

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SİSTEM TASARIMI  
PROJE ÖZETLERİ  
2018-2019**

**Editör:**

**Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner**

**Hazırlayanlar:**

**Araş. Gör. Özgün Yücel, Araş. Gör. Damla Yüksel**

**İZMİR 2019**

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

2018-2019

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner

**ISBN 978-975-6339-74-9**

**KUBİLAY DİJİTAL BASKI HİZMETLERİ LTD.ŞTİ.**  
**Cumhuriyet Bulvarı Gümrük İşhanı No:38/A Konak/İzmir**  
**İzmir, Mayıs 2019**

## 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 işbirliği 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, 2018-2019 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 2018-2019 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 2019

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:**

**Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner**

**Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe**

**Araş. Gör. Özgün Yücel**

**Araş. Gör. Damla Yüksel**

**Araş. Gör. Mert Paldrak**

## İÇİNDEKİLER

Önsöz.....	iii
Hızlı Tüketim Ürünleri İçin Satış Tahmini .....	1
Boş Konteynerlerin Elde Tutma Ve Taşıma Maliyetlerinin En Aza İndirgenmesi .....	7
Büyük Ölçekli Tekstil Şirketinde Günlük Sevkiyat Planlama Problemi.....	13
Farklı Ürün Grupları İçin Paketleme Malzemelerinin Standartlaştırılması ve Paketlemede Maliyet Optimizasyonu .....	19
Ara Stok Seviyelerinin Belirlenme Sürecinin İyileştirilmesi .....	25
Yatsan İçin Günlük Sevkiyat Planı .....	31
IoT Tabanlı Akıllı Trafik Sistemleri İçin Alıcıların Konum Optimizasyonu .....	37
Opet Fuchs İçin Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Karar Destek Sistemi .....	43
Boya Atölyesinde İş Çizelgeleme Problemi.....	49
Hızlı Tüketim Ürünleri Distribütörleri İçin Periyodik Rotalama Problemi .....	55
Bosch TermoTeknoloji Ar-Ge Laboratuvarı Test Makinelerinin Operasyonlarının Çizelgelenmesi ....	61
Malzeme Alım Parti Büyüklüklerinin Optimizasyonu.....	67
Boş Konteyner Depolamada Maliyetlerinin Optimizasyonu.....	73
Yeni Bir Ürün Üretilmesi İçin Mevcut Montaj Hattının Yeniden Düzenlenmesi ve Hat Dengelemesinin Yapılması.....	79
Yedek Parça Talep Tahmin Sistemi .....	85
Proje Uygulama Planı.....	91
Proje Ekipleri.....	100





**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **HIZLI TÜKETİM ÜRÜNLERİ İÇİN SATIŞ TAHMİNİ**

**Merve Gül SARSIK, Alev ALEV, Şule ŞEN, Karya ERBİL, Rahmi Gürdal IMRAK,  
Eflatun Ubeyde SAYGILI**

**Akademik Danışmanlar**

**Dr. Öğr. Üyesi Önder BULUT, Araş. Gör. Özgün YÜCEL**

**Şirket Danışmanı**

**Zafer YAPICIEL**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Hızlı Tüketim Ürünleri, sektör bazında Türkiye’de ve dünyada hatırı sayılır bir hasılatla sahip olan, adından da anlaşılacağı üzere kısa sürede satılan ya da bir iki yıl içerisinde tüketilen, günlük hayatta çok kullandığımız malları bünyesinde bulunduran bir sektördür. Bu sektörde devamlı hareket halinde olan bir tedarik zinciri vardır. Üretici, tedarikçi ve lojistik sektörü etkili bir şekilde iş birliği içinde bulunur. Hızlı Tüketim Ürünleri sektöründe bulunan şirketler diğer şirketlere göre satış tahminine daha çok ihtiyaç duyarlar. Bunun başlıca sebepleri, ürünlerin;

- i.) Yüksek talep hızları,
- ii.) Çok uzun olmayan raf ömürleri,
- iii.) Nihai satış noktalarının (market, bakkal, vb.) depolama kapasite kısıtlarından dolayı küçük parti büyüklükleri ile sık teslim edilmesidir.

Araştırmanın hedefi, belirlenmiş bir gelecek zaman dilimine ait satış tahminlerini kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) aracılığıyla sunmaktır. Modül, temelinde geçmiş satış verilerini girdi olarak alacak, verinin özelliklerini öğrenecek ve gelecek satış tahminini çıktı olarak verecektir. Oluşturulacak Karar Destek Sistemi’nin içinde gömülü olarak çalışacak 2 farklı yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi klasik zaman serisi metodu olan Winters Metodu, diğeri ise makine öğrenmesine dayalı Destek Vektör Regresyonu (DVR) yöntemidir. İki ayrı yöntemin seçilmesinin sebebi şirkette daha önce kullanılmış bir satış tahminleme metodunun olmamasıdır. Winters Metodu DVR’ye göre daha eski bir metottur. DVR halen gelişimini sürdüren ve günümüzde özellikle tahminleme alanında popüler olarak kullanılan bir metottur. Winters tamamen geçmiş zaman serisine bağlı çalışırken, DVR geçmiş veriye ek olarak satışları etkileyen diğer faktörlere bağlı bir tahminleme yapmaktadır. Bu faktörler verinin kullanım alanı, verinin doğasına ve istenilen sonuca göre farklılık gösterebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu projede DVR; zaman, dağıtıcıların geçmiş satış miktarları, ulusal tatiller ve bayramlar gibi verileri de kullanarak tahmin yapacaktır. Dolayısıyla, satışları etkileyen ve verisine ulaşılabilecek faktörlerin tespiti de projenin amaçlarından birisidir. İki yöntem de geçmiş satış verilerini girdi olarak alacak, özelliklerini yapısal olarak anlamaya çalışarak gelecek tahminleri türetecektir. Modelin doğruluğu farklı hata analiz yöntemleri ve bunlardan elde edilen hata oranları karşılaştırılarak sağlanacaktır. Ortalama Hata Kareleri (MSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) olmak üzere literatürde çok kullanılan iki farklı hata analiz yöntemi kullanılacaktır.

Projenin amacı; satış tahmini yapan bir algoritmanın da gömülü olduğu bir Karar Destek Sistemi geliştirmektir. Proje sonucunda elde edilen çıktının sadece Univera şirketine değil, satış tahmini yapan işletmelere (günümüzde neredeyse sektörün her alanı), şirket çalışanlarına, sanayi ve ticaret odalarına ve bu konuyla ilgili çalışma yapan akademisyenlere katkı sağlaması amaçlanmıştır.

## II. PROBLEM TANIMI

Univera Şirketi, 1992’de kurulan ve bünyesinde Hızlı Tüketim Ürünleri sektöründe faaliyet gösteren firmalar dahil birçok farklı firmayı bulunduran bir yazılım şirketidir. Günümüzde yaklaşık 150 çalışanıyla birlikte İzmir’de hizmet vermektedir. Müşterilerinin farklı alanlarda (satış, lojistik, servis vb.) dijitalleşmesini sağlamaktadır. Şirket, müşterilerine Panorama Platformu olarak adlandırılan platformda çeşitli ürünleri ile çözüm paketleri sunmaktadır. Bu çözüm paketleri rotalama, depo ve satış yönetimi, müşteri memnuniyeti, veri biriktirme, veriyi muhafaza etme ve tedarik yönetimi gibi hizmetler sağlamaktadır. En çok talep gören ürünleri ise EnRoute Panorama, Quest Panorama ve Stokbar Panorama’dır.

Proje, şirketin çözüm paketleri içerisinde satış tahmini yapan bir ürünün bulunmamasından doğmuştur. Bu önemli bir eksiklik çünkü satış tahmini; üretim planlama, lojistik planlama, stok kontrolü ve servis planlama gibi karar modüllerini ve bunlara bağlı ürünleri etkilemektedir. Bu proje kapsamında, firmanın bu ihtiyacına bir çözüm geliştirilecektir. Univera Şirketi bu projenin çıktısını, gelecekte satış tahminine ihtiyaç duyacak firmaların gereksinimlerini karşılamak için kullanmayı hedeflemektedir. Binaenaleyh, projenin başlıca motivasyonu, Univera’yı sektördeki rakiplerinden bir adım ileriye taşımak için kullanıcı dostu Karar Destek Sistemi sağlayan bir tahminleme çözüm paketi geliştirmektir. Proje öncelikli olarak Hızlı Tüketim firmalarına yönelik olsa da gelecekte Univera’nın bütün müşterilerine uyum sağlaması hedeflenmektedir. Yukarıda anlatılan problem için firma tarafından iki farklı veri sağlanmıştır ve veri yapıları aşağıda özetlenmiştir.

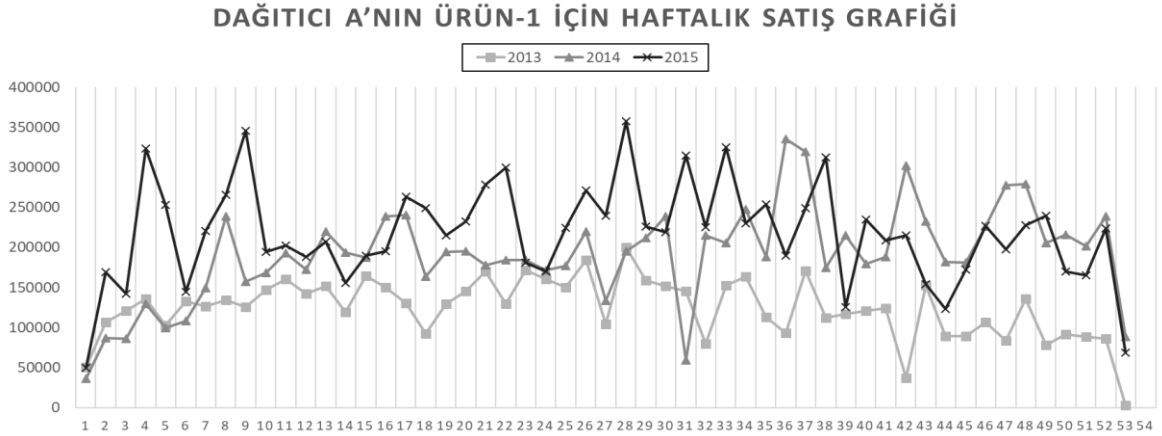


İki farklı sektöre ait veriler, şekerleme ve içecek sektörlerine ait olup, bu sektörlerden birer ürün seçilerek incelenmiştir. Şekerleme sektöründen seçilen ürüne (bundan sonra “Ürün-1” olarak adlandırılacaktır) ait veri 3 yılı kapsamakta ve dört ana grupta bilgi sağlamaktadır. Bu bilgiler, dağıtıcılar (distribütör), satış miktarları, ürün sınıfı/alt sınıfı ve satış konumlarına aittir. Her dağıtıcının satış yaptığı belirli bir bölge bulunmakta ve dağıtıcılar bölgelerin içinde çeşitli şehirleri ziyaret etmektedir. Ziyaret edilen şehirlerdeki satıcılar farklı kategorilerde (market, bakkal vb.) olmaktadır. Veri tek bir satırda hangi dağıtıcının seçili ürünü hangi satıcıya, nerede ve ne kadar satış yaptığını günlük ve saatlik olarak göstermektedir. İçecek sektöründe bulunan ürüne (bundan sonra “Ürün-2” olarak adlandırılacaktır) ait veri ise Univera’nın isteği ile 2010, 2011 ve 2012 yıllarını kapsamakta olup tek bir dağıtıcı tarafından tek bir şehire yapılan satışları içermektedir. Bu veri dağıtıcının konumdan bağımsız olarak tüm şehre yaptığı toplam satışı göstermektedir.

Teknik anlamda temel amaç, Ürün-1 ve Ürün-2’nin gerçek satış miktarları ile tahminlenen satış miktarları arasındaki farkın çeşitli fonksiyonlarını enazlamaktır. Proje kapsamında iki farklı hata fonksiyonu ele alınmıştır. Bu fonksiyonlar Ortalama Hata Kareleri (MSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)’dir. Hata ölçüm analiz metodu olarak Ortalama Hata Kareleri ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata’nın seçilmesinin nedeni, sistemde kullanılacak verilerin farklılık gösterebileceği ve bu tekniklerden bir tanesinin diğerlerine göre daha iyi sonuç verebileceğidir. Aynı zamanda kullanılacak verilerin kullanım alanlarının değişebilecek olması da farklı ölçüm teknikleri seçilmesini etkileyen unsurlardan birisidir. Ayrıca, Ortalama Hata Kareleri (MSE) birim bazlı karşılaştırmalarda bulunulabilmesi için seçilmişken, Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) hata oranına yüzdesel baktığı için diğerlerine göre daha kolay anlaşılabilmekte ve bu fonksiyon ile daha kolay karşılaştırma yapılabilmektedir. Fonksiyonların enazlanması Winters ve DVR metotları ile yapılacaktır. Bu fonksiyonlar ve metotlar raporun 3. bölümünde (Çözüm Yöntemleri) açıklanmıştır.

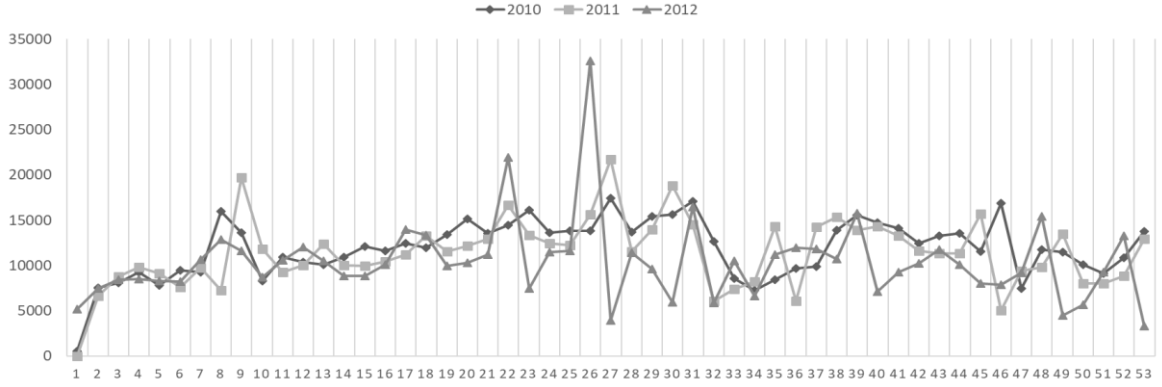
### III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bir önceki bölümde anlatılmış olan verilerin grafiksel gösterimi -- Şekil 1 ve Şekil 2 -- aşağıdaki gibidir. Bu şekillere bakıldığında verilerin yılın belirli dönemlerinde benzer satış davranışı gösterdiği görülmektedir.



Şekil 1. Şekerleme Sektöründeki Dağıtıcı A İçin Haftalık Ürün-1 Satış Grafliği

## BİR DAĞITICININ ÜRÜN-2 İÇİN HAFTALIK SATIŞ GRAFİĞİ



Şekil 2. İçecek Sektöründeki Dağıtıcı İçin Haftalık Ürün-2 Satış Grafiği

Çözüm yöntemlerine başlamadan önce elimizdeki veriyi tanımak amacıyla yapılan incelemelerde haftalık zaman kırılımında kalınmasına karar verilmiştir. Ürün-1'e ait 3 yıllık verinin haftalık ortalama satış miktarının 308.874 birim olduğu gözlemlenmiştir. İncelemeler toplamda 131 hafta üzerinden yapılmıştır. Satış verisini gösteren sayılar 36.161 birim ve 1.092.671 birim arasında dağılım göstermektedir. Ürün-2'ye ait 3 yıllık verinin haftalık ortalama satış miktarının 11.203 birim olduğu hesaplanmıştır. Yaz aylarında yapılan satış miktarının kış aylarına göre kısmen fazla olduğu da Şekil-2'de görülmektedir. İncelemeler toplamda 162 hafta üzerinden yapılmıştır. Satış verisini gösteren sayılar 0 birim ve 32.587 birim arasında dağılım göstermektedir.

Tahminleme yaparken hem faktörleri ele almak hem de projeyi sadece doğrusal verilerle sınırlandırmamak için iki yöntem kullanarak çözüm yaklaşımı geliştirme kararı verilmiştir. Birincisi temel zaman serisine bağlı bir yöntem olan Winters Metodu'dur. Seçilen ikinci metot ise klasik zaman serisine ek olarak bu zaman serilerinin davranışlarını etkileyen faktörlerin de işin içine girdiği sistemleri daha hızlı ve tutarlı analiz edebilecek modern bir yaklaşım olan DVR (Destek Vektör Regresyonu)'dir. Proje sonunda bu iki metodu karşılaştırarak hangisinin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenecektir.

Ürün-1 ve Ürün-2'ye ait iki veri de incelendiğinde, verilerin zaman serilerinin genel rassallık, sezonsallık ve ivmesel (trende bağlı) özelliklerini içerdiği gözlemlenmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda bu davranışlara sahip verilerle çalışırken kullanılacak uygun yöntemlerden birinin Winters Metodu olduğu sonucuna varılmıştır. Winters Metodu geleneksel bir metot olup, yazında çok kullanılarak kendisine yer edinmiştir. Ayrıca bu gibi sistemlerde 3 parametrelilik tahmin yapabilmeye özelliğinden dolayı kullanılabilirliğini kanıtlamıştır. Veri incelendiğinde, zaman içinde değişen mevsimsellik sebebiyle Çarpımsal Winters Metodu uygun bulunmuştur ve bunu kaynak [2]-[10]'de görebiliriz. Kaynak [6]'da Winters Metodu'nun başlangıç aşaması için elimizde en az 2 sezonluk veri olması gerektiği belirtilmiştir. İlk önce ayrı ayrı her bir sezondaki verilerin örneklem ortalaması hesaplanır. Daha sonra başlangıç eğimi hesaplanır. Başlangıç eğimi kullanılarak başlangıç kesişimi hesaplanır. Daha sonra başlangıç mevsimsellik faktörleri hesaplanır. Son adım olan başlangıç mevsimsellik faktörleri bulunarak normalize edilir.  $\alpha$  (serinin rassallık değeri),  $\beta$  (trend) ve  $\gamma$  (sezonsal faktör) parametreleri Winters Metodu içinde tahminleri güncellemek için kullanılacaktır ve bunlar modelin karar değişkenleridir. Amaç fonksiyonu, yapılan tahmin ve gerçek veri arasındaki hata payını enazlamak olduğu için parametreler bu amaca göre optimize edilir çünkü bu değerler tahmin yapan fonksiyonlarda kullanıldığı için hata ölçümünü de etkilemektedir. Kaynak [6]'da gösterildiği üzere Winters Metodu kendi fonksiyonlarını çağırarak her bir adımda eğim, kesişim ve mevsimsellik değerlerini günceller. Herhangi bir t anında eğim, kesişim ve mevsimsellik değerleri metodun içinde kullanılan ve tekrar tekrar çağırılan ayrı denklemlerle hesaplanarak, istenilen gelecek zamana ait bir tahmin sonucu çıkarır. Bir önceki cümlede belirtilen ve kaynak [3]-[5]'te gözükten açıklamalar bu metodu tercih etmemizdeki önemli sebeplerdir.

Winters Metodu'nun hazırlık ve test olmak üzere iki aşamasının bulunduğu yukarıda belirtilmişti. Bu sebeple verinin yüzde yetmiş metodu eğitmek için kullanılırken geriye kalan yüzde otuzluk kısmı eğitilen metodun gerçek veriler ile karşılaştırılıp test edilmesi için kullanılmıştır. Verinin yüzde yetmişini kullandığımız kısımda metodun başlaması için gerekli olan değerler hesaplanmış, yüzde

otuzluk kısımda ise seçtiğimiz hata ölçüm teknikleri (Ortalama Mutlak Yüzde Hata ve Ortalama Hata Kareleri) ile gerçek değer ve tahminlenen değer arası fark hesaplanmış böylece tahminlemenin doğruluğu test edilmiştir.

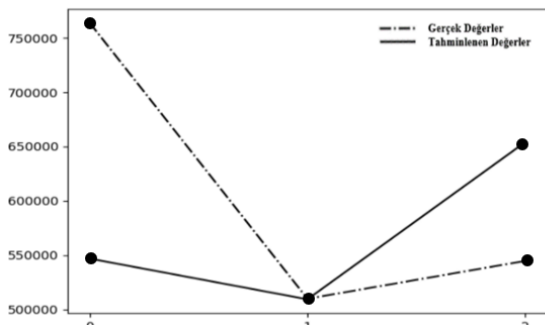
Seçilen bir diğer çözüm yöntemi ise günümüzde popüler olmaya başlayan, makine öğrenmesine dayalı olan Destek Vektör Regresyonu (DVR)'dur ve bunu kaynak [8]'de görebiliriz. Verilerdeki anlamlı örüntü tespiti, sınıflandırma ve regresyon için kullanılan bu model, bir öğrenme yöntemidir. Kaynak [9]'da belirtildiği üzere, geçmiş zaman serilerine ek olarak tahmini etkileyen birden fazla faktörle çalışmaktadır. İki sektörden alınan veriler incelendiğinde, zaman, dağıtıcıların geçmiş satış miktarları ve ulusal tatiller gibi birçok faktörün satış miktarlarını etkileyebileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca faktörler kullanılarak yapılan tahminlemenin sadece geçmiş zaman verisini kullanarak yapılacak tahminlerden daha tutarlı olacağı öngörülmüştür. Destek Vektör Regresyonu, veride gözlenen noktaları tolere edilebilir bir sapma değeri ile tahminleme yapmaya çalışan bir regresyon modelidir ve bunu kaynak [4]'te görebiliriz. Veriyi kümeleme yaparak ayırıp belirli faktörleri hesaba katarak makine öğrenmesi yapmaktadır ve bu sayede tahminin tutarlılığını ve sürekliliğini sağlamaktadır ve kaynak [1] buna referanstır. Hata parametresi hedefteki maksimum sapma değerini gösterir. Yapılan tahminleme bu hedef değişkenleri etrafında bir sınır aralığındadır. Sınır aralığı içinde olan değerlerin hatasız, dışında kalan değerlerin sınırlara uzaklığına bağlı olarak hatasının olduğu kabul edilir. Modelin amaç fonksiyonu hata aralığından sapan değerlerin toplam uzaklığını enazlamaktır. Verilen sınırı geçen değerleri göz önüne almak için yapay bir değişken daha tanımlanmıştır ve bunu kaynak [9]'da görebiliriz. Modelin kümeleme yaparken bulduğu noktaların yapay değişkeni geçmemesi zorunludur. Kaynak [7]'de belirtildiği üzere, bu şekilde hata sınırını aşan noktalar da tolere edilebilmektedir.

#### IV. SONUÇ

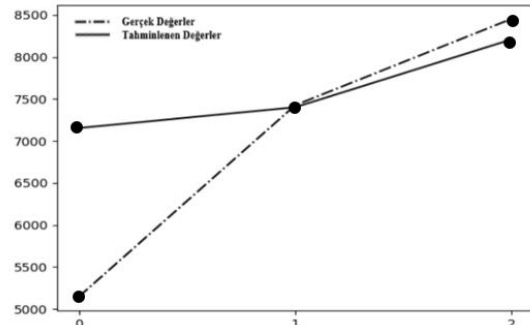
Winters Metodu ve DVR Metodu sahip olduğumuz iki farklı hızlı tüketim ürünleri sektöründen elde edilen verilere uygulanmış ve iki metodun performansı karşılaştırılmıştır.

Winters metodu şekerleme sektöründeki Ürün-1'e uygulanıp distribütörlerin yaptıkları haftalık satış miktarları tahminlenmiştir. Öncül çalışmalarda, gelecek 3 hafta için tahminleme yapıldığında, o periyot için yapılan tahmin ile o periyodun gerçek değerleri arasındaki fark Ortalama Hata Kareleri (MSE) ile 380.219.166.172 bulunmuştur. MAPE ile ölçüm yapıldığında ise sonuç %16,209 bulunmuştur. MAPE ile daha kolay analiz edilebilen sonuç bize metodun şimdiki haliyle yaklaşık %84 oranında doğru tahmin yapabildiğini göstermektedir.

Winters, içecek sektöründe bulunan Ürün-2'ye uygulandığında verinin satış eğiliminin yaz ve kış aylarında sezonsal açıdan farklılık gösterdiği görülmüştür. Şekerleme sektöründeki veride olduğu gibi bu verinin karakteristik özelliklerine haftalık kırılımlarla bakılmıştır ve tahminleme bu haftalık zaman dilimine göre yapılmıştır. Öncül çalışmalarda, gelecek 3 periyot için yapılan tahminleme ve bu tahminlemenin gerçek değerleri arasındaki fark, MSE kullanılarak ölçüldüğünde 51.023.922, MAPE kullanılarak ölçüldüğünde ise %14,081 çıkmıştır. Yani metod şimdiki haliyle yaklaşık %86 oranında doğru tahminleme yapabilmektedir. Görselleştirme açısından, şekerleme ve içecek sektörü için MAPE kullanılarak optimize edilmiş değerlerle bulunmuş, gelecek 3 hafta için tahmin değerleri ve gerçekleşen değerler sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

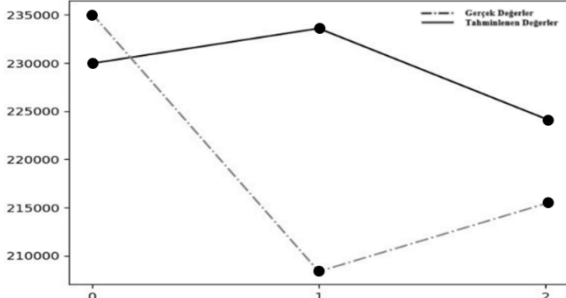


Şekil 3. Şekerleme Sektöründeki Ürün 1 İçin 3 Periyotluk Tahmin Grafifi

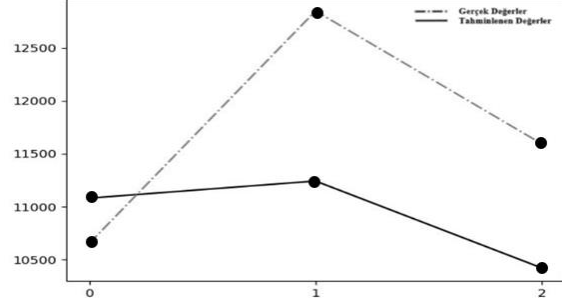


Şekil 4. İçecek Sektöründeki Ürün 2 İçin 3 Periyotluk Tahmin Grafifi

DVR metodu şekerleme verisine uygulandığında, MSE ve MAPE değerleri sırasıyla 247.137.908 ve %6,136 olarak hesaplanmıştır. Bu da gösteriyor ki, metot şu anki haliyle %94 oranında doğru tahmin yapabilmektedir. İçecek sektöründe bulunan ürüne uygulanan DVR, öncül çalışmalar doğrultusunda, gelecek 3 periyot için yapılan tahminleme ve gerçek değer arası metriklerinden MSE kullanılarak ölçüldüğünde 2.037.995 bulunmuştur. MAPE kullanılarak ölçüldüğünde ise %11,208 hata oranına sahip olmuştur. Yani DVR içecek sektörüne uygulandığında yaklaşık %89 oranında doğru tahminleme yapabilmektedir. DVR'nin şekerleme ve içecek sektörlerine uygulandığında MAPE kullanılarak çıkan gelecek 3 hafta için gerçek değerleri ve tahmini değerleri arasındaki fark sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da görülebilir.



Şekil 5. Şekerleme Sektöründeki Ürün 1 İçin 3 Periyotluk Tahmin Grafiği



Şekil 6. İçecek Sektöründeki Ürün 2 İçin 3 Periyotluk Tahmin Grafiği

Yukarıda bulunan bütün sonuçlar göz önüne alındığında, DVR metodunun şekerleme sektöründe Winters'a göre %10, içecek sektöründe ise %3 oranında daha iyi bir tahminleme yapabildiği görülmektedir. DVR'ye eklenecek olan, ulusal tatiller ve bayramlar gibi faktörler ile çok daha da iyi tahmin yapması beklenmektedir. Winters ve DVR metodları ilerleyen zamanda, öncül çalışmalara ek olarak, daha geniş bir test verisine uygulanacak ve 3 periyottan daha fazla bir zaman dilimini kullanarak daha iyi tahminler çıkaracaktır.

## REFERANSLAR

- [1] Bican, B. (2014). *Zaman Serilerinin Öngörüsü İçin GKA Tabanlı DVR Metodları* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [2] Bowerman, B. L., O'Connell R. T. & Koehler, A.B. (2005). *Forecasting, time series, and regression : an applied approach*. Belmont : Thomson Brooks/Cole, 2005.
- [3] Brockwell, P. J., Davis, R.A. (2002). *Introduction to time series and forecasting*. New York : Springer, 2002.
- [4] Crone, S. F., Guajardo, J., & Weber, R. (n.d.). A study on the ability of Support Vector Regression and Neural Networks to Forecast Basic Time Series Patterns. IFIP International Federation for Information Processing Artificial Intelligence in Theory and Practice, 149-158. doi:10.1007/978-0-387-34747-9\_16
- [5] Nahmias, S., & Cheng, Y. (2009). *Production and operations analysis*. Boston, Mass: McGraw-Hill.
- [6] Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). *Production and operations analysis* (7th ed.). Long Grove, IL: Waveland Press.
- [7] Paisitkriangkrai, P. (2012, October 24). *Linear Regression and Support Vector Regression*. Lecture presented at The University of Adelaide in Adelaide, South Australia. Retrieved December 15, 2018, from [https://cs.adelaide.edu.au/~chhshen/teaching/ML\\_SVR.pdf](https://cs.adelaide.edu.au/~chhshen/teaching/ML_SVR.pdf).
- [8] Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] Vapnik, V. N. (1998). *Statistical learning theory*. New York: Wiley.
- [10] Yaffee, R. A. (2000). *Introduction to time series analysis and forecasting : With applications in SAS and SPSS*. San Diego : Academic Press, 2000.



**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **BOŞ KONTEYNERLERİN ELDE TUTMA VE TAŞIMA MALİYETLERİNİN EN AZA İNDİRGENMESİ**

**Ahmet Can Erşimşek, Anıl Güneri, Begüm Demirci, Buse Yalabık, Derya Türkmenoğlu,  
Elif Beril Yıldırım, Gizem Topuz**

**Akademik Danışman**

**Erdoğan Öner**

**Şirket Danışmanı**

**Ceyhan Güven**

**Izmir, 2019**

## I.GİRİŞ

Deniz taşımacılığı yapılan bir şirkette boş konteynerlerin müşterilere sevkiyatlarının ele alındığı bu proje; müşteriye boşaltılıp depolara getirilen konteynerlerin depolarda tutulma sürecinden, boş konteyner talep eden müşteriye ulaşmasına kadarki süreci kapsamaktadır. Projenin başlangıç noktası; Arkas Lojistik şirketinin yazılım geliştirme ve sistem entegrasyon işlerini yürüten Bimar'da, depolarda müşteriye gönderilmeye hazır bekleyen boş konteynerlerin, hangi depodan hangi araç rotasıyla müşteriye ulaştırılacağına belirlenmesinin bir sisteme veya karar mekanizmasına bağlı olmaksızın, sürecin rastgele yürütülmesi sorunudur. Ayrıca boş konteynerlerin depolarda çeşitli ücretlendirme politikaları ile tutulması, konteynerlerin depoda tutulma sürelerinin en aza indirgenmesi gereğini beraberinde getirmektedir.

