permütasyonel sıralı bağımlı akış tipi çizelgeleme yöntemi baz alınmıştır. Çözüm algoritmaları, Microsoft Excel'de, makro tabanlı visual basic (VBA) programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen çözüm yöntemleri sayesinde, %20'ye yakın bir verimlilik artışı sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: hazırlık süresi enküçükleme, sıralı bağımlı akış tipi çizelgeleme, hat çizelgeleme, algoritma

1. Genel Sistem Analizi

Abalıoğlu, 1900'lü yılların başında Denizli'de tekstil imalatıyla faaliyete başlamıştır. 1940'lı yılların başında ise un üretimiyle sanayiciliğe ilk adımını atmıştır. 1993 yılında yumurta üretimine ve 1994 yılında damızlık civciv yetiştiriciliğine başlamasıyla gıda sektörüne ilk adımını atmıştır. 2007 yılında ise gıda ve ilgili ürünlerin üretimine başlanmıştır. Abalıoğlu'nun entegrasyon sürecinin son halkası ise Lezita markası olmuştur ve Lezita fabrikası 2006 yılında Kemalpaşa/İzmir'de kurulmuştur. ISO 500'ün verilerine göre, sermayesi itibarıyla Türkiye'nin en büyük 47. şirketi. Şirketin sermayesi 1.916.284.767 TL ve net cirosu 1.065.000.000 TL'dir. Kemalpaşa'da bulunan Lezita fabrikasının iş akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu iş akış şemasına dayanılarak ağırlıklı olarak 18 süreç tanımlanmıştır.



Şekil 1. İş Akış Şeması

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

İleri işlem bölümünde mevcut olan tabaklı ürünler, köfte-şarküteri, blok döner ve pişmiş döner olmak üzere dört ana ürün grubu bulunmaktadır. Bu projede tabaklı ürünler ve köfte-şarküteri ürün gruplarına odaklanılmıştır. İleri işlem bölümünde beş tane paketlenme hattı vardır. Bu hatlar yoğunluklu olarak farklı ürün türleri için kullanılır, bunun sebebi ise, bu makinelerin farklı özelliklerinin olmasıdır. Örneğin, paketlenme makinesi olan MultiVac 1'de kokteyl sosleri çok keffeli terazi

ile tabaklara beslenir fakat MultiVac 5'te bu işlem el ile yapılmaktadır. Her hatta toplamda yedi tane operasyon vardır. Bu işlemler, elle veya çok kefeli terazi ile besleme, vakumla baskılama, son kullanma tarihlerini yazma, tabakları parçalara kesme, metal detektör kontrolü, ağırlık kontrolü ve manuel ya da otomatik olarak paketleme şeklindedir.

2.2 Sistemde Görülen Semptomlar

Sistemde belirlenen en önemli semptomlar; hatlarda paketlenen ürün tip değişiminde hazırlık sürelerine bağlı olarak yaşanan önemli zaman kayıpları, siparişlerin sevkiyata zamanında yetiştirilememesi, bazı gıdaların depolarda beklerken son kullanma tarihlerinin geçmesi ve aşırı stok birikmesidir.

2.3 Problemin Tanımı

Lezita ileri işlem paketleme bölümündeki hat çizelgelerinin; hazırlık süreleri, yarı mamul, minimum ve maksimum stok seviyesi, makine kapasiteleri, envanter hacmi gibi etkenler göz önünde bulundurulmadan yalnızca tecrübeye ve kişisel önsezilere dayalı olarak oluşturulması en iyi çözüme ulaşma ihtimalini azaltır. Lezita ileri işlem paketleme bölümündeki hatlarda ürün tipi değişimi ile yaşanan uzun hazırlık sürelerinin varlığı ve bu durumun uzun üretim sürelerine sebep olması ve bununla birlikte siparişlerin sevkiyata zamanında yetiştirilememesi de önceki durumla bağlantılı olarak problemin tanımında yer alabilir. Fabrikanın ileri işlem bölümü paketleme alanı için çizelgeleme problemi bilimsel metotlar kullanılarak, yukarıda bahsedilen etkenleri dikkate alan ve performansı ölçülüp, karşılaştırma yapılabilen çizelgelerin eksikliği minimum üretim süreleri ile gerçekleşen hat operasyonlarının oluşturulmasını engellemiştir. Bu durum da firmanın yaşadığı maliyet arttırıcı bir problem olarak belirlenmiştir.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Çalışmada, sezgisel çizelge algoritmalarına odaklanılmıştır. Bu yaklaşımları kapsayan literatür araştırmalarına göre [1]; akış tipi çizelgelemenin gerçekleşmesi için daha gerçekçi sonuçlar vermesi açısından, sıralı bağımlı hazırlık sürelerini üretim zamanlarından ayrı olarak ele alır. Gupta'ya göre [2], sıralı bağımlı hazırlık sürelerini içeren çizelgeleme yöntemlerinin çokterimli zamanda çözümleri mümkün değildir. Bu bakımdan, sıralı bağımlı hazırlık süreleri ile akış tipi çizelgeleme problemleri için sezgisel algoritmalar olmalıdır. Rajesh'in araştırmalarına göre, bu noktada hem yapıcı hem de geliştirici algoritmalar bahsetmek mümkündür. Yapıcı algoritmalar genellikle rastgele olmayan algoritmalar olup, rastgele olan algoritmalar da literatür de mevcuttur.

Son olarak, Eren [3] Nawaz Enscore Ham algoritmasının üç adet varyasyonunu sunmuştur. SH1, SH2 ve SH3 adlarındaki bu varyasyonlar; üretim süreleri ile ilgilidir. Vanchipura makalesine (2012) [1] yer alan ve geliştirilen hazırlık sıralaması algoritması (Setup Ranking Algorithm – SRA) bu proje için kullanılabilir bir algoritmadır. Aynı zamanda incelenen bir diğer sezgisel algoritma, simgesel iş hazırlık sıralama algoritmasıdır (Fictitious Job Setup Ranking Algorithm). Bu algoritma simgesel işler kavramı kullanılarak geliştirilmiştir. Aralarında en küçük hazırlık sürelerine sahip olan iş çiftleri simgesel işleri oluşturur. Her iki algoritmada amaç, tamamlanma sürelerini en aza indirmek için oluşturulmuştur. Vanchipura makalesine (2012) [1] göre SRA, ardışık işlerin sıraya bağlı hazırlık süresini dikkate alır ve işlerin işlenmesini değerlendirmez. İşler arası hazırlık zamanı azaltıldığında, maksimum akış süreside azalır.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Gözlemler ve Veriler

Fabrikada yapılan gözlemler ve alınan bilgiler doğrultusunda veriler elde edilmiştir. İşlem süreleri, ürün grupları arası geçişteki hazırlık süreleri, yarı mamul stok kodları, yarı mamul stok miktarları, kalıplar arası geçişteki hazırlık süreleri, donuk stok miktarı, minimum stok sayısı, ürünlerin isimleri ve stok kodları problem için gerekli olan verilerdir. Ürün değişimi ile oluşan gecikme süreleri, ürün grupları değişimindeki hazırlık süreleri ve kalıp değişiminden kaynaklıdır. Bu veriler Tablo 3'teki gibi bulunmuştur.

Tablo 3. Ürün Grupları Arası Geçişteki Hazırlık Süreleri

	KOFTE	KAPLAMALI Ü.	SOSIS	SUCUK	BURGER	SALAM	CIGER	PILIC TANDIR	PISIRILMIS Ü.	JAMBON
KOFTE	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15
KAPLAMALI Ü.	338	10	338	338	338	338	338	338	338	338
SOSIS	15	15	10	15	15	15	15	15	15	15
SUCUK	30	30	30	10	30	30	30	30	30	30
BURGER	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12
SALAM	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12
CIGER	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12
PILIC TANDIR	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12
PISIRILMIS Ü.	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12
JAMBON	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10

Tablo 4. Kalıplar Arası Geçişteki Hazırlık Süreleri

	Küçük Tabak	Büyük Tabak	Vakumlu
Küçük Tabak	13	126	200
Büyük Tabak	126	13	300
Vakumlu	200	300	0

3.2 Kısıtlar ve Varsayımlar

3.2.1 Kısıtlar

- Makine kapasiteleri
- Minimum ve maksimum stok seviyesi
- Belirli işlerin belirli hatlarda yapılması
- Yarı Mamul

3.2.2 Varsayımlar

- Tüm işler sıfırdan zamanda işleme alınır.
- Her iş başlatıldıktan sonra tamamlanmalıdır.

- Makineler hiçbir zaman arıza yapmaz ve programlama süresince kullanılabilir.
- Aynı zaman diliminde, bir hatta tek bir iş gerçekleşir.
- Sıfıncı zamanda hazırlık zamanı yoktur.
- Tek bir hattaki ayrı operasyonlarda işler, aynı sırayla ilerler.

3.3 Matematiksel Model

Wang ve ark. [4] makalesine göre sıralı bağımlı hazırlık süreleri ile akış tipi çizelgeleme problemleri için, $J = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ bir n dizi işler sırayla $M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ makinelerinde işlem görmektedir. Örneğin, ilk önce makine 1'de işlem görmekte sonra makine 2'de, devamında makine m 'de sona erene kadar sıralı şekilde işlem görmektedir. Bu problemin amacı, maksimum bitirme süresine (C_{max}) sahip olan sıralı işleri bulmaktır. Permütasyonel sıralı işler $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n\}$ için hazırlık sürelerinin değeri, belirli makinedeki mevcut iş işlemine ve aynı permütasyonda bir sonraki işe bağlıdır. Her iş bir makinede işlem görebilir, aynı zamanda her makinede bir iş gerçekleşir. Sıralı bağımlı hazırlık süreleri ile akış tipi çizelgeleme problemi tipik olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir. [4]

$$C(\pi_{1,i}) = p_{\pi_{1,i}} \quad (1)$$

$$C(\pi_{i,i}) = C(\pi_{i-1,i}) + p_{\pi_{i,i}} + S_{i,\pi_{i-1},\pi_i}, i = 2, \dots, n \quad (2)$$

$$C(\pi_{1,j}) = C(\pi_{1,j-1}) + p_{\pi_{1,j}}, j = 2, \dots, m \quad (3)$$

$$C(\pi_{i,j}) = \max(C(\pi_{i-1,j}) + S_{j,\pi_{i-1},\pi_i}, C(\pi_{i,j-1})) + p_{\pi_{i,j}}, i = 2, \dots, n; j = 2, \dots, m \quad (4)$$

$$C_{max}(\pi) = C(\pi_n, m) \quad (5)$$

Şekil 2. Model Formülasyonu

Modelde S_{j,π_{i-1},π_i} , j . makinedeki iş tipi değişiminden oluşan hazırlık süresini gösterir. π_i çizelge sırasını gösterir, yani i . sıradaki iş π_i dir. $p_{\pi_i,j}$ işin j makinesindeki proses süresini gösterir. $C(\pi_i, j)$ gösterimi ise j makinesindeki π_i işinin tamamlanma süresini gösterir.

İlk kısıt, permütasyonel sıralı işlerden ilki olan, 1. işin 1. makinedeki tamamlanma zamanını gösterir. Bu kısıt herhangi bir hazırlık süresi içermez:

$$C(\pi_1, 1) = p_{\pi_1, 1} \quad (1)$$

İkinci kısıt, herhangi bir işin ilk makineki toplam akış süresini gösterir. Bu akış süresi; 2. işten başlayarak, 1. makinedeki işlerin toplam süresinin, 1. makinede gerçekleşen işlerin üretim süreleri ve ilk işin herhangi bir makinedeki hazırlık sürelerinin toplamından oluşur:

$$C(\pi_i, 1) = C(\pi_{i-1}, 1) + p_{\pi_i, 1} + S_{1, \pi_{i-1}, \pi_i}, i = 2, \dots, n \quad (2)$$

Sonraki kısıt, herhangi bir makinede gerçekleşen sıradaki ilk işin akış süresini gösterir. Bu eşitlik; seçilen makineden bir önceki makinede gerçekleşen ilk işin akış süresi ile üretim süresinin toplamından oluşur:

$$C(\pi_1, j) = C(\pi_1, j-1) + p_{\pi_1, j}, j = 2, \dots, m \quad (3)$$

Dördüncü kısıt, herhangi bir makinedeki herhangi bir işin toplam akış süresini gösterir:

$$C(\pi_i, j) = \max(C(\pi_{i-1}, j) + S_{j, \pi_{i-1}, \pi_i}, C(\pi_i, j-1)) + p_{\pi_i, j} \quad (4)$$

Son kısıt, permütasyonel sıralı işlerin tamamlanma süresinin, son sıradaki işin son makinede tamamlanma süresine eşit olduğunu belirtir.

$$C_{max}(\pi) = C(\pi_n, m) \quad (5)$$

Lezita probleminin şuan ki boyutu, 120 ürünün beş paketleme hattı için çizelgelenmesidir. Bazı ürünler belirli makinelerde üretilmekte olup detaylı bilgiler 3.3.1 Çözüm Yöntemi bölümünde anlatılmıştır.

3.3.1 Çözüm Yöntemi

Pinedo'ya göre [5], bir problemin çokterimli zamanda çözülemeyen (NP-zor) olarak belirtilmesi için NP sınıfındaki her problemin, mevcut probleme polinom zamanda indirgenebilir olması gerekir. Bundan yola çıkarak, projenin odaklandığı bu problemin, NP-zor olduğuna kanaat getirilmiş ve böylece sezgisel bir çözüm yöntemi

yardımı ile çözümlenmeye odaklanılmıştır. Daha sonrasında sezgisel metotlar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır.

İleri işlem bölümü paketleme alanı için permütasyonel sıralı bağımlı akış tipi çizelgeleme problemi çözümü için Setup Ranking Algorithm (SRA) algoritması [1] baz alınmıştır. Probleme fayda sağlayacak şekilde oluşturulan proje algoritması için SRA algoritması [1] modifiye edilmiştir.

İlk adım, toplam hazırlık süresi matrisini (Summed Setup Time-SST) yaratmaktır. SRA algoritması şu şekilde özetlenebilir: sst_{jk} , SST'nin j 'ninci satır ve k 'ninci sütun ögesini temsil eder. Toplam hazırlık süreleri, en düşük toplamdan maksimuma kadar sıralanmış toplam zaman matrisini elde etmek ve sıralama işlerinin kombinasyonları için kullanılacaktır. Matristeki ilk iş kombinasyonu, aranan çekirdek sıralamayı çağıracaktır. Bu işler için olası tüm kombinasyonları bulmak bir sonraki adımdır. Sıra, dizinin iki tarafındaki işler için en düşük hazırlık zamanı olan işin kombinasyonunu ekleyerek yaratacaktır. Ardından minimum iş derecesi seçilmeli ve parçalı sıraya eklenmelidir.

Proje kapsamında üç farklı algoritma geliştirilip çalıştırılmıştır. Algoritmaların çalışma prensipleri birbirine benzer olup, her bir algoritma için belirli kısıtlar üstüne eklenerek yenilenmiştir. Problemin girdileri; işlem süresi, hazırlık süresi ve kalıp hazırlık süresi matrisleridir. Maksimum akış süresini indirmek ve iş çizelgesi oluşturmak programın çıktılarıdır. Sezgisel yöntem olarak ilk çalışmada SRA algoritmasının mantığı temel alınarak bir algoritma geliştirilmiştir. Paketleme hattındaki beş makinanın özdeş yani her birinin aynı özelliklere sahip oldukları ve her bir ürünün her bir makina üzerinde işlem görebileceği kabul edilerek bir algoritma yazılmıştır. Bu algoritma hatlardaki maksimum iş akış süreleri içinden minimum olan hattı seçerek iş atamasını gerçekleştiren algoritmadır. Bu algoritma sonucunda daha

denge bir çizelge ve maksimum iş akış süreleri içinde de bir denge yakalamıştır. Algoritma aşağıdaki adımlarla çalışır. İlgili adımlar Şekil 3'te gösterilmiştir. İkinci geliştirilen algoritma ise makine kısıtlı algoritmadır. Yani belirli ürünlerin sadece belirli makinalara atanarak çizelgelendiği algoritmadır. Ürünler ilgili hatlara gönderildikten sonra hatlarda kendi içlerinde toplam hazırlık sürelerine bağlı olarak, maksimum iş akışını en küçükleyecek şekilde bir çizelgeleme oluşturur. Algoritmanın adımları Şekil 4'te gösterilmiştir.

C_{maxi} = i 'ninci hattın maksimum akış süresi.

STM_{ijk} = i 'ninci hatta, j 'ninci işten k 'ninci işe geçerken oluşan toplam hazırlık süresi.

PT_{ij} = j 'ninci ürünün i 'inci hattaki işlem süresi.

M = Büyük bir pozitif sayı.

Adım 1: $\{C_{max1}, C_{max2}, C_{max3}, C_{max4}, C_{max5}\} = 0$ olarak ayarlanır. Böylece başlangıç için tüm hatların maksimum akış süresi 0 olarak tanımlanır.

Adım 2: Ürün sipariş adetleri ilgili makinanın işlem süresi birimiyle çarpılarak PT_{ij} hesaplanır. Buna bağlı olarak her bir j işi ilgili i hattına atanır ve her i hattı için toplam hazırlık süreleri matrisi oluşur.

Adım 3: Her i değişkeni için, STM_{ijk} , i hattı, j satırı ve k sütunu ile temsil edilen yerdeki iki iş arasındaki minimum hazırlık süresi seçilir. Seçilen j ve k işleri i hattına uygun atanır. Mevcut olan beş hatta atama yapmak için kendi aralarında hazırlık süresi en düşük olan ikili iş grupları hatlara dağıtılır.

Adım 4: Her i değişkeni için, $C_{maxi} = STM_{ijk} + PT_{ij} + PT_{ik}$ olduğu yerde C_{maxi} güncellenir. Böylelikle her hat için yeni maksimum akış süresi elde edilir.

Adım 5: j işi için, sadece ilgili i hattında $STM_{ijk} = M$ olarak belirlenir. k işi için, sadece ilgili i hattında $STM_{ij} = M$ yapılır. Böylece i hattında işler atandıktan sonra ilgili yerlere çok büyük bir sayı koyarak tekrardan o işlerin atanmasını engeller.

Adım 6: Her k değişkeni için, sadece ilgili i hattında $STM_{ij} = M$ yapılır. Adım 5'deki işlemi, k değişkenini değiştirerek ve j değişkenini sabit tutarak büyük sayı ataması yapılır.

Adım 7: Her j değişkeni için, sadece ilgili i hattında $STM_{ijk} = M$ yapılır. Bu aşamada, Adım 5'deki gibi j değişkenini değiştirerek ve k değişkenini sabit tutarak büyük sayı ataması yapılır.