Projenin amacı; müşteriye gönderilecek en uygun konteyneri ve bu konteynerleri taşıyacak araç rotalarını belirleyerek, oluşabilecek maliyetleri en aza indirmek ve sonuçları bir Karar Destek Sistemi (KDS) ile kullanıcıya sunmaktır. Sistem eksikliği ve tespit edilen birtakım sorunlar sebebi ile sistem analiz edilip modellenmiş ve gerekli çözümler uygulanmıştır.

Arkas Bimar'da tespit edilen sorunlardan bazıları, müşterilerden gelen talepler doğrultusunda uygun konteyner seçiminin bir sisteme bağlı olmadan yapılmasından dolayı elde tutma maliyetlerinin artması, konteynerlerin çevrim sürelerinin uzaması, FIFO (ilk giren ilk çıkar) politikasının uygulanamamasıdır. Ek olarak araç rotaları planlanmadığı ve önceden belirlenmediği için müşteri konumuna uygun depodan konteyner seçimi yapılmadığı ve ihtiyaçtan fazla araç kullanımı ile taşıma maliyetlerinin artması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Örneğin, gün içerisinde gelen müşteri siparişlerine göre hem depolama hem de taşıma maliyetine göre depolardan en uygun konteyner seçiminin yapılması ve takip sürecinin yönetilmesi güçlüğü yaşanmaktadır. Bu süreçte, bir yandan müşterinin talebini karşılayarak bir yandan da depoda bekleyen konteynerlerin elde tutma ve müşteriye ulaştırılması sırasında oluşan taşıma maliyetlerinin en aza indirilmesinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Şu anda Arkas Bimar'da işleyen süreci her yönüyle inceleyebilmek ve ilerleyen dönemlerde uygulamak istediğimiz değişikliklerin ne sonuçlar verebileceğini görmek adına sistem analizi yapılmış ve Arena Simülasyon Programında, konteynerlerin müşterilere sevkiyat süreci modellenmiştir. Gerçek hayattan veriler alınarak sistemin şu anki haline göre, ilerleyen aşamalarda iyileştirme ölçütü kullanılmak üzere bazı maliyet çıktıları alınmıştır. Projenin ilk aşamasında, müşteriye en uygun konteyner seçimi üzerine çalışılmıştır. İlk aşama sonucunda Arkas'da şu an uygulanan sistem ile yapılan karşılaştırma sonucunda maliyet bazında %9'luk bir iyileştirme elde edilmiştir. Projenin ikinci aşamasında ise Araç Rotalama Problemi ile taşıma maliyetlerinin en aza indirgenmesi ve kullanılacak araç sayısının belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu ana başlıklar dikkate alınarak, müşteriye en uygun konteyner seçimi ve araç rotası, oluşturulan MS Excel tabanlı bir KDS'nde birleştirilip, kullanıcının hizmetine sunulmuştur.

Projenin başlangıç aşamasında literatür taraması yapılmış ve benzer problemlerin çözümleri incelenmiştir. Gerek modelin oluşturulmasında gerekse sektörle ilgili çeşitli bilgilerin edinilmesinde birçok farklı makaleden yararlanılmıştır. İncelenen makalelerde problem tanımına, kullanılan metoda ve göz önünde bulundurulmuş varsayımlara dikkat edildi. Literatürde yer alan benzer modeller, projede çalışılan probleme göre incelenerek, matematiksel modelin varsayımları ve kısıtları oluşturuldu. Projede incelenen ve model geliştirme aşamalarında kullanılan makalelerin listesi kaynakçada belirtilmiştir.

## II. PROBLEM TANIMI

Türkiye'nin önde gelen ulaşım ve liman yönetim şirketlerinden biri olan Arkas Holding, 1902 yılında İzmir'de Gabriel J. B. Arcas tarafından kurulmuştur. Arkas Holding; acente, armatör, liman ve deniz, kara, demiryolu ve hava taşımacılığını entegre eden lojistik hizmetlerin yanı sıra, yakıt ikmali, otomotiv, sigorta hizmetleri, bilgi sistemleri ve gemi turizmi gibi birçok farklı sektörde faaliyet göstermektedir [1]. Şirketin 62 ofisi vardır, 14'ü Türkiye'de, diğerleri Yunanistan, İtalya, Monako, Fransa, İspanya, Portekiz, Almanya, Fas, Cezayir, Tunus, Mısır, Lübnan, Libya, Bulgaristan, Romanya, Ukrayna, Rusya, Gürcistan, Azerbaycan, Kazakistan, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Çin, Gana ve Nijerya olmak üzere 25 ülkede bulunmaktadır. Arkas Holding'in dünyanın önde gelen 10 gemi sahibi şirket ile ortaklığı bulunmaktadır. Bunlar arasında; Hapag Lloyd, Yang Ming, Tarros SPA bulunmaktadır. Buna ek olarak, Grimaldi Lines, ACL, Marguisa Line, DAL, UAFL ve Etiyopya Denizcilik firmaları ile de temsil ilişkisi bulunmaktadır. Arkas Holding, tüm bu ülkelerde 67 şirket ile faaliyetlerini yürütmekte ve 7300 kişi istihdam etmektedir. Ayrıca Arkas Holding'in bu ülkelerde toplam 50 gemi, 72000 konteyner, 500 kamyon, 300 depo ve 67 limanı bulunmaktadır. Bunun yanında Arkas Holding, çeşitli yükleme ve boşaltma araç ve gereçleri ile geniş konteyner depolama alanlarına sahip olup müşterilerine hizmet vermektedir [1].

Arkas Holding 1984 yılında holding şirketlerinin bilgi teknolojisi ihtiyaçlarının sağlayıcısı olarak BİMAR Bilgi İşlem Hizmetleri A.Ş.'yi kurdu. BİMAR, lojistik, gemi acenteliği ve yönetimi, liman yönetimi, deniz havası ve kara taşımacılığı alanlarında yazılım geliştirme ve sistem entegrasyon çalışmaları yürütmektedir [3]. Ana ürünleri; YNL, YNA, KONTEYNEREDE, ARLES, EDS, ROTA, BizFRAME, BizWATCH yazılımlarıdır. Ana hizmetleri ise Web Tabanlı Yazılım Geliştirme, Kurumsal Uygulama Entegrasyon Çözümleri, İtranet ve Portal Hizmetleri, BT Servis Yönetimi'dir. Bimar'da toplam 74 çalışan bulunmaktadır [4].

Arkas Holding, İzmir'de Halkapınar, Sütçüler, Öznak, Öznakliyat, Günaydın, Aliağa olmak üzere 6 farklı deposundan; İzmir, Manisa ve Aydın'daki 70 farklı müşterisine boş konteyner sevkiyatı yapmaktadır. Müşterilerin uzaklıkları bir kilometre ile 160 kilometre arasında farklılık göstermektedir. Talep edilen boş konteynerleri, en uygun depolardan, en düşük ulaşım maliyetiyle ulaştırmayı ve bu konteynerlerin depolarda tutulma maliyetlerinin en aza indirgenmesini hedeflemektedir. Proje gerçekleştirilirken problem iki ana kısım altında incelenmiştir.

Problemin ilk kısmı; boş konteynerlerin depolardaki farklı ücretlendirme politikalarından dolayı, depolama ücretlerinin yüksek maliyet oluşturmalarıdır. Örnek vermek gerekirse, bir depoda 7 gün boyunca konteyner depolamak, kapı giriş ücreti dışında hiçbir maliyet yaratmazken, bu süre aşıldığında, aşılacak gün sayısı kadar belirli bir miktarda konteyner başı maliyet getirmektedir. Bu ücretlendirmeler bazı depolarda gün sayısı ile belirlenirken, bazı depolarda belirli bir TEU (20 ayak eşdeğer birimi) limitine göre yapılmaktadır. Bu durum, sistematik bir biçimde yürütülmediğinden, şirkete sürekli bir maliyet olarak yansımaktadır.

Problemin ikinci kısmı ise; boş konteynerlerin, depolardan müşterilere ulaştırılmasının yarattığı maliyetler ile ilgilidir. Şirkette belirli bir konteyner seçim sistemi olmamasından kaynaklı olarak, müşteriye rastgele bir depodan rastgele bir konteyner seçilip gönderilmektedir. Konteyner seçimi sırasında, konteynerin bulunduğu deponun ve müşterinin konumu arasındaki mesafe göz önünde bulundurulmalıdır ve buna uygun araç rotaları belirlenmelidir. Bu kıstaslara uygun bir sistem olmamasından dolayı, taşıma maliyetleri yüksek miktarlara çıkmaktadır. Ayrıca araç rotaları planlanmadığı için kullanılacak araç sayısı belirlenememektedir. Araç sayısı ve rota belirsizliği sebebiyle taşıma maliyetlerinde de artış gözlenmektedir.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Müşterilerin talepleri temel alınarak istenilen kıstaslara uygun konteyner gönderimi için amaçlanan çözümlerin başında, müşterilerden gelen talepler doğrultusunda günlük olarak plan oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu plan doğrultusunda, müşterilere sevk edilecek konteynerlerin depoda tutulması ve taşıma maliyetlerinin en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır.

Bunun için öncelikle, depoda tutma maliyetlerini ve gönderilecek konteynerin, müşteriye en yakın depodan ulaştırılmasını sağlayarak mesafeye bağlı taşıma maliyetlerini minimize eden bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model oluşturulurken, her depoda boş konteyner taşıması için yeterli sayıda özdeş araç olması, müşterinin talebini karşılamak için depoda talep edilen tipte uygun boş konteynerin bulunması ve her aracın müşteriye sadece bir adet boş konteyner taşıması gibi bazı varsayımlar göz önüne alınmıştır.

Varsayımlar göz önüne alınarak oluşturulan model, OPL programında çözümlenmiştir. Aynı zamanda, şirketin hali hazırda uygulamakta olduğu sistemi, Arena Simülasyon Programında; sistemin davranışlarını anlayabilmek ve değişik işletim stratejilerini değerlendirebilmek amacıyla modellenmiştir. Son olarak iki sistem arasında analiz ve karşılaştırma yapılmıştır.

Projenin ikinci kısmında; taşıma maliyetlerinin araç rotalarını planlayarak minimize edebilmek için yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde her araca özel rotalar ve araç sayısının düşürülmesi amaçlarıyla taşıma maliyetlerinin en aza indirgenmesi beklenmektedir. Model; taleplerin bilindiği, her depoda yeterli sayıda özdeş araç bulunduğu; araç kapasitesinin 1 olduğu ve her araç için bitiş deposunun başlangıç deposundan farklı olabileceği varsayımlarla oluşturulmuştur. Her talebin karşılandığı, her depoda talebi karşılayacak uygun konteyner olduğu ve her aracın günlük yapabileceği maksimum kilometre kısıtları ile her boş konteynerin ulaştırma maliyetini ve kullanılan araç sayısını minimize etmek amaçlanmıştır.

Modeli geliştirdikten sonra kullanıcının; uygun depodan, uygun tip ve büyüklükte müsait olan konteyner seçimini MS Excel Visual Basic Applications (VBA) tabanlı, kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) ile yapabilmesi sağlanmıştır. Bu sistemde, depoda tutma maliyetleri depolarda bulunan boş konteynerlerin beklediği gün sayısına ve depoların farklı ücretlendirme politikasına göre hesaplanmıştır. Ücretlendirme politikaları yapılan anlaşmalara bağlı olarak her depoya göre değişmektedir. Örneğin; bazı depolarda boş konteynerler 7 gün boyunca ücretsiz depolanırken 8. günden itibaren günlük depolama ücretlendirmesi devreye girmektedir. Depolarda uygulanan bir diğer politika ise 100 TEU'luk boş konteyner alanı ücretsiz olarak kullanılırken, 100 TEU'yu geçen konteyner başına ilave ücret alınmaktadır. Bazı depolarda her iki politika birden uygulanırken, bazılarında ise sadece kapı maliyeti temel alınmaktadır. Ayrıca depolar ve müşteriler arasındaki mesafeleri gösteren bir matris kullanılarak, taşıma maliyetleri hesaplanmıştır. Bu iki maliyet kıstasını ortak bir değerde buluşturup toplam maliyet hesabı yapılmıştır. Bu değere bakılarak müşteriye en uygun, en düşük maliyetle boş konteyner gönderimi yapılması planlanmıştır. Böylece Karar Destek Sistemi müşterinin talebi doğrultusunda, talep edilen konteynerin depolarda geçirdiği süre ve yapılan anlaşmalara bağlı depolarda oluşan depolama maliyetleri, müşteri ve depolar arasındaki mesafeye bağlı taşıma maliyetlerini esas alarak uygun konteyner listesi oluşturmaktadır. Bu liste her müşterinin her talebi için oluşturularak uygun konteyner seçimlerini yapar. Bu seçimler sonucunda KDS çıktısı olarak her bir talep için müşteriye gönderilecek olan konteynerin kodu, hangi depodan gönderileceği ve depolama ve taşıma maliyetlerinin bulunduğu bir liste oluşturmaktadır. Konteynerin, bu listeye bakılarak gönderilmesi, müşterinin talebinin en düşük maliyetle karşılanmasını sağlamaktadır.

Araç Rotalama Problemi için geliştirilen matematiksel model, KDS'nin ilk aşama çıktısı olan uygun konteyner listesini girdi olarak kullanmış ve model IBM ILOG CPLEX OPL programı aracılığı ile çözülmüştür. Arena Simülasyon Programında önceden kullanılan ve önerilen boş konteyner taşıma sisteminin simülasyonu oluşturulmuştur. Küçük bir veri seti kullanılarak iki sistemin de benzetim



modelleri oluşturulmuş, çıktıları karşılaştırılmış ve önerilen sistem sonucunda iyileşme gözlenmiştir. Böylece taşımada kullanılacak gerekli araç sayısı ve araç rotaları günlük müşteri tahminine bağlı olarak belirlenmiştir. Yani müşterilerden gelen talepler doğrultusunda sisteme tüm veriler girilecektir. Ardından sistemimiz bütün aranan özelliklere bakıp aynı zamanda maliyeti en azda tutup en uygun konteyner seçimini yapıp, en uygun listeyi sunacaktır. En uygun liste sunumundan sonra rotalar da dâhil edilerek konteynerlerin elde tutma ve taşıma maliyetleri en aza indirgenmektedir. Bu işlemlerin sonunda hiçbir kıstas gözetmeden, rastgele yapılan konteyner seçimi yerine; şirketin ve müşterilerin ortak faydasını sağlayacak en uygun seçim yapılmıştır.

#### IV. SONUÇ

Projenin ilk aşamasında, güncel olarak şirket tarafından kullanılan konteyner seçim ve müşteriye gönderilme sistemi Arena Simülasyon Programı kullanılarak, sistemin davranışlarını analiz edebilmek için modellenmiştir. Sonrasında boş konteynerlerin elde tutma ve ulaştırma maliyetlerini minimize etmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Küçük bir veri seti kullanılarak IBM CPLEX ILOG OPL ile çözülen matematiksel model sonucunda müşteri talebine uygun tip ve büyüklükteki boş konteyner seçimi yapılmıştır. Bu seçim, boş konteynerlerin depoda geçirdiği süre ve bulunduğu deponun müşteriye olan uzaklığı göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Toplam elde tutma ve taşıma maliyetleri hesaplanmıştır. Aynı veri seti temel alınarak Arena Simülasyon modeli güncellenmiş ve çalıştırılmıştır. Arena Simülasyon ve IBM CPLEX ILOG OPL'den alınan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, geliştirilen matematiksel model ile toplam maliyette %9'luk bir iyileştirme elde edilmiştir. Küçük bir veri seti ile %9'luk bir geliştirilme sağlanan bu model, günlük hayatta kullanılan veriler için de uygulanmaya ve geliştirilmeye uygun görülmüştür.

Projenin nihai sonucunda, en uygun konteyner seçimi için depolardaki konteynerlerin bekleme süreleri ve müşteriye yakınlığı göz önüne alınarak müşterilere gönderilmesine karar verilmiştir. Uygun konteyner seçimi için, Excel Visual Basic Application (VBA) tabanlı oluşturulan Karar Destek Sisteminde, ilk olarak müşterilerden günlük olarak alınan boş konteyner talepleri sisteme işlenmektedir. Ardından istenilen tip ve büyüklükteki tüm konteynerlerin, elde tutma ve taşıma maliyetlerine göre uygunlukları belirlenerek bir liste halinde karar vericiye sunulmaktadır. Sunulan bu listeden seçilen konteynerler, Araç Rotalama için oluşturulan matematiksel modele bir girdi olarak verilmiştir. Bu Araç Rotalama modeli, IBM CPLEX ILOG OPL ile çözülmüştür. Bunların sonucunda müşteriye gönderilecek olan boş konteynerler seçilmiş ve sevkiyatları için gerekli olan araç sayıları ve rotaları belirlenmiştir. Arkas Bimar'ın şu anda kullandığı rastgele seçim sistemine göre geliştirdiğimiz çözümler bu işlemlerin daha az maliyet ile gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu sisteme ek olarak, Arkas Bimar'ın müşterilerine yaptığı boş konteyner tedariği sırasında araç rotalarını belirlemediği için ihtiyacı olan araç sayısı bilgisine sahip değildir. Belirlenen araç rotaları ile müşteri taleplerine göre kullanılması gereken araç sayısı da belirlenmiştir. Böylelikle oluşan fazla taşıma maliyeti engellenmiş ve sabit araç maliyetleri en aza indirgenmiştir. Projemiz, Arkas Bimar'dan alınan örnek veri grubu üzerinden çözüme ulaştırılmış olup, şirketin günlük müşteri taleplerinin planlanmasında kullanıma uygun bir şekilde şirkete sunulmuştur.

## REFERANSLAR

- [1] History - Arkas Holding S.A. (2018). Retrieved from <http://www.arkas.com.tr/en/history.html>
- [2] Arkas Holding - Arkas Holding S.A. (2018). Retrieved from [http://www.arkas.com.tr/en/arkas\\_holding.html](http://www.arkas.com.tr/en/arkas_holding.html)
- [3] General Information - Bimar Information Technology Services S.A. (2018). Retrieved from [http://www.bimar.com.tr/en/general\\_information.html](http://www.bimar.com.tr/en/general_information.html)
- [4] ARLES - Bimar Information Technology Services S.A. (2018). Retrieved from [http://www.bimar.com.tr/en/products/arkas\\_limn\\_entegre\\_sistemi.html](http://www.bimar.com.tr/en/products/arkas_limn_entegre_sistemi.html)
- [5] Song, D., & Dong, J. (2018). Cargo routing and empty container repositioning in multiple shipping service routes. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(10), 1556-1575.
- [6] Cheung, R., & Chen, C. (2018). A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem. *Transportation Science*, 32(2).
- [7] Cheang, B., & Lim, A. (2005). A Network Flow Based Method for the Distribution of Empty Containers. *International Journal Of Computer Applications In Technology*, 22(4).
- [8] Olivo, A., Zuddas, P., Di Francesco, M., & Manca, A. (2005). An Operational Model for Empty Container Management. *Maritime Economics & Logistics*, 7(3), 199-222. doi: 10.1057/palgrave.mel.9100136
- [9] Hosseini, A., & Sahlin, T. (2018). An optimization model for management of empty containers in distribution network of a logistics company under uncertainty. *Journal Of Industrial Engineering International*. doi: 10.1007/s40092-018-0286-2
- [10] Marín, J., & Martí, M. (2009). *Analytical Review of the Empty Container Cycle*[Ebook]. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/224430243\\_ANALITICAL\\_REVIEW\\_OF\\_THE\\_EMPTY\\_CONTAINER\\_CYCLE](https://www.researchgate.net/publication/224430243_ANALITICAL_REVIEW_OF_THE_EMPTY_CONTAINER_CYCLE)
- [11] Koo, P., Lee, W., & Jang, a. (2004). Fleet sizing and vehicle routing for container transportation in a static environment. *OR Spectrum*, 26(2), 193-209. doi: 10.1007/s00291-003-0152-4
- [12] Bandeira, D., Becker, J., & Borenstein, D. (2009). A DSS for integrated distribution of empty and full containers. *Decision Support Systems*, 47, 383-397.
- [13] Choong, S., Cole, M., & Kutanoğlu, E. (2002). Empty container management for intermodal transportation networks. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 38, 423-438.
- [14] Braekers, K., Janssens, G., & Caris, A. (2009). *Integrating Empty Container Allocation with Vehicle Routing in Intermodal Transport* [Ebook]. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/6de2/58798fe8e0f6aa0c78be224704819b865954.pdf>
- [15] Moon, I., Ngoc, A., & Hur, Y. (2010). Positioning empty containers among multiple ports with leasing and purchasing considerations. *OR Spectrum*, 32(3), 765-786. doi: 10.1007/s00291-010-0197-0
- [16] Boile, M., Theofanis, S., Baveja, A., & Mittal, N. (2008). Regional Repositioning of Empty Containers. *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, 2066(1), 31-40. doi: 10.3141/2066-04
- [17] Epstein, R., Neely, A., Weintraub, A., Valenzuela, F., Hurtado, S., & Gonzalez, G. et al. (2012). A Strategic Empty Container Logistics Optimization in a Major Shipping Company. *Interfaces*, 42(1), 5-16. doi: 10.1287/inte.1110.061
- [18] Mirabi, M., Shokri, N., & Sadeghieh, A. (2016). Modeling and Solving the Multi-depot Vehicle Routing Problem with Time Window by Considering the Flexible End Depot in Each Route. *International Journal Of Supply And Operations Management*, 3(3), 1373-1390.
- [19] Luo, J., & Chen, M. (2014). Improved Shuffled Frog Leaping Algorithm and its multi-phase model for multi-depot vehicle routing problem. *Expert Systems With Applications*, 41(5), 2535-2545. doi: 10.1016/j.eswa.2013.10.001
- [20] Campbell, A., & Hardin, J. (2005). Vehicle minimization for periodic deliveries. *European Journal Of Operational Research*, 165(3), 668-684. doi: 10.1016/j.ejor.2003.09.036



**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

# **Büyük Ölçekli Tekstil Şirketinde Günlük Sevkiyat Planlama Problemi**

**Ataberk AYDEMİR, Oğuzhan ERYILDIZ, Ayşegül HÜLAGÜ, Gökay SÜMBÜL,  
Fatih UYSAL, Elçin YANIK**

**Akademik Danışmanlar**

**Dr. Öğr. Üyesi Adalet ÖNER, Araş. Gör. Özgün YÜCEL**

**Şirket Danışmanı**

**Musa KOÇ**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Lojistik, müşterinin taleplerinin en verimli, ekonomik ve güvenli bir şekilde karşılanabilmesini yöneten süreçtir. Lojistik sistemi, ham maddenin bir araya getirilip son ürün olarak teslim edilmesine kadar geçen tüm dağıtım, sevkiyat ve depolama gibi ulaşım operasyonlarını içerir. Kısacası, ilk üreticiden son tüketiciye kadar olan tüm dağıtım operasyonlarıdır.

Bu projede, bir tekstil firmasında karşılaşılan günlük sevkiyat planlaması problemi ele alınmaktadır. Şirket, Türkiye'nin en büyük hazır giyim üreticilerinden biridir. Türkiye'nin çeşitli illerinde üretim tesisleri bulunmaktadır. Şirketin kendi tesisleri ve taşeron üreticilerinin tesisleri arasında her gün gerçekleşen malzeme akışı nedeniyle ortaya önemli miktarda ulaştırma maliyeti çıkmaktadır. Halen planlama görevlilerinin tecrübelerine ve sezgilerine dayanarak elle hazırlanan sevkiyat planlarının etkinliği tartışma konusudur. Planların hazırlanmasında sistematik ve bilimsel çözüm yöntemleri kullanılmamaktadır. Bu projenin amacı, şirketin lojistik faaliyetlerinde ortaya çıkan maliyetlerin azaltılmasını sağlayacak etkin çözüm algoritmalarının geliştirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla öncelikle problemin tüm ayrıntıları, girdileri ve çıktıları incelenmiş ve analiz edilmiştir. Problemin genel yapısı incelendiğinde “çok depolu, açık ve kapalı araç rotalama problemi” olduğu ortaya çıkmıştır. Her sevkiyat planında, çıkış ve varış noktaları belli olan malzemelerin hangi araç ile gönderilmesi gerektiğine ve bu araçların hangi rotaları izleyeceklerine karar verilmesi gerekmektedir. Şirkete ait araçlar başladıkları noktaya geri dönmelidir. Ancak dış ulaştırma şirketinden kiralanan araçlar yola çıktıkları noktadan geriye dönmek zorunda değildir. Problemin çözümü için bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Küçük boyutlu problemler için model test edilmiştir. Ancak orta boyutlu test problemleri için dahi çözümü uzun zaman almaktadır. Gerçek hayatta, şirketin sevkiyat planlaması için kullandığı gerçek verilerin ortaya çıkardığı problem boyutu düşünüldüğünde, bu modelin çözüm için kullanılması pratik olmayacaktır. Bu nedenle sezgisel yöntemler araştırılmıştır. Geliştirilen sezgisel yöntemin doğruluğu ve geçerliliği test edildikten sonra kullanıcı dostu bir arayüzün arkasında çalışacak şekilde kodlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan “Karar Destek Sistemi” sayesinde hızlı ve etkin sevkiyat planlarının hazırlanabileceği bir planlama aracı ortaya konmuştur.

## II. PROBLEM TANIMI

Projeyi gerçekleştirdiğimiz TYH Tekstil, Türkiye'nin en büyük hazır giyim üreticilerinden biridir. Yurt içerisinde İzmir, Manisa, İstanbul, Kırklareli, Edirne, Ordu illerindeki, üretim tesislerine ek olarak yurtdışında Bulgaristan ve Moldova'da birçok üretim tesisi bulunmaktadır. Ayrıca çok sayıda fason üretici ile birlikte de çalışmaktadır. Firma genel olarak, sektörün ana operasyonları olan kesim, dikim ve paket işlemlerini kendi tesislerinde yapmaktadır. Ancak baskı, nakış, yıkama gibi yan operasyonları fason üreticilerde yaptırmaktadır. Fakat dönemsel olarak sipariş yoğunluğuna göre fason üreticilerin ana operasyonlar için kullanıldığı zamanlar olmaktadır. Şirketin ana ham maddesi kumaştır. Kumaş tedarikinin planlaması ve satın almasını İstanbul'daki ofis organize etmektedir. Tedarik edilen kumaşlar öncelikle Lüleburgaz ve Akhisar depolarına yönlendirilmekte ve oradan Trakya, Ege ve Karadeniz bölgelerindeki üretim tesislerine gönderilmektedir. Kumaş dışında ihtiyaç duyulan aksesuarlar (etiket, fermuar, kordon, paketleme malzemeleri vb) ise İzmir ve İstanbul'daki ofislere tedarik edilip bu iki ofisten gerekli üretim tesisine gönderilmektedir. Bu üretim tesisleri, firmanın kendi tesisleri dışında planlanan fason üreticiler de olabilir. Genel olarak, firmanın kendi merkez tesisleri arasında ve merkez tesislerle fason üreticiler arasında günlük malzeme (kumaş, aksesuar vb.) sevkiyatları gerçekleşmektedir. Bu sevkiyatların sıklığı ve taşınan yüklerin miktarları düşünüldüğünde firma için ciddi bir ulaştırma maliyeti ortaya çıkmaktadır. Firma, şehirlerarası gönderilerinde anlaşmalı nakliye firmalarını kullanmaktadır. Diğer yandan özellikle fason üreticiler ile şirket tesisleri arasındaki malzeme akışlarını içeren şehir içi sevkiyatlar için kendi araçlarını kullanmayı tercih etmektedir. Problemin girdileri ve çıktıları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Girdiler:

- Günlük sevkiyat listesi. Bu listede hangi noktadan hangi noktaya hangi malzemelerin ne miktarda sevk edileceği bilgisi yer almaktadır. Bu noktalar hem şirketin tüm tesislerini hem de fason üreticileri kapsamaktadır.
- Malzemelerin birim miktarlarının ağırlıkları ve ne kadar hacim kapladıklarını içeren veri tablosu
- Şirketin hangi tesislerinde hangi tip araçların bulunduğunu gösteren veri tablosu. Bu tabloda araçların ağırlık ve hacim kapasiteleri de gösterilir.
- Şehirlerarası sevkiyatlar için kiralanacak araçların tipleri ile bunların ağırlık ve hacim kapasitelerini içeren veri tablosu. Bu tabloda ilgili araç tiplerini kiralama maliyetleri de gösterilir.
- Malzeme akışlarının gerçekleştiği noktaların koordinatları ve aralarındaki uzaklıkları gösteren veri tablosu

Çıktılar:

- Şirketin kendi araçlarının hangi noktalar arasında hangi rotayı takip ederek hangi malzemeleri ne kadar miktarda taşıyacağını gösteren sevkiyat planı
- Şehirlerarası taşımalar için hangi noktada hangi tipten kaç tane kiralık araç talep edileceği
- Kiralık araçların hangi noktalar arasında hangi rotayı takip ederek hangi malzemeleri ne kadar miktarda taşıyacağını gösteren sevkiyat planı
- Oluşan toplam maliyet

### III. ÇÖZÜM YÖNTEM(LER)İ

Problemin mevcut yapısı incelendiğinde elimizde bir “Çok Depolu Açık ve Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi” olduğu ortaya çıkmıştır. Öncelikle, problemimizin teorideki karşılığını bulmak için, literatür araştırmasının ilk aşaması olarak ders kitaplarından yararlanılmış, sonrasında, “Araç Rotalama Problemi” (ARP) konulu makaleler incelenmiştir. Problemimizde şirketin kendi araçlarının başlangıç noktasına geri dönmesi gerektiğinden, dışarıdan kiralanılan araçların başlangıç noktasına geri dönüş gerekliliği olmadığından ve amacımızın lojistik maliyetini en aza indirmek olduğundan dolayı, literatürde “Açık-Uçlu” ve “Klasik” araç rotalama problemleri ve ikisinin kombinasyonu olan “Açık ve Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi” incelenmiştir.

Klasik Araç Rotalama Problemi (KARP), ilk olarak Dantzig ve Ramser (Jia, Dong & Ya) [2] tarafından çalışılmıştır. KARP'nin amacı aynı düğümde başlayan ve biten rotanın ulaşım maliyetini en aza indirmektir. Daha sonrasında kiralanılan araçların başlangıç noktasına geri dönüş zorunluluğu olmadığı için “Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi” (AUARP) incelenmiştir. AUARP ilk olarak Schrage [6] tarafından literatürde bahsedilmiş olup, araştırmalar detaylı ve kesin olarak Sariklis ve Powell [5] tarafından yapılmıştır. KARP ile aynı amaca sahip olup, araçların ilk noktaya geri dönmeme koşulu KARP'den ayıran özelliğidir.

Liu ve Jiang [3] “Açık ve Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi” üzerinde çalışarak iki türlü ARP'ni birleştirmişlerdir. Açık ve Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi, makalede de olduğu gibi şu şekilde bahsedilmiştir; şirketin kendi araçlarının, dışarıdan hizmet aldığı yerlere (şehir içi), tekrar şirketin kendi lokasyonlarına dönme zorunluluğu vardır. Buna ek olarak şirketin diğer tesislerine (şehirlerarası) sevkiyatı yapmak için dışarıdan kiralanılan araçların ilk noktaya geri dönme zorunluluğu olmadığından, TYH Tekstil'in tüm lojistik operasyon maliyetlerinin en aza indirgenmesi amaçlandığından problemimizin “Açık ve Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi” olduğuna karar verilmiştir.

Şirkette günlük şehir içi ve şehirlerarası sevkiyat planının geliştirilmesi için ele alınan bu çalışmada, problemin en iyi çözümü için bir matematiksel model önerilmiştir. Problemin modellemesinde kullanılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Kiralık araçların sayısı günlük dağıtıma yetecek şekildedir.
- Herhangi bir düğümden (şehirden) çıkan ürünler birden fazla araca bölünebilir.
- Araçlar gerekli olduğu takdirde her bir şehirden kiralanabilir.

Bu yapıya uygun bir Tam Sayılı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, Liu ve Jiang [3] tarafından yapılan çalışmalardan esinlenerek geliştirilmiştir. Geliştirilen model, küçük boyutlu problemler için test edilmiştir. Ancak orta boyutlu test problemleri için dahi çözümü uzun zaman almaktadır. Gerçek hayatta, şirketin sevkiyat planlaması için kullandığı gerçek verilerin ortaya çıkardığı problem boyutu düşünüldüğünde, bu modelin çözüm için kullanılması pratik değildir. Bu nedenle sezgisel yöntemler araştırılmıştır.

Araştırmalar sonucunda En Yakın Komşu Araması ve Tasarruf Algoritması sezgisel yöntemleri geliştirilerek problem için çözüm üretilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntemde, probleme girdi olarak kullanılan günlük sevkiyat listesindeki malzemelerin çıkış noktaları baz alınarak malzemelerin bulunduğu bölgelere göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmadan sonra, malzemelerin varış noktaları göz önünde bulundurularak şehir içi ve şehir dışı olmak üzere tekrar sınıflandırma yapılır. Şehir dışı sevkiyatlar için rotalar belirlenir, bölgeler içerisinde aynı rotayı kullanan siparişler araç kapasitesi göz önünde bulundurularak birleştirilir. Şehir içi sevkiyatları için, malzemelerin gönderileceği noktalar önceden belirlenen şehir içi bölgelerine ayrılır. Sevkiyat yapılacak her bir nokta için malzeme toplama – malzeme bırakma dengesi hesaplanır. Bu hesaplamalar sonucunda pozitif, nötr veya negatif denge değerleri elde edilir.

Pozitif değer: Noktadan alınacak malzeme miktarı > noktaya bırakılacak malzeme miktarı

Nötr değer: Noktaya bırakılacak yük miktarı= noktadan alınacak yük miktarı

Negatif değer : Noktaya bırakılacak yük miktarı> noktadan alınacak yük miktarı

Her bir şehir içi bölgesine başlangıç olarak bir araç atandığı varsayılır. Eğer bölgeye dağıtılacak toplam yük miktarı mevcut en yüksek araç kapasitesinden büyük ise bölgeye talebi karşılayacak kadar araç atanır. Atanan araçlar, varsa öncelikle negatif denge değerli, sonrasında nötr denge değerli, son olarak pozitif denge değerli noktalara uğrar. Araçlar uğradıkları her nokta sonrası mevcut kapasitesini günceller. Pozitif denge değerli noktalar mevcutsa ve bu noktaların denge değerleri aracın mevcut kapasitesinden yüksek ise, aracın mevcut kapasitesi kadar yükleme yapıp noktanın mevcut sipariş değeri güncellenir. Güncellenen değerler için tekrardan planlama yapılır. Böylelikle, sevkiyatlarını tamamlamış araçlar çıkış merkezine döner.

#### IV. SONUÇ

Ekip üyeleri ve şirket ile birlikte verimli bir şekilde çalışıldı. İlk olarak, şirket hakkında ve ilgili bölümlerle ilgili bilgiler edinildi. İlgili çalışma için şirketten örnek veriler alındı ve bu veriler analiz edildi. Ekip üyelerince şirketin organizasyonundaki eksiklikleri tanımlanarak, problemin tanımı yapıldıktan sonra, olası çözüm yaklaşımları bulmak amacıyla literatür taraması yapıldı. Araştırmadan sonra matematiksel modeli formüle etmek için parametreler, varsayımlar, kısıtlamalar ve karar değişkenleri belirlendi. Daha sonra problem bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirildi. Modelin çalıştığını doğrulamak için IBM ILOG CPLEX Optimization Studio’da küçük örnek problemlerle test edildi. Matematiksel modelin düzgün bir şekilde sonuç verdiği anlaşıldı ancak problemin karmaşıklığından dolayı daha hızlı bir çözüme ulaşmak amacıyla sezgisel yöntemler araştırıldı ve geliştirildi. Geliştirilen sezgisel yöntemin doğruluğu ve geçerliliği test edildikten sonra kullanılan sezgisel yöntemin doğrusal programlama modeline kıyasla %7 ila %10 arasında daha maliyetli çözümler sunduğu fakat bu çözümlerin mevcut şirket sistemine ciddi oranda fayda sağladığı tespit edilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntem kullanıcı dostu bir ara yüzün arkasında çalışacak şekilde Excel VBA’de kodlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan “Karar Destek Sistemi” sayesinde hızlı ve etkin sevkiyat planlarının hazırlanabileceği bir planlama aracı ortaya konmuştur.

## REFERANSLAR

- [1] Hillier, F. & Lieberman, G. (2001). "Introduction to Operation Research". New York, USA: McGraw-Hill.
- [2] Jia, H., & Li, Y., & Dong, B., & Ya, H. (2013). "An Improved Tabu Search Approach to Vehicle Routing Problem". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp. 1208 – 1217.
- [3] Liu, R., & Jiang, Z. (2012). "The Close-Open Mixed Vehicle Routing Problem". *European Journal of Operational Research*, vol.220, pp. 349-360.
- [4] Nahmias, S. (2004). "Production and Operations Analysis". New York, USA: McGraw-Hill Higher Education.
- [5] Sariklis, D., & Powell, S. (2000). "A heuristic method for the open vehicle routing problem". *Journal of the Operational Research Society*, vol.51, pp.564-573.
- [6] Schrage, L., (1981). "Formulation and Structure of More Complex/Realistic Routing and Scheduling Problems". John Wiley & Sons, Inc, vol. 11, pp. 229-232.







**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

# **FARKLI ÜRÜN GRUPLARI İÇİN PAKETLEME MALZEMELERİNİN STANDARTLAŞTIRILMASI VE PAKETLEMEDE MALİYET OPTİMİZASYONU**

**Tuğçe ALKAN, Ekin AYDIN, Ayça Serra BAYHAN, Özge CEYHAN, Fatoş Nur**

**DİREKLİ, Hafize HELVACI, Merve TÜRK**

**Akademik Danışmanlar**

**Öğr. Gör. Nejat KUTUP, Araş. Gör. Damla YÜKSEL**

**Şirket Danışmanı**

**Faruk SEKKİN**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Projenin yürütüldüğü YATSAN firması, özellikle ihracat pazarındaki müşterilerin özel talepleri nedeniyle döşemeli ürünlerinde çok değişken ürün boyutlarına sahiptir. Bu nedenle, projenin konusu firmanın sahip olduğu paketleme sisteminin iyileştirilmesi ve çeşitli ölçülerdeki ürünlerin paket boyutlarının standartlaştırılmasıdır. Asıl amaç, paketlemede kullanılan malzemelerde standart olmayan ürün boyutlarından dolayı meydana gelen fireyi azaltarak firmanın paketleme maliyetini düşürmek ve firmanın haftalık üretim planına göre doğru paketleme planını oluşturan kullanılabilir bir karar destek sistemi tasarlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle literatür araştırmasının tamamlanmasının ardından, firmanın baza, başlık, markiz ve komodin ürün grupları için son 3 yılın satış verileri kullanılarak tahmini satış verisi elde edilmiş ve proje için ağırlıklı hedef programlama matematiksel modeli oluşturulmuştur. Toplam fireyi ve farklı ölçülerdeki toplam paket sayısını minimize etmeyi hedefleyen matematiksel model, firmanın 4 farklı ürün grubu için standart paket ölçülerinin belirlenmesinde kullanılmıştır ve alınan çıktılar doğrultusunda firmanın paketleme çalışanları tarafından kullanılacak bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

## II. PROBLEM TANIMI

Proje ortağımız olan YATSAN A.Ş. kendi sektöründe önde gelen markalardan birisidir. Şirket, Torbalı'da 1974 yılında 60.000 m<sup>2</sup> alana sahip bir üretim tesisine kurulmuştur ve 213 beyaz yaka, 480 mavi yaka çalışanına sahiptir. Fabrikada çeşitli model ve ölçülerde baza, başlık, markiz, komodin döşemeli ürünleri ve yatak üretimi yapılmaktadır. Şirketin uyku ürünleri sektöründe çalışan diğer firmalardan farkı, çok daha çeşitli ölçülerde ürünlere sahip olmasıdır. Firmanın satış kanalı olarak, yurt çapında 23 ilde 100 direk satış noktası ve dünya çapında 52 farklı ülkede yaklaşık 500 satış noktası bulunmaktadır. Ayrıca firma, Tempur, Sealy ve Stearn & Foster gibi sektör liderlerinin Türkiye'de tam yetkili dağıtıcısı, Serta ve King Koil gibi dünya markalarının ise 10'dan fazla ülkede üreticisi ve dağıtıcısı konumundadır.

YATSAN'da üretim, yatak ve döşemeli grup olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Proje, döşemeli ürünlerin paketleme sürecini kapsamaktadır. Döşemeli ürünlerin paketlenmesi tam ve yarı paketleme olmak üzere iki tiptir. Müşterilerin ürünü görme gibi talepleri olabildiğinden iç piyasada ürünler yarı paketlenmektedir. İhracatta ise tam paketleme uygulanmaktadır. Bunun amacı ürünün teslim edilene kadar zarar görmemesini sağlamak ve ulaşımı boyunca başına gelebilecek hasarlardan dolayı müşteri şikayetlerini en aza indirmektedir. Firmada paketlemede kullanılan malzemeler ise karton, strafor, balonlu naylon, kırmızı balonlu naylon, naylon ve polietilen profil malzemedir.

YATSAN'ın müşterilerin özel ölçü taleplerine önem vermesinden dolayı sabit ürün gamına rağmen ürün ölçülerinde yüksek derecede çeşitlilik bulunmaktadır. Ürün ölçü çeşitliliğinden dolayı firma toplamda 377 başlık, 45 sandıklı baza, 31 elektro baza, 30 sandıklı baza ve 112 komodin çeşidine sahiptir. Bu ürün çeşitliliğine ilave olarak, firma müşteri istekleri doğrultusunda ürüne yarı paketleme, tam paketleme, kırmızı balonlu naylonla paketleme uygulayabilmektedir. Süreçteki ve ürün ölçülerindeki bu çeşitlilik, paketlemede standart bir yöntem uygulanmadığından dolayı yüksek fire miktarlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, paketleme sahası incelendiğinde paketlemede kullanılan materyallerin standart ölçülerinin olmaması sebebiyle paketleme malzemelerinin de kontrolsüzce kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum stokların takip edilmesinde de zorluk yaratmakla birlikte, ortaya çıkan fazladan atık çevre kirliliğine sebep olmaktadır.

Şu anki paketleme sistemini detaylı ele almak gerekirse, paketlemede kullanılan kartonlar plakalar halinde tedarikçiden belirli ölçülerde kesilmiş ve kat izleri verilmiş bir şekilde satın alınmaktadır. Bununla birlikte paketleme alanındaki çalışanlar tarafından karton plakalar kat izlerinden katlanıp, gerekirse yapıştırılarak boyut kazandırılmakta ve kullanıma hazır hale getirilmektedir. Paketleme işlemi yapılmadan önce öncelikle paketlenen ürün için uygun kartonlar çalışanlar tarafından seçilerek paketleme alanına getirilir. Öte yandan, paketlenen ürün naylon veya balonlu naylon gibi koruyucu malzemeler ile sarılır ve bantlanır. Bu aşamada ürün kenarlarını korumak amaçlı çeşitli başlık modellerinde balonlu naylon veya naylon sarılan ürünün kenarlarına polietilen profil malzeme geçirilir. Sonraki aşamada ürün alt tabaka karton ya da kartonlara yerleştirilir ve karton ile ürün arasında ürünün şeklinden ötürü boşluk kalması durumunda boşluklar strafor malzeme ile doldurulur. Bir sonraki işlemde, ürünün üst kısmı da kapatılacak şekilde üst kartonlar da yerleştirildikten sonra şerit

çemberleme malzemesi ile yapılan paketleme birkaç yerden sarılarak sağlamlaştırılır ve etiketleme işlemi de yapıldıktan sonra paketleme operasyonu son bulur.

Bu süreçte bazı ürünlerde ürüne uygun karton ölçüsü bulunmadığı için çalışanlar kartonları kendileri keserek şekil vermektedir. Plakaların ürünü kapatmadığı durumda fazladan plaka karton kullanılmaktadır ve ekstra karton kullanımından ötürü kartonlarda üst üste binmeler meydana gelmektedir. Bu durum, paketlemede ortaya çıkan fireyi oldukça arttırmaktadır.

Firmanın paketleme operasyonu gözlemlendiğinde genel olarak paketleme sürecinde çalışanların kendi tecrübelerine dayalı metotlar uyguladıkları görülmüştür. Paketleme sisteminin çalışan tecrübesine dayalı olması ve firmanın paketlemede kullandığı kartonun gramaj ve kalınlık açısından en kaliteli, fiyat açısından en yüksekler arasında olması paketleme maliyetini doğrudan arttırmaktadır. Firmada gözlenen semptomlar bunlar olmuştur.

Bu doğrultuda, projenin amacı; Yatsan firmasında, paketleme sürecinde standart bir yapının olmamasından kaynaklanan paketleme sarf malzeme firesini azaltmaktır. Bu amaç doğrultusunda firmanın baza, başlık, markiz ve komodin ürünleri için standart bir paket yapısı ortaya çıkarılacak, firelerden kaynaklı olan maliyet kaybı azaltılacaktır. Böylece, paketleme sürecinde gözlemlenen verimsizlik ortadan kaldırılacak, malzeme stokları kontrol edilebilir hale gelecektir. Bununla birlikte, firmanın sebep olduğu çevre kirliliği de minimum düzeylere indirilmiş olacaktır.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEM(LER)İ

Firmanın ürettiği döşemeli grup ürünleri olan baza, başlık, markiz, komodin ve çerçeve ürün kategorilerinin paketleme yapılarının ortaklaştırılıp, standart hale getirilmesi için yürütülen projede izlenen çözüm yolu, her ürün kategorisi için kullanılacak farklı ölçülerdeki optimal paket çeşidinin ve kullanılması gereken optimal paket ölçülerinin belirlenmesinden geçmektedir.

Proje başlangıcında uygun çözüm prosedürüne karar verilebilmesi için proje konusu ve çalışma alanı ile ilgili olarak literatür araştırması yapılmış, proje konumuzla ilgili olabilecek literatürde var olan problemler ve çözüm yolları analiz edilmiş, projemiz ile benzerlikleri ve farklılıkları konusunda süzgeçten geçirilmiştir. Literatürde var olan bilgiler doğrultusunda projenin çözüm yöntemi olarak bir matematiksel model geliştirilmesine, ayrıca, her ürün kategorisi için son 3 yılın satış rakamlarının incelenmesine ve bu satış rakamları kullanılarak gelecek yılın satış rakamları için talep tahmini yapılmasına karar verilmiştir. Talep tahmini için Basit Doğrusal Regresyon metodu uygulanmıştır. Firmadan alınan satış verileri gerekli düzenlemeler sonrasında Basit Doğrusal Regresyon Modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Her ürün kategorisindeki farklı her ürün ölçüsünün tahmini satış rakamları, kullanılması gereken optimal paket ölçülerinin ve kullanılacak farklı ölçülerdeki toplam paket sayısının belirlenmesi için oluşturulan matematiksel model için önemli role sahiptir.

Geliştirilen matematiksel modelin amaç fonksiyonunda sistemde kullanılacak farklı ölçülerdeki toplam paket sayısı minimize edilirken bir yandan da paketleme sisteminde oluşan toplam firenin minimum tutulması istenmektedir. Sonuç olarak, problemin yapısı incelenerek problemin birden fazla amaç içerdiği fark edilmiş ve bu sebeple tek amaç optimizasyonunu sağlayan doğrusal programlamanın oluşturulacak matematiksel model için yetersiz kalacağı görülmüştür. Birbiri ile çelişen hedefler içeren bu problemin tüm amaçlarının aynı anda gerçekleşebilmesi güç olduğundan, problemin çözümünde hedef programlama tekniğinin kullanılmasında karar kılınmıştır. Bu doğrultuda oluşturulan matematiksel model aşağıdaki gibidir.

#### Kümeler ve indisler:

$i$ : farklı ölçülerdeki ürünler,  $i \in N$

$j$ : farklı ölçülerdeki paketler,  $j \in M$

$d$ : boyut indisi,  $d = 1,2,3$  1 genişliği, 2 derinliği, 3 ise yüksekliği ifade eder.

#### Parametreler:

$z_{id}$  = Ürün  $i$  'nin  $d$  boyutunun ölçüsü

$a_{jd}$  = Paket  $j$  'nin  $d$  boyutunun ölçüsü

$f_i$  = Ürün  $i$  'nin tahmini talep değeri

$w_1$  = Kullanılacak farklı ölçülerdeki toplam paket sayısına verilen pozitif ağırlık

$w_2$  = Oluşan toplam sapma miktarına verilen pozitif ağırlık

Modelde kullanılan paket ölçüsü parametreleri her bir ürün kendi paketine sahipmiş gibi düşünülerek oluşturulmuştur.

### Karar Değişkenleri:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer ürün } i \text{ paket } j \text{'ye atanırsa,} \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{Eğer paket } j \text{ kullanılırsa,} \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

Yukarıda yapılan tanımlamalara göre formüle edilen ağırlıklı hedef programlama matematiksel modelimiz aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } \mathbf{w}_1 \cdot \sum_{j=1}^M y_j + \mathbf{w}_2 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_i \cdot x_{ij} \cdot ((a_{j1} - z_{i1}) + (a_{j2} - z_{i2}) + (a_{j3} - z_{i3})) \quad (1)$$

Subject to;

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

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in N, j \in M \quad (3)$$

$$a_{j1} - z_{i1} \geq -M(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in N, j \in M \quad (4)$$

$$a_{j2} - z_{i2} \geq -M(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in N, j \in M \quad (5)$$

$$a_{j3} - z_{i3} \geq -M(1 - x_{ij}) \quad \forall i \in N, j \in M \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} \geq y_j \quad \forall j \in M \quad (7)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, j \in M \quad (8)$$

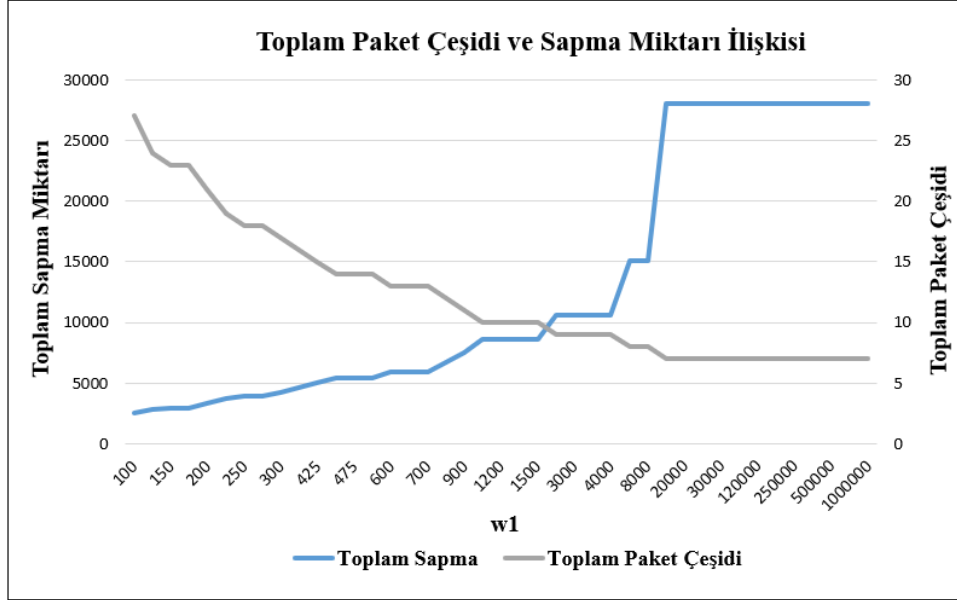
Matematiksel modelde amaç, sonuç olarak kullanılacak farklı paket boyutlarının sayısını minimize ederken, ürünlerin 3 boyutları da dikkate alınarak paket boyutu ile ürün boyutu arasındaki farkı en aza indireyecek ürün ölçüsü ve paket ölçüsü atamalarını yaptırmaktır. İzlenen strateji, yaklaşık boyutlara sahip bir grup ürün için aynı paket boyutunun kullanılmasına dayanır. Model, her bir ürünün tahmini talep değerlerini ağırlıklandırarak kullanarak önerilen paket boyutlarını belirler. Tahmini talep değeri yüksek olan ürünler, model tanımı nedeniyle önem kazanarak boyutları kendi boyutlarına yakın olan paketlere atanır.

Modelin amaç fonksiyonunda (1) belirlenen hedeflere önem düzeyleriyle doğru orantılı olarak pozitif ağırlıklar atanmış ve bu hedefler tek bir amaç fonksiyonunda ifade edilmiştir. Bununla birlikte  $w_1$  ve  $w_2$  ağırlıkları, hedeflerin önem düzeylerini belirtmek amaçlı öznel olarak belirlenmiştir. Toplam sapma miktarı toplam paket çeşidi sayısına oranla çok büyük bir rakam olacağından dolayı  $w_2$  ağırlığı 1 kabul edilirken,  $w_1$  ise toplam paket sayısına önem kazandırmak amaçlı yüksek rakamlar denenerek çalışılmıştır. Özetle, modelin amaç fonksiyonu sistemde kullanılacak farklı ölçülerdeki toplam paket sayısını ve kullanılacak paket ölçülerine göre oluşan toplam sapmayı eş zamanlı minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Modelin (2) numaralı kısıtı, her ürünün kesinlikle bir pakete atanması gerektiğini belirtirken, (3) numaralı kısıt herhangi bir pakete atanan bir ürün varsa o paketin kullanılmasını garantilemek için eklenmiştir. Kısıt (4), (5) ve (6), eğer bir ürün bir pakete atanacaksa, o zaman paket ile ürün ölçüsü arasındaki farkın sifıra eşit veya daha büyük olması gerektiğini belirtir. Bu kısıtlar, ürünlerin kendi ölçülerinden küçük ölçülerde paketlere atanmasını engeller. Modelin (7) numaralı kısıtı, paket kümesinden herhangi bir pakete atanmış olan hiçbir ürün yoksa, o paket ölçüsünün model tarafından kullanılmaması içindir. Son olarak, kısıt (9) ise karar değişkenlerinin tanım kümesini ifade eder.

Geliştirilen hedef programlama matematiksel modeli firmanın baza, başlık, markiz ve komodin ürün kategorilerindeki farklı ürün ölçüleri ile IBM ILOG CPLEX programı kullanılarak her bir kategori için ayrı ayrı çalıştırılmış ve sistemde kullanılacak farklı ölçülerdeki toplam paket sayısı ve her ürün ölçüsü için hangi standart paket ölçülerinin kullanılması gerektiği bilgisi elde edilmiştir. Buna ilave olarak,

$w_1$  ağırlığının aldığı değerler değiştikçe modelin sonucunda elde edilen ürün ölçüsü ve paket ölçüsü atamalarının da değiştiği gözlemlenmiş ve her bir ürün kategorisi için farklı  $w_1$  değerleri ile çalışılarak farklı sonuçların toplam sapma ve kullanılan farklı ölçülerdeki toplam paket sayısı değerleri raporlanmıştır. Raporlanan çıktılar ile başlık ürün kategorisi için farklı  $w_1$  değerleri kullanılarak elde edilen toplam paket çeşidi ve sapma miktarı ilişkisini gösteren grafik Şekil 1.'deki gibidir.



Şekil 1. Toplam paket çeşidi ve fire miktarı ilişkisi

Grafikte görüldüğü gibi,  $w_1$  'e verilen değer arttıkça, başlık kategorisi için kullanılan farklı ölçülerdeki paket çeşidi sayısı azalmakta ve bununla birlikte paket ölçüsünün ürün ölçüsünden sapma miktarı paket çeşidi ile ters orantılı olarak artmaktadır. Bunun sebebi, sistemde kullanılan farklı ölçülerdeki paket sayısı azaldıkça, kendi ölçüsünden daha büyük paket ölçüsüne atanmış olan ürün miktarının artıyor olmasıdır. Böylece, problemin çelişen hedeflerini oluşturan toplam paket çeşidi ve paket ölçüleri ve ürün ölçüleri arasında oluşan toplam sapma miktarının birbiri ile ilişkisi modelden alınan sonuçlarla daha net bir şekilde doğrulanmıştır.

Farklı  $w_1$  ağırlıkları kullanılarak modelden elde edilen her bir ürün ölçüsü ve paket ölçüsü atama sonucu, firmanın sahip olduğu ürünlere doğru paket ölçülerinin atanmasında kullanılmıştır. Bu atamalar yapıldıktan sonra fire analizine geçilmiştir. Fire analizleri yapılırken, bir ürüne atanan paket ölçüsü düşünüldüğünde, paket ölçüsünün toplam yüzey alanından ürünün toplam yüzey alanı çıkartılmış, böylece ürünün tüm yüzeyleri kaplandıktan sonra artan karton miktarı fire olarak düşünülmüştür.

Farklı  $w_1$  değerleri kullanılarak modelden alınan her bir sonuç için fire değerleri de bu şekilde hesaplandıktan sonra, firmanın şu anki paketleme sistemi için de toplam fire miktarı hesaplanmış, kullanılan farklı çeşitteki toplam paket sayısı da göz önünde bulundurularak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ve analizler sonucunda her bir kategori için en iyi iyileştirmenin görüldüğü toplam paket çeşidi sayısı ve oluşan standart paket ölçüleri kullanıldığında ortaya çıkan fire miktarı ve yüzdelik iyileştirme değerleri Tablo 1.'de görüldüğü gibidir.

Kategori	w1	Standart Karton Sayısı	Eski Sistem Toplam Fire (cm <sup>2</sup> )	Yeni Sistem Toplam Fire (cm <sup>2</sup> )	Yüzdelik İyileştirme (%)
Baza	12000	10	13078412,75	9657168	26
Başlık	1100	8	5627897,75	4113180	27
Markiz	20	8	120188	67826	44
Komodın	Etki etmez	3	-	-	-

Tablo 1. Kategori bazında standart karton sayısı ve firede görülen yüzdelik iyileştirme

Elde edilen sonuçlara göre maliyet kıyaslamasının yapılabilmesi için öncelikle her bir kategorideki tüm ürünler için şu anki sistemin toplam karton kullanım maliyeti hesaplanmıştır. Sonrasında her bir ürün kategorisi için modelden elde edilen standart karton ölçülerinin maliyet değerlerini elde edebilmek adına firmanın şu anki kullandığı karton maliyet bilgileri kullanılarak kartonun birim maliyeti hesaplanmış, yeni sistemde kullanılacak standart karton ölçüleri için maliyet değerleri elde edilmiştir.

Bu aşamadan sonra yapılan maliyet kıyaslamaları ve yüzdelik iyileştirme miktarı kategori bazında incelendiğinde Tablo 2.'de görüldüğü gibidir. Bununla birlikte komodin ürün kategorisinde standart karton ölçüleri elde edilmesine rağmen fire ve maliyet kıyaslamaları veri eksikliğinden dolayı yapılamamıştır.

Kategori	w1	Standart Karton Sayısı	Eski Sistem Toplam Maliyet (TL)	Yeni Sistem Toplam Maliyet (TL)	Yüzdelik İyileştirme (%)
Baza	12000	10	19295,84	18435,54	4,46
Başlık	1100	8	6875,12	6143,82	10,64
Markiz	20	8	296,74	145,6	50,93
Komodin	Etki etmez	3	-	-	-

Tablo 2. Kategori bazında maliyette görülen yüzdelik iyileştirme oranları

#### IV. SONUÇ

Bu proje, Yatsan A.Ş.'nde paketleme sürecinde kullanılan karton fire miktarını en aza indirmek ve var olan ürünlerin talepleri doğrultusunda, ürünler için gerekli olan standart paket ölçülerini belirlemek için yapılmıştır. Halihazırda kullanılan sistem ve sistem ihtiyaçları analiz edilmiş ve gözlenen soruna en uygun matematiksel model geliştirilmiştir. Modelden alınan sonuçlar doğrultusunda firmanın paketleme sisteminde başlıklar için toplam 8, bazalar için 10, markizler için 8 ve komodin için 3 farklı karton ölçüsü kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ortaya çıkan yeni sistemde gerekli karşılaştırmaların yapılabilmesi için öncelikle eski sisteme ait geçmiş 3 yılın satış verileri ürün kategorilerine ayrılarak firmanın kullandığı paketleme sistemi için bu ürünlerde fire ve maliyet analizi yapılmıştır. Bu veriler, yeni geliştirilen standart paketleme sistemi kullanıldığında ortaya çıkan maliyet ve fire rakamları ile kıyaslanmıştır. Bu kapsamda iyileşme miktarı fire miktarı açısından, baza ürün kategorisinde yüzde 26, başlık ürün kategorisinde yüzde 27 ve markiz ürün kategorisinde yüzde 44 oranındadır. Fire miktarında gözlenen iyileşmenin doğrudan bağlantılı sonucu olarak da maliyette gözlenen iyileşmeler baza kategorisinde yüzde 4,46, başlık kategorisinde yüzde 10,64 ve markiz kategorisinde yüzde 50,93'tür. Eski sistemde işçi deneyim ve tecrübelerine göre karar verilerek uygulamaya geçilen paketleme sistemi, matematiksel yöntemler uygulanarak iyileştirilmiş ve kaynakların daha verimli kullanıldığı bir sisteme dönüştürülmüştür. Böylelikle proje sonucunda, iş gücüne bağımlılığı ortadan kaldıran, fazladan paketleme maliyetlerini düşüren ve fire miktarını azaltan kullanışlı bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Excel VBA ara yüzleri ile oluşturulmuş kullanıcı dostu karar destek sisteminin çıktısı, gelen sipariş listesindeki ürün ölçüleri için uygun olan en iyi paket sistemi atamasını göstermekte ve kullanılan karton miktarlarına göre ise stok takibi yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Proje geliştirilmek ve iyileştirilmek istendiği takdirde ilk aşamada kullanılan karton kalitesi değiştirilmeden maliyet çalışması yapılarak daha düşük maliyete sahip fakat aynı kalitede karton kullanılması önerilebilir. Farklı bir seçenek olarak ise, şirketin talep odaklı ölçüye göre üretimi yerine sadece kendi belirlediği standart ölçüler için üretim yapması tavsiye edilebilir.