Adım 8: İlgili i değişkeni için, STM_{ijk} içindeki j 'ninci satırında ve k 'ninci sütununda bulunan minimum sayı seçilir. Hatlara atanmış olan her iş grubu önüne veya arkasına başka bir iş daha alabilir. Minimum sayı k 'ninci sütunda ise karşılık gelen i hattının sonuna seçilen iş atanır. Eğer minimum sayı j 'ninci satırda ise karşılık gelen i hattının başına seçilen iş atanır. Adım 4'e gidilerek adımlar döngü halinde takip edilir. Eğer atanmamış bir iş kalmadıysa işlem biter.

Adım 9: $C_{maxT} = \max\{C_{max1}, C_{max2}, C_{max3}, C_{max4}, C_{max5}\}$ formülüne göre, her hat için maksimum akış süresi bulduktan sonra aralarında en büyük olan akış süresini seçerek toplam maksimum akış süresi bulunur. Bu adımın tamamlanmasıyla her hat için çizelgeler hazırlanmış olur ve algoritma sonlanır.

Şekil 3. Algoritma Adımları

$C_{maxi} = i$ 'ninci hattın maksimum akış süresi.

$STM_{ijk} = i$ 'ninci hatta, j 'ninci işten k 'ninci işe geçerken oluşan toplam hazırlık süresi.

$PT_{j,k} = j$ 'ninci ve k 'nci işin işlem süresi.

$M =$ Büyük bir pozitif sayı.

Adım 1: $\{C_{max1}, C_{max2}, C_{max3}, C_{max4}, C_{max5}\} = 0$ olarak ayarlanır. Böylece başlangıç için tüm hatların maksimum akış süresi 0 olarak tanımlanır.

Adım 2: Her i değişkeni için, STM_{ijk} , i hattı, j satırı ve k sütunu ile temsil edilen yerdeki iki iş arasındaki en küçük hazırlık süresi olan ikili iş grupları hatlara dağıtılır. Her i değişkeni için, i hattında, seçilen j ve k işlerini i hattına uygun atanır. Mevcut olan beş hatta atama yapılmış olunur.

Adım 3: Her i değişkeni için, $C_{maxi} = STM_{ijk} + PT_j + PT_k$ olduğu yerde C_{maxi} güncellenir. Böylelikle her hat için yeni maksimum akış süresi elde edilir.

Adım 4: j işi için, sadece ilgili i hattında $STM_{ijk} = M$ olarak belirlenir. k işi için, sadece ilgili i hattında $STM_{ij} = M$ yapılır. Böylece i hattında işler atandıktan sonra ilgili yerlere çok büyük bir sayı koyarak tekrardan o işlerin atanmasını engeller.

Adım 5: Her k değişkeni için, tüm i hatlarında $STM_{ij} = M$ yapılır. Adım 4'deki işlemi, k değişkenini değiştirerek ve j değişkenini sabit tutarak büyük sayı ataması yapılır.

Adım 6: Her j değişkeni için, tüm i hatlarında $STM_{ijk} = M$ yapılır. Bu aşamada, Adım 4'deki gibi j değişkenini değiştirerek ve k değişkenini sabit tutarak büyük sayı ataması yapılır.

Adım 7: Her i değişkeni içinden, minimum C_{maxi} değeri seçilir. Böylece her hattın maksimum akış süreleri içinden en küçük maksimum akış süresi seçmiş olunur.

Adım 8: İlgili i değişkeni için, STM_{ijk} içindeki j 'ninci satırında ve k 'ninci sütununda bulunan minimum sayı seçilir. Hatlara atanmış olan her iş grubu önüne veya arkasına başka bir iş daha alabilir. Minimum sayı k 'ninci sütunda ise karşılık gelen i hattının sonuna seçilen iş atanır. Eğer minimum sayı j 'ninci satırda ise karşılık gelen i hattının başına seçilen iş atanır. Adım 3'e gidilerek adımlar döngü halinde takip edilir. Eğer atanmamış bir iş kalmadıysa işlem biter.

Adım 9: $C_{maxi} = \max\{C_{max1}, C_{max2}, C_{max3}, C_{max4}, C_{max5}\}$ formülüne göre, her hat için maksimum akış süresi bulduktan sonra aralarında en büyük olan akış süresini seçerek toplam maksimum akış süresi bulunur. Bu adımın tamamlanmasıyla her hat için çizelgeler hazırlanmış olur ve algoritma sonlanır.

Şekil 4. Makine Kısıtlı Algoritmanın Adımları

Son algoritma ise belirli makinalara atanan ürünler içinde seçim yaparak az sayıda siparişi gelen ürünlerin diğerlerinden daha önce paketlenmesini sağlayan algoritmadır. Çalışma prensibi olarak makine kısıtlı olarak yazdığımız ikinci algoritmayla aynı olup ilave kısıt olarak projenin gerçekleştiği fabrikanın istekleri üzerine az sayıdaki sipariş miktarına çizelgeleme esnasında öncelik tanıyan kısıtlar geliştirilerek algoritmaya eklenmiştir. Diğer algoritmalarından farklı olarak toplam hazırlık sürelerinin ve işlem sürelerinin toplanmasıyla oluşan matris üzerinden hareket ederek ikili iş grubu sadece ilgili hata atanır. Hatta atanmamış iş kalması durumunda ise, matristeki sürelerin içinden en küçüğü seçilerek ilgili iş çizelgedeki işlerin sonuna eklenir ve döngü atanmamış iş kalmayana kadar bu şekilde devam eder.

4. Sayısal Sonuçlar

4.1 Doğrulama, Geçerleme ve Duyarlılık Analizi

Aşağıdaki tabloda ilgili tarihler arasında alınan gerçek veriler doğrultusunda algoritmalar test edilmiştir. Veriler; istenilen doğrultuda çalıştırılmıştır. Algoritma sonuçları Tablo 5'teki gibidir.

Tablo 5. Verimlilik Analiz Tablosu

Siparişler/C _{max}	Modifiye SRA Algoritması	Makine Kısıtlı Algoritma	Az Sipariş Öncelikli Algoritma	Lezita Çizelgeleme	Verimlilik
3.04.2018	-	1157	1157	1157	
4.04.2018	1424	1399	1729	1631	116,58%
5.04.2018	-	965	965	965	
6.04.2018	1907	1427	1906	2887	202,31%
8.04.2018	1540	1037	1348	1072	103,38%
9.04.2018	-	1703	2033	2032	119,32%

Microsoft Excel VBA kullanılarak bulunan sonuçlar eniyiyi hedefleyecek şekilde çözümlenmiştir. İlk olarak SRA algoritması ardından makine kısıtlı ve son olarak az sipariş öncelikli geliştirilen sezgisel algoritmalar test edilmiştir. Farklı sipariş adetleri ve farklı ürünler ile algoritmalar çalıştırılmıştır. Sonuçlar, fabrikanın istediği doğrultuda olduğu gözlemlenmiştir. Makine kısıtlı algoritmanın diğer algoritmalarından ve fabrikanın şu an uyguladığı sistemden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, makine kısıtlı algoritmanın çalışma prensibi olan toplam hazırlık süresi ve işlem süresini enküçükleyerek ilgili hatlara çizelgeleme oluşturmasıdır. Bu durum, fabrikada kullanılan tecrübeye dayalı bir çizelgeleme yöntemini, verimlilik açısından önemli derecede iyileştirmiştir.

4.2 Karşılaştırma ve Uygulama

Tablo 6 ve Tablo 7'de sipariş listesine göre çözülen makine kısıtlı algoritma ve fabrikanın güncel kullandığı el ile çizelgeleme yönteminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 6'da 4 Nisan 2018 tarihli sipariş dosyası için elde edilen sonuçlara göre fabrikanın kullandığı yöntemde maksimum akış süresi (C_{max}) 1631 dakikadır. Geliştirilen makine kısıtlı algoritmada ise bu süre 1399 dakikadır. Geliştirilen

algoritma paketleme süresine 232 dakika kazandırmış olup %16,58 verimlilik sağlamıştır. Bununla beraber tüm hatlardaki paketleme süresi de kısalmıştır. Aynı veriler diğer algoritmalar üzerinde de çalıştırılmıştır. Ancak en iyi sonucun makine kısıtlı algoritmada olduğu gözlemlenmiştir.

Fabrikanın kullandığı çizelgeleme yönteminde beşinci hatta hiç ürün atanması yapılmaz iken makine için iş yükünü makine kısıtlı algoritma azaltarak hat beşe dağıtmıştır. Bu yöntem sayesinde hatlar daha dengeli olup maksimum akış süresi kısaltmak hedeflenmiştir. Hat 2 ve hat 4'te görülen ürün sıralarının farklılığı sayesinde maksimum akış süresinden kazanç sağlanmıştır.

Tablo 6. 4 Nisan 2018 Tarihli Siparişlerin Çizelgelemesinin Karşılaştırılması

Lezita Çizelgesi						Makine Kısıtlı Algoritma					
04.04.18	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	04.04.18	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5
Ürün Sıralı Stok Kodları	91497	28456	24345	91186		91497	91581	24345	90613	91355	
	91029	91478	91355	90613		90215	14357		91018		
	90215	91630		90632		91029	91478		90632		
		91581		91018			14334		91495		
		14334		91495			14335		91186		
		14335		90615			28456		90615		
		14357					91630				
Cmax	954	1631	1424	1206		Cmax	925	1399	450	818	965

Tablo 7. 6 Nisan 2018 Tarihli Siparişlerin Çizelgelemesinin Karşılaştırılması

Lezita Çizelgesi						Makine Kısıtlı Algoritma					
06.04.18	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	06.04.18	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5
Ürün Sıralı Stok Kodları	91029	91584	91355	90612		90976	14334	91119	90612	91355	
	90976	14334	91119	90622		91029	14335	91390	90632		
		14335	91390	90632			91584		91495		
				91495					90622		
Cmax	451	564	2887	1100		Cmax	450	541	1906	770	965

Firmanın planlama çalışmalarında kullanabileceği karar destek sistemi Excel Visual Basic Applications (VBA) kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanıcı programı çalıştığı anda sistem, günlük siparişleri programa aktarır, aynı zamanda stoktaki ürün mevcudiyetine göre ürün paketlenmesi gerekiyorsa bu ürünleri de siparişlerle birlikte çizelgelenmek üzere sisteme aktarır. Firma, o günkü siparişlerin durumuna göre iki algoritmayı da kullanabilir. İstenilirse az sayıda sipariş

gelen ürünlerin daha önce paketlenmesini sağlayan algoritma çalıştırılabilir. Çizelgeleme çalışmasının sonuçları ayrı bir pencerede üretime verilerek ve planlama departmanının kontrolünde kalarak dışa aktarılır. Üretime ileilmek üzere hazırlanan çizelgeleme sonuçları Tablo 8 'de görüldüğü gibidir. Sonuçlarda görülen en önemli unsur, gece yarısı saat 00:00 vardiyası ile üretime başlanan paketlenecek her ürünün planlanan bitiş zamanı içerisinde bitirilmesidir. Yeni ürün ekleme seçeneği sayesinde firmaya dinamik bir destek sağlanmaktadır. Program için oluşturulan kullanım kılavuzu, çalışanlar için gerekli desteği sağlamaktadır.

Tablo 8. Az Sayıdaki Siparişlerin Önceliklendiği Çizelgeleme Sonuçları

04.04.2018		MULTIVAC-1 ÇİZELGE			Planlanan Toplam Süre:		930
ÜRETİM SIRASI	STOK KODU	STOK ADI	SİPARİŞ MİK.	DONUK STOK MİK.	PLANLANAN PAKETLENECEK MİK.	PLANLANAN BİTİŞ ZAMANI	
1	90215	PILIC KOKTEYL SOSIS 450g	500	0	500	01:30	
2	91029	TOMBIK SOSIS 500 Gr	1500	0	1500	07:31	
3	91497	BGRILL PILIC BURGER 300 gr	1200	0	1200	15:30	
04.04.2018		MULTIVAC-2 ÇİZELGE			Planlanan Toplam Süre:		1729
ÜRETİM SIRASI	STOK KODU	STOK ADI	SİPARİŞ MİK.	DONUK STOK MİK.	PLANLANAN PAKETLENECEK MİK.	PLANLANAN BİTİŞ ZAMANI	
1	91478	PRO PILIC DILIMLI SALAM 1000 GR (6 ADET/	50	0	50	00:45	
2	28456	PRO JULYEN DILIMLI PILIC SOSIS (LZT)	100	0	100	02:40	
3	91581	LZT.PRO.PILIC PIZZA SUCUK 1700GR(1,5MM	200	0	200	05:08	
4	91630	LEZITA PILIC SCHNITZEL 700 GRAM (BIM)	200	0	200	08:21	
5	14357	PILIC BURGER DÖND. 1500 g	250	0	250	16:42	
6	14335	PRO PILIC UZUN SOSIS 1000g	400	0	400	21:25	
7	14334	PRO PILIC KOKTEYL SOSIS 1000g	700	0	700	04:49	
04.04.2018		MULTIVAC-3 ÇİZELGE			Planlanan Toplam Süre:		450
ÜRETİM SIRASI	STOK KODU	STOK ADI	SİPARİŞ MİK.	DONUK STOK MİK.	PLANLANAN PAKETLENECEK MİK.	PLANLANAN BİTİŞ ZAMANI	
1	24345	PRO PILIC SOSIS (VAKUMLU PAKET)	350	0	350	07:30	
04.04.2018		MULTIVAC-4 ÇİZELGE			Planlanan Toplam Süre:		1150
ÜRETİM SIRASI	STOK KODU	STOK ADI	SİPARİŞ MİK.	DONUK STOK MİK.	PLANLANAN PAKETLENECEK MİK.	PLANLANAN BİTİŞ ZAMANI	
1	91018	ÇITIR KITIR FİLETO 270g	30	0	30	00:08	
2	91186	DILIMLI SUCUK 250 G (ISIL ISLE	20	0	20	00:39	
3	90632	KASAP KÖFTE 300gr	50	0	50	01:36	
4	90613	PİLİÇ BURGER 360gr	50	0	50	02:18	
5	90615	CORDON BLUE 300gr	150	0	150	03:24	
6	91495	PRAKİK ŞEF ACILI KEBAP 400 G	2200	0	2200	19:10	
04.04.2018		MULTIVAC-5 ÇİZELGE			Planlanan Toplam Süre:		964
ÜRETİM SIRASI	STOK KODU	STOK ADI	SİPARİŞ MİK.	DONUK STOK MİK.	PLANLANAN PAKETLENECEK MİK.	PLANLANAN BİTİŞ ZAMANI	
1	91355	CHICKEN FRANKS 340 GR (LZT)	1500	0	1500	16:04	

5. Sonuç ve Öneriler

Proje sonucunda paketlenme hatlarının çizelgeleme problemi için bilimsel metotlar kullanılarak üç alternatif çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Microsoft Excel VBA kullanılarak sezgisel algoritmalar kodlanmıştır ve kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmiştir. Kodlanan sezgisel algoritmalar dinamik olup, değişen günlük siparişlere bağlı olarak, sonuçlar üretmektedir. Bu algoritmalar sayesinde paketlenme hattında tecrübeye dayalı çizelgeleme yerine, yaklaşık optimal çözümler üreten metotlar sezgisel kullanılarak verimlilik arttırılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Vanchipura R., Sridharan R.; Development and analysis of constructive heuristic algorithms for flow shop scheduling problems with sequence-dependent setup times. 2012, Springer-Verlag London
- [2] Gupta JND; Flow shop schedules with sequence dependent setup times. J Oper Res Soc Jpn. 1986, 29(3):206–219
- [3] Eren TA; Bicriteria m-machine flow shop scheduling with sequence dependent setup times. Appl Math Model. 2010, 34(2):284–293
- [4] Wang, Y., Li, X., & Ma, Z. A.; Hybrid Local Search Algorithm for the Sequence Dependent Setup Times Flowshop Scheduling Problem with Makespan Criterion. Sustainability, 2017, 9(12), 2318.
- [5] Pinedo, M.L.; Scheduling: theory, algorithms, and systems. Springer. 2016, Appendix D.2 Polynomial Time Solutions versus NP-Hardness

Dağıtıcı Palet Yükleme Problemi

Türk Tuborg A.Ş.

Proje Ekibi

Aykut GÜL

Selen Burçak AKKAYA

Zeynep COŞKUN

Atakan YURTTUTAN

Coşku KARAMAN

Hatice Merve DİRİK

Serhat ÖZBIÇAKÇI

Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, İzmir

Şirket Danışmanı

Ali Naili Yanar, Tedarik Zinciri Operasyonları Yöneticisi

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Gizem Mullaoglu, Araş. Gör. Hande Öztop
Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Palet yükleme problemi, boyutları bilinen dikdörtgen kutuların paletlere yükleme şekillerinin belirlenmesidir. Amaç, üç boyutlu yaklaşımla, kutular aynı konuma gelmeyecek ve kırılabilirlik ilişkisi korunacak şekilde toplam yüklenen kutu hacmini maksimize etmektir. Çözüm yöntemi olarak probleme özgü sezgisel bir yaklaşım ve bir matematiksel model kurulmuş, örneklerle doğrulanmıştır. Excel VBA'de, IBM ILOG CPLEX ile entegre bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin, operatörlere bağımlılığı ve karar verme süresini azaltarak yanlış yüklemeden kaynaklı alan kayıplarını önleyeceği ve maddi kayıpları düşüreceği öngörülmektedir. Önerilen çözüm yöntemi farklı sektör ve şirketlerde de kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Dağıtıcı palet yükleme problemi, üç boyutlu yükleme, kırılabilirlik kısıtlamaları.

1. Genel Sistem Analizi

1.1 Şirket Hakkında Genel Bilgiler

Yaşar Holding tarafından 1967 yılında kurulan Türk Tuborg, 1969 yılı başında üretime başlamıştır. Türkiye'de özel sektörde ilk bira üreticisi olan Tuborg, bira ve malt üretiminin yanısıra yurtdışından ithal etmekte olduğu bira markalarının distribütörlük faaliyetlerini de gerçekleştirmektedir. Carlsberg ile 15 yıldan fazla süren iş birliği ve diğer pek çok uluslararası ortaklık, firmayı Türkiye bira pazarının öncülerinden biri haline getirmiştir.

Türk Tuborg Bira ve Malt Sanayi, Kemalpaşa Cad. No: 258 Işıkkent İzmir'de kurulu olup yaklaşık 170.000 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Yıllık 36 bin ton malt ve 413 milyon litre bira üretim kapasitesine sahiptir. Firmanın üretim tesisleri sadece İzmir'de olup tüm ürünlerin aynı kalitede olmasını sağlamak için tüm ürünler burada üretilmektedir. Türk Tuborg her yıl büyümeye devam etmektedir, Türkiye'de 2010 yılında şirketin pazar payı % 11 düzeyinde olup, günümüzde pazar payı % 40'a kadar yükselmiştir. (İK, 2017)

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Paletleme operasyonunun standart olmamasından kaynaklanan problemlerin önlenmesi için, firmada standart bir paletleme sistemine ihtiyaç duyulmuştur.