#### REFERANSLAR

- [1] Alvim, A. C. F., Aloise, D. J., & Glover, F. (2001). A Hybrid Improvement Heuristic for the Bin Packing Problem. 4th Metaheuristics International Conference, 10(2), 63–68. <http://doi.org/10.1023/B:HEUR.0000026267.44673.ed>
- [2] Egeblad J. (2008). Heuristics for Multidimensional Packing Problems. <http://hjemmesider.diku.dk/~jegeblad/phd.pdf>
- [3] Haouari, M., & Serairi, M. (2009). Heuristics for the variable sized bin-packing problem. *Computers and Operations Research*, 36(10), 2877–2884. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2008.12.016pdf>
- [4] Ilıcak, I. (2003). *Bi-objective bin packing problems* (Master's thesis). Retrieved from <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/2/1079987/index.pdf>
- [5] Lodi, A., Martello, S., & Monaci, M. (2002). Two-dimensional packing problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 141(2), 241–252. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00123-6](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00123-6)
- [6] Wilson, R. C. (1965). A Packaging Problem. *Management Science*, 12(4), B-135-B-145. <http://doi.org/10.2307/2627807>
- [7] Wu, H., Leung, S. C. H., Si, Y., Zhang, D., & Lin, A. (2017). Three-stage heuristic algorithm for three-dimensional irregular packing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 41, 431–444. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.09.018>



**YAŞAR  
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **ARA STOK SEVİYELERİNİN BELİRLENME SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

**M. Esra ERVATAN, Selen ÜÇKARDEŞ, Buket PİRCİ, Berfin TAŞ,  
Eser SARAÇOĞLU, Şükrü SİMİTÇİOĞLU, Alper KILIÇ**

**Akademik Danışmanlar**

**Dr. Öğr. Üyesi Gizem MULLAOĞLU, Selen Burçak AKKAYA**

**Şirket Danışmanı**

**Tülin ÖZGÜR**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Üretim sistemlerinde, ara stok tespiti en önemli optimizasyon problemlerinden biri olarak değerlendirilir. Optimum ara stoklar, envanter tutma maliyetleri göz önünde bulundurularak, önceden belirlenmiş servis seviyesine ulaşmak için iş istasyonları arasına konumlandırılmalıdır. Bu çalışmada, ray üretimi yapan Delphi Technologies'in ara stok problemi incelenmiştir. Amaç, sistemdeki darboğazı ortadan kaldırmak ve sürekli üretimi sağlamak için, her ürün tipinin farklı işlem süreleri, her makinenin değişen üretim süreleri ve her ürün tipinin farklı işlem akışları dikkate alınarak, her ürün tipi için ara stokların ne kadar depolanması gerektiğine karar vermektir. Proje kapsamında, çözüm yöntemi olarak simülasyon modeli kurulmuştur. Geliştirilen çözüm yöntemi problemde ele alınan üretim sistemine özgüdür. Excel VBA ile Arena Simülasyon Yazılımı entegre edilerek bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin, bilimsel yöntemle dayandırılmadan belirlenen ara stok seviyelerinden kaynaklanan çeşitli semptomları önleyeceği, makinelerin dengeli kullanımını sağlayacağı, makinelerin tip değişiminden kaynaklanan kayıpları düşüreceği öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, bu yöntem sayesinde karşılaştırmalı olarak farklı ara stok seviyelerinin performans ölçütlerine etkisinin gözlemlenebileceği öngörülmektedir.

## II. PROBLEM TANIMI

Delphi Technologies, gaz, hibrit ve dizel motor parçaları, özellikle ray ve enjektör için güç aktarma teknolojileri geliştirmektedir. Delphi Technologies 2002 yılından beri Ege Serbest Bölge'de faaliyet göstermektedir. Şirket dünyadaki çeşitli markalar için farklı tiplerde ray üretimi yapmaktadır.

Ray üretimi, gövdenin işlenmesi, montaj, paketleme, sevkiyat gibi çeşitli ana operasyonlardan oluşur. Belirtilen operasyonlarda, aynı işlem farklı makineler tarafından yapılabilmektedir. Ayrıca, her ürün tipi üretimde farklı bir işlem yolu izlemektedir. İşlem akışında, belirli ürün tipi için önceliklendirilmiş makineler ve yetkinliklerine göre ürün işleyebilen makineler bulunmaktadır. Ürün tipine bağlı süreç akışından ve üretimde gözlemlenen makine çeşitliliğinden ürünlerin işlem sürelerinde farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar, darboğaz oluşmasına, üretimde durmalara, fazla stok tutma ve fazla mesai maliyetine sebep olmaktadır. Şirket, bu sorunları ortadan kaldırabilmek için her bir ürün tipi için bilimsel yöntemle dayandırılmadan belirlenen miktarlarda ara stok tutmaktadır. Fakat yapılan gözlemlerde, belirlenen ara stok miktarının gereğinden fazla olduğu durumlarda, bu fazlalığın üretim alanındaki yürüme yollarını kapattığı, ara stok alanında aşırı doluluğa ve stok tutma maliyetinde artışa neden olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, ara stok miktarının gereğinden az olduğu durumlarda karşılanamayan siparişler ve üretimde durmalar gözlemlenmektedir. Karşılanamayan siparişler müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyebildiği için şirket, belirli ürün tipleri için en iyi ara stok miktarını tutmayı tercih etmektedir. Ara stok tutulacak ürün tiplerine, talep miktarına ve makine önceliğine bakılarak karar verilir. Talebi az olan kolaylıkla karşılanabilen ürün tipleri için ara stok tutulmasına gerek yoktur.

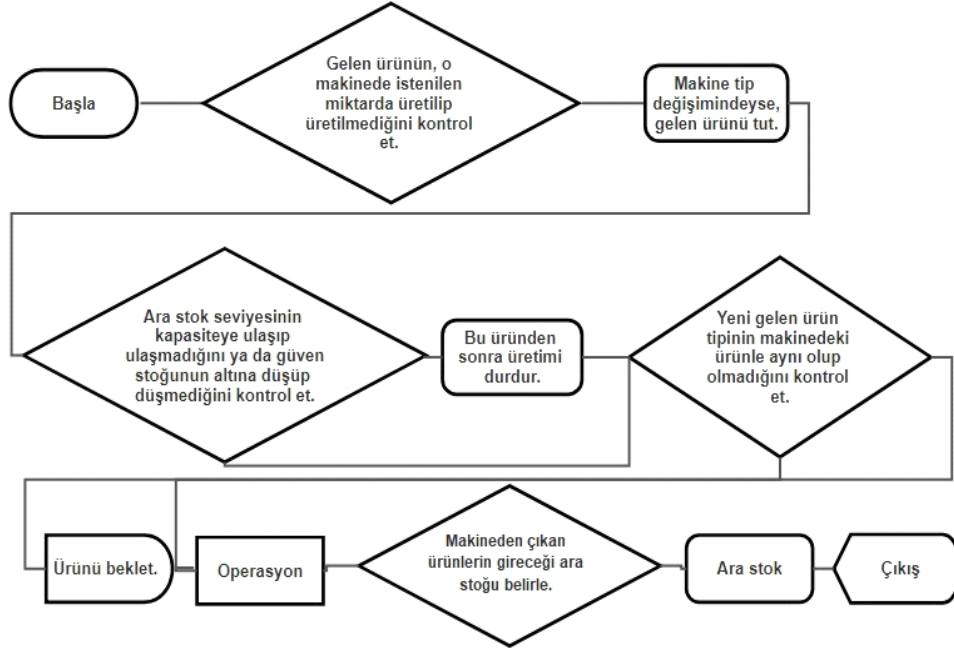
Mevcut üretim sisteminde gözlemlenen semptomlar ara stok fazlalığı ve yetersiz ara stok seviyelerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu proje kapsamında, ara stok seviyelerinin bilimsel bir yöntemle belirlenmesi ve üretim sisteminde görülen semptomların iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Ürün bazlı ideal ara stok seviyeleri, her bir ürün tipinin makine akışı ve makinelerin işlem süreleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen ürün bazlı ara stok seviyelerine göre, müşteri talebinin karşılanma yüzdesinin ve makine kullanımının da iyileşmesi hedeflenmektedir.

Proje çıktısı olarak, farklı senaryoların denenmesini ve farklı objektiflere göre en iyi senaryonun seçilmesini sağlayan kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

## III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Problemde birçok değişkene sahip üretim sistemini modelleyebilmek için Arena Simülasyon Yazılımı kullanılarak bir benzetim modeli geliştirilmiştir. Arena yazılımı literatürde de üretim sistemleri modellemek için kullanılmıştır (Singhania & Bilollikar, 2017). Simüle ettiğimiz üretim sisteminde, Operasyon10 ve Operasyon20 olmak üzere iki ayrı istasyon bulunmaktadır. Her bir istasyonda, ürünü işleyebilecek çeşitli üretim kaynakları bulunmaktadır. Bu üretim kaynakları, aynı işlemi farklı sürelerde yapan ve ürün kabiliyetleri farklı olan makinelerdir. Operasyon bazlı makine sayıları Operasyon10'da on üç ve Operasyon20'de on adettir. Geliştirilen simülasyon modelinde kullanılan akış mantığı Şekil 1'de gösterilmiştir.





Şekil 1. Simülasyon Akış Diyagramı

Simülasyon modelinde her bir makine ve ürün tipi için bazı kontroller yapılmalıdır. Her bir ürünün ara stok seviyesi, ürünlerin makinelerdeki işleme önceliği kontrol edilir ve her bir ürün tipi makineler atanmış üretim miktarı kadar üretilir. Ara stok seviyesi kontrolü istasyonun üretim hattındaki konumuna göre yapılır. Eğer istasyon üretim hattının ilk istasyonu ise istasyonun önündeki hammadde stoğu sınırsız kapasiteli kabul edildiğinden kontrol edilmez. Aynı istasyonun arkasındaki ara stok seviyesi belirlenen kapasite değerine ulaştığında, bu istasyonda üretim ara stok seviyesi kapasite değerinin altına düşene kadar durur. Eğer istasyon üretimin devamlılığını yarı mamülleri kullanarak sağlıyorsa, istasyonun önündeki yarı mamül ara stoğu kontrol edilir. Örneğin, istasyonun önünde yarı mamül ara stoğu bulunmuyorsa, bu yarı mamül iş parçası için istasyonda üretim başlayamaz. Eğer istasyon üretim hattının son istasyonu ise, arkasındaki bitmiş ürün stoğu sınırsız kapasiteli kabul edildiğinden kontrol edilmez. Her bir ürün tipi için ara stok seviyesi gerekli artışlar ve azalışlar yapılarak güncellenir.

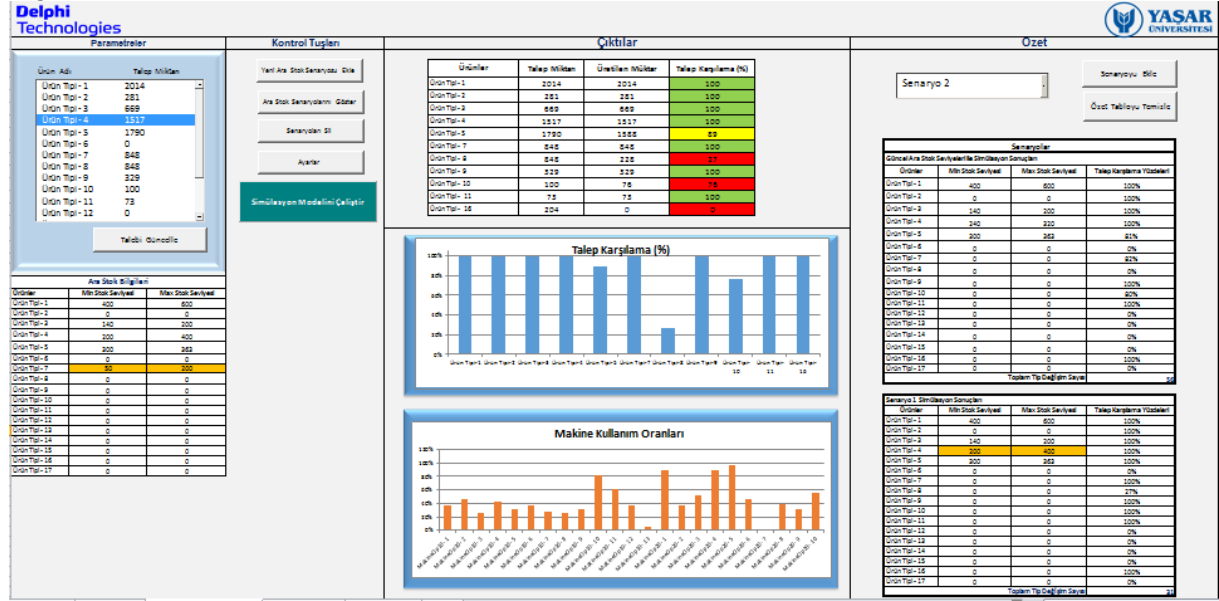
Ürünlerin makinelerdeki işleme önceliğine ve günlük talep listesine bakılır, talebi en çok olan ürünle üretime başlanır. Bu öncelik sisteminin amacı, müşteri taleplerinin belirlenen süre içerisinde üretilerek sevkiyatın geciktirilmemesini sağlamaktır. Ürün taleplerinin ne kadarının hangi makinede üretilmeyeceğine, o ürün tipini yapma kabiliyeti olan makinelerin sayısına ve her bir makinenin doluluk oranına bakılarak karar verilir.

Makinelerde tip değişiminin gerçekleşebilmesi için her bir ürün tipinin ara stok miktarının belirlenen kapasite değerine ulaşmış veya yapılan üretimin makinelerde her bir ürün tipi için belirlenmiş üretim miktarına ulaşmış olması gerekmektedir. Makinelerde tip değişimi olması durumunda, tip değişimi olan makinede önceden belirlenmiş tip değişimi süresi kadar gecikme modele yansıtılır.

Kullanılan çözüm yönteminin dinamik hale getirilmesi için, kullanıcı dostu ara yüze sahip bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Karar Destek Sistemi (KDS), Excel Visual Basic for Applications ara yüzü kullanılarak geliştirilmiştir. Programın ana ekranını (Şekil 2) girdiler, çıktılar ve senaryo özetleri olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Kullanıcılar, "Talebi Güncelle" butonu ile var olan ürün tiplerinin haftalık talep miktarları otomatik olarak sisteme çekebilir. Ürün tiplerinin haftalık talep miktarlarına göre, başlangıç minimum ve maksimum stok seviyeleri varsayımlara göre hesaplanır. Yapılan varsayım, her bir ürün tipi için o ürünün minimum stok seviyesi talebinin %10'u ve maksimum stok seviyesinin talebin %15'i kadar olabileceği esasına dayanır. Hesaplanan stok değerleri ara stok bilgileri tablosuna getirilir. Kullanıcılar, otomatik olarak oluşturulan stok seviyelerini "Yeni Ara Stok Senaryosu Ekle" butonu ile değiştirebilirler. Bu butonla açılan Şekil 3'teki "Ara Stok Seviyeleri Giriş Ekranı" sayesinde seçilen ürün tipi için ara stok seviyeleri değiştirilerek yeni ara stok senaryosu oluşturulabilir.

Ayrıca kullanıcılar, mevcut olan farklı butonlar ile senaryo silebilir, ürünlerin talep bilgisi değiştirilebilir. Bu sayede, kullanıcıların programı aktif bir şekilde kullanarak, farklı senaryolar için

sistemi simüle etmesi ve senaryolar arasında kıyaslama yaparak en iyi ara stok seviyesini seçmesi sağlanmıştır.



Şekil 2. KDS Ana Sayfası

The screenshot shows the 'Ara Stok Seviyeleri Giriş Ekranı' (Inventory Levels Input Screen) dialog box. It contains the following elements:

- Header:** 'Ara Stok Seviyeleri Giriş Ekranı' with a close button (X).
- Text:** 'Ara Stok seviyelerini değiştirmek istediğiniz ürünü seçiniz ve ara stok seviyelerini giriniz.' (Select the product you want to change inventory levels for and enter the inventory levels.)
- Form:** A dropdown menu for 'Ürün Adı' (Product Name).
- Section:** 'Operasyon 10' (Operation 10).
- Inputs:** Two text boxes for 'Minimum Ara Stok Seviyesi' (Minimum Inventory Level) and 'Maximum Ara Stok Seviyesi' (Maximum Inventory Level).
- Buttons:** 'Tamam' (OK) and 'Çıkış' (Cancel) buttons.

Şekil 3. Ara Stok Seviyeleri Giriş Ekranı

Girilen veriler için “Simülasyon Modelini Çalıştır” butonu ile geliştirilen simülasyon modeli çalıştırılır. Simülasyon modelinin çıktıları “Senaryo” sayfasında görülür. Birden fazla ara stok senaryosunun denenmesi durumunda, senaryoların çıktıları detaylıca “Senaryo” sayfasına yazdırılır. Ayrıca, son oluşturulan ara stok senaryosunun ayrıntılı sonuçlarına ana ekrandan da erişilir. Seçilen ara stok seviyesi senaryoları için simülasyon modelinin çıktıları ana ekrandaki “Senaryo Özetleri” kısmına özet olarak gelir. Seçilen senaryolar arasından performans çıktılarına göre en iyi olan ara stok senaryosunun fark edilebilirliği otomatik olarak artırılır. Bu uygulama ile kullanıcıların farklı ara stok seviyelerinin çıktılarına olan etkisini görmesi sağlanmıştır.

#### IV. SONUÇ

Bu projede Delphi Technologies şirketinin ara stok problemi çalışılmış, makro ve mikro analizler yapılmış ve bu doğrultuda mevcut sistemdeki ara stok seviyelerinin ve ara stok seviyesi belirleme sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Projenin sonunda farklı senaryoların denenmesini mümkün kılan bir simülasyon modeli ve karar destek sistemi yaratılmıştır. Kullanıcının, farklı objektiflere göre simüle edilen senaryolar arasından en uygun ara stok seviyelerini seçmesi sağlanmıştır. Bu proje sayesinde önceden bilimsel yöntemlere dayandırılmadan belirlenen tip bazlı ara stok seviyeleri, kullanışlı bir karar

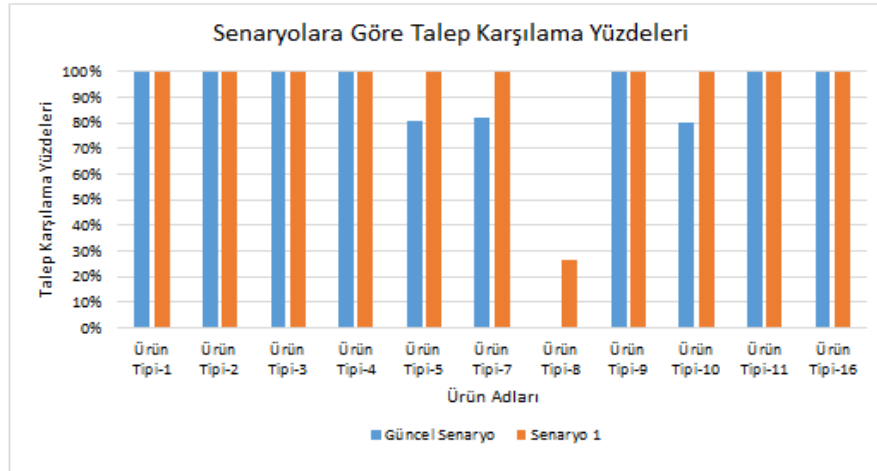
destek sistemi üzerinden bilimsel yöntemle belirlenmiştir. Arena Simülasyon Yazılımı ile Excel VBA entegre edilerek geliştirilmiş kullanıcı dostu karar destek sistemi, kullanıcıların tip bazlı ürün taleplerine göre farklı ara stok senaryoları deneyebilmesine olanak sağlamıştır.

Geliştirilen çözüm yönteminin farklı senaryolarda nasıl sonuç verdiğini gözlemek adına simülasyon modeli şirketten alınan farklı verilerle denenerak doğrulanmıştır. Geliştirilen senaryolarda, ara stok tutulması gereken ürün tiplerinin minimum ve maksimum ara stok seviyeleri değiştirilerek makine kullanım oranlarına etkileri analiz edilmiştir. Test edilen senaryolardaki ara stok değişiklikleri güncel seviye çıktılarına göre her zaman daha iyi sonuç vermemekle beraber daha iyi çıktılar da elde edilmiştir. İyileştirme elde edilen senaryo ile güncel senaryonun ara stok seviyeleri Tablo 1’de görülmektedir. İki senaryo arasındaki temel fark Ürün 4’ün ara stok değerleridir.

Tablo 1. Güncel Senaryo ve İyileştirme Elde Edilen Senaryoların Ara Stok Değerleri

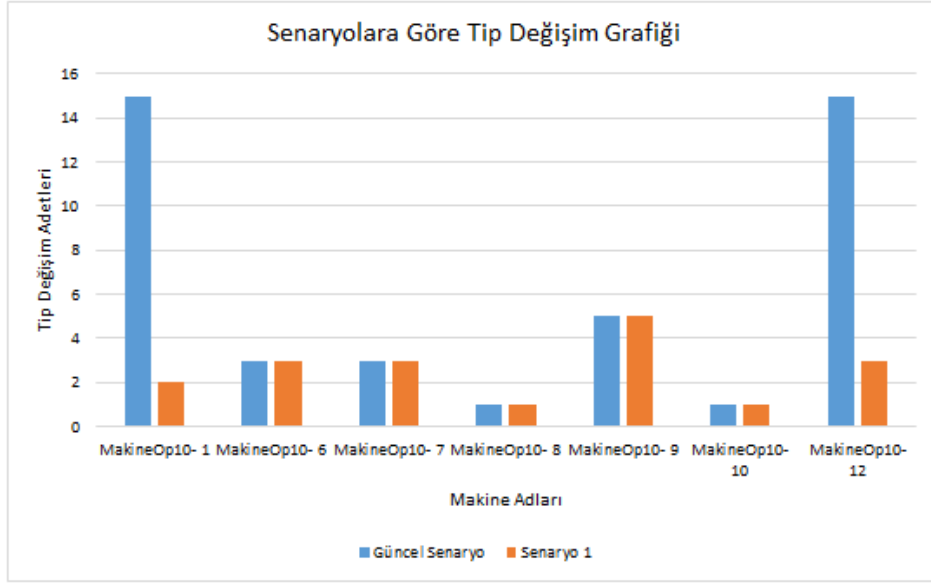
Ürünler	Min Stok Seviyesi	Max Stok Seviyesi	Ürünler	Min Stok Seviyesi	Max Stok Seviyesi
Ürün Tipi-1	400	600	Ürün Tipi-1	400	600
Ürün Tipi-2	0	0	Ürün Tipi-2	0	0
Ürün Tipi-3	140	200	Ürün Tipi-3	140	200
Ürün Tipi-4	240	320	Ürün Tipi-4	200	400
Ürün Tipi-5	300	363	Ürün Tipi-5	300	363
Ürün Tipi-6	0	0	Ürün Tipi-6	0	0
Ürün Tipi-7	0	0	Ürün Tipi-7	0	0
Ürün Tipi-8	0	0	Ürün Tipi-8	0	0
Ürün Tipi-9	0	0	Ürün Tipi-9	0	0
Ürün Tipi-10	0	0	Ürün Tipi-10	0	0
Ürün Tipi-11	0	0	Ürün Tipi-11	0	0
Ürün Tipi-12	0	0	Ürün Tipi-12	0	0
Ürün Tipi-13	0	0	Ürün Tipi-13	0	0
Ürün Tipi-14	0	0	Ürün Tipi-14	0	0
Ürün Tipi-15	0	0	Ürün Tipi-15	0	0
Ürün Tipi-16	0	0	Ürün Tipi-16	0	0
Ürün Tipi-17	0	0	Ürün Tipi-17	0	0

Karar destek sistemi çıktı olarak, denenen ara stok seviye senaryolarının performans ölçütlerine etkisini kıyaslar, kıyaslamaları grafikler ile gösterir ve kıyaslamaların sonucunda en iyi performans ölçütünü veren senaryodaki ara stok miktarını seçer. İyileştirme elde edilen senaryo ile güncel senaryonun çıktıları kıyaslandığında, ürün taleplerinin karşılanma yüzdelerindeki değişiklik Şekil 4’te görülmektedir. Ürün 4’ün ara stok seviyelerinde yapılan değişiklik ile ürün 5, 7, 8 ve 10’un taleplerinin karşılanma yüzdelerinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Senaryolara Göre Talep Karşılama Yüzdeleri

İyileştirme elde edilen senaryo ile güncel senaryo arasındaki makinelerdeki tip değişim sayıları Şekil 5’te gösterilmiştir. Önerilen senaryo ile makinelerdeki tip değişimi 56’dan 31’e düşürülmüştür. Makinelerdeki tip değişiminin ortalama bir saat sürdüğü düşünülürse, tip değişiminin sebep olduğu kayıp zamanda %45 oranında iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 5. Senaryolara Göre Tip Değişim Grafiği

Bilimsel yaklaşım ile hazırlanan simülasyon modeli ve karar destek sistemi sayesinde talep karşılama oranında artış ve tip değişim sayılarında azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, farklı ara stok senaryoları için performans ölçütlerini kıyaslayarak ara stok seviyesi belirleyen karar destek sistemi, Delphi Technologies şirketinin Gazimир'deki üretim tesisi için tasarlanmıştır.

#### REFERANSLAR

Singhania, R. H., & Bilolihar, V. S. (2017). Application of Simulation for Manufacturing System Management - A case study. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability Vol. 12(1)*, 126-135.



**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **YATSAN İÇİN GÜNLÜK SEVKİYAT PLANI**

**Atakan TÜRKYILMAZ, Bartu ARSLAN, Batuhan TAŞ, Çağlar SU, Deniz Gülce**  
**DAĞISTANLIOĞLU, Ozan BOLEL, Özlem ERDİN**

**Akademik Danışmanlar**

**Doç. Dr. Banu YETKİN EKREN, Araş.Gör. Cansu YURTSEVEN**

**Şirket Danışmanı**

**Süleyman Çolak**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Proje kapsamında, Yatsan firması için günlük sevkiyat planını en iyi şekilde yapan, çözüm yöntemleri geliştirerek, bunu Excel-Makro tabanlı bir araca dönüştürmek için çalışmalar yapılmıştır. Sevkiyat planında, araç kapasite kısıtı da göz önünde bulundurularak, problemin araç rotalama problemi olarak çözülmesi amaçlanmıştır. Problemin girdileri talep noktaları (müşteri adresleri), her bir müşterinin talep miktarı (ürün hacimleri), sevkiyat araçlarının kapasiteleri ve araç sayılarıdır. Çıktılar ise, her bir aracın sevkiyat planı ve bu bağlamda takip edilmesi gereken araç rotalarıdır. Bu uygulama sayesinde, araç hacimlerinin kullanım oranları da artırılarak, sevkiyatın düşük maliyetle gerçekleştirilmesi sağlanacaktır.

Geliştirilen kullanıcı dostu karar destek sisteminde (KDS), hem matematiksel model hem de sezgisel bir çözüm yöntemi yer almaktadır. Müşteri sayısının yirmiden fazla olduğu durumlarda matematiksel modelin çözüm süresinin beklenenden fazla olması halinde bu duruma alternatif olacak sezgisel yöntemin kullanılması amaçlanmıştır. Karar destek sistemine bütünleşmiş edilen sezgisel algoritma çalıştırılarak en iyiye yakın çözümün elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu karar destek sisteminde, kullanıcılar için hazırlanan rapor sistemi ile çalışan personel, geçmişe yönelik ürün ve adres takibini bu çıktı üzerinden yapabilecektir.

## II. PROBLEM TANIMI

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 m<sup>2</sup> alana yayılmış üretim tesisinde yaklaşık 800 personel 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.

Fabrika, yatak ve döşemeli grubu ürünlerinin, üretim, satış ve dağıtımını üstlenmektedir. Mevcut sistemde ilk aşama olarak, faturası kesilen ve sevkiyata hazır edilen yatak, yatak başlığı, baza gibi ürünler depodan çekilerek sevkiyat alanına taşınmaktadır. Daha sonra ürünler müşteri adreslerine göre, araçlara kapasite kontrolü olmaksızın şirket çalışanlarının tecrübelerine göre yerleştirilmektedir. Bu gibi durumlar, araçlarda hacim kullanım oranı düşüklüğüne yol açarak, araçların kapasite verimliliklerini düşürmektedir. Bununla beraber rota planı, personelin kararına bırakılarak mesafe ve iş gücü kaybına yol açılmaktadır. Belirlenen rota, herhangi bir bilimsel temele dayandırılmadan tamamen sevkiyat personelinin bölge deneyimlerine dayalı yapılması da sevkiyat mesafelerini artırabilmekte, gecikmelere sebep olabilmektedir. Bir sevkiyat personelinin işten ayrılması durumunda, yeni gelecek olan personelin işi öğrenmesi ve adaptasyonu sırasında çok ciddi maddi kayıplar yaşanabilmektedir. Bu sebeplerden ötürü, kişi temelli yürütülen sevkiyat süreci yerine, bir yazılım ile yürütülecek süreç, çok daha uzun ömürlü ve verimli olacaktır.

Literatür araştırmalarında, problemimize uygun olarak iki makaleden faydalanılmıştır. Bunlardan biri olan kapasiteli araç rotalama hakkında ki "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing" isimli makale probleme uygun atama kısıtları içermektedir [1]. Bunun yanı sıra, problemimiz klasik araç rotalama problemlerinden farklı olarak, sevkiyat için fabrikadan yola çıkan aracın tekrardan fabrikaya dönmeyip son teslimat noktasında kaldığını varsaymasıdır. Bu farklılık yapılan araştırmaları, farklı bir araç rotalama problemi olan açık araç rotalama problemine yönlendirmiştir [2].

Şirketten gelen talepte araçların sevkiyatı tamamlandıktan sonra fabrikaya dönmediği, bu sebepten ötürü çözüm sunulurken araçların son sevkiyat noktasında bırakılması belirtilmiştir. Literatürde yer alan klasik rotalama problemleri araçları başlangıç noktasına döndürmektedir. Bu durum bizim problemimiz için rotalarda olası değişiklikler yaratacağından sorun teşkil etmektedir. Başlangıca dönen araçlar, açık uçlu problemlerde ki araçlara göre dairesel rotalara sahip olduklarından katedilen olası mesafe ve çözüm değişecektir.

Genel hatlarıyla proje kapsamındaki hedefimiz, kullanıcının geliştirilmesi planlanan karar destek sistemi ile birlikte, araç rotalama ve kapasite kullanımını tek bir model ile görmesini ve süreci yönetmesini sağlamaktır. Modellerin başlıca performans ölçütleri, araç kapasite kısıtlarını göz önünde bulundurularak, rota mesafesini kısaltmaktır.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Literatür araştırmasının sonucunda projeye en uygun problem tipi olan “Kapasite Kısıtlı Açık Uçlu Araç Atama ve Rotalama Problemi” problem tipinden faydalanılarak matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model oluşturmak için bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlar aşağıda listelenmiş bir biçimde yer almaktadır:

- Bütün müşterilerin talepleri ve taleplerin hacimleri bilinmektedir.
- Bütün müşterilerin adresleri bilinmektedir.
- Tek bir müşterinin talep hacmi bir aracın kapasitesini aşamaz.
- Müşteri talebi hacimce bölünüp birden fazla araca atanamaz.
- Araçların kapasiteleri eşit ve  $17 \text{ m}^3$ 'tür.
- Araç sayısı bütün talepleri karşılamaya yetecek kadardır.
- Araç yükleme ve dağıtım süreleri ihmal edilmiştir.
- Dağıtım, depodan başlamakta ve son müşteride bitmektedir (açık uçlu araç rotalama problemi).
- Ürünlerin sadece hacimleri göz önünde bulundurulmakta ve ürün şekilleri ihmal edilmiştir.

Kapasite kısıtlı, açık uçlu bir araç rotalama problemi için geliştirilen matematiksel modelde kullanılan parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlar aşağıda verilmiştir.

Parametreler:

$K$  : Toplam araç sayısı

$N$  : Toplam müşteri sayısı

$d_{ij}$  : Müşteri  $i$  ile müşteri  $j$  arasındaki mesafe,  $j = 2, \dots, N; i = 1, \dots, N$

$Q_i$  : Müşteri  $i$  için siparişlerin toplam hacmi,  $i = 2, \dots, N$

$C_k$  :  $k$  aracının kapasitesi,  $k = 1, 2, \dots, K$

Karar Değişkenleri:

$U_i$  = Alt tur eleme kısıtı için kullanılan karar değişkeni

$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ aracı müşteri } i \text{ den müşteri } j \text{ ye yolculuk yapıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{eğer müşteri } i \text{ nin siparişi } k \text{ aracıyla taşınıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

Matematiksel Model:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \sum_k^K \sum_i^N \sum_j^N d_{ij} x_{ijk}$$

Kısıtlar:

$$\sum_k^K y_{ik} = K \quad i = 1 \quad (1)$$

$$\sum_k^K y_{ik} = 1 \quad i = 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_i^N x_{ijk} = y_{jk}, \quad j = 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_j^N x_{ijk} \leq y_{ik}, \quad k = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_i^N Q_i y_{ik} \leq C_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$U_i + 1 = U_j + M(1 - x_{ijk}), \quad i = 2, \dots, N \quad (6)$$

$$U_i + 1 = U_j + M(1 - x_{ijk}), \quad j = 2, \dots, N \quad (6)$$

$$U_i + 1 = U_j + M(1 - x_{ijk}), \quad k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$U_i + 1 = U_j + M(1 - x_{ijk}), \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ veya } 1, \quad j = 2, \dots, N \quad (7)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ veya } 1, \quad k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ veya } 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ veya } 1, \quad k = 1, \dots, K \quad (8)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ veya } 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ veya } 1, \quad k = 1, \dots, K \quad (8)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ veya } 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$U_i \geq 0, \quad i = 2, \dots, N \quad (9)$$

Bu kısıtlara göre;

Amaç fonksiyonu, depo ile müşteriler arasındaki toplam yolculuk mesafesini en aza indirmektedir. Kısıt (1) bütün araçları depodan çıkmaya zorlar. Kısıt (2) her  $i$  müşterisine tek bir  $k$  araç atamaya zorlar. Kısıt (3) ve (4) rota oluşturmaktadır. Kısıt (5) ürün ataması sırasında araç kapasitesini aşmamaya zorlamaktadır. Kısıt (6) oluşabilecek alt turları ortadan kaldırmaktadır. Kısıt (7) ve (8) her  $x_{ijk}$  ve  $y_{ik}$  karar değişkenini ikili değişken olmaya zorlar. Kısıt (9) alt tur eleme karar değişkenlerinin negatif olmama şartını sağlamaktadır.

Model, IBM ILOG CPLEX programı kullanılarak kodlanmıştır. Matematiksel modelin doğruluğunu teyit etmek amacıyla, küçük bir vaka problemi yaratılarak, öncelikle manuel çözülmüştür. Daha sonra matematiksel model sonucu ile karşılaştırılıp ve sonuçların aynı olduğu görülmüştür. Yaratılan vaka örneğinin, Tablo 1’de uzaklık matrisi, Tablo 2’de müşterilerin talep hacimleri ve Tablo 3’te çözümü verilmiştir.

Tablo 1. UZAKLIK MATRİSİ (KM)

	2	3	4	5	6
1	7	5	3	10	7
2	-	2	10	17	14
3	2	-	8	15	12
4	10	8	-	3	4
5	17	15	7	-	3
6	14	12	4	3	-

Tablo 2. MÜŞTERİLERİN TALEP HACİMLERİ

	2	3	4	5	6
	10	7	8	5	4

Tablo 3. ÇÖZÜM

	Araç 1	Araç 2
<b>Rota</b>	1-3-2	1-4-5-6
<b>Doluluk (m<sup>3</sup>)</b>	17	17
<b>Toplam Mesafe (km)</b>	7	9

Ardından, matematiksel modelin çözüm bulabilme süresinin, araç ve müşteri sayısına bağlı olarak nasıl değiştiğini gözlemlemek amaçlı, Tablo 4’tek gibi senaryolar yaratılmıştır. Literatürde, araç rotalama problemi “NP-zor” olarak bilinmektedir. Dolayısıyla, müşteri sayısının belli bir sınırdan sonra artışı ile çözüm süresinin üssel olarak arttığı da gözlemlenmiştir. Tablo 4’ün son sütunu, matematiksel modelin çözüm süresini saniye olarak vermektedir. Testler CPLEX 12.6.3 programında i7 6700 işlemcili 32 GB RAM’li bilgisayarda yapılmıştır. Özellikle, 40 müşteri noktası ile, matematiksel modelin çözüm süresinin oldukça uzaması sebebiyle, bu durumlar için kullanılmak üzere, uygun sezgisel algoritmaların araştırılmasına yönelinmiştir.

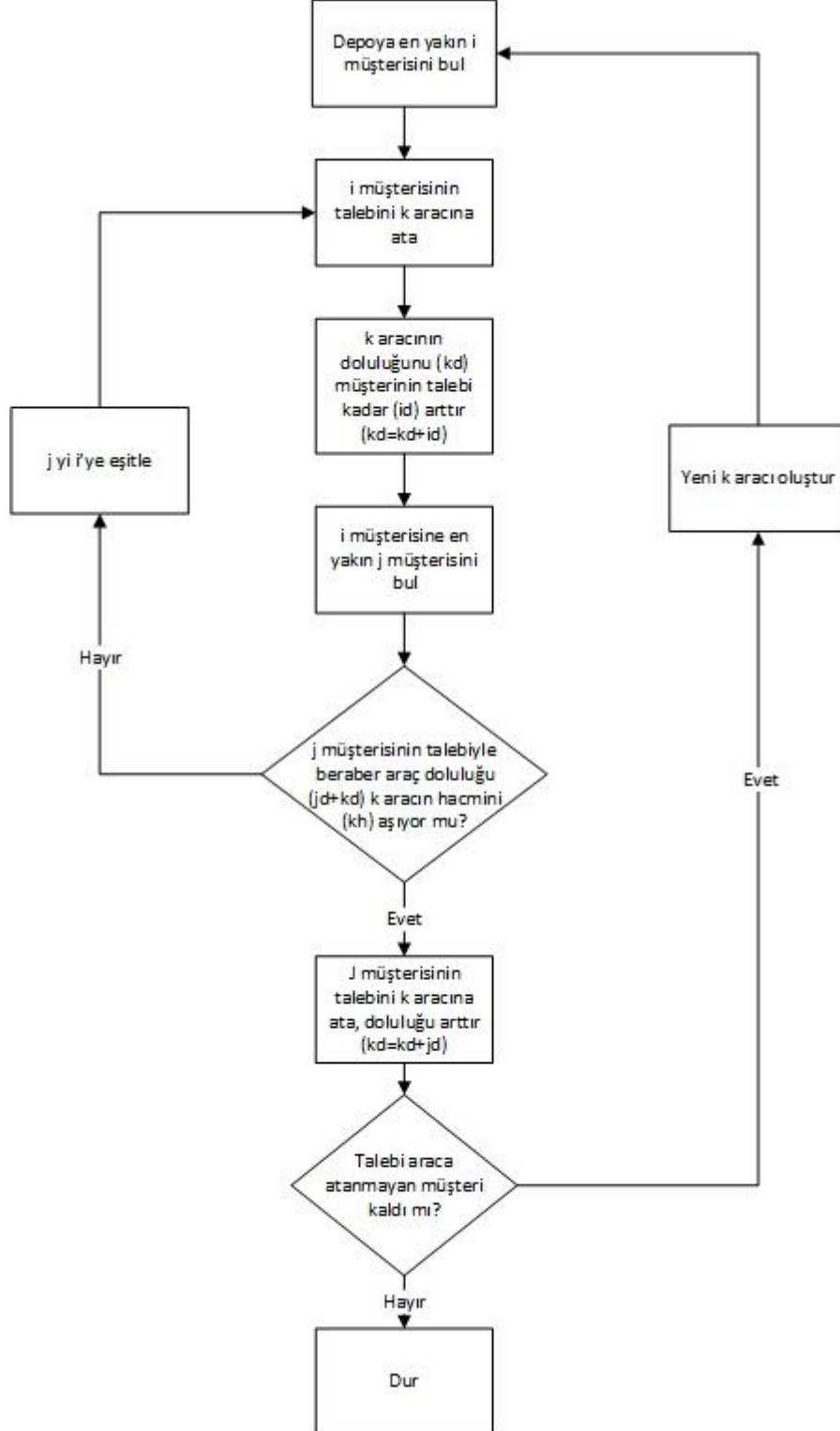
Tablo 4. FARKLI MÜŞTERİ SAYILARI VE ARAÇ SAYILARINA GÖRE ÇÖZÜM SÜRELERİ

Müşteri Sayısı	Araç Sayısı	Çözüm Süresi (sn)
8	3	2,5
10	4	4,6
15	4	5,9
20	5	18
25	5	34,6
30	5	834,9
35	5	4125
40	5	18000+



Geliştirilen sezgisel yöntem için literatür araştırması yapılmış ve bu doğrultuda Excel-Makro temelli bir sisteme yerleştirilmesi yönünden olası sezgiseller değerlendirilmiştir. Çalışılan bazı yöntemler sırasıyla en yakın komşu algoritması, Cluster algoritması ve “Clarke and Wright” tasarruf algoritmasıdır. Çözüm verimliliği açısından, en yakın komşu çözüm algoritması baz alınmış ve karar destek sistemine eklenmiştir. Aşağıda yer alan akış şeması oluşturulan sezgisel algoritmayı açıklamaktadır.

Şekil 1. SEZGİSEL ALGORİTMA AKIŞ ŞEMASI



Kullanıcıdan girdi olarak alınan çözüm süresi aşıldığında, bu sezgisel algoritma uygulamaya girmektedir.

#### IV. SONUÇ

Çözülen örnek problemler bize hem çözüm süresi hem de kullanım kolaylığı yönünden iyileştirmelerin sağlandığına yönelik çıktılar vermiştir. Yatsan şirketinde hali hazırda kullanılan manuel planlamadansa oluşturulan karar destek sisteminin kullanılması gün içinde çalışana vakit kazandırmaktadır. Bunun yanı sıra kullanıcıya sunulan karar destek sistemi, kullanım kolaylığı açısından yeni gelecek olan personele de yardımcı olmaktadır. Karar destek sistemi içerisinde yer alan kılavuz, KDS'yi ilk kez kullanacak olan kullanıcıyı ilk aşamadan son aşamaya kadar yönlendirmektedir. Geliştirilen karar destek sistemi araçlara atanan ürünlerde manuel değişiklik yapmaya da olanak sağlamaktadır. Bununla beraber gelişecek herhangi bir ekstra durumda kullanıcı araçlarda ve ürünlerde gerçekleştirilecek değişiklikleri yönetebilmektedir. Manuel erişimin sağlanması, olası bir hata durumunda karar destek sisteminin tekrardan çalıştırılmasını ya da el ile sevkiyatın tekrar planlanmasını oluşabilecek gerektirecek zaman kayıplarının da anında sistem üzerinden el ile müdahaleyle önüne geçmektedir.

Karar destek sisteminin hem matematiksel hem de sezgisel model içermesi kullanıcının esnek bir şekilde hareket etmesine olanak vermektedir. Sezgisel model en yakın komşu algoritması kullanarak oluşturulmuştur fakat ilerleyen süreçte farklı algoritmalar, özellikle de cluster algoritması, kullanılarak karar destek sistemi geliştirilebilir.

#### REFERANSLAR

- [1] M.L. Fisher and R. Jaikumar, "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing", Aug. 1979.
- [2] K.H. Picka, B. Ashjari, A. Ziaefar and P. Nickbeen, "Open Vehicle Routing Problem Optimization under Realistic Assumptions", International Journal of Research in Industrial Engineering, vol.3, pp. 46-55, May 2014.



**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **IoT TABANLI AKILLI TRAFİK SİSTEMLERİ İÇİN ALICILARIN KONUM OPTİMİZASYONU**

**Derin Onat SAVRAN, Ece ÖZEN, Gökçe GONCA, İrem DAVUTLUOĞLU, Kenan  
KESTANECİ, Seda ER, Şevval BİLİCİ**

**Akademik Danışmanlar**

**Dr. Orkun KARABAŞOĞLU, Gülce HANER GÜLER**

**Şirket Danışmanı**

**Abdul Samet ALTUNSOY**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Bu proje, Noderix A.Ş. firması altında özel yerleşkeler için sürücü destek sistemleri yardımı ile trafik ihlal önlemleri sağlayan Trackyo Projesi'ne karar destek sistemi üzerinden veri analitiği sunar ve uygular. Bu projenin üzerinde durduğu iki ana konu vardır. Bunlardan ilki, kapalı alan içerisindeki araçların anlık hız ve konum takiplerinin sağlanması adına güvenlik görevlilerinin kullanımına uygun bir arayüz tasarımının yapılmasıdır. İkincisi, güvenlik görevlilerinin ekranına gelecek verilerin araçlarda bulunan şirket cihazlarından en az veri kaybı ile çekilmesini sağlamak için yerleştirilecek alıcıların en uygun konumlarının ve sayılarının saptanmasıdır. Yerleştirilecek alıcıların toplam maliyetlerini en aza indirmek adına, alıcıların kapsama alanları ve kapasiteleri dikkate alınmıştır. Alıcıların konumlandırılma maliyetleri en aza indirilirken, veri akışı sırasındaki gecikmelerin ve veri kaybının da minimum seviyede tutulması bu projeyi diğerlerinden bilimsel olarak ayırmaktadır. Araştırmanın trafik sorunlarının fazla olduğu kapalı alanlarda yürütülmesi planlanmıştır. İyileştirme denemelerinden elde edilen sonuçlar sayesinde sürücü ve yayaların yaşam kalitesinin olumlu bir şekilde etkilenmesi beklenmektedir. Projenin direkt olarak uygulamaya aktarılabilir nitelikte olması çalışmanın özgün değerini arttırmaktadır.

Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı sensörler, bulut bilişim teknolojisi ile beraber kullanıldığı zaman trafik problemleri üstünde büyük iyileştirmeler yapılabilmektedir. Özel yerleşkelerdeki trafiğe yönelik düzeni ve güvenliği sağlamak gibi temel ihtiyaçları karşılamak adına Misra ve diğerleri [6], bilinen güvenlik sistemlerine kıyasla, verileri toplarken yaratılacak altyapı için bulut bilişimin kullanılmasını önermiştir. Bu projenin Nesnelerin İnterneti tabanlı bir trafik yönetimi ile özel yerleşkelere çözümler sunması amaçlanmıştır. Literatürde yapılan eski çalışmalardan esinlenerek Tesis Konumlandırma Problemi ve Küme Örtüleme Problemi beraber düşünülüp, ikisini de içeren bir matematiksel model oluşturulması planlanmıştır. Problemin matematiksel olarak modellenmesinden sonra, LINGO Optimizasyon Yazılımı ile çözülmüştür. Bu modelin gerekli parametrelerini belirlemek için Uygulamalar için Excel Visual Basic (VBA) kullanılmıştır.

## II. PROBLEM TANIMI

Günümüz dünyasında nüfus artışı sonucu şehirlerin kalabalıklaşması ve trafik sorunlarının artması ile insanlar, trafiğe açık özel yerleşkelerde yaşamaya yönelmektedirler. Özellikle güvenlik sebebiyle özel yerleşkeler seçilmekte ve her gün bu yerleşkelere giren araç ve insan sayısı artmaya devam etmektedir. Buna bağlı olarak gün geçtikçe trafiğe açık havaalanı, üniversiteler, yerleşim yerleri gibi özel yerleşkelerin de sayıları hızla artmakta ve bu artış pek çok ihtiyaç ve problemi beraberinde getirmektedir. Bu projede, özel yerleşkelerde yeterli denetim olamamasından kaynaklanan trafik problemleri ve bununla birlikte ölümlü kazaların oluşma potansiyelinin artması sonucu trafik sorunlarının planlanması, trafiğe bağlı problemlerin çözülmesi, var olan trafik sistemindeki araç giriş çıkışı, trafik akışını kontrol altında tutarak yaya ve sürücülerin güvenliğinin sağlama ihtiyacının en iyi oranda karşılanması hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak adına ise proje amacı, araçlarda bulunan firma cihazlarından elde edilen verilerin doğru bir şekilde transfer edilmesini sağlayan alıcıların minimum maliyetle konumlandırılması şeklinde belirlenmiştir.

Bu verilere ulaşmak için, bulut teknolojisi ile birlikte, verilerin analizini sağlayacak sensörleri temel alan Nesnelerin İnterneti (IoT) yöntemi kullanılacaktır. Gökrem ve Bozoklu [3] tarafından ele alınan makalede Nesnelerin İnterneti (IoT), çevremizdeki fiziksel olayları kontrol etmemizi ve takip ederek analiz etmemizi sağlayan, cihaz, yazılım ve erişim hizmetlerini de kapsayan bir iletişim ağı şeklinde tanımlanmıştır. Alıcıların topladığı veriler nesnelerin interneti sayesinde sunucuya aktarılır; bulut bilişimi ise güvenlik elemanlarının bu verilere çevrimiçi olarak ulaşabilmelerini sağlar. Böylece, sunucuya erişimi olan kişiler araçların hızlarını, konumlarını ve araçlarla ilgili istenilen spesifik bilgileri gözlemleyebilecektir. Kullanılan yeni ve teknolojik platform sayesinde, sürücünün davranışı algılanıp yayalar için güvenli ve emniyetli bir ortam oluşturmak için görsel-işitsel uyarılar verilebilecektir. Özellikle, ihlal edilen kurallar ve kritik durumlar sırasında güvenlik tarafından gerçek zamanlı uyarılarla hem sürücünün hem de yolun kontrolü kolaylıkla sağlanabilecektir. Arşivde tutulacak istatistikler sayesinde hangi alanda ne kadar kaza olduğu, kazanın sebepleri ve sonuçları

hakkında edinilecek bilgiler doğrultusunda çeşitli analizler yapılması sağlanacaktır. Ek olarak trafiğe açık özel yerleşkelerde meydana gelebilecek acil durumlarda olay ve sebepler mercek altına alınarak bu sayede, sorunların engellenmesi adına önlemler planlanabilecektir.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Projenin başlıca unsuru olan alıcı konumlandırma problemini zorlaştıran maddeler aşağıda belirtilmiştir:

- Yerleşkede, alıcıların iletişim kurmadığı herhangi bir araç kalmaması gerekmektedir.
- Trafiğin yoğun olduğu bölgelerde araç ve alıcı arasında veri kaybı olmaması gerekmektedir.
- Alıcıların yerleşkeler içerisinde konumlandırılacakları aday noktaların belirlenmesi gerekmektedir.

Hoekstra ve diğerleri [4] Amsterdam’da yaptıkları bir çalışmada Küme Örtüleme Modeli ve Tesis Konumlandırma problemlerini birleştirdi ve alıcıları konumlandırmak için yeni bir yaklaşım öne sürdü. Ayrıca alıcıların aday noktaları için Amsterdam’daki sokak lambalarının kullanılmasını önerdi. Hoekstra ve diğerlerinin bu çalışmasından esinlenilerek alıcı konumlandırma problemini çözmek için, yukarıda belirtilen maddeler de göz önünde bulundurularak çeşitli yerleşkelere entegre edilebilecek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Ancak bu problemin büyük veri girdileri ile çözülmesi durumunda, kullanılacak optimizasyon yazılımları yetersiz kalacağından sezgisel bir yaklaşım kullanılması uygun görülmüştür. Lan ve diğerleri [5] tarafından ele alınan “An effective and simple heuristic for the set covering problem” makalesinde “Meta-heuristic for Randomized Priority Search” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde olurlu çözüm yapısı, metoda rassal faktörler tanımlanarak üretilmiştir. Sonrasında, olurlu çözümler sezgisel iyileştirme yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir.

Modelden bahsetmeden önce sınır noktaları ve trafik noktaları hakkında bilgi verilmesi gerekmektedir. Klasik “Küme Örtüleme Problemi” nde bölgelerin tamamının kapsanıp kapsanmadığına bakılır, fakat bizim modelimizde haritanın içine ve sınırına yerleştirdiğimiz sınır noktalarının kapsanıp kapsanmadığına bakılmaktadır; eğer bu noktaların tamamı alıcılar tarafından kapsanıyorsa haritada kapsanmayan alanın olmadığı varsayılmıştır. Buna ek olarak, kapasite sorunuyla başa çıkabilmek için trafiğin yoğun olduğu noktalara trafik noktaları konulması düşünülmüştür.

Kümeler:

D: Alıcı tipleri	$D=\{1,2,3,\dots,Q\}$
E: Sınır noktaları sayısı	$E=\{1,2,3,\dots,P\}$
G: Haritadaki aday konum sayısı	$G=\{1,2,3,\dots,R\}$
H: Trafik noktaları sayısı	$H=\{1,2,3,\dots,S\}$

Parametreler ve Karar Değişkenleri:

$$\begin{aligned}
 x_{ij} &= \begin{cases} 1; & i \text{ alıcısı } j \text{ aday konumuna yerleştirilirse} \\ 0; & \text{aksi takdirde} \end{cases} & i \in D, j \in G. \\
 c_i &= i \text{ alıcısının veri alabileceği en fazla araç sayısı} & i \in D. \\
 m_i &= i \text{ alıcısını yerleştirme masrafı} & i \in D. \\
 a_{jk}^i &= \begin{cases} 1; & j \text{ aday konumuna yerleştirilen } i \text{ alıcısı } k \text{ uç noktasını kapsıyorsa} \\ 0; & \text{aksi takdirde} \end{cases} & j \in G, k \in E. \\
 R_j^t &= \begin{cases} 1; & j \text{ aday konumuna yerleştirilen alıcı } t \text{ trafik noktasını kapsıyorsa} \\ 0; & \text{aksi takdirde} \end{cases} & j \in G, t \in H.
 \end{aligned}$$

$$e_t = t \text{ trafik noktasında bulunabilecek en fazla araç sayısı} \quad t \in H.$$

Trafik noktalarının konumlarına karar verebilmek için çalışılan alanın gerçek zamanlı trafik değerleri kullanılmıştır.  $a_{jk}^i$  &  $R_j^t$  değerlerini bulmak için VBA (Excel)'de bir kod tasarlanmıştır. Haritadaki hangi noktaların kapsanıp kapsanmadığı bu kod sayesinde bulunmuştur.

Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar:

Alıcı konumlandırma problemi için önerilen matematiksel model aşağıda belirtilmiştir.

$$\min \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^R m_i x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{bağlı olarak} \quad \sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^Q a_{jk}^i x_{ij} \geq 3 \quad \forall k \in E, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^Q x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in G \quad (3)$$

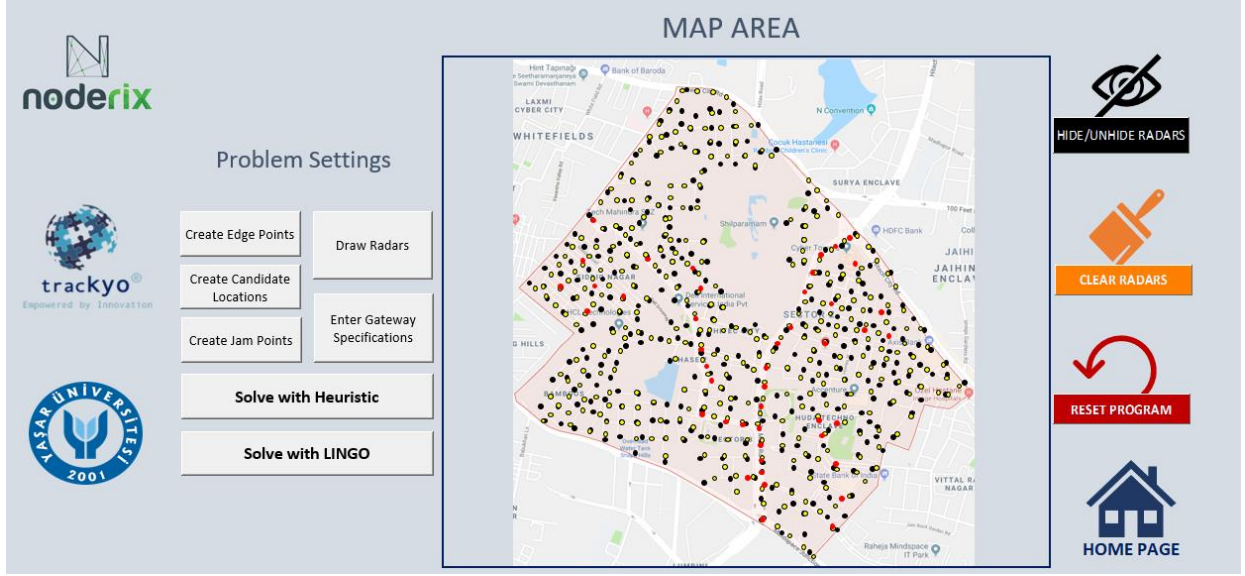
$$x_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (4)$$

Problemin amacı alıcıların konumlandırmanın maliyetini minimize etmektir. Amaç fonksiyonunda (1), i tipi alıcıların j aday noktalarına konumlandırılmasının toplam maliyeti minimize edilmiştir. Bu fonksiyon, yukarıda belirtilen kısıtlara uyan en ucuz konumlandırmanın elde edilmesini sağlayacaktır. İlk kısıt (2) haritadaki bütün sınır noktalarının kapsandığını garanti eder, yani her bir sınır noktası en az üç alıcı tarafından kapsanmaktadır; üç kere kapsanmasının sebebi araçların konumlarının üçgenleme metodu kullanılarak elde edilmesidir. İkinci kısıt (3) aynı aday konuma birden fazla alıcı konumlandırılmamasını sağlar. Üçüncü kısıt (4) ise karar değişkenininin 1 ya da 0 olabileceğini göstermektedir.

$$\sum_{i=1}^Q c_i x_{ij} - \left( \sum_{i=1}^Q x_{ij} \times \sum_{t=1}^s R_j^t e_t \right) \geq 0 \quad \forall j \in G. \quad (5)$$

Son denklem (5) kapasite kullanım sorununu çözmektedir. Alıcı için belirlenmiş kapsama alanındaki bütün trafik noktalarındaki araçlardan veri alınabildiğini garanti eder. Yani, bir alıcı j aday noktasına konumlandırıldıysa, kapsadığı bütün trafik noktalarına hizmet verebilmektedir. Bu kısıtı sağlamayan alıcılar o noktaya konumlandırılmayacaktır. Alıcılar geniş kapsama alanlarına sahip oldukları için, gerçekte kapsadıkları alanlardaki tüm trafik noktalarına hizmet edemeyebilirler; bu durum matematiksel modelin çözüm bulamamasına yol açacaktır. Bu yüzden, kullanılan sezgisel yaklaşımda, öncelikle girilen verilerle olurlu bir çözüm elde edilip edilemeyeceği kontrol edilmektedir. Eğer olurlu çözüm elde edilemiyorsa, karar destek sistemi kullanıcıya alıcı kapsama alanını azaltması yönünde uyarı verir. Kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmesi adına Excel Visual Basic for Applications (VBA) kullanılarak çözüm sistemi dinamik hale getirilmiştir. Karar Destek Sistemi'nin Harita Sayfası'nda (Şekil 1) kullanıcının problemine yönelik herhangi bir haritayı yükleyebileceği ve problemin parametrelerini belirleyebileceği seçenekler bulunmaktadır. Kullanıcılar, herhangi bir kapalı alan için aday alıcı noktalarını, uç noktaları ve trafik noktalarını belirleyebilir ve sonucunda yerleştirilmek istenen farklı alıcı tiplerinin optimal sayılarını ve belirlenen konumlarını harita üzerinde

görebilir. Bununla birlikte, kullanıcıların Karar Destek Sistemi'ni etkili bir şekilde kullanabilmeleri için oluşturulan kullanım kılavuzuna bir buton sayesinde erişim sağlanabilmektedir.