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Türk Tuborg'da müşteri siparişleri satış departmanına gelir, gelen siparişler satış departmanı tarafından günlük olarak listelenir ve ardından sevkiyat departmanına gönderilerek burada sevkiyat görevlisine teslim edilir. Sipariş listesindeki ürünler sevkiyat görevlisi tarafından önce paletlere yüklenir. Yüklenen paletler aynı ölçülere sahip, dağıtım rotaları önceden belirlenmiş kamyonetlere yerleştirilir ve İzmir'deki fabrikadan

dağıtım için yola çıkar. Her bir kamyonet paletlerin yerleştirilebileceği 8 bölmeden oluşmaktadır ve her bölme sadece 1 palet alabilmektedir.

2.2 Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

Türk Tuborg'da ürünler müşterilere kasa, koli, kutu ve fıçı gibi çeşitli tiplerde ve farklı boyutlardaki ambalajlarda sunulmaktadır. Paletleme işleminde standart bir prosedür olmamasından dolayı her sevkiyat görevlisi kendi tecrübe ve sezgisine göre satış departmanından gelen günlük sevkiyat listesindeki ürünleri palete yerleştirmektedir. Bu şekilde yapılan yerleştirme, zaman kaybına ve maddi kayıplara sebep olmaktadır. Çeşitli ambalaj tipleri (cam şişe ve teneke kutu ürünler) arasında bir kırılma ilişkisi bulunmaktadır. Bu sebeple uygun olmayan yerleştirmeden dolayı ürünlerin hasara uğraması maddi kayıplar yaratmaktadır. Bir palette bir ürünün zedelenmesi bütün paletin kalitesini bozduğu için uygun yerleştirme planı büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, özellikle yaz aylarında yoğun gelen talebi karşılayamamaktan kaynaklı ek sevkiyat seferlerinin yapılması da ek maliyet çıkarmaktadır.

Bunun yanı sıra, sevkiyat görevlilerinin palet yükleme operasyonunu tecrübe ve deneme-yanılma yöntemi ile bilimsel yöntemlere dayalı olmayan şekilde gerçekleştirmeleri zaman kaybına da yol açmaktadır. Ayrıca, herhangi bir durumda sevkiyat görevlisinin işten ayrılması halinde, yeni gelen sevkiyat görevlisinin tecrübe ederek palet hazırlamayı öğrenmesi yaklaşık 6 ay sürmektedir. Bu durum aynı zamanda iş gücüne bağımlılık yaratmaktadır.

2.3 Problem Tanımı

Standart olmayan palet yükleme işlemi nedeniyle istenen palet yapısı her zaman oluşturulamamaktadır. Bu nedenle hasarlı ürünler ve karşılanamayan müşteri talebi ortaya çıkmaktadır. Bu projenin temel amacı, hangi ürünün hangi palet üzerinde hangi noktaya yerleştirileceğine karar vererek palet yapısını optimize etmek için

kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirmektir. Başka bir deyişle projenin amacı, belirli prosedür adımlarını izleyerek palet yükleme operasyonunu standartlaştırmak ve basitleştirmektir.

Paletlere ürünlerin en uygun şekilde yerleştirilmesini sağlamak, kullanılan alanı ve kaynakları etkin bir şekilde yönetmek açısından çok önemlidir. Palet yükleme işlemine bilimsel bir yaklaşım getirilerek iş gücüne olan mevcut bağımlılık seviyesi azaltılabilir. Ürün yerleştirme sırasına karar verme süreci operatörler tarafından gerçekleştirilmez ise yükleme süresi azaltılır. Böylelikle palet yükleme işlemi verimli hale gelir. Buna ek olarak, palet oluşturulurken kırılabilirlik özelliklerinin göz önüne alınması kayıpların azaltılması için önemlidir. Sonuç olarak, projenin başlıca performans ölçütleri: palet kullanımı, sipariş listesine uygun hizmet düzeyi ve palet dizilimi karar sürecinin süresidir. Bu nedenle amaç, performans ölçütlerini iyileştirmek, diğer bir deyişle kullanılan palet hacmini arttırmak, sipariş listesinde yüklenemeyen ürünlerin miktarını ve karar verme sürecinin süresini azaltmaktır. Proje çıktısı olarak, kullanıcı dostu bir karar destek sistemi ve raporlama yöntemi oluşturulmuştur.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Literatürde palet yükleme problemi iki ana başlık altında incelenebilir. Bu sorunlar “Üreticinin Palet Yükleme Problemi” ve “Dağıtıcının Palet Yükleme Problemi” olarak adlandırılmaktadır. Üreticinin palet yükleme probleminde, ürünler aynı kutularda paketlenmektedir ve bu kutular tek tip paletlere yüklenmektedir. Bu problemde amaç, kutuların ve paletlerin boyutlarını seçmek ve standart kamyonlarda paketlenmiş ürünün hacmini maksimize etmektir.

Dağıtıcının palet yükleme probleminde ise, sipariş çeşitli boyutlardaki kutular ile paketlenmektedir. Problemin amacı, kutuları standart paletlere koyarak her paletin hacminin en üst düzeye

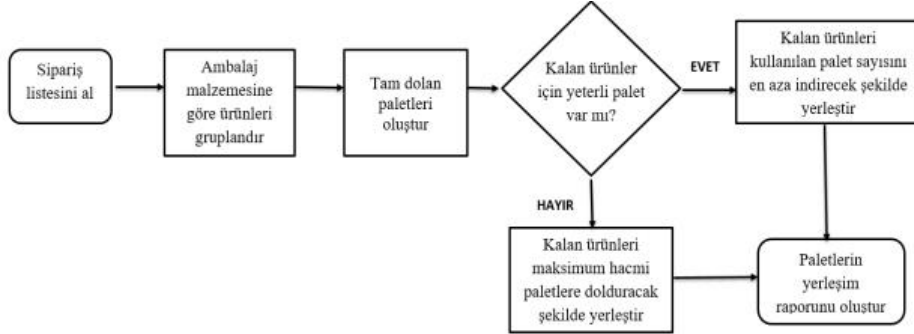
çıkarılmasını sağlamaktır. İncelenen problem de ürünler değişken boyutlu kutularda paketlenmiş ve standart paletlerde kullanılan hacmi maksimize etmek hedeflendiği için “Dağıtıcının Palet Yükleme” problemine benzemektedir. İncelenen çalışmalar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1 – İlgili makaleler

YAZAR	TARİH	PROBLEM	AMAÇ FONKSİYONU	YÖNTEM
Thom J. Hodgson	1982	İki boyutlu palet yükleme	Paletin doluluk oranını ençoklamak	Dinamik Programlama ve Sezgisel Yaklaşım Kombinasyonu
Park ve Kang	2002	Değişken boyutlu kutu yerleştirme	Değişken büyüklükte kullanılan kutuların toplam maliyetini enazlamak	Açgözlü Algoritması: En İyi Azalan – İlk İyi Azalan
Vu T. Lel vd.	2005	Üç boyutlu palet yükleme	Palete koyulan ürün hacmini ençoklamak	Sezgisel Yaklaşım
Reinaldo Morabito vd.	2010	Yük dengesi, taşıma ve kırılma kısıtlarıyla üç boyutlu konteyner yükleme	Yüklenen kutuların toplam hacmini ençoklamak veya kalan boş alanları enazlamak	Karışık Tamsayı ve Sezgisel Yaklaşım
L. Sheng vd.	2017	Çoklu kısıt ile konteyner yükleme	Yüklenen kutuların hacmini ençoklamak	Tam Sayılı Programlama ve Sezgisel Yaklaşım

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Problemin çözümü için kullanılan algoritma ve optimizasyon modeli için gerekli olan kısıtlar, varsayımlar, tanımlanan parametreler, setler ve karar değişkenleri bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Problem NP-zor olduğu için sezgisel bir çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. VBA programı kullanılarak kodlanan algoritmanın detayları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 – Algoritma akış şeması

Algoritma, sisteme gelen sipariş listesini okuyarak başlar. Eğer tek tip ürün bir paleti dolduruyorsa, ürün palete yüklenir ve bir tam palet oluşturulur. Kalan ürünlerin yerleşimini belirlemek için üç boyutlu palet yükleme optimizasyon modeli önerilmiştir. Modele kalan ürün listesini vermeden önce kasa ürünlerine bakılır ve kasa ürünleri üst üste dizilerek blok şeklinde yeni bir ürün oluşturulur. Bu blok sisteminin amacı ezilme ilişkisini koruyabilmektir. Kasa ürünlerin üstüne veya altına kasa dışında başka bir paketleme malzemesi konulamadığından, kasa bloğunun üstüne herhangi bir şey koyulmaması için oluşan bloğun yüksekliği paletin yüksekliğine eşit kabul edilir. Diğer paketleme malzemeleri için ezilme durumu söz konusu değildir ve üzerine başka ürünün koyulmasına izin verilir. Bu işlemden sonra kalan ürünlerin toplam hacimleri hesaplanır ve kalan toplam palet hacmiyle karşılaştırılır. Talep miktarı toplam palet hacminden büyük olduğunda koyulan ürün hacmini maksimize edecek amaç fonksiyonu kullanılır. Aksi durumda kullanılan palet sayısını minimize edecek amaç fonksiyonu kullanılır. Sonrasında IBM ILOG CPLEX Optimization Programlama Dili'nde belirlenen amaç fonksiyonlarına göre matematiksel model 5 dakikalık zaman limiti altında çözülür.

3.1 Kısıtlar ve Varsayımlar

Problemin karmaşıklığından dolayı bazı varsayımlar yapılmıştır. Tüm değerlerin tam sayı olduğu kabul edilmiştir. Kutular, paletle dik açılı olarak yerleştirilebilir (paralel veya dikey) ve kutuların yönlendirilmesi sabittir. Alt, ön ve sol yüz diğer kutulara bitişik oluncaya kadar her kutu aşağı ve/veya ileriye doğru hareket ettirilebilir. Tüm kutular ve paletler dikdörtgen prizma olarak kabul edilir ve hacimleri hesaplanır.

3.2 Parametreler, Kümeler ve Karar Değişkenleri

Parametreler ve değişkenler şu şekilde tanımlanmıştır: palet kümesi $J = \{1, \dots, n\}$ ve ürün kutusu türlerinin kümesi $I = \{1, \dots, m\}$ ile belirtilmiştir. I kümesine ait ($i \in I$) tüm farklı kutu tipleri için uzunluk l_i , genişlik w_i , yükseklik h_i ve maksimum miktar b_i olarak tanımlanmaktadır. Bu kutular, uzunluğu L , genişliği W ve izin verilen maksimum yüksekliği H olan standart bir paletle yüklenebilir. Kutuların olası konumlarını bulmak için öncelikle, başlangıç noktası $(0, 0, 0)$ paletin ön-sol-alt köşesini temsil eden bir kartezyen koordinat sistemi tanımlanmıştır. Olası koordinat değerlerinin (x, y, z) kümeleri şu şekildedir: $X = \{0, 1, 2, \dots, L - \min_i(l_i)\}$, $Y = \{0, 1, 2, \dots, W - \min_i(w_i)\}$, $Z = \{0, 1, 2, \dots, H - \min_i(h_i)\}$. Kutuların hangi palette, hangi pozisyonda olacağını tanımlamak için a_{ijxyz} ve hangi paletlerin kullanılacağına karar vermek için ise p_j ikili karar değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. a_{ijxyz} karar değişkeni, $0 \leq x \leq L - l_i$, $0 \leq y \leq W - w_i$, $0 \leq z \leq H - h_i$ değerleri için eğer kutu i , palet j 'ye ön sol alt köşesi (x, y, z) konumunda olacak şekilde yerleştirilirse 1, aksi takdirde 0 değerini alır. p_j karar değişkeni ise palet j kullanılıyor ise 1, aksi takdirde 0 değerini alır.

3.3 Matematiksel Model

Önerdiğimiz optimizasyon modeli, palet yükleme problemine kısıtlı kısıtlarını göz önünde bulunduran bir çözüm vermektedir. Amaç fonksiyonu müşterilerden gelen talep miktarı ile tedarik miktarı

ilişisine bağlı olarak değişmektedir. Tedarik miktarı, talep miktarını aştığında amaç fonksiyonu palet sayısını minimize etmektir. Eğer, talep miktarı, tedarik miktarını aşarsa amaç fonksiyonu yerleştirilen ürün hacmini maksimize etmektir.

Optimizasyon modeli Morabito vd. (2010) tarafından sunulan modelden uyarlanmıştır. Talep miktarının, tedarik miktarını aştığı durumlarda kullanılan model aşağıda sunulmuştur:

$$\text{maksimize } \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} \sum_{z \in Z} a_{ijxyz} v_i \quad (1)$$

Öyle ki;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{x \in X} |x' - l_i \leq x \leq x'|, \sum_{y \in Y} |y' - w_i \leq y \leq y'|, \sum_{z \in Z} |z' - h_i \leq z \leq z'|, a_{ijxyz} \leq 1, \\ \forall j, x' \in X, y' \in Y, z' \in Z \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} \sum_{z \in Z} a_{ijxyz} \leq b_i, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} \sum_{z \in Z} a_{ijxyz} \leq Mp_j, \forall j \quad (4)$$

$$a_{ijxyz} \in \{0,1\}, i \in I, j \in J, x \in X, y \in Y, z \in Z \quad (5)$$

$$p_j \in \{0,1\}, j \in J \quad (6)$$

Bu modelde amaç fonksiyonu (1), yerleştirilen ürün hacmini maksimize eder. Kısıt (2) iki kutunun aynı noktaya konulmasını önler, kısıt (3) ise palete koyulabilecek maksimum sayıdaki kutuyu belirler. Kısıt (4) sadece palet kullanılıyorsa kutuların yerleştirilmesine izin verir. Kısıtlar (5) ve (6) karar değişkenlerinin tanım kümesini açıklar. Tedarik miktarının talebi aştığı durumlarda amaç fonksiyonu *minimize* $\sum_{j=1}^n p_j$ halini alır. Bu durumda amaç fonksiyonu kullanılan palet sayısını minimize etmeyi hedefler. Bunun yanı sıra (3) numaralı kısıt $\sum_{j=1}^n \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} \sum_{z \in Z} a_{ijxyz} = b_i, \forall i$ şeklinde güncellenir.

4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde önerilen algoritmanın ve modelin sayısal sonuçları incelenmiş ve gerekli analizler yapılmıştır.

4.1 Doğrulama, Karşılaştırma ve İyileştirmeler

Algoritma ve matematiksel modelin doğruluğunu test etmek adına her iki amaç fonksiyonu için de gerçek verilerden oluşan 15'er farklı örnek sipariş listesi firmadan temin edilmiş ve önerilen yöntemle çözülmüştür. Çözüm sonuçlarının firma tarafından istenen şekilde olduğu ve modelin her iki amaç fonksiyonuna ve kısıtlarına uygun, hızlı ve etkili cevap verdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar minimizasyon modeli için Tablo 2'de, maksimizasyon modeli için Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 2- Minimizasyon Modeli Karşılaştırma Sonuçları

Minimizasyon Problemi Örnekleri					
Sipariş Bilgisi			Yüklenen Palet		İyileşme Oranı
No	Ürün Tipi Sayısı	Toplam Ürün Sayısı	Mevcut Yöntem	Önerilen Yöntem	
1	17	227	5	4	20,00%
2	17	182	4	4	0,00%
3	16	208	3	3	0,00%
4	11	343	7	6	14,29%
5	14	368	8	7	12,50%
6	10	377	7	7	0,00%
7	11	237	6	5	16,67%
8	15	350	7	6	14,29%
9	11	219	5	4	20,00%
10	16	93	2	2	0,00%
11	9	366	6	7	0,00%
12	10	246	7	6	14,29%
13	10	470	8	7	12,50%
14	10	449	8	7	12,50%
15	11	271	5	4	20,00%
Ortalama			5,87	5,27	10,47%

Tablo 2'de yer alan sonuçlara göre seçilen 15 örneğin 9 tanesinde iyileşme gözlemlenmiştir. Genel ortalamada ise %10,47'lik bir oran elde edilmiştir. Ayrıca yapılan karşılaştırma sonucunda çözüm yönteminin mevcut yönteme kıyasla performans kriterleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna ek olarak, yapılan gözlemlere göre

operatörlerin karar verme süresi yaklaşık olarak 10 dakika iken önerdiğimiz algoritma en fazla 5 dakikada sonuç vermektedir. Bu bakımdan da karar verme süresi önemli derecede iyileştirilmiştir.

Tablo 3- Maksimizasyon Modeli Karşılaştırma Sonuçları

Maksimizasyon Problemi Örnekleri								
Sipariş Bilgisi			Ortalama Doluluk		İyileşme Oranı	Yüklenmeyen Ürün		İyileşme Oranı
No	Ürün Tipi Sayısı	Top. Ürün	Mevcut Yöntem	Önerilen Yöntem		Mevcut Yöntem	Önerilen Yöntem	
1	15	577	80,62%	90,83%	12,66%	88	0	100,00%
2	15	554	90,23%	89,97%	0,00%	0	0	0,00%
3	11	645	91,46%	100,00%	9,34%	113	54	52,21%
4	10	697	87,55%	94,79%	8,27%	104	56	46,15%
5	13	600	98,77%	97,57%	0,00%	18	40	0,00%
6	13	689	86,49%	97,12%	12,29%	69	39	43,48%
7	15	740	79,32%	93,68%	18,10%	90	45	50,00%
8	10	767	89,63%	93,52%	4,34%	54	47	12,96%
9	12	780	93,55%	89,42%	0,00%	21	46	0,00%
10	11	620	95,32%	91,42%	0,00%	0	0	0,00%
11	14	819	75,67%	90,55%	19,66%	108	71	34,26%
12	16	815	93,33%	93,18%	0,00%	92	97	0,00%
13	13	758	85,62%	94,34%	10,18%	74	42	43,24%
14	13	748	74,12%	90,33%	21,87%	61	33	45,90%
15	15	394	80,30%	98,61%	22,80%	51	34	33,33%
Ortalama			86,80%	93,69%	9,30%	62,87	40,27	30,77%

Maksimizasyon modeli karşılaştırma sonuçlarına göre ortalama doluluk oranının artışıyla beraber yüklenemeyen ürün sayısında belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Paletlerin ortalama doluluklarında %9,30 oranında iyileşme sağlanırken, yüklenemeyen ürün sayısında ise iyileşme oranı %30,77 olmuştur.

4.2 Duyarlılık Analizi

Çözüm yönteminin farklı senaryolarda nasıl sonuç verdiğini gözlemlemek adına palet ölçülerinde şirket tarafından kabul edilen

miktarda artışlar yapılarak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçek verilerle oluşturulan ikişer adet maksimizasyon ve minimizasyon örneği paletin her boyutunun 10'ar cm arttırılması ile 8 farklı durum için çözülmüştür. Sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4 - Duyarlılık Analizi Sonuçları

No	Minimizasyon			Maksimizasyon			
	Palet Boyutları	Top. Ürün	Kullanılan Palet	Palet Boyutları	Top. Ürün	Ort. Doluluk	Yüklenmeyen Ürün
1	12,10,18	184	3	12,10,18	739	96,67%	29,36%
	12,11,18		3	12,11,18		96,67%	30,58%
	12,10,19		3	12,10,19		99,17%	20,84%
	13,10,18		3	13,10,18		97,99%	22,46%
	13,10,19		2	13,10,19		100,49%	20,43%
	12,11,19		3	12,11,19		99,17%	28,28%
	13,11,18		3	13,11,18		96,78%	22,33%
	13,11,19		2	13,11,19		100,49%	19,62%
2	12,10,18	205	7	12,10,18	620	91,42%	10,16%
	12,11,18		7	12,11,18		91,42%	10,16%
	12,10,19		6	12,10,20		104,02%	0,00%
	13,10,18		6	13,10,18		91,42%	10,16%
	13,10,19		6	13,10,20		104,02%	0,00%
	12,11,19		6	12,11,20		104,03%	0,00%
	13,11,18		6	13,11,18		91,42%	10,16%
	13,11,19		6	13,11,20		104,02%	0,00%

Yapılan analizler minimizasyon örneklerinde palet boyutları arttırıldığında kullanılan palet sayısının azaldığı ve çoğu durum için taban alanı sabit kalarak yükseklik arttırıldığında daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Çözülen problemler için boy ve yükseklik değerlerinin minimizasyon amaç fonksiyonu için kısıtlayıcı olduğu, en değerinin ise amaç fonksiyonunu etkilemediği görülmektedir. Maksimizasyon örneklerinde palet ölçülerinin arttırılması sonucunda yüklenemeyen sipariş sayılarında azalmalar, ortalama kullanım oranlarında artışlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak palet boyutları 10 cm arttırıldığında yüklenemeyen ürün sayılarında bir iyileştirme gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni, değiştirilen boyutların yeni ürün yerleşimine fiziksel

olarak imkân tanımamasıdır. Bunun yerine boyutlar 20'şer cm arttırıldığında iyileşmeler gözlemlenmektedir ve sipariş listesi tümüyle yerleştirilmiştir. Ancak yükseklik sınırı karayolları tarafından yasal olarak kısıtlandığından dolayı bu değişiklik yükseklik için mümkün olmasa da diğer boyutlar için bir öneri olarak değerlendirilebilir .

4.3 Uygulama: Karar Destek Sistemi

Kullanılan çözüm yönteminin dinamik bir sistem haline getirilmesi ve buna bağlı kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmesine karar verilmiştir. Excel Visual Basic for Applications (VBA) arayüzü kullanılarak kısa sürede sonuç alınmasını sağlayan bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Programın başlangıç ekranında (Şekil 2) girdiler ve çıktılar olmak üzere iki ana kısım bulunmaktadır. Kullanıcılar, Excel formatındaki mevcut sipariş listelerini otomatik olarak sisteme çekebilir veya manuel olarak sipariş listesi oluşturabilirler. Bu uygulama ile kullanıcıların programı dinamik olarak kullanabilmesi amaçlanmıştır.

Girilen veriler için Şekil 1'deki algoritma kullanılarak palet yükleme düzeni oluşturulur. Oluşan paletler raporlanarak ana sayfaya özet olarak gelir. Kullanıcılar mevcut olan farklı butonlarla ürün ekleyip silebilir, palet yükleme şeması oluşturabilir, veritabanındaki palet ve ürün bilgilerini değiştirebilir, çözüm sonucunda detaylı palet yükleme bilgilerine ve yükleme komutlarına ulaşabilir, sonuçları yazdırabilir, e-posta ile gönderebilir ve isteğe göre Excel veya PDF formatında dışa aktarabilir. Bunlara ek olarak, program için oluşturulan kullanım kılavuzuna yardım butonu sayesinde erişilebilir, böylece kullanıcıların KDS'yi kolayca kullanması ve sorun yaşamaması sağlanır.

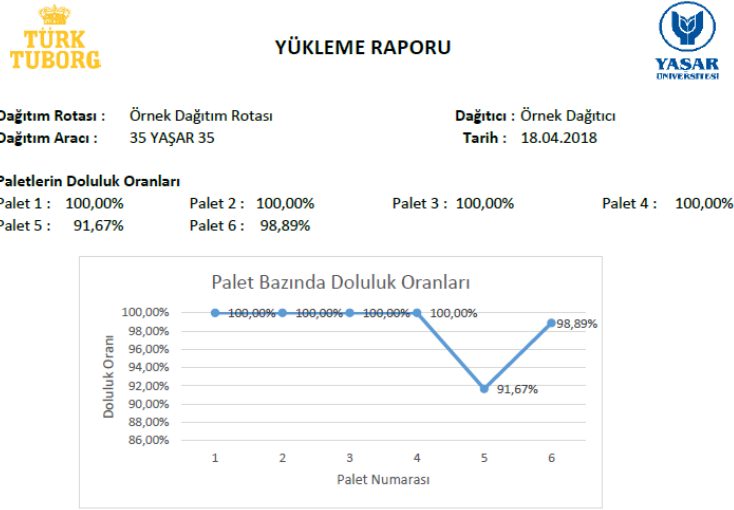
TÜRK TUBORG **DAĞITICI PALET YÜKLEME PROBLEMİ KARAR DESTEK SİSTEMİ** **YASAR ÜNİVERSİTESİ**

Dağıtım Rotası: Örnek Dağıtım Rotası Dağıtım Aracı: 35 YAŞAR 35 Dağıtım Tarihi: 18.04.2018

Tip	Ürün Kodu	Ürün Açıklaması	Sipariş Miktarı	Birim	Palet	Ürün Kodu	Ürün Açıklaması	Palet Yükleme Miktarı	Palette Kaplılığı
Tip 1	Ürün Kodu 1	Ürün Açıklaması 1	3	Palet	1	Ürün Kodu 10	ÜRÜN AÇIKLAMASI 10	34	1
Tip 2	Ürün Kodu 2	Ürün Açıklaması 2	17	Kutu	2	Ürün Kodu 10	ÜRÜN AÇIKLAMASI 10	34	1
Tip 3	Ürün Kodu 3	Ürün Açıklaması 3	44	Kutu	3	Ürün Kodu 10	ÜRÜN AÇIKLAMASI 10	34	1
Tip 4	Ürün Kodu 4	Ürün Açıklaması 4	4	Kutu	4	Ürün Kodu 10	ÜRÜN AÇIKLAMASI 10	34	1
Tip 5	Ürün Kodu 5	Ürün Açıklaması 5	3	Kutu	5	Ürün Kodu 1	ÜRÜN AÇIKLAMASI 1	1	8,33
Tip 6	Ürün Kodu 6	Ürün Açıklaması 6	2	Kutu	5	Ürün Kodu 2	ÜRÜN AÇIKLAMASI 2	5	0,34
Tip 7	Ürün Kodu 7	Ürün Açıklaması 7	9	Palet	5	Ürün Kodu 3	ÜRÜN AÇIKLAMASI 3	15	0,16
Tip 8	Ürün Kodu 8	Ürün Açıklaması 8	9	Kutu	5	Ürün Kodu 5	ÜRÜN AÇIKLAMASI 5	3	0,48
Tip 9	Ürün Kodu 9	Ürün Açıklaması 9	5	Kutu	5	Ürün Kodu 6	ÜRÜN AÇIKLAMASI 6	1	1,66
Tip 10	Ürün Kodu 10	Ürün Açıklaması 10	35	Kutu	5	Ürün Kodu 7	ÜRÜN AÇIKLAMASI 7	4	0,46
					5	Ürün Kodu 8	ÜRÜN AÇIKLAMASI 8	6	0,2
					5	Ürün Kodu 9	ÜRÜN AÇIKLAMASI 9	3	0,05
					5	ORTAK KASA (ÜRÜN)	ORTAK KASA ÜRÜN	3	0,4
					7	Ürün Kodu 1	ÜRÜN AÇIKLAMASI 1	2	3,66
					7	Ürün Kodu 2	ÜRÜN AÇIKLAMASI 2	12	0,3
					7	Ürün Kodu 3	ÜRÜN AÇIKLAMASI 3	29	0,32
					7	Ürün Kodu 4	ÜRÜN AÇIKLAMASI 4	4	5,52
					7	Ürün Kodu 6	ÜRÜN AÇIKLAMASI 6	1	1,66
					7	Ürün Kodu 7	ÜRÜN AÇIKLAMASI 7	1	1,66
					7	Ürün Kodu 8	ÜRÜN AÇIKLAMASI 8	3	0,05
					7	Ürün Kodu 9	ÜRÜN AÇIKLAMASI 9	2	3,33
					7	ORTAK KASA (ÜRÜN)	ORTAK KASA ÜRÜN	3	0,4

Şekil 2 – KDS başlangıç ekranı

KDS çıktısı PDF formatında rapor olup Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3 – KDS çıktısı

5. Sonuçlar ve Öneriler

Projenin sonunda firmaya verimliliği arttıran, iş gücüne bağımlılığı ortadan kaldıran, harcanan zamanı ve fazladan maliyetleri düşüren bir palet yükleme sistemi oluşturulmuştur. Projeden önce, palet

yükleme operasyonu operatörün tecrübesi ile herhangi bir bilimsel yöntem kullanılmadan gerçekleştirilmekteydi. Yapılan bu çalışma sonunda, palet yerleşimini bilimsel yöntemlerle yapan kullanışlı bir karar destek sistemi sunulmuştur. Excel VBA arayüzü ile oluşturulmuş kullanıcı dostu karar destek sisteminin çıktısı, gelen sipariş listeleri için mümkün olan en iyi atamayı gösteren bir özet rapor metni ve yüklenecek ürünlerin yerlerini belirten bir liste şeklindedir. Özet raporda hangi ürünün, ne kadar miktarda, hangi paletlerde yer alacağı raporlanır. Yapılan analizler sonucu çözüm yönteminin mantıklı ve mevcut sistemden, sayısal sonuçlar bölümünde açıklandığı üzere daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Gözlemlenen örnekler doğrultusunda, proje sonunda kullanılan palet hacimleri arttırılmış, sipariş listesinde yüklenemeyen ürünlerin miktarları, iş gücüne bağımlılık ve karar verme sürecinin süresi azaltılmıştır.

KAYNAKÇA

- Hodgson, J. T. (1982). A Combined Approach to Pallet Loading Problem. *University of Florida*.
- İK. (2017). *Türk Tuborg*. İzmir.
- Morabito, R., Junqueira, L., & Yamashita, D. S. (2010). Three-dimensional container loading models with cargo stability and load. *Computers & Operational Research*, 74-85.
- Park, S., & Kang, J. (2002). Algorithms for the variable sized bin packing problem. *European Journal of Operational Research*, 365-372.
- Sheng, L., Xiuqin, S., & Changjian, C. (2017). Heuristic algorithm for the container loading problem with multiple. *Computers & Industrial Engineering*, 149-164.
- Vu, T. L., Doug, C., & Saeid, N. (2005). A Heuristic Algorithm for Carton to Pallet. *3rd IEEE International Conference on Industrial Informatics*, (s. 593-598).

Çok Modelli Üretim Hattında Çevik Model Dönüşümü

Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima San. Tic. A.Ş.

Proje Ekibi

Aygen AYTAC, Cumhuriyet Kerem GÜVEN, Derya TATAROĞLU, Emre
AKKUZU, Renan DALKIRAN, Sueda SEZEN, Yasemin ERDEM

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Burak İZCİ, Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima Sanayi, Planlama
Mühendisi

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Yiğit KAZANÇOĞLU, Yaşar Üniversitesi Uluslararası Lojistik
Yönetimi Bölümü, Araş. Gör. Damla KESİKBURUN, Yaşar Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede bir kombi üreticisi olan Bosch Termoteknik fabrikasının, 6. Üretim hattında gerçekleşen model dönüşümü sonucu oluşan kayıp zamanları, planlı kayıp zamanlarına düşürmek amaçlanmıştır. Çalışma sırasında kayıp zamana sebep olan faktörler belirlenerek alt başlıklara ayrıştırılmış, çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu çözüm önerileri geliştirilirken, 5S, Yalın üretim, QFD gibi teknikler kullanılarak oluşan kayıplar en aza indirilmeye çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen iyileştirmeler Arena programı kullanılarak simüle edilmiş, hatta uygulanabilir hale getirilmiş ve karar destek sistemi ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Karar destek sisteminde model dönüşümüne operatörlerin uyumu konusunda talimatlarda aktarılmış ve herhangi bir değişiklik durumunda manuel olarak değiştirilen akış otomatikleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Termoteknik Sanayi, Model Dönüşümü İyileştirme, Üretim Modelleme, Yalın üretim, 5S, Heijunka, QFD.

1.Genel Sistem Analizi

Bosch Termoteknoloji fabrikası, enerji verimli ısıtma sistemleri, sıcak su çözümleri ve soğutma sistemleriyle dünyanın önde gelen tedarikçilerindendir. 2017 yılında yaklaşık 16.500'den fazla çalışan ile 3,4 milyar Avro'luk ciro gerçekleştirilmiştir. Bosch'un dünyadaki en büyük kombi fabrikası olan Manisa yerleşkesi, üretiminin %70'ini 5 kıtaya ve 40'dan fazla ülkeye ihraç edip, 600 binden fazla evi ısıtmaktadır.109 bin metrekarelik alana kurulu fabrika, 26 yıldır gelişerek üretimine devam etmektedir. (Bosch Termoteknoloji, 2017)

Bu proje, kombi montaj üretim departmanı, 6. üretim hattında gerçekleştirilmiştir. 6. Üretim hattında dört çeşit ana ürün grubu bulunmaktadır. Üretim aşamasında ürün grupları arasında geçişlerde oluşan kayıp zamanları minimize etmek için gerekli iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Gerekli verileri topladıktan ve veri analizi yaptıktan sonra mevcut hattın simülasyon modeli oluşturulmuştur. Üretim hattında ve simülasyon modeli üzerinde yapılan çalışmalarla birlikte üzerinde çalışmış olduğumuz 6. Üretim hattında oluşan modeller arası geçişte gözlemlenmiş olduğumuz kayıp zaman ve kayıp ürünlerin en aza indirgenmesinin beklemekteyiz. Bunu yaparken hatta çalışan operatör sayısını sabit tutup, artan ürün sayısı ile birlikte fabrikanın üretkenliğinin ve verimliliğinin artmasını beklemekteyiz.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut Sistem Analizi ve Gözlenen Semptomlar

Projenin gerçekleştiği 6. üretim hattı u tipi düzeninde olup 27 istasyondan oluşmakta olan bir yalın üretim hattıdır. Bu süreçler 11 istasyon montaj, 4 istasyon test, 6 istasyon paketleme, 3'er istasyondan 2 adet destek hattı olacak şekilde paylaştırılır. 4 ana model vardır ve çevrim süreleri sırasıyla Model-1A ve Model-1B 120, Model-2 ve Model-3 olarak iki tip 93, Model-4 80 saniyedir. Aileler arası model dönüşümü;

dört ana grubun birbirleri arasında değişiminin gerçekleşmesi, model içi model dönüşümü ise herhangi ana modellerden birinin alt gruplarının arasında gerçekleşen değişimdir.

Gerçekleşen model dönüşleri sırasında çeşitli nedenlerden ötürü planlanmamış kayıplar oluşur, bu kayıpları saptamak adına performans ve zaman ölçümü manuel olarak kronometre ile gerçekleştirilmiş ve kayıp zamanların sebepleri gözlenmiştir. Lojistik operatörünün malzemeyi yanlış adrese beslemesi, üretim operatörünün beslenen malzemelerin kendine göre yerlerini değiştirmesi, malzeme planının her istasyon için standart varlığının eksik olması, Model-4 cihazından Model-1 cihazına dönüşte cihaz asma aparatı istasyonunda bulunan iki operatör yanma odası kılçık çalışma alanına; model-3 ve model-4'e dönüşlerde ise montaj hattının içinde iki ayrı istasyona destek çalışan olarak yer değiştirmesi, her model dönüşümünde tüm istasyonların gerçekleştirdiği bütün malzemeleri içeren BOM listesinin kontrolünü yapması, tolerans aralığı farklı olan ve her modelde değişiklik gösterebilen el aletlerinin dolaplarının yerlerinin bulunduğu konumlardan kaynaklanan yürümler ve el aletlerinin değiştirilmesi için geçen süreler, cihazları testlerden geçirebilmek için kullanılan test altlıklarının her cihaz ailesi için farklı olarak dizayn edilmiş olması ve her model dönüşümünde bu değişikliğin manuel olarak gerçekleştirilmesi, Model-1 ailesinin kendi içerisindeki tip dönüşümünde beş istasyondaki malzemelerinin yoğunluğunun fazla olması ve rafa sığdırılması konusunda problemler yaşanmaktadır.

Bu semptomlar incelendiğinde çözüm önerileri getirilen ve çözüme ulaştırılarak tip dönüşümü süresi azaltılan maddeler ayrı ayrı alt başlıklarda ele alınmıştır.

2.2 Problemin Tanımı

Mevcut durum ve sistem incelendiğinde 6. üretim hattında aile içi ve aileler arası cihazlarda tip dönüşümü gerçekleştirilirken planlı kayıp sürelerinin oldukça aşıldığı ve bu durumun verimsizlik ve cihaz kaybı olarak yansıdığı gözlemlenmiştir. Bu tez çalışmasının sonucunda operatör sayısı ve mevcut planlamada tasarlanmış çevrim süresi sabit tutularak tip dönüşümü sırasında öngörülmemiş kayıpların azaltılması amaçlanmaktadır. Kayıpların minimum seviyeye indirilmesi ile birlikte üretim hattının verimliliğinin maksimum seviyeye getirilmesi hedeflenmektedir.

2.3 Teknik Yazın Taraması

Proje çalışmalarına başlamadan önce konu ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar araştırılmış ve kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Model geçişlerindeki operatörlerin yer değişimi problemi için yapılan çalışma sonucuna ek Sıralı Kümeleme Analizi yöntemi başlangıç olay matrisi operatör-model formu ile kullanılmıştır. Sıralama Kümeleme Analizi 'ne göre her satır ve sütunun üstel değerleri vardır, satırlar ve sütunlar ilgili üstel değerleriyle çarpılıp büyükten küçüğe sıralanır. Her istasyonda satırlar ve sütunların yerleri değişir, işlem satırların ve sütunların konumları sabitlenene kadar sürer ve operatörün çalışacağı istasyonlar kümelenecek belirlenir (Kılıç, 2006). Ancak yöntem sayıca istenilenden daha fazla operatörün yerini değiştirdiği için kullanılamamaktadır. Test altlıklarının çözümü içinse (QFD) Kalite Fonksiyon yayılımı yöntemi incelenmiş ve probleme uyarlanmıştır. Bu yöntem ile işler parçalara ayrılarak önem ve önceliklerine göre puan verilerek bir grafik oluşturulur. Daha sonra çatı çizilerek ilişki durumlarına göre puan verilerek öncelik sıralamasına karar verilir (Güllü & Ulçay, 2002). Poka-Yoke, operatörlerin dalgınlık, dikkatsizlik veya kararsızlık yaşamalarıyla oluşacak hataların daha oluşmadan engellenmesi,

düzeltilmesi veya etkisinin azaltılmasını amaçlayan bir yalın üretim tekniğidir (Pekin & Çil, 2014). El aletlerinin tork değerlerini ortaklaştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışma üretim verimliliğini ve kalitesini arttırmakla birlikte insan kaynaklı hatalarının önlenmesini sağlar (Pekin & Çil, 2014).