Şekil 1. Karar Destek Sistemi'nin Harita Sayfası

#### IV. SONUÇ

İstatistiksel araştırmalara [1] göre gözlemlenen kazaların çoğunun aşırı hızlanma ve hatalı sürüş nedeniyle meydana geldiği saptanmıştır. Ayrıca Goniewicz ve diğerleri [2] tarafından yapılan araştırma, yol kazalarının her yıl dünya çapında yaklaşık 1.3 milyon insanın hayatını kaybetmesiyle ve 20-50 milyon ciddi yaralanmalarla sonuçlandığını göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılan çalışmalar [7] sonucu trafik kazalarına karşı herhangi bir önlem alınmadığı takdirde 2020 yılına kadar yıllık ölüm sayısının 1.9 milyonu bulacağı belirtilmektedir. Yapılan proje kapsamında hasar ve mal kaybının azalacağı, dolayısıyla toplumsal ekonomiye katkı sağlanacağı öngörülmektedir. Normal şartlarda kapalı yerleşkeler içindeki trafik denetimi birçok güvenlik çalışması tarafından sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, Trackyo projesi için akıllı şehirlerdeki Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin kentlere uygulanma analizi yapılmıştır. Uygulanan bu teknoloji, konutlarda daha kaliteli trafik hizmeti sunmak için en gelişmiş iletişim teknolojilerinden biri olan Akıllı Şehir vizyonunu desteklemek üzere tasarlanmıştır. Amaç, sistemin düzgün çalışmasını sağlamak ve toplam maliyeti en aza indirmek üzere gereken alıcı sayısını ve hedeflenen bir alanda kapasite kısıtları göz önünde bulundurularak alıcıların konumlarını saptamaktır. Kapalı alan ve alıcılar üzerine yapılan analizler neticesinde problem açıkça ortaya konmuştur. Problemin matematiksel modelini oluşturmak için, Küme Örtüleme Problemi temel alınmıştır. Tüm kenar noktalarının ağ geçitlerinin kapsama bölgesine yerleştirilmesi gerektiğinden dolayı, ağ geçitlerinin sayıları ve konumları matematiksel model sayesinde belirlenebilir. Ancak bu model daha karmaşık durumlar için kullanılamayacağından dolayı sezgisel yaklaşım benimsenmiştir. Aynı zamanda, güvenlik görevlileri için etkili bir ekran sağlamak amacıyla arayüz tasarımı yapılmıştır. Arayüz modeli, hedeflenen alana giren araçlar hakkında, aktif araçların hareketlerine dayanan bir harita, tüm verileri toplayan bir arşiv, akıllı şehirdeki trafik ile ilgili güncellenmiş kurallar ve güvenlik görevlilerinin yargılaması için bir karar sistemi ve ceza puanlarını kurallara göre yönetir. Bu arayüz, trafik kazaları ile ilgili birçok sorunu önlemeyi ve gelecekteki ihtiyaçları öngöreceği ve karşılayabilecek esnek bir yapıya sahip olmayı hedeflemektedir.

## REFERANSLAR

- [1] Causes of Road Accidents. (n.d.). Retrieved from <http://jhtransport.gov.in/causes-of-road-accidents.html>
- [2] Goniewicz, K., Goniewicz, M., Pawłowski, W., & Fiedor, P. (2015). Road accident rates: Strategies and programmes for improving road traffic safety. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 42(4), 433-438. doi:10.1007/s00068-015-0544-6
- [3] Gökrem, L., & Bozuklu M. (2016) Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar Ve Ülkemizdeki Mevcut Durum. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi, [dergipark.gov.tr/download/article-file/311700](http://dergipark.gov.tr/download/article-file/311700).
- [4] Hoekstra, G., & Phillipson, F. (2018). Heuristic Approaches for Location Assignment of Capacitated Services in Smart Cities. *Computers*, 7(4), 67. doi:10.3390/computers7040067
- [5] Lan, G., Depuy, G. W., & Whitehouse, G. E. (2007). An effective and simple heuristic for the set covering problem. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1387-1403. doi:10.1016/j.ejor.2005.09.028
- [6] Misra, S., & Bera, S. (2018). Smart Grid Technology. doi:10.1017/9781108566506
- [7] World Health Organization. WHO global status report on road safety (2013): supporting a decade of action. Geneva: World Health Organization, 2013. [http://www.un.org/en/roadsafety/pdf/roadsafety2013\\_eng.pdf](http://www.un.org/en/roadsafety/pdf/roadsafety2013_eng.pdf).





**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **OPET FUCHS İÇİN ESNEK AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME KARAR DESTEK SİSTEMİ**

## **Öğrenciler**

**Nilay Çınar, Merve Çamlıca, Gülce Çini, Ayşegül Eda Özen,  
Hasan Bahtiyar Soydan, İbrahim Çağcan Çatıkkaş, Alp Arslan**

## **Akademik Danışmanlar**

**Prof. Dr. Levent KANDİLLER, Araş. Gör. Hande ÖZTOP**

## **Şirket Danışmanları**

**Umut AKSOY, Dilek YILMAZ**

**İzmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Bu proje, etkili ve verimli çizelgeleme için gerekli karar destek sistemi yaratmayı amaçlayan bir üretim çizelgeleme projesidir. Projenin kapsamı, Opet Fuchs üretim sisteminde üç ana aşama bulunan ve bu aşamalarda paralel olarak çalışan makineleri çizelgelemek olarak belirlenmiştir. Mevcut sistemde, çizelgeleme yetkili kişinin deneyimlerine ve tahminlerine dayanarak Excel üzerinde el ile yapılmaktadır. Bu çizelgeleme yöntemi çok fazla zaman almaktadır ve el ile yapıldığı için hatalar oluşturabilmektedir. Verimsiz çizelgelemeden dolayı kapasite boşlukları, gecikmeler ve toplam kurulum sürelerinde artışlar meydana gelmektedir. Şirket bu hataları ortadan kaldırmak ve üretim hattının verimliliğini artırmak için bu projeye ihtiyaç duymuştur.

Opet Fuchs özelinde esnek akış atölyesi çizelgelemesi için özgün bir karmaşık tamsayılı doğrusal programlama formülasyonu, literatürdeki modellerden feyz alınarak Opet Fuchs için özgün olarak yapılmıştır. Amaç fonksiyonu işletmenin beyanına göre ağırlıklı tamamlanma süresinin en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Ağırlıklı olmasının nedeni her ürünün önceliğinin farklı olmasıdır. Bunu belirlemek için ABC analizleri yapılmıştır ve ürünlerin önem katsayıları belirlenmiştir. Gerçek veriler kullanılarak, model IBM-ILOG-CPLEX STUDIO 12.8.0 yazılımı yardımıyla test edilmiştir. Problem çözümüne özgü Gantt şemaları elde edilmiştir. Beklenen sonuç, herhangi bir makinede çakışma olmadan ve Opet Fuchs'a özgü tüm ek kısıtlar sağlanarak en kısa sürede üretimin tamamlanmasıdır. Çözüm sonuçlarına göre model doğrulanmış olup, büyük problemlerin çözümüne yönelik farklı sezgisel yöntemler de önerilmiştir. Ayrıca, önerilen çözüm yöntemleri ile entegre çalışan kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

## II. PROBLEM TANIMI

Projenin yürütüldüğü kurum Opet Fuchs Madeni Yağ Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'dir. İlk olarak 1982 yılında Mersin'de Öztürkler Limited Şirketi olarak kurulmuştur. 1992 yılında şirket adı Opet Petrolcülük olarak değiştirilmiştir. 2002'de Opet Petrolcülük A.Ş., Koç Holding Enerji Grubu ile %50 hissedar olmuştur. 2012 yılında Opet Petrolcülük Ltd. Şti., Fuchs Petrolub SE ile madeni yağ ürünleri alanında ortak olmuştur. Böylelikle, Opet Fuchs Madeni Yağ Sanayi eşit ortaklıkla kurulmuştur. Şirketin üretim tesisi ve deposu Çiğli-İzmir'dedir. Şirket 10.000 metrekare üretim alanına sahiptir. Fuchs Petrolub SE, dünyanın en geniş bağımsız madeni yağ şirketidir ve 10.000'in üzerinde ürün üretmektedir. Şirketin 100.000'e yakın müşterisi bulunmaktadır. Çiğli fabrikasında ana ürün olarak otomotiv yağları, endüstriyel yağlar ve oto bakım yağları üretilmektedir. Bu ürünler de kendi aralarında çeşitlenmektedir: Opet, Fuchs, Rom, Wynn's, Ford Otosan onaylı FMY, Tofaş onaylı Opar Olio, Türk Traktör, vb. Opet Fuchs; Man, Volvo, VW, Mercedes Benz, Ford gibi orijinal ekipman üreticilerinin (OEM) onayına sahip ürünleri ile üreticileri ve tüketicileri ile temas halindedir [1].

Üretim sisteminde, sırasıyla harmanlama, bekletme ve dolun/paketleme olan üç ana aşamada paralel çalışan makineler bulunmaktadır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda imalat sisteminin esnek akış atölyesi (Hybrid Flow Shop) özelliğine işaret ettiği görülmüştür [2]. Standart esnek akış tipi çizelgelemeden farklı olarak tüm aşamalarda makine uygunluğu kısıtı da bulunmaktadır. Bunun nedeni, ürünlerin harmanlama tipine göre farklı tanklarda karıştırılması ve farklı tanklarda bekletilmesidir. Her bir ürün grubunun, harmanlanma tipine göre kendine ait tank grubu bulunmaktadır. Son aşama olan dolun da sıra bağımlı kurulum süreleri de bulunmaktadır. Üç farklı paralel dolun hattı olan son aşamada ürünler hatlara dolun tipine göre atanmaktadır. Ayrıca, harmanlama ve bekletme aşamalarında tank kapasite kısıtları bulunmaktadır. Mevcut sistemde işlerin %9,3'ünde gecikme tespit edilmiştir. Şirket, ürünlerin ağırlıklarının da göz önüne alınarak minimum sürede üretimin tamamlanmasını istemektedir. Bu nedenle problemin amaç fonksiyonu, ağırlıklı tamamlanma zamanının minimizasyonu olarak belirlenmiştir.

## III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu projede, üç ana aşamadan oluşan bir üretim sistemi için detaylı bir çizelgeleme modeli geliştirilmiştir. Her bir aşamada çoklu paralel makineler bulunmaktadır. Dolayısıyla, şirketin üretim sisteminin esnek akış tipi (hybrid flow shop) üretim olduğuna karar verilmiştir. Yapılan detaylı literatür taramalarından sonra, problem karmaşık tam sayılı doğrusal programlama metodu ile modellenmiştir. Geliştirilen modelde, şirketin kendine özgü üretim sistemine uygun olarak farklı varsayımlar, kısıtlar ve amaç fonksiyonu sunulmuştur. Şirketin beyanı neticesinde, modelin amaç fonksiyonu ağırlıklı üretimin

tamamlanma süresinin en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Problemin amaç fonksiyonu doğrultusunda, ürünlere ABC analizi yapılmıştır ve ürünler kârlarına göre kategorize edilerek ürünlerin öncelik (ağırlık) ilişkileri belirlenmiştir. Böylece amaç fonksiyonunda yer alan ağırlık değerleri ABC analizine göre belirlenmiştir.

Çalışılan problem için kapsamlı bir literatür taraması yapılmış, ancak sistem klasik bir esnek akış tipi üretim olmadığı için, çizelgeleme modellerinden feyz alınarak yeni bir model geliştirilmiştir [3,4]. Problemin amacı, üç aşamalı esnek akış tipi üretim sistemindeki makineleri verimli şekilde kullanarak ağırlıklı üretimin tamamlanma süresini en aza indirmektir. Klasik esnek akış tipi üretim modeli kısıtlarına ek olarak geliştirilen matematiksel model; makine uygunluğu, sıraya bağlı kurulum süreleri ve makine kapasiteleri gibi probleme özgü kısıtları da içermektedir. Matematiksel model aşağıdaki gibidir:

#### Kümeler ve İndisler:

$i, q$ : İş indisi  
 $j$ : Harmanlama tipi indisi  
 $k$ : Makine indisi  
 $I$ : Sahte/kukla (dummy) işi de içeren iş kümesi,  
 $I = \{0, 1, \dots, n\}$   
 $J$ : Harmanlama tipi kümesi  
 $B_j$ : Harmanlama tipi  $j$  için harmanlama aşamasındaki makine kümesi  
 $D_j$ : Harmanlama tipi  $j$  için bekletme aşamasındaki makine kümesi  
 $F_i$ :  $i$  işi için dolun aşamasındaki makine kümesi  
 $F$ : Dolun aşamasındaki makine kümesi

#### Parametreler:

$w_i$  =  $i$  işinin ağırlığı  
 $px_i$  = Harmanlama aşamasında  $i$  işinin işlem süresi  
 $py_i$  = Bekletme aşamasında  $i$  işinin işlem süresi  
 $pz_i$  = Dolun aşamasında  $i$  işinin işlem süresi  
 $s_{iq}$  = Dolun aşamasında arka arkaya gelen  $i$  ile  $q$  işleri arasındaki kurulum süresi  
 $N_k$  = Harmanlama aşamasındaki  $k$  makinesinin kapasitesi  
 $A_k$  = Bekletme aşamasındaki  $k$  makinesinin kapasitesi  
 $v_i$  =  $i$  işinin hacmi

#### Karar Değişkenleri:

$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer harmanlama tipi } j \text{ olan iş } i \text{ harmanlama aşamasında } k \text{ makinesinde harmanlanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumda } i \in I, j \in J, k \in B_j \end{cases}$   
 $Y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer harmanlama tipi } j \text{ olan iş } i \text{ bekletme aşamasında } k \text{ tankına aktarılırsa} \\ 0, & \text{diğer durumda } i \in I, j \in J, k \in D_j \end{cases}$   
 $Z_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer harmanlama tipi } j \text{ olan iş } i \text{ dolun aşamasında } k \text{ makinesinde dolun yapılıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda } i \in I, j \in J, k \in F_i \end{cases}$   
 $ox_{iqk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi } k \text{ harmanlama makinesinde } q \text{ işine öncül ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$   
 $oy_{iqk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi } k \text{ bekletme tankında } q \text{ işine öncül ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$   
 $oz_{iqk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi } k \text{ dolun makinesinde } q \text{ işine yapışık ardışık (immediate predecessor) ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$   
 $cx_i$  =  $i$  işinin harmanlama aşamasında tamamlanma zamanı,  $cx_i \geq 0$   
 $cy_i$  =  $i$  işinin bekletme aşamasında tamamlanma zamanı,  $cy_i \geq 0$   
 $cz_i$  =  $i$  işinin dolun aşamasında tamamlanma zamanı,  $cz_i \geq 0$

$$\begin{aligned} \text{Minimize } \sum_{i \in I/\{0\}} w_i cz_i & & (1) \\ \sum_{k \in B_j} X_{ijk} = 1 & & \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J & (2) \\ \sum_{k \in D_j} Y_{ijk} = 1 & & \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J & (3) \\ \sum_{k \in F_i} Z_{ijk} = 1 & & \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J & (4) \\ Q(2 - X_{ijk} - X_{qjk} + ox_{iqk}) + cx_i - cx_q \geq px_i & & \forall i, q \in I/\{0\}, \forall j \in J, \forall k \in B_j \mid i < q & (5) \\ Q(3 - X_{ijk} - X_{qjk} - ox_{iqk}) + cx_q - cx_i \geq px_q & & \forall i, q \in I/\{0\}, \forall j \in J, \forall k \in B_j \mid i < q & (6) \\ Q(2 - Y_{ijk} - Y_{qjk} + oy_{iqk}) + cy_i - cy_q \geq py_i & & \forall i, q \in I/\{0\}, \forall j \in J, \forall k \in D_j \mid i < q & (7) \\ Q(3 - Y_{ijk} - Y_{qjk} - oy_{iqk}) + cy_q - cy_i \geq py_q & & \forall i, q \in I/\{0\}, \forall j \in J, \forall k \in D_j \mid i < q & (8) \\ Q(1 - oz_{iqk}) + cz_q - cz_i \geq pz_q + s_{iq} & & \forall i, q \in I/\{0\}, \forall k \in F_i \mid i \neq q & (9) \\ \sum_{q \in I} oz_{0qk} = 1 & & \forall k \in F & (10) \\ \sum_{q \in I} oz_{q0k} = 1 & & \forall k \in F & (11) \\ \sum_{i \in I \mid i \neq q} oz_{iqk} = \sum_{j \in J} Z_{qjk} & & \forall q \in I, \forall k \in F & (12) \\ \sum_{q \in I \mid i \neq q} oz_{iqk} = \sum_{j \in J} Z_{ijk} & & \forall i \in I, \forall k \in F & (13) \end{aligned}$$

$$cx_i \geq px_i \quad \forall i \in I/\{0\} \quad (14)$$

$$cy_i - cx_i \geq \sum_{k \in D_j} Y_{ijk} py_i \quad \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J \quad (15)$$

$$cz_i - cy_i \geq \sum_{k \in F_i} Z_{ijk} pz_i \quad \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J \quad (16)$$

$$v_i X_{ijk} \leq N_k \quad \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J, \forall k \in B_j \quad (17)$$

$$v_i Y_{ijk} \leq A_k \quad \forall i \in I/\{0\}, \forall j \in J, \forall k \in D_j \quad (18)$$

Matematiksel model farklı büyüklüklerdeki veriler kullanılarak, IBM-ILOG-CPLEX STUDIO 12.8.0 yazılımı ile çözdürülmüştür. Problem NP-Zor sınıfına ait olduğundan yazılımın optimal sonucu bulma zamanı üstel olarak artmaktadır [5]. Bu durum, Tablo 1'deki model çözüm süreleri incelendiğinde de görülmektedir. Örneğin; haftalık 100 iş çizelgelenmek istendiğinde yazılım buna makul bir sürede yanıt verememiştir. Bu nedenle, daha büyük problemlerin çözümü için sezgisel yöntemler önerilmiştir.

**Tablo 1. Farklı Büyüklükteki Verilere Göre Model Sonuçları**

İş Sayısı	Harmanlama Makinesi Sayısı	Bekletme Makinesi Sayısı	Dolum Makinesi Sayısı	Hesaplama Süresi (sn.)
5	5	4	3	0,27
10	5	4	3	1,16
15	5	4	3	66,13
20	5	4	3	10846,50

Yapılan araştırmalar sonucunda, ‘En Kısa İşlem Süresi’ (SPT) kuralını baz alan 2 farklı sezgisel yöntem geliştirilmiştir. ‘En Kısa İşlem Süresi’ kuralına göre, ilk olarak işlerin toplam işlem süreleri hesaplanmaktadır. Daha sonra, işler toplam işlem sürelerine göre artan bir sırada sıralanmaktadır ve bu sıraya göre makinelere atanmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle işler ağırlıklarına göre azalan bir sırada gruplanmıştır. Ardından, aynı ağırlıktaki işler kendi aralarında SPT kuralına göre sıralanmıştır. Düşünülen ilk sezgisel yöntemde, işler SPT kuralına göre sıralanırken, her bir aşamada sadece o aşamadaki işlem süreleri dikkate alınarak sıralama yapılmıştır. İkinci sezgisel yöntemde ise, harmanlama aşamasında çizelgeleme yapılırken harmanlama, bekletme ve dolun aşamalarının süreleri toplamına bakılırken, bekletme aşamasında bekletme ve dolun aşamalarının toplamına, dolun aşamasında ise sadece dolun aşamasının işlem süresine bakılmıştır. Her iki sezgisel yöntemde de her aşamada işler “En Kısa İşlem Süresi” kuralına göre sıralandıktan sonra, işler makinelere çizelgelenirken harmanlama tiplerine, makine kapasitelerine, işlerin bir önceki aşamadaki bitiş (hazır olma) zamanlarına ve işlerin ağırlıklarına da dikkat edilmiştir. “En Kısa İşlem Süresi” kuralını baz alarak geliştirilen sezgisel yöntemlerin genel adımları aşağıda listelenmiştir:

1. Her işin hacmi ile harmanlama ve bekletme makinelerinin kapasitelerini karşılaştır
  - 1.1 İşin hacmi tank kapasitesinden büyük ise, işi tank kapasitelerine göre böl ve adım 2’ye git
  - 1.2 İşin hacmi tank kapasitesinden küçük ise, Adım 2’ye git
2. Harmanlama Aşaması
  - 2.1 İşleri harmanlama tiplerine göre grupla
  - 2.2 Aynı harmanlama tipine sahip işleri kendi aralarında sırala ve harmanlama tipine uygun makinelere çizelgele
    - 2.2.1 İşleri ağırlıklarına göre azalan şekilde sırala
    - 2.2.2 Aynı ağırlıktaki işleri kendi aralarında SPT kuralına göre sırala
    - 2.2.3 Adım 2.2.2’de belirlenen sıraya göre işleri harmanlama tipi ve makine kapasitesi kısıtlarını da dikkate alarak en uygun makineye çizelgele
3. Bekletme Aşaması
  - 3.1 İşleri harmanlama tiplerine göre grupla
  - 3.2 Aynı harmanlama tipine sahip işleri kendi aralarında sırala ve harmanlama tipine uygun makinelere çizelgele
    - 3.2.1 İşleri bir önceki aşamadaki bitiş zamanlarına göre artan bir şekilde sırala
    - 3.2.2 Adım 3.2.1’deki sıraya ve makine kapasitelerine göre, makine sayısı kadar işi en uygun makinelere çizelgele
    - 3.2.3 Makinedeki en son işin bitiş zamanına göre her bir makinenin hazır olma zamanını hesapla

- 3.2.4 Minimum hazır olma zamanına sahip makineyi ( $m_{min}$ ) belirle
  - 3.2.4.1 Adım 3.2.1'deki sıraya göre, sıradaki işin hazır olma zamanı  $m_{min}$  makinesinin hazır olma zamanından büyük ise, sıradaki işi hazır olma zamanını dikkate alarak  $m_{min}$  makinesine çizelgele
  - 3.2.4.2 Adım 3.2.1'deki sıraya göre, sıradaki işin hazır olma zamanı  $m_{min}$  makinesinin hazır olma zamanından küçük ise:
    - 3.2.4.2.1 Hazır olma zamanları  $m_{min}$  makinesinin hazır olma zamanından küçük olan işleri ağırlıklarına göre azalan şekilde sırala
    - 3.2.4.2.2 Aynı ağırlıktaki işleri kendi aralarında SPT kuralına göre sırala
    - 3.2.4.2.3 Bu sıraya göre, ilk sıradaki işi  $m_{min}$  makinesine hazır olma zamanını dikkate alarak çizelgele
  - 3.2.5 Bütün işlerin çizelgelemesi yapılmadıysa, adım 3.2.3'e geri dön
- 4. Dolum Aşaması
  - 4.1 İşleri dolum tiplerine göre grupla
  - 4.2 Aynı dolum tipine sahip işleri kendi aralarında sırala ve dolum tipine uygun makineye ata
    - 4.2.1 İşleri bir önceki aşamadaki bitiş zamanlarına göre artan bir şekilde sırala
    - 4.2.2 Adım 4.2.1'deki sıraya göre ilk işi makineye ata
  - 4.3 Makinedeki son işin arkasından gelebilecek her bir iş için sıra bağımlı kurulum süresini de dikkate alarak en erken başlama zamanlarını hesapla
    - 4.3.1 En erken başlama zamanı hazır olma zamanından büyük olan işler için
      - 4.3.1.1 Bu işleri en erken başlama zamanına göre artan şekilde sırala ve ardından ağırlıklarına göre azalan şekilde sırala
      - 4.3.1.2 Maksimum ağırlıklı işleri kendi aralarında işlem sürelerine göre artan bir şekilde sırala
      - 4.3.1.3 Bu sıraya göre ilk işi makineye çizelgele
    - 4.3.2 En erken başlama zamanı hazır olma zamanından küçük olan işler için
      - 4.3.2.1 Adım 4.2.1'e göre sıradaki işi kendi hazır olma süresini ve sıra bağımlı kurulum süresini dikkate alarak çizelgele

Yukarıda anlatılan iki farklı sezgisel yöntem Excel VBA üzerinde kodlanmıştır. Sezgisel yöntemlerin performansı değerlendirilmek üzere 50 farklı örnek oluşturulmuştur. Her bir örnekte, çizelgelenmesi gereken 15 iş; harmanlama aşamasında 4; bekleme aşamasında 4; dolun aşamasında ise 3 makine bulunmaktadır. Örnekler IBM-ILOG-CPLEX STUDIO 12.8.0 yazılımı kullanılarak çözdürülmüş ve optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Aynı örnekler VBA üzerinde kodlanmış ve iki farklı sezgisel algoritma ile çözdürülerek elde edilen sonuçlar her bir örneğin optimal sonucu ile karşılaştırılmıştır. 50 örnek üzerinden hesaplanan ortalama optimal sonuçtan sapma oranları; Yöntem 1: %9,97 ve Yöntem 2: %11,32'dir. Her bir örnek için en iyi yöntem seçildiğinde ise ortalama optimal sonuçtan sapma oranı %9,26 olmaktadır.

Yukarıda önerilen sezgisel yöntemler iyi sonuçlar sağlamasına rağmen, algoritmaların performanslarının daha da geliştirilmesi adına iyileştirme sezgiselleri üzerine de çalışılmıştır. İyileştirme sezgiselleri olarak, yukarıdaki sezgisel yöntemler ile elde edilen çözümlere araya yerleştirme (insertion) operasyonu uygulanmıştır. Aynı 50 örnek için, araya yerleştirme operasyonu uygulandıktan sonra elde edilen optimal sonuçtan sapma oranları Tablo 2'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Uygulanan bu ek operasyon ile, 50 örnek üzerinden hesaplanan ortalama optimal sonuçtan sapma oranları Yöntem 1 için %5,45'e, Yöntem 2 için ise %5,12'ye düşürülmüştür. Her bir örnek için en iyi yöntem seçildiğinde ise ortalama optimal sonuçtan sapma oranı %9,26'dan ortalama %4,78'e düşürülmüştür.

Ayrıca, Opet Fuchs firmasının beklentilerini karşılayacak şekilde Excel VBA tabanlı bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS kullanıcıdan sadece çizelgelemesi istenilen işlerin ve miktarların girişi ile çizelgelemeye hazır hale gelmektedir. Yukarıda anlatılan iki sezgisel yöntem (iyileştirme operasyonu dahil) bu sistemin içerisine gömülmüştür. İki sezgisel yöntem çalıştırılarak her iki sonuç da kullanıcıya sunulmaktadır. Böylece işler optimal sonuca daha yakın bir şekilde çizelgelenmekte ve şirket tarafından istenilen farklı senaryolar kullanıcıya pratik bir şekilde sunulmaktadır. Ayrıca işlerin hangi makinelerde ne zaman üretileceğine dair bilgiler detaylı tablolarla ve Gantt şemaları yardımıyla kullanıcıya sunulmaktadır.

Tablo 2. Optimal Sonuç ve Sezgisel Yöntem Karşılaştırmaları

Örnek	Optimal Sonuçtan Sapma Oranı (%)		En İyi Yöntem	Örnek	Optimal Sonuçtan Sapma Oranı (%)		En İyi Yöntem
	Sezgisel Yöntem 1	Sezgisel Yöntem 2			Sezgisel Yöntem 1	Sezgisel Yöntem 2	
1	7,69	5,89	5,89	26	2,08	0,07	0,07
2	5,47	5,86	5,47	27	1,38	4,45	1,38
3	12,28	12,28	12,28	28	7,19	8,87	7,19
4	4,89	8,10	4,89	29	9,77	6,68	6,68
5	1,45	1,45	1,45	30	15,19	15,20	15,19
6	2,69	3,58	2,69	31	9,99	9,99	9,99
7	2,49	2,02	2,02	32	2,96	2,96	2,96
8	8,04	8,34	8,04	33	7,00	7,00	7,00
9	6,73	4,32	4,32	34	4,16	4,16	4,16
10	3,06	2,69	2,69	35	7,36	2,88	2,88
11	10,99	10,99	10,99	36	3,68	3,68	3,68
12	4,23	5,68	4,23	37	4,20	4,20	4,20
13	7,04	5,74	5,74	38	4,95	6,16	4,95
14	2,77	2,77	2,77	39	1,03	2,65	1,03
15	10,57	9,99	9,99	40	5,69	4,85	4,85
16	6,22	6,22	6,22	41	1,88	1,88	1,88
17	2,10	1,47	1,47	42	4,27	3,67	3,67
18	4,98	3,59	3,59	43	4,51	3,10	3,10
19	2,61	2,70	2,61	44	14,23	14,23	14,23
20	0,12	0,12	0,12	45	4,91	4,91	4,91
21	3,27	2,98	2,98	46	7,76	7,72	7,72
22	6,50	4,95	4,95	47	1,26	1,26	1,26
23	3,02	3,02	3,02	48	1,68	0,96	0,96
24	2,21	2,17	2,17	49	12,97	3,72	3,72
25	3,99	5,67	3,99	50	6,87	8,00	6,87
			<b>Ortalama</b>		<b>5,45</b>	<b>5,12</b>	<b>4,78</b>

## IV. SONUÇ

Opet Fuchs'taki üretim hattı; harmanlama, bekletme ve dolun olmak üzere üç ana aşamadan oluşan bir esnek akış tipi üretim atölyesidir. Klasik esnek akış tipi üretim kısıtlarına ek olarak şirketin üretim sisteminde; makine uygunluğu, sıraya bağlı kurulum süreleri ve makine kapasiteleri gibi şirkete özgü kısıtlar da bulunmaktadır. Bu karmaşık sistemde tecrübeye dayalı manuel çizelgelemeden kaynaklı verimsizlikler yaşanmaktadır. Bu sebeple, Opet Fuchs'un etkin ve hızlı çizelgeleme yapabilecek bir çözüm yöntemine ve bu yöntem ile entegre çalışan bir karar destek sistemine ihtiyacı vardır. Şirkete özgü ek kısıtlar nedeniyle, literatürdeki modellerden feyz alınarak, probleme özgün yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model farklı büyüklükteki veri gruplarıyla çözülmüş ve modelin çözüm süreleri incelenmiştir. Problemin NP-Zor yapısına bağlı olarak çözüm sürelerinin üstel olarak arttığı görülmüştür. Dolayısıyla, sezgisel yaklaşım olarak 'En Kısa İşlem Süresi' (SPT) kuralını baz alan iki farklı sezgisel yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemler, harmanlama tipi, makine kapasitesi, işlerin hazır olma zamanları, işlerin ağırlıkları ve sıra bağımlı kurulum süreleri gibi probleme özgü kısıtları da dikkate almaktadır. Alınan ilk sonuçlara göre, önerilen sezgisel yöntemlerin performanslarının oldukça iyi (%9,26) olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, önerilen yöntemleri daha da geliştirmek adına her iki yönteme de araya yerleştirme sezgiseli eklenmiştir. 50 farklı örnek üzerinden yapılan analizlere göre, önerilen sezgisel yöntemlerin optimal sonuçtan sapma oranı ortalama %4,78'dir.