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Tip dönüşümündeki kayıpları azaltmak amacı ile aşağıdaki alt başlıkların bazıları uygulanarak tip dönüşümündeki kayıp sürelerin azaldığı gözlemlenmiş, bazılarının da model dönüşümündeki kayıp süreyi azaltacağı öngörülerek öneri olarak sunulması amaçlanmıştır.

3.1 Malzeme yerleşimi tasarım ve planı

Her istasyon için malzemelerin detaylı analizleri yapılarak malzeme listeleri çıkartılmış ve bu listelere göre istasyon bazlı malzeme planları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu planlamaya göre malzemelerin raflardaki belirli adreslemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu iyileştirme tip dönüşüm sürelerine de olumlu olarak yansiyarak sürelerde düşüş yaşanmıştır (Detaylı hesaplamalar İngilizce raporda verilecektir). Bu iyileştirme ile lojistik operatörünün malzemeyi yanlış adrese beslemesi, üretim operatörünün lojistik operatörü tarafından doğru adrese beslenen malzemelerin kendine göre yerlerini değiştirmesi, malzeme planının her istasyon için standart varlığının eksik olması semptomlarının tamamına çözüm bulunmuştur.

3.2 Operatör yer değişim problemi çözüm önerisi

Model dönüşü sırasındaki önemli kayıplardan biri de operatörlerin yer değişimidir. Bu yer değişikliği zaman kaybına yol açmaktadır. Model dönüşünde küçük döngü süreli modelden büyük döngü süreli modele geçişte kayıp yaşatmaktadır. Model 4'den Model 1'e geçiş için askı cihazı alanında olan iki operatör yanma istasyonuna geçer, Model 2 ve 3 için ise yanma istasyonu 1 ve 2'de bulunan operatörler sırasıyla sekizinci

ve onuncu istasyonlara yerleşir, bu durum ardındaki istasyonları bekletmektedir. Aşağıda döngü sürelerinin operatörlerin yer değiştirirken beklettikleri istasyon sayısı ile çarpılarak hesaplanmıştır ve bir model için en az kayıplı geçişler tabloda * işaretiyle gösterilmiştir. (Tablonun devamı İngilizce raporda verilecektir.)

Tablo 1. Model geçişleri optimizasyonu.

Model Geçişleri	Toplam Kayıp Süreler (sn)
1A – 3 – 2 – 4 – 1B	1440
1A – 4 – 1B – 3 – 2	1440
1A – 1B – 3 – 4	0 *
1A – 2 – 3 – 1B – 4	1674

3.2.1 Parametreler, Setler ve Karar Değişkenleri

Modelde dört adet set bulunmaktadır. Tanımları ise;

$$n = m_1, m_2, m_3, m_4 \quad n = 1, 2, 3, \dots, 256$$

$$m = \text{model indisi} \quad m = 1, 2, 3, 4$$

$$s = \text{model geçiş indisi} \quad s = 1, 2, 3, 4$$

$$r = \text{sıralama indisi} \quad r = 1, 2, 3, 4 \text{ şeklindedir.}$$

Model parametreleri ise aşağıda görüldüğü gibi belirtilmiştir.

DT_{ms} = Modeller arasındaki geçişte operatörün bulunduğu konumdan bulunması gereken konumdan kaynaklı istasyon sayısı farkı $\forall m, s$

CT_m = Model dönüş süresi $\forall m$

OT_m = Sipariş zamanı $\forall m$

T_n = Tip dönüşümünde operatör yer değişiminin kaybı $\forall n$

N_{mr} = Model geçişlerinde modelin bulunduğu konum $\forall m, r$

$P_n(mr)$ = Model geçişlerinin permütasyonları $\forall n$

Modelin karar değişkenleri ise aşağıdaki gibidir.

$$T_n = \begin{cases} 1, & \text{zaman kaybı yoksa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$OT_m = \begin{cases} 1, & N_{mr} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$N_{mr} = \begin{cases} 1, & P_n(mr) \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

3.2.2 Matematiksel Model

Geliştirdiğimiz matematiksel model aşağıda belirtilmiştir.

- 1) $\text{Min } \sum T_n \sum OT_m \sum N_{mr} (P_n(mr))$
- 2) $DT_{ms} \leq 30$
- 3) $T_n = DT_{ms} * CT_m$
- 4) $1 \leq N_{mr} \leq 4$
- 5) $OT_m \geq 0, T_n \geq 0, CT_m \geq 0, DT_{ms} \geq 0, P_n(mr) \geq 0$

Amaç fonksiyonu (1) modeller arası geçişte operatör yer değiştirmesinden kaynaklı zaman kaybının olmadığı geçişlerde gelen siparişe göre haftalık üretim planlamasını yapmaktadır. Modeller arasındaki istasyon farkı (2) otuzdan küçük olmalıdır. Modeller arası geçişte operatör yer değiştirmesinden kaynaklı zaman kaybı (3) modeller arasındaki geçişte operatörün bulunduğu konumdan bulunması gereken konumdan kaynaklı istasyon sayısı farkı ile üretilen modelin döngü süresinin çarpımı ile hesaplanmıştır. Model geçişlerinde modelin bulunduğu konum (4) bir ile dört arasında olmalıdır. Model parametreleri (5) sıfırdan büyük olmalıdır. Ayrıca bu modelde Model1A ve Model1B ortak alınarak Model1 olarak tanımlanmıştır. Bunun sebebi ise yapılan hesaplamalarda modeller arası geçişte operatör yer değiştirmesinden kaynaklı sorunda aynı sonucu vermiştir. Matematiksel model daha anlaşılır hale gelip ve Excel VBA açısından daha hızlı sonuca ulaşmasına katkı sağlamıştır.

3.3 BOM Kontrolü problemi

BOM kontrolü yapılırken modele göre değişmekle birlikte ortalama 5 sayfalık kağıtlarda istasyona göre ürün listesi geliştirilmiştir. Ayrıca işi daha da kolaylaştırmak için renklendirme önerilmiştir. BOM listesi önceki sistemdeki gibi lojistik operatörü tarafından işin başladığı ilk

istasyona teslim edilir. BOM kontrolü istasyon operatörleri tarafından kutular üzerindeki kodlar kontrol edilerek yapılır. En arkada bulunan imza sayfasına imza atılarak, kombinin üzerine mıknatısla sabitlenir. Sonraki istasyona geçişi sağlanır ve her istasyonda yapılması beklenir. Bu sayede daha önce sayfalar arasından aranması gereken kodlar operatörün kolay ulaşabileceği ve lojistik operatörünün de daha kolay takip edeceği bir sistem geliştirilmiştir.

3.4 Model 1 ailesi dönüşümü

Model 1'in aile içerisi model dönüşümleri sırasında yapılan gözlemlere göre istasyon-4, istasyon-5, istasyon-7, istasyon-8 ve paketleme istasyonu-5'te malzeme yoğunluğunun fazlalığından dolayı problemler yaşandığı kayıplara yol açtığı gözlemlenmiştir. Yapılan iş etüdü çalışmaları ve hesaplamalara göre " $40sn*6(istasyon) = 240$ saniye" model dönüşümünde kaybedilen süredir. Bu süre cihaz olarak, 20 adet cihaza tekabül eder. Fabrikanın bu proje çalışması kapsamında beklentisi bu kayıp sürenin 120 saniyeye düşürülmesidir. Bu düşüş 10 adet cihaz kazanılmasını sağlamaktadır. Tip dönüşümünde gerçekleşen bu kayıp zamanın kazancı malzemelerinin yeni planı ile denenerek süre düşüşü gözlemlenmiştir. Bu istasyonlarda kullanılan tüm ailelere ait malzemelerin tamamının listesi çıkartılarak malzeme analizi gerçekleştirilmiş ve sadece aileler için ortak olan kanban malzemelerin yerleri sabitlenmiş, diğer tüm malzemeler kanban veya komisyonlama fark etmeksizin saatlik malzeme besleme sistemi ile hatta döndürülmeye başlanmıştır. Yapılan bu iyileştirmenin ardından tip dönüşümü süresinin hedeflendiği şekilde düştüğü gözlemlenmiş ve bu süre düşüşü simülasyon modeline yansımıştır. (Detaylı hesaplamalar ve tablolar İngilizce raporda verilecektir)

3.5 El aletleri önerisi

Üretim hattında kullanılan el aletlerinin belirli tork değerleri vardır. Operatörün el aletini ararken hatta kaybettirdiği süreyi ve yanlış el aleti kullanma olasılığını azaltabilmek için el aletlerinde tork ortaklaştırılması çalışması yapılmıştır. Geniş aralığa sahip bazı tork değerleri daraltılarak el aletlerinin sayısı 9 tane azaltılmıştır.

Tablo 2. Tork aletleri ortaklaştırılması

El Aletleri	Tork Değerleri	El Aleti Sayısı	Ortaklaştırılmış Tork Değeri	Ortaklaştırılmış El Aleti Sayısı
Tork Tornavidası	Değer -1	1	Değer -1	1
	Değer -2	1		
Tork Anahtarı	Değer -3	2	Değer -3	2
	Değer -4	2		
Tork Cihazı	Değer -5	3	Değer -6	3
	Değer -6	3		
Dik tornavida	Değer -7	2	Değer -8	1
	Değer -8	1		
Tork Anahtarı	Değer -9	1	Değer -10	1
	Değer -10	1		
Dik Tabanca	Değer -11	5	Değer 12	1
	Değer -12	1		

* Şirket bilgi gizliliğinden dolayı değerler raporda verilememektedir.

El aletlerinin bulunduğu dolaptan ya da bulunduğu istasyondan alınması model dönüşümü sırasında yaşanan önemli kayıplardan biridir. 5S tekniği kullanılarak, bir analiz çalışmasıyla el aletleri isimlerine, tork değerlerine bakılarak istasyon bazlı bir şekilde her model için ayrı ayrı incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Bunun sonucunda hangi istasyonun hangi aleti veya aletlerini kullanması gerektiği açık bir şekilde

görülmüştür. El aleti dolaplarının tasarımı Şekil 1 de görüldüğü gibi yapılmıştır. Tasarımda strafor adlı malzemenin kullanılarak el aletlerinin şeklini alacak şekilde düzenlenmiştir. Aynı el aleti olup, farklı tork değerlerinde olanlar için de etiket ve renklendirme çalışması yapılmıştır.



Şekil 1. El Aleti Dolabı

3.6 Test altlıkları tasarımı önerisi

Model dönüşündeki kayıp süreyi azaltmak için 9. İstasyondaki test altlığı değişimi esnasında diğer modele uygun altlığın yerleştirilmesi ve sıralanması işlemini ortadan kaldırmak için 4 katlı test altlığı raflı sistemi tasarlanmıştır. (Detaylı teknik çizim İngilizce raporda verilecektir.) Bu tasarımı yapılmadan önce kalite fonksiyon yayılımı yöntemi kullanarak iyileştirmelere verildi. Her model test altlıkları farklı renge boyanarak aynı renkteki rafa sıralanarak ve operatörlerde oluşacak herhangi bir test altlığının karıştırılması probleminin önüne geçilebilir. Bu bilgiler ve tasarımlar fabrikaya öneri olarak sunulmuştur.

Kalite Fonksiyonu	Test Altlığı Özellikleri				
	Kolay Ulaşılabilirlik	Ayrıt Edilebilirlik	Sıralı ve Düzenli Olması	Sürekli Besleme	Ergonomik
(4) Kolay Ulaşılabilirlik	●	●	○	○	○
(3) Ayrıt Edilebilirlik	○	○	○	○	○
(1) Sıralı ve Düzenli Olması	●	○	○	○	○
(2) Sürekli Besleme	○	○	○	○	○
(5) Ergonomik	○	○	○	○	○
Toplam Önem Derecesi	24	29	15	20	25

●	Çok Yüksek İlişkili (*5)	○	Düşük İlişkili (*1)
○	Orta İlişkili (*3)	○	Yüksek İlişkili (*4)

Şekil 2. Kalite Fonksiyon Yayılımı

4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde çözümlenmesi yapılan problemlerin çıktılarında elde edilen sayısal sonuçlar ölçülmüş ve geliştirilmiş sistemin analizi yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu model dönüşümünde kayıp yaşatan ana nedenler ve ölçülen süreler ortalama olarak tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 3. Model dönüşümü karşılaştırması

Tip Değişimi	Ana Tiplerde Önceki Durum (Sn)	Ana Tiplerde Son Durum (Sn)
Aparat değişimi	55	45
Malzeme / KLT düzenleme	42	35
BOM okuma-check-imza	52	30
Toplam	149	110

Bu ölçümler projeye başlandığında model dönüşümü süresince, istasyon bazında yapılan ölçümlerin ortalaması ile hesaplanmıştır. (Detaylı hesaplamalar ve tablolar İngilizce raporda verilecektir)

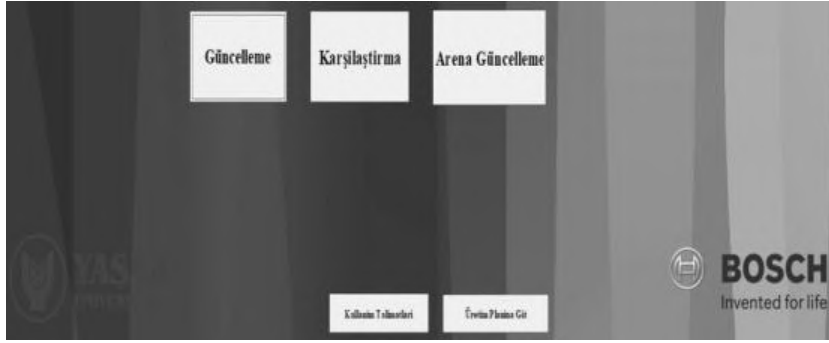
4.1. Doğrulama, geçerleme ve duyarlılık analizi

Elde edilen sonuçlar Arena programı kullanılarak hatta uygulanmadan önce simüle edilerek olası etkiler görülmüş, daha sonra uygulamaya geçilmiştir. Simülasyon programı kullanılırken 20 model dönüşümü için istasyon bazında kayıp zaman verileri KDS üzerinden Read Write modülü ile simülasyonun içine direk aktarılmış, proses modülünün önüne koyulan delay modülü formülasyonu ile kayıp zamanlar katma değersiz zaman olarak rapora yansıtılmıştır.

4.2. Karşılaştırma ve Uygulama: İyileştirmeler ve KDS

Projemizde Excel VBA kullanarak kullanıcı girişine odaklı güncellemeler, yapılan iyileştirmeler sonucunda ilk durum ve son durumu gösteren karşılaştırmalı grafikler, simülasyondaki

veri tablosunun güncellenmesi ve matematiksel model baz alınarak, modeller arası geçişlerde operatör yer değiştirmesinden kaynaklı yaşanan kaybın önlenmesi amacıyla haftalık üretim planı düzenlenmiştir. Giriş sayfasında kullanıcıya sistemi nasıl kullanması gerektiği ile alakalı bilgilendirme yapılmış olup, bu bilgilendirmeye istediği zaman ulaşabilmektedir. Güncelleme kısmında ise kullanıcı model dönüş sürelerini, modeller arası geçiş sürelerini istasyon bazlı olarak ve talimatları güncelleyebilir.



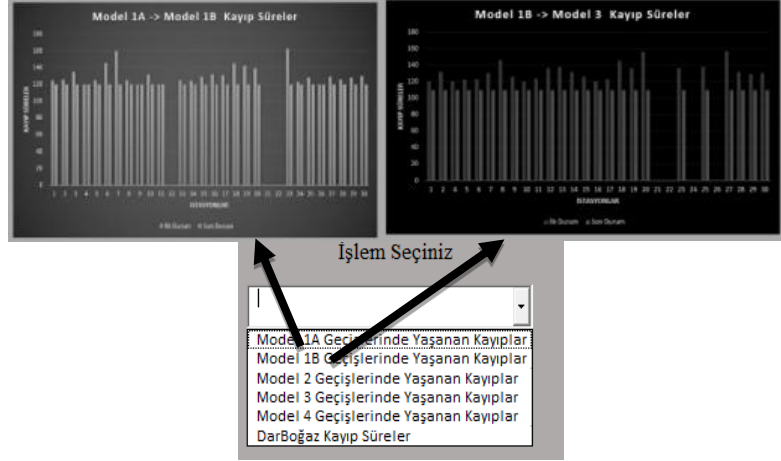
Şekil 3. Ana Sayfa



Şekil 4. Güncelleme

Karşılaştırma kısmında ise modeller arasında geçişlerde yaşanan kayıp süreleri, darboğaz kayıp sürelerinin ilk durum ve son durum olarak yani yapılan iyileştirmelerden sonraki halini karşılaştırmalı bir şekilde grafiklerden rahatça anlayabilir. Arena güncellemesine baktığımızda, simülasyon programında kullandığımız veri tablosunu

herhangi bir güncelleme geldiğinde dinamik olarak değiştirme amaçlanıp uygulanmıştır.



Şekil 5. Karşılaştırma Gösterge Paneli

Planlama bölümünde haftalık olarak üretilmesi beklenen siparişlerin kurmuş olduğumuz matematiksel modelin altında, Excel VBA kullanarak, üretilmesi gereken modeller operatör yer değiştirmesinden kaynaklı problem olmayacak şekilde sıralanmıştır.

5. Sonuç

Bu proje, Bosch firmasında 6. üretim hattında gerçekleşen tip dönüşümleri sırasında yaşanan kayıpları en aza indirmek ve sistemi iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Bunun için tip dönüşümleri sırasında gözlemlenen problemler analiz edilmiş ve çözüm yöntemleri oluşturulmuştur. Modeller arası geçişleri gösteren, süre değişimleri gerçekleştirilebilen bir karar destek sistemi oluşturulmuştur ve tüm tip dönüşümlerinin hat bazlı gözlemlenebildiği simülasyon modeli geliştirilmiştir. Gözlemlenen kayıplara neden olan problemlere malzeme yerleşimi tasarım ve planı, BOM kontrolü, Model 1 ailesi kayıp azaltma; çözüm olarak uygulamaya konulmuş, diğer maddeler ise öneri olarak firmaya sunulmuştur. Bu sayede, tip dönüşümleri sırasında yaşanan kayıplar minimize edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Bosch Termoteknoloji. (2017). Bilgiler: Bosch Termoteknoloji Türkiye. Bosch Termoteknoloji Web sitesi, <https://www.bosch-thermotechnology.com>, Son erişim tarihi: 18 Nisan 2018.
- Güllü, E., & Ulcay, Y. (2002). “Kalite Fonksiyonu Yayılımı Ve Bir Uygulama“. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 72-91.
- Kılıç, E. (2006). “İmalat sistemlerinde hücre oluşturma yöntemlerinin incelenmesi ve etkinlik ölçütleriyle değerlendirilmesi“. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans/Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Dale H. Besterfield (2009). “Quality Control”, Pearson/Prentice Hall, ISBN 0135000955
- Pekin E. & Çil İ. (2015). “Kauçuk sektörü Poka-Yoke uygulaması“. SAÜ Fen Bil Der, Cilt (19). s. 163-170

Sıralı Akış Tipi Çizelgeleme

Hugo Boss Tekstil Sanayi Ltd. Şti.

Proje Ekibi

Göksu Erseven Gizem Akgün Gözde Yarıkcın
Aslıhan Karakaş Anıl Tekye Selin Gökkaya
Sinan Maramuroğlu

Endüstri Mühendisliği, Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Erim Kırca

Akademik Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner, Araş. Gör. Özgün Öztürk

ÖZET

Hugo Boss ile birlikte yürütülen bu proje, Verarbeitsung adı verilen kalite kontrol bölümünde, sırası belli olan test aşamalarından geçecek ürünlerin hangi permütasyon ile geçeceğini belirlemek üzerinedir. Amaç fonksiyonu, sıralı akış tipi çizelgelemesi yaparak ürünlerin kontrol süresini enküçükmektir. Bu doğrultuda, öncelikle sorunun parametrelerini belirlemek için yeni ürünlerin TPC (Teknik Hazırlık Merkezi)'deki imalat ve Verarbeitsung'daki kontrol süreçleri incelenmiştir. Manne (1960) matematiksel modeli, yazın taramaları gözden geçirilerek kullanılmaya karar verilmiştir. Sezgisel çözüm yöntemi olarak, NEH (Nawaz, Enscore, Ham) ve ILS (Ötelenmiş Yerel Arama) algoritmalarına başvurulmuştur. Bu çözüm yöntemleri doğrultusunda, çizelgelemenin şirket tarafından yapılabilmesi için karar destek sistemi sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Üretim süresi, kalite kontrol, sıralı akış tipi çizelgeleme, NEH, ILS, karar destek sistemi

1. Genel Sistem Analizi

Hugo Boss Tekstil Sanayi Ltd. Şti., 1924 yılında Almanya Metzingen’de kurulan uluslararası bir giyim şirkettir. Küresel giyim pazarında Hugo Boss, en büyük pazar liderlerinden biridir. Yıllık satışları 2016 yılında 2,692.8 milyon Euro olarak raporlanmıştır. Şirketin bu başarısının temel nedenleri olarak üretim sistemleri, üretim kalitesi, şirket stratejileri gösterilebilir.

Ürünleri modern giyim, şık gece kıyafetleri ve spor giyim üzerinedir. Bunun yanı sıra şirket, ayakkabı ve aksesuarlar gibi geniş ürün yelpazesine sahiptir. Gaziemir Ege Serbest Bölge Sanayisi’nde bulunan İzmir fabrikasında ise gömlek, kadın giyim ve takım elbise üretimi yapılmaktadır. Hugo Boss grubunun en büyük üretim tesisi olan İzmir fabrikası, yaklaşık 4000 çalışan istihdam etmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın taraması

2.1 Mevcut Sistemin Analizi

Hugo Boss İzmir fabrikası iki tesisten oluşmaktadır. Tesislerden biri takım elbise üretimi üzerinedir. Diğeri ise gömlek ve kadın giyim ürünleri üretmektedir. Üretim alanında yeni modellerin oluşturulduğu TPC adı verilen bölümler bulunur. Bu bölümde yeni ürün modellerinin üretim aşamaları ve işlem süreleri belirlenir. TPC’de oluşturulan bu ürünlerin seri üretimine başlamadan önce, kalite ve kontrol süreçlerinden geçmek üzere, ‘Verarbeitung’ bölümüne gönderilir. Verarbeitung biriminde yapılan kalite testlerinden geçemeyen ürünler TPC bölümüne geri gönderilir. Ayrıca bu bölümde ürünlerin maliyet analizi de yapılır. Ürünlerin üretim aşamaları ve işlem süreleri her bir ürün modeline göre değişiklik göstermekte olup ürün uzmanları tarafından belirlenmektedir.

Kalite kontrol testlerinin gerçekleştiği Verarbeitung'da 7 adet kontrol aşaması bulunmaktadır. Dikim ve simetri kontrolü, ürünlerin eksenine göre iki bölgesinin yapı ve biçim benzerliği ile birlikte dikişinin de kontrolünün gerçekleştiği ilk aşamadır. Bu aşamadan geçen ürünler pastal kalıp kontrolüne gönderilir. Pastal kalıp kontrolünde ürünlerin belirlenen beden ölçüsüne uygunluğu test edilir. Ardından ürünler renk tonu kontrolü yapıldıktan sonra dördüncü aşama olan yıkama ve kurutma kontrolüne gönderilir. Beşinci aşama ise yıkama sonrasında ürünlerin çekme miktarının tespit edildiği yıkama sonrası pastal kalıp kontrolüdür. Daha sonra ürünler yıkama sonrası renk tonu kontrolü ve pres kontrolünden geçer. Son aşama olan pres kontrolünde ürünlerin ısıya dayanıklılığı test edilir.

Bu bölümde ürünlerin akışı belirli bir çizelgeye bağlı olmadan, süreç yöntemlerinin tecrübelerine göre belirlenmektedir. Bu sebepten, ürünlerin kontrol testleri çizelgeleme sayesinde daha kısa sürede yapılabileceği halde, çizelgelemenin olmayışından dolayı zaman kayıpları oluşturmaktadır.

2.2 Sistemde Gözlemlenen Semptomlar

Sahada yapılan analizlerden ve şirket yetkililerinden edinilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki semptomlara ulaşılmıştır:

1. TPC'den gelen ürün numunelerinin kontrolü sürecinde çizelgeleme yöntemlerine başvurulmayıp, süreç yöneticilerinin tecrübelerine göre yapılmasıdır.
2. Numunelerin kalite kontrol aşamalarının işlem süresinin uzun sürmesi.

2.3 Problemin tanımı

Verarbeitung kontrol bölümünde işler belirlenen akış doğrultusunda bir dizi operasyonlardan geçmek zorundadır. Bu bölümde yedi aşama bulunmaktadır ve her ürün aynı sırayı takip edecek

şekilde tüm işlemlerden geçmelidir. Şirket yetkilileri ile yapılan görüşmeler doğrultusunda, Verarbeitung biriminde ürünlerin kalite ve kontrol aşamalarının süresini en küçüğe indirgenmesi gerektiği tespit edilmiştir. Makineler arasında sıra değişikliklerine izin vermeyen çizelgeleme tipine, sıralı akış tipi çizelgeleme denir (Pinedo, 2002). Sıralı akış tipi üretim sistemine göre, her iş her makinede işlenmelidir. Problemden ürün modelleri işe, kontrol aşamaları ise makinelere karşılık gelmektedir. İşlerin makinelerde geçirdikleri süreler, işçilerin herbir kontrol aşamasında harcadıkları süreler olarak ele alınmaktadır. Bütün aşamalarda, önceden belirlenmiş bir işçinin bulunduğu varsayılmıştır. Bir işin işlendiği makinelerin sırası her iş için aynıdır. Çizelgeleme, makinelerdeki işlerin sırasına göre belirlenir; bu, hangi işin her makinede ilk işlendiği, hangisinin ikinci olduğu gibi devam eder. Bu çizelgelemenin amacı, son makinedeki son işin işlenme süresinin mümkün olduğunca küçük olmasıdır.

2.4 Teknik yazın taraması

Atama problemleri genellikle NP-zor problem sınıfına girmektedir. İş ve makine sayısı arttıkça, problemin zorluk derecesi artmaktadır. Problemin boyutu arttıkça kesin çözüm teknikleri ve matematiksel model yetersiz kalmaktadır. Çizelgeleme problemlerinde amaç fonksiyonu çeşitli performans ölçütleriyle tanımlanmaktadır. Uday K.'ya göre (2009), bu performans ölçütleri akış süresi, üretim süresi, erken tamamlanma ve geç tamamlanma olabilir. Convey (1967) bir takım işlerin yerine getirilebilmesi için işlerin sıralamaları arasında bir seçim yapıldığı durumlarda sıralama problemi olacağını öne sürer. Baker (1974) sıralama problemini, işlerin sıralamasının bir çizelgeyi tamamen belirlediği özel bir çizelgeleme problemi olarak tartışır. Pinedo (2002) bir sıranın, genellikle n tane işin permütasyonuna veya belirli bir makinedeki işlerin işleneceği sıraya karşılık geldiğinden bahseder.

Üzerinde çalışılan model, Tseng (2004) çalışmasından alınmıştır. Bu çalışma, Manne (1960) çalışmasında savunulan modelin sıralı akış tipi çizelgelemesine dönüştürülmüş halidir. Problemin boyutu arttıkça matematiksel model ile yapılan çözüm yetersiz kalmıştır. Bunun sonucunda sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Projede kullanılan NEH algoritması, Feng Jin, Shiji Song ve Cheng Wu (2005)' e göre, akış tipi çizelgelemede kullanılabilir en iyi sezgisel yöntemdir. Stützle (1998)'e göre Ötelenmiş Yerel Arama (ILS), yerel arama algoritmalarının performansını iyileştirmek için uygulama sağlayan önemli bir meta-sezgisel algoritmadır.

3.Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Problemin karar değişkenleri, parametreleri, matematiksel modeli ve kullanılan sezgisel çözüm yöntemleri aşağıdaki başlıklarda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1 Karar Değişkenleri ve Parametreler

Bu projede üzerinde çalışılan modelin notasyon, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve matematiksel modelin kısıtları aşağıda gösterilmiştir.

İndeksler:

i Makine indeksi, $i = 1, \dots, m$

j İş indeksi, $j = 1, \dots, n$

Karar Değişkenleri:

$D_{j,j'}$ = İkili değişken eğer $D_{j,j'} = 1$ ise j işi j' işinden önce işlemindedir. (öncüllük ilişkisi) , $D_{j,j'} = 0$ aksi takdirde, $j < j'$

C_{ij} = j işinin i makinesindeki tamamlanma süresi

C_{max} = Son makinedeki son işlemin bitiş zamanı

Parametreler:

p_{ij} = j işinin i makinesindeki işlem süresi

M = Büyük sayı

3.2 Matematiksel model

Yeni ürün modellerinin kontrol süresini enküçüklemeyi hedefleyen model kısıtlarla beraber aşağıda verilmiştir;

$$\text{enk } C_{\max}$$

s.t

$$C_{1j} \geq p_{1j} \quad j=1, \dots, n \quad (1)$$

$$C_{ij} - C_{i-1,j} \geq p_{ij} \quad i = 2, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$C_{ij} - C_{ij'} + M \cdot D_{jj'} \geq p_{ij} \quad i=1, \dots, m; \quad j, j'=1, \dots, n, \quad j < j' \quad (3)$$

$$C_{ij} - C_{ij'} + M(D_{jj'} - 1) \leq -p_{ij'} \quad i=1, \dots, m; \quad j, j'=1, \dots, n, \quad j < j' \quad (4)$$

$$C_{\max} \geq C_{mj} \quad j=1, \dots, n \quad (5)$$

$$C_{\max} \geq 0 \quad (6)$$

$$C_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

$$p_{ij} \geq 0 \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu yeni ürünlerin kontrol süresini (son operasyonun son makinedeki bitiş süresi) enküçüklemektir. Kısıt 1 ve 2 iş uygunluğu ile ilgilidir. Kısıt 1, herhangi bir j işinin tamamlanma süresinin, makine 1 için işlem süresine eşit veya daha büyük olduğunu gösterir. Kısıt 2, birbirini takip eden 2 makine (i-1,i) arasındaki herhangi bir j işinin tamamlanma süresi farkının, aynı iş j'nin i-inci makinedeki işlem süresine eşit veya daha büyük olduğunu gösterir. Kısıt 3 ve 4 makine uygunluğu kısıtlarıdır. Bu kısıtlar herhangi bir i makinesindeki j işleri arasındaki öncüllük ilişkisini tanımlar. Burada, M büyük bir sayıya karşılık gelir. Bu kısıtların amacı j işinin ya j' işinden önce gelmesini ya

da sırayla j ' işini takip etmesini ancak her ikisinin aynı anda olmamasını sağlamaktır. Kısıt 5, her işin son makinedeki tamamlanma süresinin, C_{max} 'tan küçük veya C_{max} 'a eşit olmasıdır. Kısıt 6,7 ve 8 negatif olamama kısıtlarıdır.

3.2.1 Sezgisel Çözüm yöntemleri

Projenin çalışıldığı bölümde problem, NP-zor problemler kapsamına girmiştir. Bu sebepten sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Optimuma en yakın sayısal değerlere ulaşabilmek için yapıcı sezgisel çözüm yolu olarak NEH algoritması ve iyileştirmek için geliştirici meta-sezgisel çözüm yöntemi olan ILS algoritması kullanılmıştır.

3.2.1.1 Neh algoritması

NEH algoritması Nawaz, Enscore ve Ham (1983) tarafından maksimum tamamlanma zamanının enküçüklenmesi amaç fonksiyonlu sıralı akış tipi çizelgeleme için önerilmiştir. NEH yönteminin temel düşüncesi, tüm makinelerdeki toplam işlem zamanı en yüksek olan işlere öncelik verilmesidir (Kurnaz ve Kart, 2010).

NEH yöntemi 3 aşamadan oluşur:

1. Her işin tüm makinelerdeki toplam işlem zamanı hesaplanır ve büyükten küçüğe doğru sıralanır.
2. Bir önceki adımda oluşturulan listeden en büyük iki toplam işlem zamanı alınır ve olası iki çizelgeden en küçük maksimum tamamlanma zamanına sahip olan belirlenir. Takip eden iterasyonlarda belirlenen bu pozisyon sabitlenir ve listedeki toplam işlem zamanı en büyük olan diğer bir iş eklenir. Seçilen bu iş mümkün olan tüm pozisyonlara yerleştirilerek, maksimum tamamlanma zamanı en küçük olan çizelge seçilir.
3. Bir önceki aşamadaki işlemler tüm işler yerleştirilene kadar tekrarlanır.

3.2.1.2 ILS algoritması

Ötelenmiş Yerel Arama, yerel arama algoritmalarının performansını iyileştirmek için kolayca uygulama sağlayan güçlü bir meta-sezgisel algoritmadır. Algoritmanın esas amacı belirlenen çözüm alanında rastgele sıçramalar yapmaktır. Yerel arama, bazı başlangıç dizilerinden başlar ve art arda yerel değişikliklerle mevcut diziyi iyileştirmeye çalışır. Eğer mevcut dizinin komşuluğunda daha iyi bir dizi bulunursa, mevcut dizi, bulunan dizinin yerini alır ve yerel arama devam eder. En basit yerel arama algoritması, komşulukta daha iyi bir sıra bulunamayana kadar bu adımları tekrar tekrar uygular ve bu nedenle karşılaşılan ilk yerel minimumda durur (Stützle, 1998). ILS Prosedürü aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1).

```
 $\pi = \text{NEH}$   
 $\pi_{\text{best}} = \pi$   
while “ (Durdurma kriterine kadar)” do  
   $\pi_1 = \text{Pertürbasyon}(\pi)$   
   $\pi_2 = \text{Yerel Arama}(\pi_1)$   
    if  $f(\pi_2) < f(\pi)$  then  
       $\pi = \pi_2$   
      if  $f(\pi) < f(\pi_{\text{best}})$  then  
         $\pi_{\text{best}} = \pi$   
endwhile  
return  $\pi_{\text{best}}$   
end ILS
```

Şekil 1. ILS Prosedürü

Pertürbasyon:

Pertürbasyon, akış tipi çizelgeleme problemleri için literatürde yerel arama algoritması için komşuluk olarak tanımlanmaktadır. Öncelikle, iki komşu pozisyonundaki i ve $i+1$ işleri değiş tokuş edilir (ikili yerleştirme). Daha sonra, ikinci aşama olan yer değiştirme aşamasında, i . ve j . pozisyonundaki işler karşılıklı olarak değiştirilir. Son olarak, i . pozisyonundaki iş çıkarılıp, j . pozisyonundaki işin yerine eklenir (yerleştirme). Şekil 2, pertürbasyon prosedürünü göstermektedir.

```
Do  
     $pt_1 = \text{İş için rastgele pozisyon seç}$   
     $pt_2 = \text{İş için rastgele pozisyon seç}$   
    Loop While ( $pt_1 = pt_2$ )  
ward = Rastgele ikili değer üret (0,1)  
    If ward=1 Then  
        Temp =  $p(pt_2)$   
        Do  
             $p(pt_2) = p(pt_2 - 1)$   
             $pt_2 = pt_2 - 1$   
        Loop While ( $pt_2 > pt_1$ )  
         $p(pt_2) = \text{Temp}$   
    Else  
         $\text{Temp} = p(pt_1)$   
        Do  
             $p(pt_1) = p(pt_1 + 1)$   
             $pt_1 = pt_1 + 1$   
        Loop While ( $pt_1 < pt_2$ )  
         $p(pt_1) = \text{Temp}$   
End If
```

Şekil 2. Pertürbasyon prosedürü

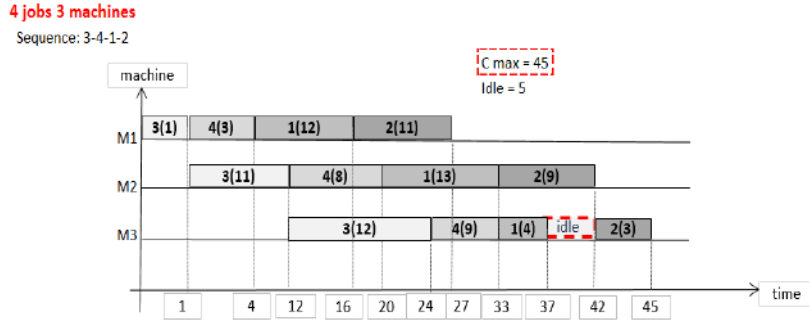
4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde doğrulama, geçерleme, karşılaştırma ve uygulamaya yer verilmiştir.