Bunun yanı sıra, bu sezgisel yöntemler ile entegre çalışan kullanıcı dostu bir karar destek sistemi (KDS) de firmaya sunulmuştur. Geliştirilen KDS, çizelgeleri detaylı tablolarla ve Gantt şemaları yardımıyla kullanıcıya sunmaktadır. Yeni geliştirilen yöntem ve mevcut planlama sistemi karşılaştırıldığında projeden elde edilmesi beklenen sonuçlar; karar destek sistemi ile üretim planlamanın kolaylaşması ve daha hızlı yapılması, sipariş edilen ürünlerin ağırlıklarını da dikkate alarak en kısa zamanda üretiminin tamamlanması ve makinelerin en verimli şekilde kullanılmasıdır. Bunların sonucunda, şirket kapasite boşluklarından kaynaklanan mali kayıplardan kaçınılmış olacaktır ve zamandan tasarruf edilecektir.

## REFERANSLAR

- [1] Opet Fuchs. "Hakkımızda". <http://www.opetfuchs.com.tr/en/about-us/company-heritage> Son erişim tarihi: 2018.
- [2] Pinedo, M. L. 2008. *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems* (3. Baskı). New York: Prentice Hall
- [3] Ruiz, R. ve Vázquez-Rodríguez, J. A. 2009. "The Hybrid Flow Shop Scheduling Problem". *European Journal of Operational Research*, 205(1), 1-18.
- [4] Tanaka, S. ve Araki, M. 2012. "An exact algorithm for the single-machine total weighted tardiness problem with sequence-dependent setup times". *Computers & Operations Research*, 40, 344-352.
- [5] Gupta, J.N.D. 1988. "Two stage hybrid flow shop scheduling problem". *Journal of the Operational Research Society*, 39(4), 359-364



**YAŞAR  
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **BOYA ATÖLYESİNDE İŞ ÇİZELGELEME PROBLEMİ**

**Murat Can DOĞRUYOL, Ege DURAN, Gizem GÖRGÜLÜ, İpek GÜLHAN,  
Ayben Pınar KURUÇ, Kaan ÖZSÜMBÜL, Batuhan UĞUZ**

**Akademik Danışmanlar**

**Dr. Öğr. Üyesi Adalet ÖNER, Araş. Gör. Hande ÖZTOP**

**Şirket Danışmanı**

**Coşkun ANAÇ**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Bu projede, paralel olarak çalışan farklı konveyör hızlarına sahip boyahaneler (uniform parallel machines) için, sıra bağımlı hazırlık sürelerini (sequence-dependent setup times) de dikkate alarak iş çizelgelemesi yapılması hedeflenmiştir. Projedeki amaç, boyahane bölümünde oluşan toplam gecikme ve erken bitirme durumlarını azaltacak ve bundan kaynaklı ortaya çıkan ara stoku minimuma indirecek sistematik ve efektif bir çizelgeleme modeli ve algoritması oluşturmaktır. Öncelikle matematiksel model oluşturulmuş ve farklı iş büyüklüklerinde çözülerek problemin NP-zor olduğu saptanmıştır. Bu nedenle daha büyük problemlerin çözümüne yönelik sezgisel yaklaşımlar üzerine çalışılmıştır. En Erken Teslim Tarihi Kuralı (EDD) baz alınarak gecikme ve erken bitirilmeyi en aza indireyecek şekilde 3 farklı sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle çözüm elde edildikten sonra çözümü daha da iyileştirmek amacıyla makine içinde ve makineler arası ikili yer değiştirme (swap) operasyonları uygulanmıştır. Projenin sonunda elde edilen çözüm yöntemleri kullanıcı dostu bir karar destek sistemine entegre edilerek boyahane atölyesine verimli bir çizelgeleme yapılması sağlanmıştır.

## II. PROBLEM TANIMI

Manisa FRANKE fabrikası 33.000 metrekarelik arazisi, 1.5 milyondan fazla üretim kapasitesiyle modern bir fabrikadır. Fabrika içerisindeki iş akış planı müşterilerin siparişlerine göre yapılmaktadır. Planlama süreci, Satış Departmanı tarafından verilen talep verileri ile başlamaktadır. Daha sonra, talep verileri Üretim Planlama Departmanı'na aktarılmaktadır. Talep verilerine ve tahminlerine dayanarak, Üretim Departmanı tarafından günlük, haftalık ve yıllık üretim planları yapılmaktadır. Ek olarak, Planlama Departmanı hammadde gereksinimlerini belirlemekte ve bunları Satın Alma Departmanına rapor etmektedir.

Fabrikada üretim iş akışı mekanik bölümden başlayarak hammaddenin şekillendirilmesi ve birleştirilmesi, boyahane bölümünde ürünün boyanması, montaj bölümünde ürünün son haline gelmesi ve ambalajlanmasıdır. Bu projede, üretim hattının boyahane bölümü ele alınmıştır.

Boyahane bölümünde, iki adet paralel boyahane (makine) bulunmaktadır. İki boyahanenin konveyör hızları farklıdır, dolayısıyla çalışılan makineler "*farklı hızlı (uniform)*" makinelerdir [1]. Ayrıca, boyahane sisteminde, işlerin renk değişikliklerine bağlı olarak "*sıraya bağlı hazırlık süreleri (sequence-dependent setup times)*" oluşmaktadır [1]. Mevcut sistemde, boyahanedeki iş çizelgeleri, bir önceki aşama olan mekanik bölümündeki işlerin bitiş zamanları ve bir sonraki aşama olan montaj bölümündeki işlerin teslim zamanları dikkate alınarak herhangi bir sistematik yaklaşım olmadan planlanmaktadır. Standart bir prosedür olmamasından dolayı, her operatör kendi tecrübe ve sezgilerine göre çizelgeleme yapmaktadır. Verimsiz ve düzensiz bir planlama yapılmasından dolayı, boyahane bölümündeki işler planlanan teslim zamanlarına göre gecikmekte veya erken üretilmektedir. İşlerin gecikmesinden dolayı bazı işlerin müşteriye teslim zamanları karşılanamazken, erken bitirilen işlerin birikmesinden dolayı da ara stok artışları yaşanmakta ve bu stok artışları ekstra stok maliyetlerine neden olmaktadır.

Bu projenin amacı, gecikmeleri ve erken bitirme durumlarını en aza indirmek için sistematik ve verimli bir algoritma geliştirmek, ürünlerin herhangi bir ara stok oluşmadan montaj bölümüne belirlenen sürede hazır olmasını sağlamak ve böylece boyahane sürecini daha verimli hale getirmektir.

## III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Projenin çözümü için öncelikle kapsamlı bir teknik yazın taraması yapılmıştır. Bunun sonucunda çalışılan probleme benzer iki farklı model tespit edilmiştir [2,3]. Ancak, çalışılan problemde, makinelerin farklı hızlara sahip olmasından dolayı işlerin işlem süreleri makinelere göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle, matematiksel modeller Hamdy A. Taha tarafından yazılan kitaptan yararlanılarak ve işlem sürelerinin makine bazlı değişkenliği dikkate alınarak revize edilmiştir [4]. Modeller, sıra bağımlı hazırlık sürelerini de dikkate alarak paralel makine çizelgeleme problemi için toplam gecikme ve erken bitirme sürelerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Her iki modelin de performanslarını test etmek amacıyla,  $n$  iş büyüklüğü 5 ile 11 arasında değişmek üzere ve her iş büyüklüğünden 5'er örnek olacak şekilde toplam 35 örnek oluşturulmuştur. Bu kıyaslama modeller arasındaki farklılıkları gözlemlemek ve hangi modelin daha iyi performans gösterdiğine karar vermek amacıyla yapılmıştır. Çözüm süreleri ve kısıt sayıları açısından daha iyi performans gösteren model seçilmiştir [2]. Seçilen model ve kısıtları aşağıda açıklanmıştır:



**Kümeler**

$N$ : işlerin kümesi  $\{1, 2, \dots, n\}$

$M$ : makinelerin kümesi  $\{1, 2, \dots, m\}$

**Parametreler**

$d_i$  :  $i$  işinin tamamlanma tarihi

$p_{ik}$ :  $i$  işinin  $k$  makinesindeki işlem süresi

$s_{ij}$  : arka arkaya işlem gören  $i$  ve  $j$  işleri arasındaki hazırlık süresi

$s_{0i}$  :  $i$  işinin ilk iş olması durumundaki hazırlık süresi

$W$  : Büyük bir sayı

**Karar Değişkenleri**

$c_i$  :  $i$  işinin bitiş zamanı

$e_i$  :  $i$  işinin erken bitme süresi

$t_i$  :  $i$  işinin gecikme süresi

$x_{ijk}$  :  $\begin{cases} 1, i \text{ işinden hemen sonra } j \text{ işinin } k \text{ makinesinde yapılması,} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$

$y_{ik}$  :  $\begin{cases} 1, i \text{ işi } k \text{ makinesine atandıysa,} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$

**Matematiksel Model**

Minimize  $\sum_{i=1}^n (e_i + t_i)$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n x_{0ik} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$c_i + W(1 - x_{0ik}) \geq s_{0i} + p_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n x_{ijk} = y_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$c_j + W(1 - x_{ijk}) \geq c_i + s_{ij} + p_{jk}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j \quad (5)$$

$$c_i - d_i = t_i - e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

$$c_i, t_i, e_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j \quad (9)$$

Sıralamada ilk konuma atanmış gerçek işin başlangıç hazırlık süresine dikkat etmek amacıyla her makineye sahte bir kukla (dummy) iş tanıtılmıştır. Amaç fonksiyonu, işlerin toplam gecikme ve erken bitirilme süresini en aza indirmektir. Kısıt (1), her bir makinedeki tüm gerçek işlerden önce kukla işin yerleştirilmesini garanti etmektedir. Kısıt (2), her bir makineye atanan ilk gerçek işin bitiş zamanını hesaplamaktadır. Kısıt (3), bir makineye gerçek bir iş atandığında hemen öncesinde başka bir işin gelmesi gerektiğini ifade etmektedir. Benzer şekilde, kısıt (4) ise, bir makineye bir gerçek iş atanmışsa, diğer bir işin de hemen arkasından gelmesini garantilemektedir. Kısıt (3) ve (4),  $n$  sayıda işin  $m$  adet makineye atandığını belirtmektedir. Ayrıca, bu kısıtlar, eğer  $k$  makinesinde  $i$  işi  $j$  işinden önce geliyorsa hem  $i$  hem de  $j$  işinin  $k$  makinesine atanmış olması gerektiğini de ifade eder. Kısıt (5), bir işin bitiş zamanının, bu işin işlem süresi, sıra bağımlı hazırlık süresi ve önceki işin bitiş zamanının toplamına eşit veya daha fazla olması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (6), bir işin bitiş zamanı ile teslim tarihi arasındaki farkın, işin erken bitme veya gecikme süresine eşit olduğunu göstermektedir. Kısıt (7), bir işin sadece bir makineye atanmasını sağlamaktadır. Son olarak, kısıt (8) ve kısıt (9) karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

İş sayıları 5 ile 11 arasında değişmek üzere ve her bir iş büyüklüğü için beş farklı sayısal örnek olacak şekilde, toplam 35 örnek önerilen matematiksel model kullanılarak IBM ILOG CPLEX Optimization

Studio programında çözülmüştür. Farklı iş sayıları için modelin ortalama çözüm süreleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1 – Model 1 Ortalama Çalışma Süresi**

Model 1	
İş Sayısı	Ort. Çalıştırma Süresi (Sn.)
5	0,62
6	0,88
7	3,14
8	10,43
9	127,35
10	1753,95
11	50250,83

Problemin NP-zor yapısına bağlı olarak, Tablo 1’de de görüldüğü üzere, matematiksel modelin çözüm süresi problem boyutu büyüdükçe üstel bir şekilde artış göstermektedir. Sonuç olarak, iş sayısı arttıkça problemin çözülmesi zorlaşmakta ve kullanılan yöntem daha yüksek iş sayıları için verimsiz ve yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, daha büyük problemlerin çözümü için sezgisel yöntemler önerilmiştir. İlk çözümlere ulaşmak için “En Erken Teslim Tarihi (EDD)” kuralı modifiye edilerek 3 farklı sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Önerilen sezgiselin ilk versiyonu aşağıda özetlenmiştir:

- Adım 1. İşleri teslim tarihlerine (EDD kuralına) göre artan şekilde sırala.
- Adım 2. Listedeki ilk işin her iki makinedeki sıra-bağımlı hazırlık sürelerini de dikkate alarak tamamlanma zamanını hesapla.
- Adım 3. Her iki makine için Adım 2’de hesaplanan tamamlanma zamanlarına göre işin toplam gecikme ve erken bitme sürelerini (lateness) hesapla.
- Adım 4. İş minimum toplam gecikme ve erken bitme süresini veren makineye çizelgele, eşitlik çıkması durumunda işi “En Kısa İşlem Süresi (SPT)” kuralına göre çizelgele.
- Adım 5. Çizelgelenen işi listeden kaldır ve Adım 2’ye geri dön.

İkinci sezgisel yöntem aşağıda açıklanmıştır.

$EC_k = j$  işinin  $k$  makinesinde en erken tamamlanma zamanı

$ES_k = k$  makinesinin en erken işe başlama zamanı

İş Listesi =  $\{1 \dots n\}$

$son_k = k$  makinesine çizelgelenen son iş

$EC_{jk} = \text{Maksimum} \{ES_k + S_{(son_k)j} + p_{jk}, d_j\}$

- Adım 1. Listedeki bütün işlerin her makinedeki en erken tamamlanma zamanını ( $EC_{jk}$ ) hesapla ve en küçük değere sahip iş-makine ikilisini bul.
- Adım 2. Seçilen işi makineye çizelgele, erken tamamlanma zamanında makineler arası eşitlik çıkması durumunda daha az iş bulunan makineye çizelgele.
- Adım 3. Makineye çizelgelenen iş sayısını ve sırasını güncelle.
- Adım 4. Makinenin en erken işe başlama zamanını ( $ES_k$ ) ve makinedeki son iş bilgisini ( $son_k$ ) güncelle.
- Adım 5. Çizelgelenen işi listeden kaldır ve Adım 1’e geri dön.

Üçüncü sezgisel, GTW [8] algoritması ile ikinci sezgisel yöntemin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Yukarıdaki ikinci sezgisel yönteme GTW yöntemini uygulamak üzere aşağıdaki gibi ekstra bir adım eklenmiştir. GTW yöntemi belirlenmiş bir iş sırası üzerinden tüm işlerin teslim zamanından sapmasını en aza indirmeyi amaçlayan etkin bir algoritmadır. Bu algoritma, yeni bir işi planlarken, bazı adımlarda önceden planlanmış işleri daha erkene çekerek gecikme ve erken bitirmeyi (lateness) en aza indirgeyecek şekilde çizelgeleme yapmaktadır.

- Adım 1. Listedeki bütün işlerin her makinedeki en erken tamamlanma zamanını ( $EC_{jk}$ ) hesapla ve en küçük değere sahip iş-makine ikilisini bul.

- Adım 2. Seçilen işi makineye çizelgele, erken tamamlanma zamanında makineler arası eşitlik çıkması durumunda daha az iş bulunan makineye çizelgele.
- Adım 3. Makineye çizelgelenen iş sayısını ve sırasını güncelle.
- Adım 4. GTW algoritmasını uygula.
- Adım 5. Makinenin en erken işe başlama zamanını ( $ES_k$ ) ve makinedeki son iş bilgisini ( $son_k$ ) güncelle.
- Adım 6. Çizelgelenen işi listeden kaldır ve Adım 1'e geri dön.

Bu operasyonlardan sonra yapılan detaylı teknik yazın taramasından yararlanılarak [5, 6, 7] çözümü daha da iyileştirmek amacıyla makine içinde ve makineler arası ikili yer değiştirme (swap) operasyonları da uygulanmıştır [2, 8].

Önerilen sezgisel yöntemler kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturmak amacıyla Excel VBA programı kullanılarak kodlanmıştır. Boyahane boyanacak işlerin teslim tarihi, işlem süreleri ve hazırlık sürelerini girdi olarak alan Karar Destek Sistemi, her bir işin hangi makinede hangi sırayla yapılacağı bilgisini Gant Şeması ve iş çizelgesi olarak raporlamaktadır. Çizelgeleme için kullanılacak veriler otomatik olarak gerekli klasörlerden çekilebilir veya manuel olarak girilebilir şekilde düzenlenerek kullanım esnekliği sağlanmıştır. Ayrıca, girilen tüm verilerin kullanıcı tarafından değiştirilmesine/düzenlenmesine imkân verilmiştir. Çizelgeleme sonucu oluşturulan raporlar fabrika içerisinde iletişimi hızlandırmak ve kolaylaştırmak adına KDS üzerinden e-posta yoluyla aktarılabilir. Aynı zamanda raporlar sistem üzerinden çıktı alınabilmektedir. Oluşturulan kullanımı kolay ve verimli çizelgeleme sistemi kullanım kılavuzu ile birlikte firmaya sunulmuştur. KDS'nin giriş ekranı ve örnek sonuç raporu Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.

İş Sayısı	İş Emri	Ürün Kodu	Boyahane 1	Boyahane 2	Teslim Tarihine Kalan Zaman	Teslim Tarihi
1	4779280	330.0547.034	156,74	165,93	250560	31.10.2019
2	4836693	330.0547.034	127,11	136,30	250560	31.10.2019
3	4900568	110.0443.105	118,22	127,41	252000	1.11.2019
4	4900569	110.0443.105	138,96	148,15	252000	1.11.2019
5	4900207	330.0547.034	254,22	272,59	252000	1.11.2019
6	4900203	330.0556.122	319,70	328,89	253440	2.11.2019
7	4900210	330.0529.666	110,81	120,00	253440	2.11.2019
8	4900227	330.0484.251	141,93	151,11	253440	2.11.2019
9	4900559	110.0458.144	112,30	121,48	253440	2.11.2019
10	4900215	330.0528.061	124,15	133,33	253440	2.11.2019
11	4844250	330.0528.065	126,37	135,56	253440	2.11.2019
12	4900634	110.0361.907	133,04	142,22	253440	2.11.2019
13	4900567	110.0443.107	180,44	189,63	253440	2.11.2019
14	4911123	330.0528.020	101,93	111,11	254880	3.11.2019
15	4911124	330.0528.020	115,26	124,44	254880	3.11.2019
16	4900636	110.0361.902	248,30	266,67	254880	3.11.2019
17	4900637	110.0361.902	115,26	124,44	254880	3.11.2019
18	4900638	110.0361.902	133,04	142,22	254880	3.11.2019
19	4900639	110.0361.890	133,04	142,22	254880	3.11.2019
20	4900640	110.0361.890	133,04	142,22	254880	3.11.2019
21	4911132	330.0499.580	283,85	302,22	254880	3.11.2019
22	4911118	330.0556.090	319,70	328,89	254880	3.11.2019

Şekil 1 – Karar Destek Sistemi Giriş Ekranı

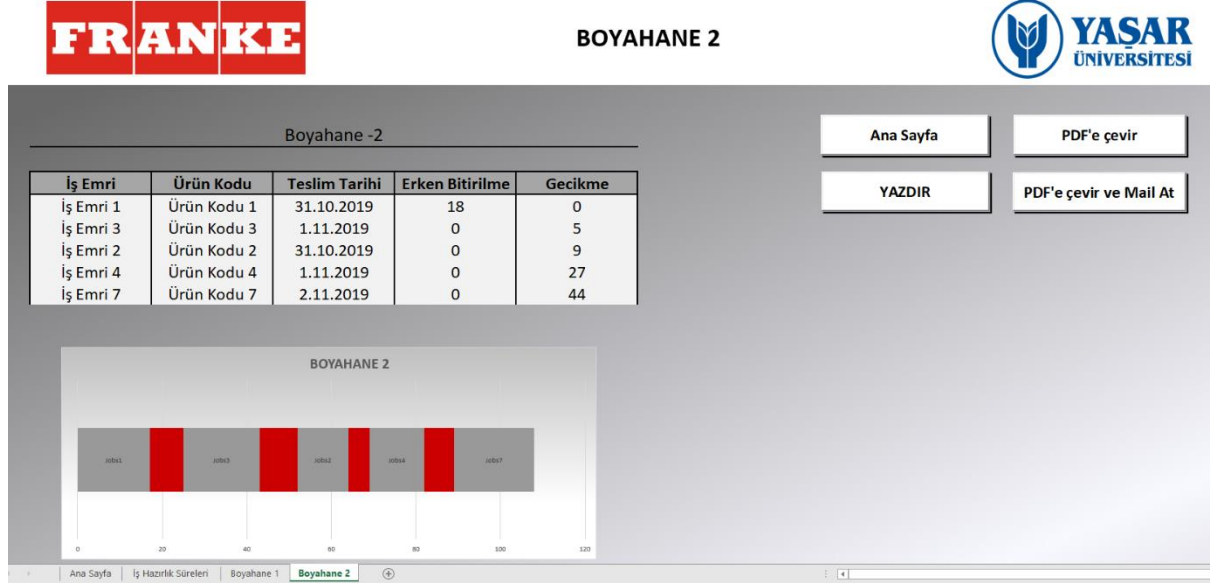
#### IV. SONUÇ

Fabrikada sistematik bir çizelgeleme sistemi olmaması sebebiyle, ürünler boyahane bölümünden montaj hattına olması gerekenden geç veya erken ulaşmakta ve bu nedenle yüksek miktarda ara stok veya gecikme meydana gelmektedir. Projenin sonucunda, kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturularak boyahane bölümündeki verimsiz çizelgelemeyi ortadan kaldırmak ve ürünleri en uygun zamanda montaj hattına ulaştırarak ara stoku ve gecikmeleri azaltmak amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda yapılan ilk çalışmada, amaç fonksiyonu gecikme ve erken bitirmeyi (lateness) en aza indiren bir matematiksel model oluşturularak farklı büyüklüklerdeki problemler için sonuçlar elde edilmiştir. Problemin NP-zor yapısından dolayı büyük veriler için sezgisel yöntemler de geliştirilmiştir. Önerilen ilk sezgisel yöntemde “En Erken Teslim Tarihi (EDD)” kuralı probleme uygun şekilde değiştirilerek uygulanmıştır. Aynı zamanda literatürde benzer paralel makine çizelgeleme problemlerinin çözümü için önerilen iki etkin sezgisel yöntem [2,8] de çözüm yöntemi olarak

uygulanmıştır. Ayrıca, amaç fonksiyonunu daha da iyileştirmek amacıyla makine içinde ve makineler arası ikili yer değiştirme (swap) operasyonları üç sezgisel yöntemle de eklenmiştir.

Sezgisel yöntemler, sıraya bağımlı hazırlık süreleri, makine bazlı işlem süreleri ve montaj hattına tamamlanma tarihlerini girdi olarak alan kullanışlı bir Karar Destek Sistemi'ne (KDS) entegre edilmiştir. KDS raporunda iş çizelgesiyle beraber işlerin hangi sırada ve hangi makinalarda yapılacağı bilgisi kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla Gant Şeması ile sunulmuştur. Bu sayede mevcut manuel planlamadan kaynaklanan gecikme ve erken bitirme durumları en aza indirilmiş ve ürünlerin ara stok oluşmadan montaj bölümüne belirlenen sürede hazır olması sağlanarak boyahanedeki çizelgeleme süreci daha verimli hale getirilmiştir. Oluşturulan karar destek sistemi esnek yapısı ile benzer problemlerin yaşandığı farklı sektörlerden birçok firmanın kullanımına uygundur.



Şekil 2 – Karar Destek Sistemi Örnek Sonuç Raporu

## REFERANSLAR

- [1] Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. Springer, 2016.
- [2] Sanjay Radhakrishnan & Jose A. Ventura (2000) *Simulated annealing for parallel machine scheduling with earliness-tardiness penalties and sequence-dependent set-up times* International Journal of Production Research, 38(10), 2233-2252.
- [3] Heady R, Zhu Z (2000) *Minimizing the sum of job earliness and tardiness in a multimachine system*. Int J Prod Res 36:1619-1632.
- [4] Hamdy A. Taha (2007). *Operation Research: An Introduction* (8th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [5] Kim, D. W., Kim, K. H., Jang, W., & Chen, F. F. (2002). Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3-4), 223-231.
- [6] Lee, J. H., Yu, J. M., & Lee, D. H. (2013). A tabu search algorithm for unrelated parallel machine scheduling with sequence-and machine-dependent setups: minimizing total tardiness. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(9-12), 2081-2089.
- [7] Lee, Y. H., & Pinedo, M. (1997). Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 100(3), 464-474.
- [8] Hassin, R., & Shani, M. (2005). Machine scheduling with earliness, tardiness and non-execution penalties. *Computers & Operations Research*, 32(3), 683-705.



**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

# HIZLI TÜKETİM ÜRÜNLERİ SEKTÖRÜ DİSTRİBÜTÖRLERİ İÇİN PERİYODİK ROTALAMA PROBLEMİ

**Ege Can Erdoğan, Onur Çopur, Simru Göven, Ali Övünç Güneri, Doğacan Tanış,**

**Alper Berke Yavuz, Mert Yıldız**

**Akademik Danışmanlar**

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

**Şirket Danışmanı**

**Zafer Yapıcıel**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Univera Kurumsal Teknoloji Çözümleri, hızlı tüketim ürünleri sektöründe faaliyet gösteren birçok müşteri için tedarik zinciri yönetimi yazılım araçları geliştirmektedir. Hızlı tüketim ürünleri sektöründe müşteriler, satıcı firmanın satış temsilcileri tarafından, belirli frekansta ve verilen saatler arasında ziyaret edilmelidirler. Bu nedenle, her satış temsilcisine verilen planlama ufku boyunca, her güne bir müşteri grubu atanmalı ve temsilciye bu müşterileri ziyaret etme sıra ve çizelgesi verilmelidir.

Her satış temsilcisi için oluşturulacak rota ve rotaların toplam uzunlukları, yakıt maliyetleri ve hizmet kalitesi firma için hayati önem taşımaktadır. Önem taşıyan niteliklerin özenle işlem görmesi, toplam maliyet ve piyasadaki başarı açısından olumlu bir fark yaratır. Bu nedenle, her satış temsilcisi için en uygun rotaların bulunması son derece önemlidir. Univera'nın şirket danışmanlığında yapılan bu çalışmada, zaman pencereli periyodik çoklu depolu gezgin satıcı problemi çözülmektedir. Bu adımda çalışmanın kapsamı, talep verilerinin toplanacağı zaman pencerelerini, müşteri ziyaret frekans kısıtlarına uyararak, hangi satış temsilcisinin hangi müşteriyi, hangi sırada ziyaret edeceğine karar vererek, satış temsilcileri tarafından kat edilen toplam mesafeyi en aza indirmeye yönelik bir optimizasyon modeli geliştirmektedir. Problemin çözülebilmesi için gereken girdiler; her müşterinin haftada kaç sefer ziyaret edildiği, her müşteride geçirilen ortalama süre, satış temsilcilerinin vardiyaları, müşterilere olası en erken ve en geç ulaşım süresi ve müşteriler arası uzaklıkları gösteren bir uzaklık matrisi şeklindedir. Ek olarak, Univera'nın müşterilerin gerçek koordinatlarını sağlaması, problemin çözümünü daha gerçekçi ve daha önemli hale getirmiştir. Sağlanan bu koordinatlar sayesinde bir uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Uzaklık matrisi, yaya olarak veya araç kullanımı için hesaplanabileceği gibi toplu taşıma için de kurgulanabilir. Bu çalışma, uzaklıklar arası mesafelerin, satış temsilcilerine firma tarafından atanan araçlar ile kat edilmesi üzerine kurgulanmıştır. Geliştirilen matematiksel optimizasyon modeli, sonrasında IBM ILOG CPLEX 12.8 programı aracılığıyla çözülmüştür. Problem verisinin çok büyük olmasından kaynaklı, en iyi çözümü bulabilecek olan CPLEX uygulaması bu büyük veriyi çözemeyeceği için problemi çözecek sezgisel bir metot geliştirildi. Genetik algoritmalar çok büyük verisi olan problemlerin en uygun çözümünü en hızlı şekilde bulabildiği için bu probleme en uygun metodun genetik algoritma olduğuna karar verildi ve problem bu metotla çözüme ulaştırıldı.

## II. PROBLEM TANIMI

Bu problem dahilinde çalışma, İzmir merkezli bir yazılım şirketi olan ve hızlı tüketim ürünleri sektöründe çeşitli müşterileri olan Univera Bilgisayar Sistemleri Sanayi Ve Ticaret Şirketi ile yapılmaktadır. Univera, 1992 yılında otomatik tanımlama, veri toplama teknolojileri ve mobil uygulamaları ele almak için kurulan bir bilgi teknolojileri şirkettir. Türkiye'de mobil iş çözümlerinin liderlerinden biri olan şirket, satış, dağıtım, depo, lojistik ve işletme yönetimi için birçok çözüm sunmaktadır.

Şirketin yıllık satışları yaklaşık 25.000.000 TL'dir. Pazar payı, sistemin üç ana ürününün kullanım alanına bağlıdır. EnRoute Panorama için pazar payı %60, Quest Panorama için %30 ve son olarak StokBar Panorama için pazar payı Türkiye'de %15'dir. Sektöründe lider olan Japan Tobacco International (JTI), Anadolu Efes, Nestle, Ülker ve Unilever gibi şirketler Univera'nın müşterileri arasındadır. Müşterilerin Univera'dan isteği, satış temsilcilerinin dağıtım noktalarından (depolardan) müşterilere ziyaretlerini minimum maliyetle optimize etmek için bir yönlendirme modülü yapılmasıdır. Satış temsilcileri, siparişleri toplamak için yerel market ve süpermarketleri, müşteriye göre önceden belirlenmiş sıklıklarda ziyaret etmelidir. Problemin içeriğinde 869 müşteri ve 7 müşteri temsilcisi bulunmaktadır. Bu müşterilerin 621 tanesinin haftada iki sefer, geri kalan müşterilerin ise haftada bir sefer olacak şekilde ziyaret edilmesi gerekmektedir. Ortalama olarak, her bir müşteri temsilcisi günde 10 saat çalışmaktadır, her bir müşterideki ortalama ziyaret süresi 10-15 dakika olmaktadır ve her bir müşteri temsilcisi günlük 35-40 ziyaret yapmaktadır. Verilerdeki değerlerin sağlanması, bir satış temsilcisi için daha iyi bir rota, daha düşük maliyet ve daha yüksek müşteri memnuniyetini sağlamak anlamına gelmektedir.