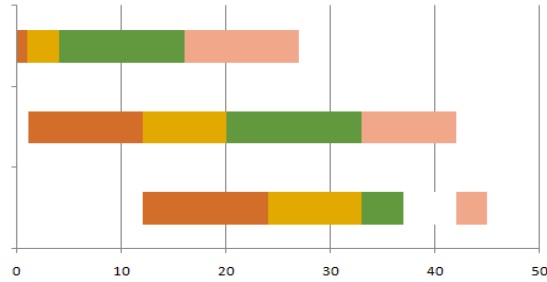
4.1 Doğrulama ve Geçerleme

Şekil 3' te görülen gantt şeması manuel olarak çizilmekle olup, 3 makine ve 4 işten oluşan matematiksel modelin (Lingo) çözümüdür. Excel Vba'de hazırlanan karar destek sistemi ile çizilen, aynı iş ve makine sayısındaki problem çözümünden elde edilen gantt şeması Şekil 4'te gösterilmiştir.

Vba ile bulunan amaç fonksiyon değeri ve iş sırası, Lingo çözümü ile aynı sayısal değerleri vermekte olup ($C_{max}=45$, iş sırası: 3-4-1-2), Vba ile elde edilen gantt şeması da Lingo çözümü kullanılarak manüel yapılan çizim ile aynı çıkmıştır. Benzer şekilde, farklı iş ve makine sayıları için matematiksel modelin doğruluğu test edilmiştir.



Şekil 3. Manuel çizilen gantt şeması



Şekil 4. Vba kodu ile çizilen gantt şeması

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Aşağıdaki tablolarda modelin NEH, ILS ve Lingo karşılaştırmaları görülmektedir (Tablo 1 ve Tablo 2).

Tablo 1. NEH ve ILS Karşılaştırması

	NEH		ILS	
	Cmax	RunTime	Cmax	RunTime
7 makine 5 iş	75	1,157E-05	73	1,15741E-05
6 makine 10 iş	107	1,157E-05	105	2,31481E-05
7 makine 10 iş	122	1,157E-05	119	1,15741E-05
8 makine 10 iş	127	1,157E-05	125	1,15741E-05

6 makine 15 iş	164	3,472E-05	161	1,15741E-05
7 makine 15 iş	168	1,157E-05	160	1,15741E-05
8 makine 15 iş	176	2,315E-05	170	1,15741E-05
5 makine 20 iş	179	1,157E-05	178	1,15741E-05
6 makine 20 iş	185	1,157E-05	183	2,31481E-05
8 makine 30 iş	314	2,315E-05	311	1,15741E-05
8 makine 40 iş	400	3,472E-05	397	2,31481E-05
8 makine 50 iş	474	5,787E-05	468	2,31481E-05

33 farklı iş-makine sayısındaki NEH ve ILS denemelerinin içinden yukarıdaki tabloda yer alan 12 denemede ILS algoritması ile, NEH çözümlerine kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 1).

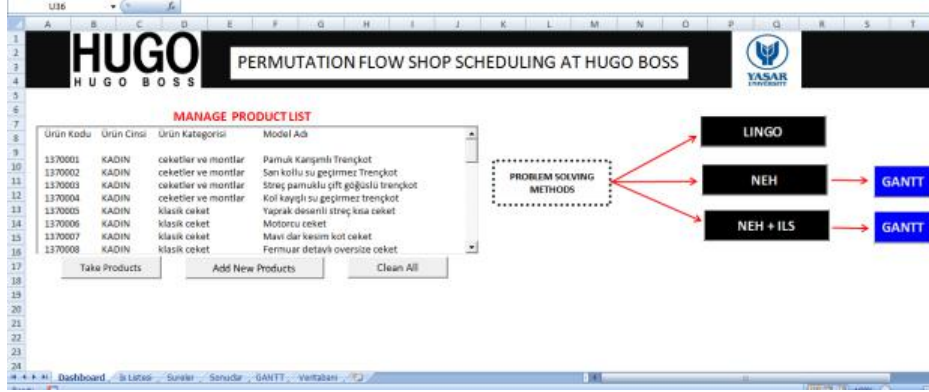
Tablo 2. NEH-ILS ve Lingo Karşılaştırması

	NEH		ILS		LINGO	
	Cmax	RunTime	Cmax	RunTime	Cmax	RunTime
5 makine 10 iş	99	1,157E-05	99	1,1574E-05	98	42,51
8 makine 10 iş	127	1,157E-05	125	1,1574E-05	121	40,1

18 farklı iş ve makine sayısındaki Lingo denemesinin içinden yukarıdaki tabloda yer alan 2 denemede Lingo, NEH ve ILS çözümlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir (Tablo 2).

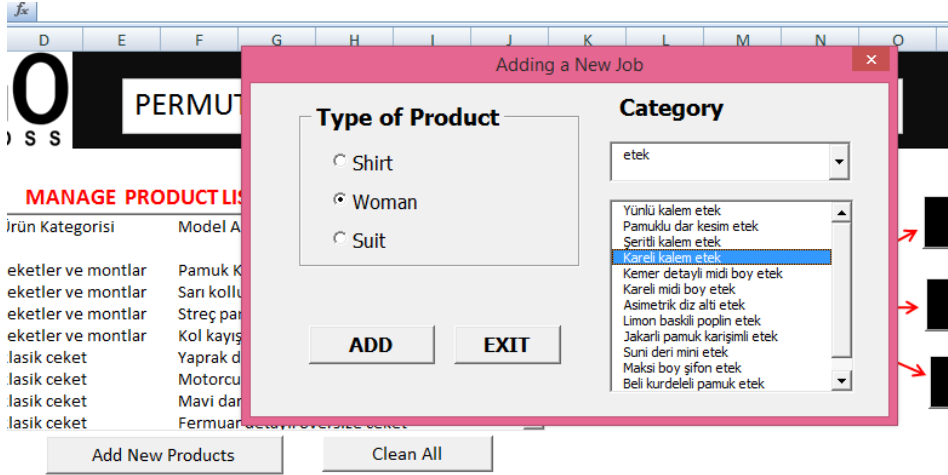
4.3 Karar Destek Sistemi

Aşağıda karar destek sisteminin kullanıcı ara yüzü gösterilmiştir (Şekil 5). Bu ara yüzde LINGO, NEH ve ILS butonları ve ürün çeşitleri listesi bulunmaktadır. Herhangi bir ürün çeşidi listeden seçildikten sonra o ürünün gerektirdiği işlem süreleri veri tabanından çekilir (Şekil 7).



Şekil 5. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Arayüzü

Ürün listesini 3 adet buton ile yönetilmektedir. İlk buton iş listesi Excel sayfasından ürünleri çekme butonudur.



Şekil 6. Userform

İkinci buton listeye yeni ürün ekleme butonudur ve Userform'u çağırır (Şekil 6). Userform ile veri tabanındaki ürünlerin bilgileri çekilip Dashboard'daki Listbox'a yazdırılır. Listbox'daki iş listesi hazırlandıktan sonra kullanıcı ara yüzündeki çözüm metotlarından biri seçilerek çözüm elde edilir. Ayrıca çözüm yöntemlerinden NEH ve ILS algoritmalarının gantt çizdirme butonu da mevcuttur.

Sıra No	Ürün Kodu	Ürün Cinsi	Ürün Kategorisi	Model Adı	BİRİM İŞLEM SÜRELERİ							
					1	2	3	4	5	6	7	
1	1370001	KADIN	ceketler ve montlar	Pamuk Karışimli Trenkot	7	19	7	129	19	7	9	
2	1370002	KADIN	ceketler ve montlar	Sarı kolları su geçirmez Trenkot	7	16	8	175	15	7	5	
3	1370003	KADIN	ceketler ve montlar	Streç pamuklu çift göğüslü trenkot	7	16	9	146	15	6	9	
4	1370004	KADIN	ceketler ve montlar	Kol kayışlı su geçirmez trenkot	10	18	8	161	20	10	7	
5	1370005	KADIN	ceketler ve montlar	Yaprak desenli streç kısa ceket	9	20	6	138	15	7	6	
6	1370006	KADIN	ceketler ve montlar	Motorcu ceket	7	24	6	121	17	8	5	
7	1370007	KADIN	ceketler ve montlar	Mavi dar kesim kot ceket	5	21	10	127	17	6	6	
8	1370008	KADIN	ceketler ve montlar	Feruar detaylı oversize ceket	7	25	9	155	19	6	8	
9	1370009	KADIN	ceketler ve montlar	Üğmeli beyaz kot ceket	10	17	5	108	17	8	5	
10	1370010	KADIN	ceketler ve montlar	Streç pileli kot ceket	8	16	9	155	19	9	9	
11	1370011	KADIN	ceketler ve montlar	Yıldız işlemli pamuklu gömlek ceket	9	20	10	104	18	10	7	
12	1370012	KADIN	ceketler ve montlar	Su geçirmez balon kolları ceket	10	20	10	148	17	8	6	
13	1370013	KADIN	ceketler ve montlar	Parlak sarı renk yağmurluk	5	21	9	136	20	8	6	
14	1370014	KADIN	ceketler ve montlar	Kemerli uzun kapitone ceket	9	15	5	101	20	9	7	
15	1370015	KADIN	ceketler ve montlar	Kruvaze denizci tarzı ceket	6	18	6	172	18	6	7	
16	1370016	KADIN	ceketler ve montlar	Fular desenli rahat kesim mont	7	23	10	149	19	5	8	
17	1370017	KADIN	ceketler ve montlar	Geniş sal yakalı yün mont	7	20	9	157	15	6	5	
18	1370018	KADIN	ceketler ve montlar	Çiçek desenli jakar ceket	9	16	6	114	18	5	6	
19	1370019	KADIN	ceketler ve montlar	Dar kesim çift göğüslü ceket	8	22	7	150	16	6	9	
20	1370020	KADIN	ceketler ve montlar	Kontrast şeritli kareli ceket	10	19	5	114	15	10	8	
21	1370021	KADIN	ceketler ve montlar	Balon kolları streç pamuklu ceket	6	21	6	100	19	7	7	
22	1370022	KADIN	ceketler ve montlar	Feruarlı Bomber ceket	7	20	10	145	18	6	8	

Şekil 7. Veri tabanı

5. Sonuç ve Öneriler

Lingo’da yapılan denemeler sonucunda, iş sayısı arttıkça optimal çözüm elde etmek için programın uzun süre harcadığı ve problemi çözemediği görülmüştür. Bu noktada problem NP-zor problem sınıfına girdiğinden sezgisel NEH ve ILS algoritmalarına başvurulmuştur. Excel’de bu algoritmalar kodlandıktan sonra çözüm denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda, ILS algoritmasının, NEH algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Tablo 1, Tablo 2). Bu tablonun haricinde kalan denemelerde iki sezgisel algoritmanın ve Lingo’nun aynı sonuçları verdiği saptanmıştır.

Sezgisel yöntemler kullanılarak yapılan çözümler, problem boyutu arttıkça Lingo’da çözülen matematiksel model ile aynı sonuçları veremese de, optimale yakın geçerli ve kullanılabilir sonuçlar vermiştir. Ayrıca sezgisel yöntemler kullanılarak problem olabildiğince kısa sürede çözülebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Baker, KR (1974). *Introduction to sequencing and scheduling*. New York: Wiley.
- Chakraborty, UK (2009). *Computational Intelligence in Flow Shop and Job Shop Scheduling*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Feng Jin, Shiji Song & Cheng Wu. (2007). *An improved version of the NEH algorithm and its application to large-scale flow-shop scheduling problems*. IIE Transactions, 39:2, 229-234.
- Hugo Boss (n.d). *About Hugo Boss*. Retrieved 2017, from <http://group.hugoboss.com/>
- Kurnaz, S. & Kart, Ö., (2010). *İş Akış Çizelgeleme Problemi Üzerinde NEH, FRB3 ve FRB4 Sezgisellerinin Karşılaştırılması*. Akademik Bilişim Konferansı, Muğla Üniversitesi.
- Manne, AS (1960). On the job-shop scheduling problem. *Operations Research*, 8, 219–23.
- Pinedo, M (2002). *Scheduling – Theory, Algorithms, and Systems*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- Sawik, T (2011). *Scheduling in Supply Chains Using Mixed Integer Programming*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Stafford, EF. & Tseng, FT (1990). On the Srikar–Ghosh MILP model for the $N \times M$ SDST flowshop problem. *International Journal of Production Research*, 28, 1817–30.
- Stützle, T. (1998). *Applying iterated local search to the permutation flow shop problem*. FG Intellektik, TU Darmstadt.
- Wagner, HM (1959). An integer linear-programming model for machine scheduling. *Naval Research Logistics Quarterly*, 6, 131–40.
- Wilson, JM (1989). Alternative formulations of a flow-shop scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 40, 395–9.

IE 495 ve IE 496 Uygulama Planı

1. GİRİŞ

Bitirme projesi, IE 495 ve IE 496 olmak üzere birbirini takip eden iki dersten oluşmaktadır. Bunlar, birinci dönem sistem analizi ve genel tasarımının yapıldığı IE 495 ve ikinci dönem sistem geliştirme ve uygulamanın bulunduğu IE 496 dersidir. Bu iki aşamadaki tüm bölümler numaralandırılarak aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. Proje Adımları ve Haftalık Çizelge.

IE 495, Sistem Analizi, Güz Dönemi		
Bölüm	Başlık	Hafta
1	Sistemin Genel Analizi	5-9
2	Mikro Sistem Analizi	
3	Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış	10-13
4	IE 495 ve IE 496 için Proje Planlaması	
5	Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu	
6	Literatür Çalışması	18-19

IE 496, Sistem Tasarımı, Bahar Dönemi		
7	Çözüm Metodolojisi	1-5
8	Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması	
9	Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması	6-10
10	KDS'nin Doğrulama ve Geçerlemesi	
11	Karşılaştırma	11-13
12	Uygulama	

Her bir bölümün içinde, öğrencilerin tamamlamakla yükümlü olduğu alt aşamalar vardır. Bu aşamalar ve kesin tarihleri dersin öğretim planında belirtilmiştir.

2. İÇERİK

2.1. IE 495

IE 495 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

1. Sistemin Genel Analizi

- Firma ile ilgili genel bilgiler (yaz stajındaki ilk kısım baz alınabilir).
- Firmanın girdi ve çıktıları: ham madde, tedarik sistemi, son ürüne geçiş (üretim ve malzeme akışları kara kutu olarak modellenebilir).
- Firmanın üretim ve malzeme akış sistemi ile ilgili bilgileri (imalat süreçleri, malzeme akışları, vb.).

2. Mikro Sistem Analizi

- Problemin konusu / çerçevesinin çizilmesi.
- Sistemin tanımlanması (grafikler ve görsel materyallerle desteklenebilir).
- Gözlemler, veri toplanması.
- Veriler ışığında bulguların (semptomlar) belirlenmesi.
- Problemin tanımlanması.
- Hedefler, kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi (projenin başarılı olup olmadığını belirlemek adına tanımlanan ölçülebilir kriterler).

3. Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış

- Lisans derslerinin gözden geçirilmesi.
- Kitaplar seviyesinde literatürün incelenmesi.
- Çözüm araçlarının ortaya konulması.
- Kontrol edilebilen / edilemeyen faktörlerin belirlenmesi.
- Değişken ve parametrelerin tanımlanarak alabilecekleri değer aralıklarının belirlenmesi.
- Taslak modelin kurulması.

4. IE 495 ve IE 496 için Proje Planlaması

- Tanımlanan problem için çözüm yöntemlerinin önerilmesi ve uygulamanın planlanması.
- Zaman çizelgesi ve çalışma takviminin oluşturulması.
- IE 496'da projenin başarıya ulaşmasını tehdit edebilecek belirsizliklerin sıralanması, potansiyel risklerin öngörülmesi ve analizi.

- Potansiyel risklerin bertaraf edilmesi için gereken yaklaşımların belirlenmesi.

5. Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu

- Model formülasyonunun ortaya konulması.
- Modelin çözümleme yöntemleri açısından irdelenmesi.

6. Literatür Çalışması

- Model belirlendikten sonra çözüm yöntemleri için literatürün derinlemesine araştırılması (makale seviyesinde).

2.2. IE 496

IE 496 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

7. Çözüm Metodolojisi

- Çözüm yönteminin belirlenmesi.
- Belirlenen yöntemin oyuncak veriler kullanılarak oturtulması / doğrulanması.

8. Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması

- Veri toplanması.
- Modele veri yüklenmesi.
- Çözüm yönteminin kodlanması ve çözüm alınması.
- Yöntemin geçerlemesi, duyarlılık ve parametre analizleri.

9. Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması

- Veri tabanının oluşturulması.
- Model tabanı ile veri tabanının konuşlandırılması.
- Kullanıcı ara yüzünün tasarlanması.
- Kullanıcıya sunulacak KDS çıktılarının derlenip raporlarının tasarlanması.

10. KDS'nin Doğrulaması ve Geçerlemesi

- KDS'nin çeşitli senaryolarla doğrulanması ("verification").
- KDS'nin firma verisiyle işe yaradığının gösterilmesi, geçerleme ("validation").

11. Karşılaştırma

- Kritik başarı faktörleri baz alınarak mevcut işleyiş ile tasarlanan sistemin karşılaştırılması.
- Kritik başarı faktörleri kullanılarak yapılan iyileştirmelerin sayısal verilerle ortaya konulması.

12. Uygulama

- KDS'nin hazırlanan kullanım kılavuzu ile birlikte firmaya teslim edilmesi.
- Sistemin mümkün olduğunca hayata geçirilmesi.

3. IE 495 / IE 496 TAKVİMİ

3.1. IE 495 Takvimi

Dönem başlamadan önce

Projelerin belirlenmesi

Dersin koordinatörü ve iki öğretim elemanından oluşan proje komisyonu, tüm bölüm elemanlarının kontaklarıyla belirlenen potansiyel projeleri yerinde görüşmek üzere, firma ziyaretleri yaparlar. Bu sayede, gerçekleştirilecek bitirme projeleri belirlenir ve bu proje konuları özetlenerek belgelenir.

1. Hafta

Bölüm Kurulu toplantısı

Dersin koordinatörü dersin işlenişi, izlenecek takvim ve projeler konusunda danışman hocaları bilgilendirecek ve bunu takiben proje danışmanları belirlenecektir.

2. Hafta

Öğrencilerle ilk buluşma

IE 495 ile ilgili öğrencilerle yapılan bu ilk toplantıda dersin işleyişi, kuralları ve bölüm kurulu tarafından belirlenen grup oluşturma kriterleri hakkında öğrencilere bilgi verilecek, projeler öğrencilere tanıtılacaktır. Bu toplantıda öğrencilere proje danışmanlarının kim olduğuna dair bilgi verilmeyecektir.

3. Hafta

Grup oluşturma

Bölüm kurulu tarafından belirlenen kişi sayısı ve grup not ortalamalarına uygun bir şekilde öğrenciler tarafından oluşturulan gruplar, bilgilerini EK-1'deki "A01-Group Formation Form"u doldurarak dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

Grupların belirlenmesi

Grubu olmayan öğrenciler mevcut gruplara atanacak ya da bu öğrencilerden yeni gruplar oluşturulacaktır. Kriterlere uygun olmadığı belirlenen gruplar yeniden düzenlenecek ve grupların son hali dersin lectures sayfasında ilan edilecektir.

Grupların proje tercihlerini bildirmesi

Gruplar proje tercihlerini EK-2'deki "A02-Project Preference Form"u doldurarak dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir. Öğrencilerin tercih yaparken tüm projeleri sıralamaları zorunludur.

Grupların projelere atanması

Tercihlerin girdi olarak alındığı bir eşleştirme algoritması uygulanarak gruplar projelere atanacaktır. Algoritma her grubun mümkün olduğu kadar en yüksek tercihinin atanmasını sağlamaya çalışırken; şirketlerin tercihlerini de dikkate alacaktır. Bunun sonucunda ortaya çıkan grup-proje-danışman eşleşmeleri dersin lectures sayfasında ilan edilecektir.

4. Hafta

Grupların danışmanlarıyla ve firmalarıyla temasa geçmeleri

Gruplar danışmanlarıyla temasa geçerek haftalık düzenli buluşma saatlerini belirleyeceklerdir. Yine aynı şekilde firmalarla haftalık düzenli buluşma günlerini (ortalama 2 yarım gün) belirleyeceklerdir. Danışmanların ayda en az bir kez bir yarım gün işletmede bulunması beklenmektedir. Ayrıca, firmalar ile gizlilik sözleşmeleri imzalanarak dersin koordinatörüne teslim edilecektir (bkz. *EK-3: A03-Gizlilik Sözleşmesi*).

5 ve 9. Haftalar arası

Bölüm 1 ve 2 çalışmaları

4 ve 8. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 1. ve 2. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

10 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 3, 4 ve 5 çalışması

10. ve 13. haftalar arasında tüm grupların 3, 4 ve 5. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir. 1. bölümden 5. bölüme kadar yapılan çalışmalar raporlanacaktır.

14. Hafta

Proje alanı ile ilgili ders bilgisinin ölçülmesi

14. haftada tüm grupların proje konusuyla ilgili birikimlerini ölçecek biçimde proje danışmanları tarafından değerlendirilecek yazılı (klasik tip) bir sınav ile proje öğrencilerinin alan bilgileri sınanacaktır.

15. Hafta

İlk rapor teslimi

Gruplar, 1.-5. bölümlerde yaptıkları çalışmalarını içeren ve EK-5 “A05-English Report Template” dosyasından yararlanarak hazırladıkları İngilizce raporlarının teslimini yapacaklardır. Raporun tek kopya halinde öğretim planında belirtilen son tarihe kadar Sekreterliğe teslim edilmesi gerekmektedir. Gecikme durumlarında ceza uygulanır. Raporlar danışmanlar tarafından EK-6’daki “A06-IE 495 Report Draft Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir.

Bölüm 1,2,3,4,5 sunumları taslak çalışması

Gruplar, hazırladıkları sunum taslağını danışmanlarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinde ilk 5 bölüm ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4’deki “A04-IE 495 Oral Presentation Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir.

Sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde ilk 5 bölüm ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

16. Hafta

Rapor geri bildirimi

IE 495 taslak raporları grupların danışmanları tarafından değerlendirilip gruplara geri verilecektir. Danışmanlar bu tarihte EK-6’daki “A06-IE 495 Report Draft Evaluation Form”u kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

17. Hafta

Son rapor teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, üzerinde danışman düzeltmelerinin bulunduğu taslak raporla beraber, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri

gerekmektedir. Raporlar, EK-5'deki "A05-English Report Template" formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin (.pdf) formatındaki dosyası (5 MB'i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihte sistem otomatik olarak kapanacaktır).

IE 495 –Not teslimi

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-7'deki "A07-IE 495 Final Report Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

18 ve 19. Haftalar

6. Bölüm çalışması

Dönem arası ayrıntılı (makale bazında) literatür araştırmasına ayrılmıştır. Bu dönemde grupların bu çalışmayı tamamlaması beklenmektedir. Dönem arasında firma ziyaretleri planlandığı gibi devam etmelidir.

3.2. IE 496 Takvimi

1 ve 5. Haftalar arası

Bölüm 7 ve 8 çalışması

1 ve 5. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 7. ve 8. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

6 ve 10. Haftalar arası

Bölüm 9 ve 10 çalışması

9 ve 12. haftalar arasında tüm grupların 9 ve 10. bölümleri tamamlamaları beklenmektedir. Bu dönemde 12. bölüm için de bir plan hazırlanacaktır.

11 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 11-12 çalışması ve Türkçe rapor teslimi

11 ve 13. haftalar arasında grupların geliştirdikleri sistemleri işletmelerde uygulamaya başlatmaları ve projeyi tamamlamaları beklenmektedir. Tüm grupların 11. Bölüm çalışmasını tamamladıktan sonra EK-7'deki "A07-Türkçe Rapor Formatı"na uygun bir şekilde hazırladıkları Türkçe raporlarını (en fazla 14 sayfa) öğretim planında belirtilen son tarihe kadar tek kopya olarak sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Ayrıca, Türkçe raporun son halini dersin lectures sayfasına öğretim planında belirtilen son tarihe kadar yüklemeleri gerekmektedir.

Gruplar, danışmanlarından 13. Hafta içinde geri bildirim alacaklardır. Danışmanlar öğretim planında belirtilen son tarihe kadar EK-8 "A08-Türkçe Rapor Değerlendirme Formu"nu kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir. Bu raporlar proje yarışması kapsamında jüri üyeleri tarafından değerlendirmeye alınacak ve derlenerek kitap olarak basılacaktır.

14. Hafta

Poster taslak çalışması

Gruplar, IE 496 kapsamında sunacakları posterlerini EK-09'daki "A09-Poster Format" a uyacak şekilde hazırlayacaklardır. Posterin dili İngilizce olacaktır. Bu posterlerde gruplar, projeleri kapsamında yapmış oldukları tüm çalışmalarını yansıtabacaklardır. Grupların sunum günü öncesinde poster taslaklarını danışmanları ile paylaşıp geri bildirim almaları zorunludur. Gruplar, hazırladıkları posterleri dersin öğretim planında belirtilen son tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

Ayrıca, gruplar Proje Fuarı'nda sunulmak üzere aynı posterin Türkçe versiyonunu da hazırlayacaklardır.

15. Hafta

Son İngilizce rapor ve değerlendirme formları teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Raporlar, EK-5'deki "A05-English Report Template" formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin pdf formatındaki dosyası (5 MB'i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihten sonra sistem kapanacaktır).

Bunun yanında tüm grup üyeleri birbirlerini EK-14'de verilen "A11-Peer-evaluation Form"u kullanarak değerlendirmeli ve bu formları ayrı ayrı kapalı zarflarda son raporla birlikte sekreterliğe teslim etmelidir.

Ayrıca grup ve danışmanların firmayı değerlendirdiği EK-12'deki "A12-Company Evaluation Survey" ve firmanın projeyi değerlendirdiği EK-13'deki "A13-Project Evaluation Survey" anketleri de son raporla birlikte kapalı zarflarda sekreterliğe teslim edilmelidir.

Karar Destek Sistemi ve kullanım kılavuzunun teslimi

IE 495-496 çerçevesinde iki dönem boyunca çalışılan projelerin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için, geliştirilen Karar Destek Sistemleri'nin kullanım kılavuzları ile birlikte firmalara teslim edilmesi önem arz etmektedir. Gruplar, geliştirdikleri Karar Destek Sistemi'ni hazırladıkları kullanım kılavuzu ile birlikte proje yaptıkları firmalara teslim edeceklerdir. Ayrıca, hazırlanan kullanım kılavuzları ve beraberinde bir CD'yle Karar Destek Sistemleri öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim edilecektir. Kullanım kılavuzu dili Türkçe olacaktır.

Proje fuar sunumu taslak çalışması

Gruplar, IE 496 kapsamında yapacakları Türkçe final sunumunun taslağını danışmanlarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Bunun yanında her grup projeleriyle ilgili 2 dakikayı geçmeyen bir *sunum videosu* hazırlayarak öğretim planında belirtilen tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyecektir. Ayrıca, gruplar Proje Fuarı'nda sunulmak üzere daha önce hazırlamış oldukları İngilizce posterin Türkçe versiyonunu da hazırlayacaklardır.

Proje alanı ile ilgili ders bilgisinin ölçülmesi ve IE 496 Çıkış Anketi

14. haftada tüm grupların proje konusuyla ilgili birikimlerini ölçecek biçimde proje danışmanları tarafından değerlendirilecek yazılı (klasik tip) bir sınav ile proje öğrencilerinin alan bilgileri sınanacaktır. Sınav öncesinde öğrencilerin IE 496 (çıkış) anketini ve mezun bilgi formunu doldurmaları gerekmektedir.

İngilizce poster sunumu

Gruplar, IE 496 kapsamındaki posterlerini sunum alanında belirlenen zaman aralığından itibaren sergileyeceklerdir. Grup üyeleri posterlerinin önünde bölüm akademik kadrosunun sorularına yanıt verecek ve projelerini anlatacaklardır. Poster sunumlarına EK-10'daki "A10-IE 496 Poster Presentation Evaluation Form" kullanılarak not verilecektir. Bu sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur.

Proje Fuarı

IE 496 kapsamında yapacakları final sunumunda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmalarını işletme temsilcileri ve diğer davetliler önünde anlatacaklardır. Sunumların, oturum başlamadan önce, sunum bilgisayarına yüklenmiş olması gerekmektedir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili Türkçe olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

Buna ek olarak, sunumlar başlamadan önce poster alanında Proje Fuarı için hazırlanmış Türkçe posterler sergilenmek üzere asılacak ve sunumlar sonrası tüm proje ekibi posterlerinin başında, kişisel bilgisayarlarında açık bulunan Karar Destek Sistemlerini tanıtmak ve poster üzerinden davetlilerin sorularını yanıtlamak üzere hazır bulunacaklardır. Fuarın sonunda, rapor ve sunumlar değerlendirilerek en başarılı gruplar seçilecektir. Projeler, önceden belirlenmiş jüri üyeleri tarafından EK-14'deki "A14-Jüri Değerlendirme Formu"na göre değerlendirilecektir.

16. Hafta

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları final döneminin ikinci haftasında yapılacaktır.

Bölüm Kurulu toplantısı

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-15'deki "A15-IE 496 Report Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm Kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

4. DİĞER HUSUSLAR

4.1. Değerlendirme

Dönem harf notu bölüm kurulunca belirlenecektir. Proje grupları notlandırılırken her bir öğrenciye ayrı not verilebilir. Gruplar değerlendirilirken altı ölçüt göz önünde bulundurulacaktır. Bu altı ölçüt, aşağıdaki tabloda belirtilmiştir:

Tablo 2. Notlandırma Kriterleri

Notlandırma Kriteri	IE 495 (%)	IE 496 (%)
İngilizce Sunum	25	-
İngilizce Poster Sunumu	-	25
İngilizce Rapor (Ekler hariç en fazla 25 sayfa)	40	20
Final Sınavı (yazılı)	15	15
Türkçe Rapor (en fazla 14 sayfa, Ekler olmayacaktır)	-	20
Grup üyelerinin birbirine verdiği notlar	5	5
Danışman değerlendirmesi	15	15
Toplam	100	100

Grubun ortalama harf notu, TÜBİTAK Proje Yarışması veya TÜBİTAK Desteği, YAEM Öğrenci Proje Yarışması, Bölüm Proje Fuarı, TMMOB Yarışması gibi saygın platformlarda grubun başarı kazanması halinde bir barem yukarı yükseltilebilir. Bölüm kurulu tarafından kararlaştırılan nihai notlar öğrenci bilgi sistemine dersin grup danışmanları tarafından girilecektir.

4.2. Buluşma Saatleri

Grupların danışmanlarıyla düzenli olarak haftada en az bir kez görüşmesi beklenmektedir. Grupların firma ziyaretlerine düzenli olarak haftada 2 yarım gün ayırmaları öngörülmektedir.

4.3. Devamlılık

Haftalık buluşmalarda devam (kişi bazında) zorunludur ve derse %80 devamlılık aranmaktadır. Devamsız öğrenciler R notu ile değerlendirilecektir. Öğrencilerin devam durumu ve katılımı danışman değerlendirmesini doğrudan etkileyecektir.

Not: Uygulama planında geçen tüm dökümanlar, planın “Ekler” kısmında listelenmiştir ve elektronik halleri dersin lectures sayfasında bulunmaktadır.

PROJE EKİPLERİ

Operasyon Yönetimi

Altın Yunus Çeşme Resort&Termal Otel

Akademik Danışmanlar

Necip ATILGAN (necip.atilgan@yasar.edu.tr)

Prof. Dr. Levent KANDİLLER

(levent.kandiller@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Esin Acar

Gökçe Şeyma Demir

İlber Gündüz

Merve Kıran

Emre Narin

Gamze Uruk

Nilay Yıldız

Satış Sonrası Üretim Planlaması ve Verimlilik Optimizasyonu

Delphi (Aptiv) Otomotiv Sistemleri

Akademik Danışmanlar

Bülent Akyıl (Bulent.Akyil@aptiv.com)

Gülce Haner Güler (gülce.guler@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Buse Vural

Elifnas Kahya

Gizem İnce

Melis Vardar

Korgün Özmen

Zeynep Ceren Yüzgeç

Orçun Dikduran

Personel Servis Araç Rotalarının Optimizasyonu
Delphi (Aptiv) Otomotiv Sistemleri

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr)
Gülce Haner Güler (gülce.guler@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Bengisu Tosun
Buket Uzun
Erkan Ege Şenli
Fulya Fidan
Sevim Ceren Börekçi
Simgenil Arslan
Zeki Adalı

Ambalaj İmalatında Esnek Akış Tipi Çizelgeleme
Problemi

Kaplamin Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. M. Fatih Taşgetiren (fatih.tasgetiren@yasar.edu.tr)
Dr. Öğr. Gör. Esra Ekinci (esra.ekinci@yasar.edu.tr)
Talya Temizçeri (talya.temizceri@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Zeycan Aydoğan
İlayda Göllü
Esra Kaplan
Tuğçem Acar
Aybike Temizsoy
Serhat Özköse

**Lojistik Merkez-Limanlar Arası Konteyner Taşıma İçin
Rotalama Optimizasyonu**

Alkon Lojistik

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe (ali.gokce@yasar.edu.tr)
Araş. Gör. Cansu Yurtseven (cansu.yurtseven@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Hasibe Serap Baş
Ayşe Tolan
Duygu Barış
Yasin Özkabak
Duygu Şentürk
Hüseyin Suçsuz

**Bir Konteyner Terminalinde Sinyalizasyon ve Trafik
Yönetimi**

Nemport Liman İşletmeleri Tic. A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Deniz Türsel Eliyi (deniz.eliyi@yasar.edu.tr)
Dr. Öğr. Üyesi Orkun Karabaşoğlu
(orkun.karabasoglu@yasar.edu.tr)
Araş. Gör. Cansu Yurtseven (cansu.yurtseven@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Özge Zeynep Hatunoğlu
Özlem Daşdemir
Cansın Arda
Utku Can Karadeniz
Nesil Okar
Hulusi Başoğlu
Doğan Can Demir

Üretim ve Kapasite Planlama

Schneider Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Deniz Türsel Eliyi (deniz.eliyi@yasar.edu.tr)

Öğr. Gör. Sel Özcan Tatari (sel.ozcan@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Sinem Özkan (sinem.ozkan@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Fatih Akamca

İrem Amaç

Ece Başar

Elif Ercan

Alper Uyar

Nilay Yapıcı

Pınar Yunusoğlu

Müşterinin Kendi Tahminleri ve Geçmiş Veriye Dayalı Yeni Bir Talep Tahmin Yöntemi

Schneider Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

İlker Mutlu

Duygu Alan

Doğaç Sancar

Ege Naz Altın

Semih Balaban

Turancan Cesur

İsmail Serkan Kabataş

Üç Boyutlu Stok Kesme Problemi
Yatsan A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Öğr. Gör. Nejat Kutup (nejat.kutup@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Damla Kesikburun
(damla.kesikburun@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Buğra Akboy

Selin Altın

Simay Kardeşahin

Tevfik Ercan

Tezcan Aydilek

Umut Şirvan

Yusuf Rıdvanoğulları

İstatistiksel Süreç Kontrol Programı Uygulaması
DB Tarımsal Enerji A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğrt. Gör. Efthymia Staiou

(efthymia.staiou@yasar.edu.tr)

Talya Temizçeri (talya.temizceri@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Cem Bozkuş

Ezginur Okur

Gülizar Kaya

Mehmet Şahin

Serkan Kaya

Yusuf Güler

Yaşar Can Bilgilibaşlar

Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi
Yaşar Üniversitesi

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek (arslan.ornek@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Sinem Özkan (sinem.ozkan@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Arın Soyer

Hilal Foçalı

Yiğit Gülmezoğlu

Zehra Emir

Ahmet Özsarı

Zeynep Altınbulak

Ezgi Yeşiloğlu

İleri İşlem Bölümü Paketleme Hatları Çizelgeleme Problemi

Abalıoğlu Yem Soya ve Tekstil Sanayi A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Banu Yetkin Ekren (banu.ekren@yasar.edu.tr)

Anıl Akpunar (anilakpunar@gmail.com)

Proje Ekibi

Atakan Arslan

Baturay Çağlasın

Berkay Yükselir

Buse Bahçacı

Emre Tekin

Görkem Ceyhan

Mert Özaşkınlı

Dağıtıcı Palet Yükleme Problemi
Türk Tuborg A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Gizem Mullaoglu
(gizem.mullaoglu@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Aykut Gül

Selen Burçak Akkaya

Zeynep Coşkun

Atakan Yurttutan

Coşku Karaman

Hatice Merve Dirik

Serhat Özbiçakçı

Çok Modelli Üretim Hattında Çevik Model Dönüşümü

Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima San. Tic. A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Yiğit Kazançoğlu (yigit.kazancoglu@yasar.edu.tr)

Araş. Gör. Damla Kesikburun

(damla.kesikburun@yasar.edu.tr)

Proje Ekibi

Aygen Aytaç

Cumhur Kerem Güven

Derya Tataroğlu

Emre Akkuzu

Renan Dalkıran

Sueda Sezen

Yasemin Erdem

Sıralı Akış Tipi Çizelgeleme Problemi
Hugo Boss Tekstil Sanayi Ltd. Şti.

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner (adalet.oner@yasar.edu.tr)
Araş. Gör. Özgün Öztürk (ozgun.ozturk@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Göksu Erseven
Gizem Akgün
Gözde Yarıkcın
Aslıhan Karakaş
Selin Gökkaya
Anıl Tekye
Sinan Maramuroğlu