Bu projenin amacı, Univera tarafından sağlanan gerçek verilerle, zaman pencereli, periyodik, çoklu depolu, gezgin satıcı problemi için gerçek hayatta kullanılabilecek bir çözüm geliştirmektir. Çalışılan vaka, hızlı tüketim ürünleri sektöründe kullanılacak bir rota optimizasyonu problemidir. Hızlı tüketim ürünleri sektöründe büyük perakendeciler ve üreticiler, ürünlerini çok sayıda satış noktasına satmak ve

dağıtmak için satış temsilcilerine ve dağıtım araçlarına ihtiyaç duyarlar. Her müşteriye ait satış temsilcileri, belirli bir süre içinde ve verilen sıklıkta müşterilere ziyaretlerde bulunmalıdırlar. Bu ziyaretler aracılığıyla, hem satış artışı, hem de müşteri memnuniyeti sağlanmaktadır. Fakat ziyaretlerin verilen kısıtlar içinde tam olarak hangi sıra ile ve kim tarafından yapıldığına bağlı olmak üzere, toplam maliyette büyük farklar doğabilmektedir. Bu nedenle, satış temsilcileri için rota optimizasyonu sık karşılaşılan, son derece pratik ve akademik olarak da çözülmesi zorlu bir sorundur.

Çalışılan problem, gezgin satıcı probleminin bir varyantıdır. Gezgin satıcı problemi ziyaret edilmesi gereken bir dizi nokta ve yer arasındaki en kısa rotayı bulmakla görevli algoritmik bir problemdir [1]. Problemden satış temsilcileri tarafından ziyaret edilmesi gereken noktalar müşterilerdir. Şirketlerin amacı, satış temsilcileri için, seyahat edilen mesafeyi ve gerekli personel mesaisini kısaltarak, enazlayacak rotaları bulmaktır. Klasik gezgin satıcı probleminde [4], sadece bir zaman birimi içinde çözüm aranır, müşteriler için zaman pencereleri bulunmaz, yalnızca bir depo [3] ve bir satıcı vardır ve periyodiklik yoktur. Bu çalışmada, gerçek dünya koşullarını mümkün olduğunca uygulamak için, bir planlama ufku boyunca, zaman pencere, periyodik [2], çoklu depolu, gezgin satıcı problemi kullanılır [5].

Problemin semptomlarına örnek olarak, satış temsilcilerinin eşit iş yüküne sahip olmaması, minimum yakıt sarfiyatıyla maksimum dağıtım yapılamaması, verilen zaman pencerelerindeki talep frekanslarının karşılanamaması veya taleplerin zamanında karşılanamaması ve kat edilen toplam mesafenin optimum değerde olmaması gösterilebilir. Bunların sebeplerinden biri, belki de en önemlisi olarak; dağıtıcılar, dağıtım rotalarını belirlemek için çalışanların deneyimlerine dayalı, sezgisel yöntemler kullanmakta ve bu yöntem de bazı karmaşık durumlarda doğruluğu sorgulanan sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle bu çalışma, verilen zaman pencerelerindeki talep frekanslarını karşılarken, toplam seyahat maliyetini en aza indiren ve satış temsilcileri için en uygun rota planını hazırlayan bir yöntem geliştirmeyi ve geliştirilecek yöntemi uygulanabilecek yazılıma döndürmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan gerçek veriler Univera tarafından sağlanmış olup, İzmir'de bulunan Anadolu Efes dağıtıcılarına aittir.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Uygulanan adımların daha rahat anlaşılabilmesi için, proje akış diyagramı oluşturulmuştur. Başlangıç, işlem ve bitiş operasyonlarını içeren diyagram, çözüm sürecinin daha rahat algılanmasına ve hızlanmasına yardımcı olmuştur. Başlangıçtan bitişe kadar olan süreci içeren diyagram, karar verme süreci de eklenerek zenginleştirilmiştir. Öncelikle, Anadolu Efes dağıtıcılarından alınan gerçek veriler ile müşteri ve satış temsilcilerinin koordinatları belirlenmiştir. Alınan verilerin okunması ve analiz edilmesinden sonra bu verilerden yola çıkarak, Bing Maps Restful API uygulaması Python 3 programı ile birlikte kullanılarak, uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Çözüm yöntemi oluşturulurken, matematiksel model kurgulanmıştır.

Matematiksel modeli oluşturan parametreler, kümeler ve karar değişkenleri tanımlanmıştır. Başlangıç noktası için  $i$ , istikamet noktası için  $j$ , satış temsilcileri için  $k$ , günler için  $l$ , olası ziyaretler için ise  $r$  sembolü kullanılmıştır. Müşteri kümesi  $I, J = \{M + 1, \dots, N\}$ , satış temsilcileri kümesi  $K = \{1, \dots, M\}$ , haftanın günleri (periyot) kümesi  $L = \{1, \dots, 6\}$  ( $1 = Pazartesi$ ), ziyaret kombinasyonlarının kümesi  $R$ , olası ziyaret kombinasyonlarının kümesi  $C_i$  ( $i \in I, C_i \in R$ ) ile sembolize edilmiştir.

$M$  satış temsilcilerinin sayısını,  $N$  müşterilerin sayısını,  $E_r$  olası en erken servis zamanını,  $L_a$  olası en geç servis zamanını,  $V$  aracın ortalama hızını,  $d_{ij}$   $i \in I$  noktası ile  $j \in J$  noktası arasındaki mesafeyi,  $S_i$   $i \in I$  müşterisinin servis süresini ifade etmektedir.

Varsayım indekslerinin kümesi, satış temsilcisinin müşteriye varmasını içeriyor ise, aynı gün içinde müşteriye terk etmesini de içerecek şekilde  $H = \{M + 1, \dots, N\}$  olarak tanımlanmıştır.  $a_{rl}$  ifadesi 1 değerini alır ise,  $l \in L$  günü  $r \in C_i$  ziyaret kombinasyonunun içinde yer alır, 0 değerini alır ise,  $l \in L$  günü  $r \in C_i$  ziyaret kombinasyonunun içinde yer almaz.

- $x_{ijkl}$  karar değişkeninin 1 değerini alması, satış temsilcisi  $k \in K$ 'nin  $l \in L$  günü içinde  $i \in I$  müşterisini ziyaret etmesinin hemen ardından  $j \in J$  müşterisini ziyaret ettiğini ifade eder. Aksi takdirde 0 değerini alır.
- $y_{ir}$  karar değişkeninin 1 değerini alması  $r \in C_i$  ziyaret kombinasyonunun  $i \in I$  müşterisine atandığı temsil eder. Aksi takdirde 0 değerini alır.

- $w_{ikl}$ ,  $\forall l \in L$  gününde  $\forall i \in I$  müşterisi için  $\forall k \in K$  satış temsilcisi aracılığıyla servis zamanının başlangıcını ifade eder.
- $u_{ikl}$ ,  $\forall i \in I, \forall k \in K, \forall l \in L$  alt tur elemesi için tanımlanmış olan sıra endeksi.
- $Cf_{il}$ , çalışma saatlerinin ilk 90 dakikası ve çalışma saatlerinin 390. dakikası sonrasındaki hızın gün içindeki normal hızdan farklı olduğunu ifade eder.  $w_{ikl} \leq 90$  veya  $w_{ikl} \geq 390$  değerini almış ise, 0.85 değeri kullanılır. Aksi takdirde 1 değerini alır.

### Matematiksel Model

$$\text{Minimizasyon } z = \sum_{i \in I \cup K} \sum_{j \in J \cup K} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} d_{ij} x_{ijkl} \quad (0)$$

Öyle ki

$$\sum_{r \in C_i} y_{ir} = 1 \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijkl} = \sum_{r \in C_i} a_{rl} y_{ir} \quad \forall i \in I, \forall l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ihkl} = \sum_{j \in J} x_{ihkl} \quad \forall h \in H, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall j \in J, \forall l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{j \in K} x_{ijkl} = 1 \quad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (5)$$

$$\sum_{j \in K} x_{ijkl} = 1 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (6)$$

$$w_{ikl} + S_i + \left( \frac{d_{ij}}{V * Cf_{il}} \right) * 60 - M(1 - x_{ijkl}) \leq w_{jkl} \quad \forall i \in I \cup K, \forall j \in J \cup K, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (7)$$

$$Er_i \leq w_{ikl} \leq La_i \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (8)$$

$$u_{ikl} + 1 \leq u_{jkl} + M(1 - x_{ijkl}) \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (9)$$

$$x_{ijkl} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (10)$$

$$y_{ir} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (11)$$

$$u_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (12)$$

$$w_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (13)$$

Amaç fonksiyonu, satış temsilcileri tarafından kat edilen mesafeyi en aza indirmektedir (0). Kısıt (1), her müşteriye tam olarak uygulanabilir bir ziyaret kombinasyonunun atanması gerektiğini ifade eder. Kısıt (2), her müşterinin yalnızca atanan kombinasyona karşılık gelen günlerde ziyaret edilmesini sağlar. Kısıt (3), satış temsilcilerinin belirli bir gün içinde bir müşteriye ulaştığında, aynı gün içinde bu müşteriden ayrıldığını ifade eder. Her müşterinin her gün en fazla bir satış temsilcisi tarafından ziyaret edilmesi gerektiğini sağlayan kısıt (4)'tür. Kısıt (5), her satış temsilcisinin günlük turuna her gün evinden başladığını açıklar. Kısıt (6), her satış temsilcisinin her günün sonunda evine geri dönmesini sağlar. Kısıtlar (7-8), iki ardışık müşteriye varış süresinin, müşteriler arasındaki servis-seyahat süresi ve satış temsilcilerinin belirli bir zamanda gelmesini ve bu zamanların birbiriyle çakışmamasını sağlar. Alt tur elemesi kısıt (9) sayesinde sağlanmıştır. Kısıtlar (10-13), işaret kısıtlamalarını ve tanım kümesini temsil eder.



Matematiksel model, IBM ILOG CPLEX programında 869 adet müşteri için kullanılan veri seti ile beklenen şekilde ve sürede çözümlenememektedir. Problem verisinin çok büyük olmasından kaynaklı, en iyi çözümü bulabilecek olan CPLEX uygulaması bu büyük veriyi çözemeyeceği için problemi çözecek sezgisel bir metot geliştirildi. Genetik algoritmalar çok büyük verisi olan problemlerin en uygun çözümünü en hızlı şekilde bulabildiği için bu probleme en uygun metodun genetik algoritma olduğunu düşünüldü ve problem bu metotla çözüme ulaştırıldı.

Algoritma sözde kodu:

```

1- Population ← Form_initial_population (PopulationSize)
2- Solve_TSP (Population)
3- Best ← Get_best_solution (Population)
4- While (Termination_Criteria)
    Parents ← Select_parents_for_crossover (Pselect)
    Children ← ∅
    For (Parent1, Parent2)
        Child1, Child2 ← Crossover (Parent1, Parent2, Pcrossover)
        Child1 ← (Child1, Pmutation)
        Child2 ← (Child2, Pmutation)
    End
    Solve_TSP (Children)
    Best ← Get_best_solution (Children)
    Population ← Replace (Population, Children)
End
Return (Best)

```

Genetik algoritma için ilk olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur. Popülasyonun üyelerini oluşturmak için her müşteriye olası ziyaret kombinasyonlarından biri atanır. Ziyaret edilme frekansı 1 olan müşterilere olası gün kombinasyonlarından 1 güne sahip kombinasyon, frekansı 2 olan müşterilere ise 2 güne sahip olası gün kombinasyonlarından biri atanır. Daha sonra, elimizde 6 güne 2'li ve 1'li şekilde atanmış müşteri kümelerinden oluşan 6 kümenin her biri kendi içinde 7 tane satış temsilcisine dengeli bir şekilde atanır. 6 gün ve her gün için 7 satış temsilcisine uygun gün kombinasyonlarına göre atanmış bu müşteriler kümesi bir çözüm oluşturur ve bu çözümlerden başlangıç popülasyonunun büyüklüğü kadar rastgele çözümler üretilir. Örnek bir çözüm aşağıdaki görselde Python yazılım dili ile oluşturularak gösterilmiştir.

	0	1	2	3	4	5
0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
11	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
15	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
17	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
20	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
21	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
22	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
23	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0

Algoritma görselindeki satırlar iş günlerini, 1 değeri oluşan sütunlar ise müşterinin spesifik olarak haftanın o gününde ziyaret edilmesi gerektiğini göstermektedir. İkinci aşamada her müşteri(ler) belirli bir gün(ler)e atandıktan sonra, müşteri(ler) constraint K-Ortalama Kümeleme algoritması ile kümelendirilmiştir. Algoritmanın amacı her kümenin tam olarak 1 adet satış temsilcisi içermesini

sağlamaktır. Bu sayede, gezgin satıcı problemi her küme için ayrı ayrı çözümlenerek, çözüm sürecinde ilerleme kat edilecektir. Müşteriler, satış temsilcilerine atandıktan sonra, gezgin satıcı problemi algoritması her satış temsilcisi için her gün çözümlenir. Bütün rotaların mesafeleri toplanarak genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonunu oluşturur. Üçüncü aşamada bir önceki adımda popülasyon için bulunan çözümlerin uygunluk fonksiyonu değeri hesaplandıktan sonra küçükten büyüğe doğru sıralanıp popülasyon büyüklüğü kadar çözüm bir sonraki jenerasyonu oluşturmak için dördüncü adıma yani gen aktarımı ve mutasyon için aktarıldı. Dördüncü aşamada elimizde bulunan çözümlere gen aktarımı için rastgele bir olasılık ( $P_{\text{crossover}}$ ) atanır. Atanan olasılık daha önce belirlenen olasılıktan büyük ise o çözüm başka bir çözüm ile ikili olarak gen aktarımına uğrar. Gen aktarımı için çözümlerin frekansı 1 olan müşterileri kendisi için seçilen diğer çözümün frekansı 1 olan müşterilerin olduğu gen parçasının rastgele seçilen bir noktasından kesilerek genler çapraz bir şekilde aktarılır. Aynı prosedür frekansı 2 olan müşteriler için yapıldıktan sonra oluşan iki çözüm mutasyon süreci için hazırdır. Mutasyon işleminde her çözüm için bir mutasyona uğrama olasılığı ( $P_{\text{mutation}}$ ) atanır. Atanan mutasyon olasılığı önceden belirlenmiş mutasyona uğrama olasılığından büyük ise çözüm mutasyona uğrar. Mutasyona uğrayacak çözüm için rastgele bir nokta seçilir. Seçilen noktaya denk gelen müşteri hali hazırda bulunduğu günün haricindeki herhangi bir güne atanır ve ikinci adım yeni oluşturulan çözümler için tekrarlanır. Yeni oluşturulan çözümlerin toplam katedilecek mesafeleri hesaplandıktan sonra üçüncü adım tekrarlanır. Yeni popülasyon katedilecek mesafesi en küçük olan çözümlerden oluşur. Dördüncü aşamada, belirlenen algoritma bitirme kriteri kadar çalıştırılır. Son olarak elde edilen çözümlerden en iyi olanı yani satış temsilcilerinin 6 gün boyunca gideceği mesafesi en az olan çözüm, en iyi çözüm olarak döndürülür.

#### IV. SONUÇ

Proje öncesinde, firmanın kullandığı rotalar sezgisel ve çalışma yıllarından gelen tecrübelerin sonucu olarak herhangi bir bilimsel yöntem kullanılmadan oluşturulmaktaydı.

Proje sonrasında, firma için rotaların en uygun şekilde belirlendiği, toplam kat edilen mesafenin en aza indirildiği, bunun yanı sıra eski sisteme göre her dağıtım elemanının eşit şartlarda çalışmasını öngören yani iş yükü dengesi oluşturan, zamandan kazanç sağlayan ve yakıt sarfiyatının engellenmesini önleyen iyileştirmeler elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar ışığında, Microsoft Excel Visual Basic for Applications (VBA) kullanılarak, kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Karar destek sistemi kullanımı sonucu en uygun rotaların bulunduğu özet raporu ekrana yansımaktadır. Rapor, firma için gerekli olan, müşterilerin ziyaret zamanları, rotalar ve günlük ziyaret sayısı gibi verileri içermektedir. Satış temsilcilerine optimal rotalarının teslim edilmesi sonrasında oluşan iyileştirmeleri listelemek gerekirse:

- Trafik durumu ve hız kısıtları dahi göz önünde bulundurulduğu için, günlük, haftalık siparişlerin gecikmemesi ve dağıtımın rahatlıkla tamamlanması
- Her müşteri temsilcisinin eşit iş yüküne sahip olması
- Yakıt sarfiyatının minimuma indirgenmesi
- Toplam kat edilen mesafenin minimum tutulması
- Müşterilerin belirledikleri zaman pencerelerinde, frekanslarında ve günlerinde ziyaret edilmesi proje bitiminde elde edilen nihai çıktılardır.

#### REFERANSLAR

- [1] Alinaghian, M. (2014). A Navel Heuristic Algorithm for the Periodic Vehicle Routing Problem.
- [2] Chu, Feng & Labadie, Nacima & Prins, Christian. (2004). The Periodic Capacitated Arc Routing Problem linear programming model, metaheuristic and lower bounds. J Sys Sci Sys Eng. 13. 423-435. 10.1007/s11518-006-0174-y.
- [3] Clarke. G., Wright. J.W., Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 12, 1964, 568-581.
- [4] Coene, Sofie & Arnout, A & Spiexsma, Frits. (2010). On a periodic vehicle routing problem\*. Journal of the Operational Research Society. 61. 1719-1728. 10.1057/jors.2009.154.
- [5] Cordeau, Jean-François & Gendreau, Michel & Laporte, Gilbert. (1997). A Tabu Search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. Networks. 30. 105-119. 10.1002/(SICI)1097-0037(199709)30:2.3.CO;2-N.



**YAŞAR**  
**ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **BOSCH TERMOTEKNOLOJİ AR-GE LABORATUVARI TEST MAKİNELERİNİN OPERASYONLARININ ÇİZELGELENMESİ**

**Tuğçe Akboyun, Pelin Akçay, Mustafa Doğa Çetin, Batu Ekmekçi, Hakan Elmas,**

**Beste Yıldız, Sehercan Yılmaz**

**Akademik Danışmanlar**

**Prof. Dr. Levent Kandiller, Dr. Damla Kızılay**

**Şirket Danışmanı**

**Hüseyin Özçimen, Güler Öztürk**

**Izmir, 2019**

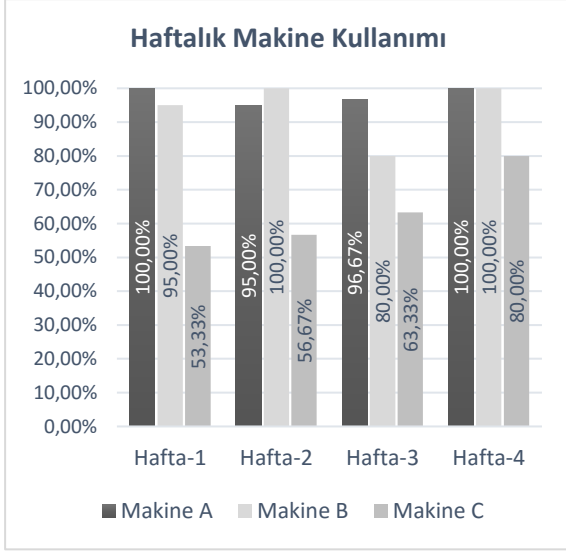
## I. GİRİŞ

İşletmeler topluma daha iyi hizmet verebilmek için zamanı en iyi şekilde kullanmayı ve müşteri taleplerini eksiksiz yerine getirmeyi hedeflemektedir. Bu rekabet ortamında öncü olabilmek, sektörün beklentilerini karşılamak ve çalışma verimliliğini artırmak için sürekli iyileştirmeler yapılarak ilerleyen teknoloji takip edilmelidir. Bu sebepler çizelgeleme sistemlerinin ve atama kararlarının planlamadaki önemini gösterir. Çizelgeleme; operasyonların, belli bir hedef kriterine göre, kısıtlar göz önünde bulundurularak kaynaklar üzerinde sıralanması ve atanan operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir [1]. Bu projede ele alınan konu, Bosch Termoteknoloji Araştırma ve Geliştirme (AR-GE) Laboratuvarındaki test operasyonlarının çizelgelenmesidir. Laboratuvarlarda, kombilere birçok farklı test uygulanmaktadır. Bu laboratuvarlar; elektrik laboratuvarı, fonksiyonel laboratuvarı, ses odası, rüzgâr odası, ERP, sistem laboratuvarı ve onay laboratuvarıdır. Talep edilen testler çeşitli test stantları üzerinde yapılmaktadır ve bu stantlar firma dilinde test makinesi olarak adlandırılmaktadır. Bu test makineleri A, B, C, D, E (Fabrika gizlilik kuralları nedeniyle makine isimleri belirtilmemiştir) test makinesi olmak üzere beş gruba ayrılır. Amaç, test makinelerine atanan testlerin tamamlanma süresini (Makespan) en aza indirmektir.

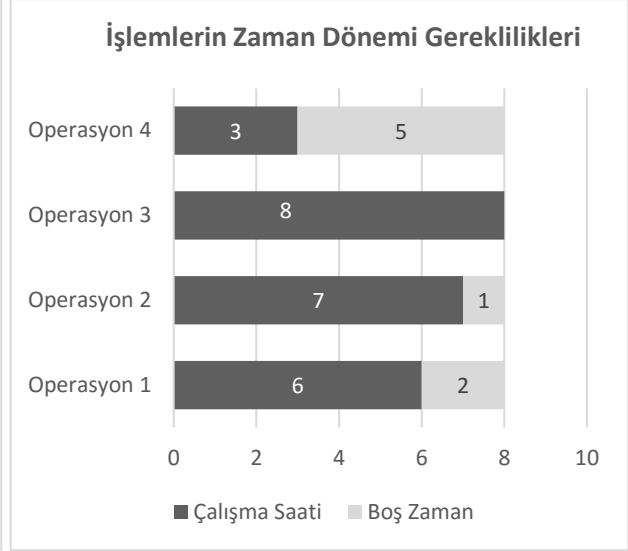
İşletmelerin üretim ortamları, üretilen ürünün özellikleri, makine yerleşimleri, işletmede uygulanan üretim metotları vb. nedenlere bağlı olarak farklılıklar gösterir. Bundan dolayı farklı üretim ortamlarına bağlı olarak farklı çizelgeleme problemleri ortaya çıkmaktadır. Atölye tipi üretim ortamında her işin kendine ait rotası bulunmaktadır. Paralel makineli çizelgeleme problemlerinde, gelen işler makinelerden herhangi birinde işlem görebilmektedir. Atölye tipi üretim ortamına paralel makinelerin eklenmesiyle esnek atölye tipi çizelgeleme (EATÇ) problemleri ortaya çıkar. Bu ortamların her birinde benzer makinelerin olduğu iş istasyonları yer almaktadır. Esnek atölye tipi çizelgeleme probleminde her bir işin her bir operasyonu en az bir makine üzerinde işlenebilmektedir [2]. Yani her operasyon için alternatif makine seçimi vardır. Birden fazla makinede işlem yapmanın mümkün olduğu üretim ortamını yansıtır. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde, test makinelerinde yapılacak işlerin çizelgelenmesi ve amaç fonksiyonuna en uygun şekilde işlenmesi son derece önemlidir. Tüm bu bilgiler ışığında, fabrikada yapılan incelemelere ve gözlemlere dayanarak semptomlar ve bu semptomların çıktılarının değerlendirileceği performans kriterleri belirlenmiştir. Bosch Termoteknoloji’de belirtilen problemin yapılan literatür araştırmaları sonucunda ‘Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme (EATÇ) Problemi’ olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, bu çalışma kapsamında geliştirilen modellerin, karar destek sistemi (KDS) oluşturularak bir planlama aracına dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Böylece, kullanıcı dostu ara yüz ve esnekliğe sahip olan KDS, anlık durumlarda sisteme hemen uyum sağlayabilecek ve bunun için baştan bir planlama gerektirmeyecek yazılım eksikliklerini giderecektir.

## II. PROBLEM TANIMI

Proje süreci boyunca yapılan gözlemlere dayanarak, test makinelerinin verimliliğini doğrudan etkileyen semptomlar tespit edilmiştir. Bu semptomlar, dört haftalık periyotlar boyunca gözlemlenen makine-kapasite kullanımı Şekil 1’de sayısal olarak gösterilmiştir. İlk olarak, test makineleri arasında gözle görülür bir kullanım oranı farkı olduğu, yapılan hesaplamalar sonucunda kaydedilmiştir. Bu veriler incelendiğinde manuel test makine atamasından kaynaklanan orantısız makine-test ataması yapıldığı gözlemlenmiştir. Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) bölümünde en çok talep edilen makineler A ve B test makineleridir. Tüm test makineleri belirli ortak işlemleri gerçekleştirme kapasitesine sahipken bazı testlerin yalnızca tanımlanan makinelerde yapılma zorunluluğu sistemde önemli bir kısıt olarak bulunmaktadır. C test makinesi; A ve B test makinesi ile aynı işlemleri yapabilirken makine yıpranma payı ve test süresinin diğer makinelerinkinden uzun sürmesi operatörler tarafından kullanım talebi farklılığı oluşturmaktadır.

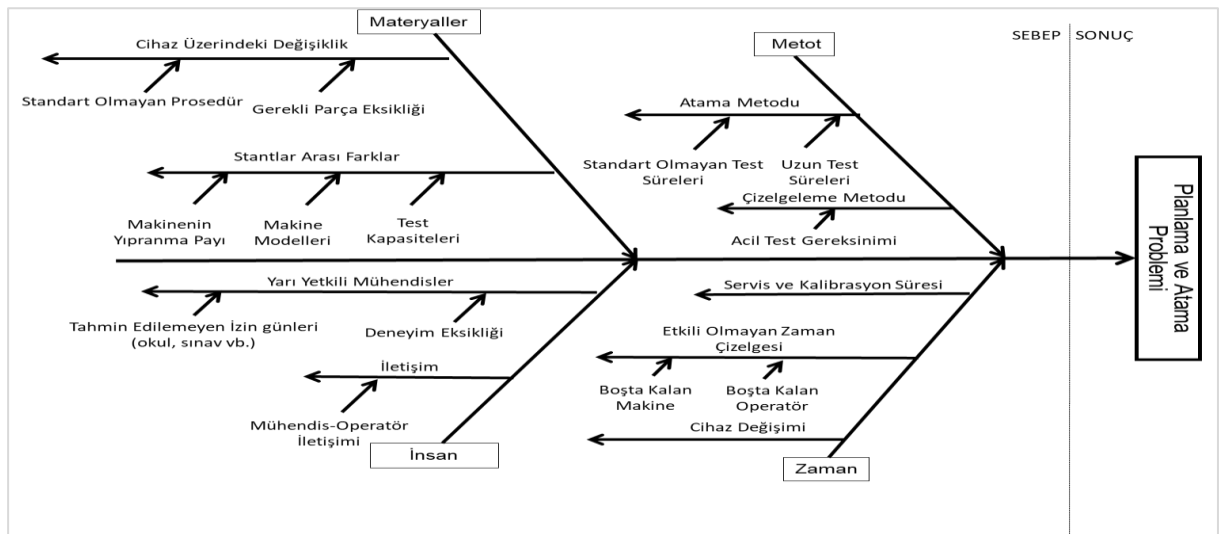


Şekil 1-Haftalık Makine Kullanımı



Şekil 2-İşlemlerin Zaman Dönemi Gereklilikleri

İkinci önemli semptom, hassas olmayan zaman periyodu kullanımından kaynaklanmaktadır. Mevcut sistemde Ar-Ge laboratuvarlarında, test talepleri belirli zaman aralıkları için planlanmaktadır. Her gün iki zaman diliminden ve her bir zaman dilimi dört saatten oluşmaktadır. Testler, mühendisler tarafından belirlenen bu dört saatlik zaman dilimleri göz önünde bulundurularak test makinelerine yetkili mühendis tarafından atanmaktadır. Ancak bu sistem, etkili zaman kullanımı açısından tercih edilen bir sistem değildir. Örneğin; bir işin bir operasyonun süresi belirlenen zaman dilimini kısa bir süre için bile aşıyorsa, diğer zaman dilimi bu kısa süreli işlem için kapatılacaktır ve başka test o zaman dilimi için o makineye atanamayacaktır. Bu durum test makinesinde büyük bir zaman kaybına sebep olup, test makinesi kullanım sonuçlarını büyük ölçüde etkileyecektir. Şekil-2, verilen bu örneği sayısal değerler ile açıklamaktadır. Operasyon 1'in işlem süresi altı saat olarak tanımlanmıştır ve ilk dört saati bir zaman dilimini tamamen kaplarken geriye kalan iki saatlik işlem için ikinci zaman dilimi de kullanılmaktadır. Bu durum ikinci zaman diliminin iki saatinde yani zaman diliminin yarısında makinenin işlem yapmadığı, boşta kaldığı anlamına gelmektedir. Verilen sayısal örnekte de görüldüğü üzere, planlama aşamasında belirlenen zaman dilimlerinin süresi; makine kullanım oranlarını, operatörlerin çalışma zamanlarını çok büyük ölçüde etkilemektedir. Sıralanan bu nedenler, zaman dilimlerinin kullanıcı tarafından talep edilen her durumda değiştirilebileceği bir karar destek sistemi eksikliğini göstermektedir.



Şekil 3-Planlama ve Atama Problemi Balık Kılıçlı Diyagramı

Son olarak, gözlemlenen diğer semptomlar dört ana başlıkta sınıflandırılabilir. Bu başlıklar: materyal, yöntem, insan ve zaman olarak balık kılıcı diyagramında (Şekil-3) tanımlanmıştır. Metot temelli semptomlar, manuel atama ve manuel çizelgeleme yöntemlerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Standart bir işlemin sistemde var olmaması ve programlanması gereken test talep sayısının fazlalığı mevcut sistemde var olan manuel yöntemler ile planlamanın yapılmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, acil olarak yapılması gereken test taleplerinde yapılan tüm planlama ve atama işlemlerinin yeniden manuel olarak yapılması gerekmektedir. Bu durum, yetkili mühendisin iş yükünü arttırmakla birlikte taleplere verilebilecek yanıtın gecikmesine neden olmakta ve tüm sistemin yeniden incelenerek en uygun planlama çözümüne ulaşılmasını zorlaştırmaktadır.

Test makinelerinin model farklılıklarından kaynaklanan bazı problemler de sistemde mevcuttur. Örneğin; her makinenin modeli, satın alınma zamanına bağlı yıpranmışlık payı ve testler için kurulum süresi birbirinden farklıdır. Bu nedenle, mevcut tüm makineler için standart bir prosedür yoktur. Diğer problem ise iletişim eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Sistemin karmaşıklığı nedeniyle, yarı yetkili mühendisler ve operatörler arasında iletişim sorunu oluşmaktadır. Bu kopukluk testlerin tamamlanma süresini uzatabilmektedir. Örneğin; bir operatör kendisine atanan testi verilen zaman diliminden erken bitirir ve yetkili mühendisi bilgilendirmez ise o test makinesine başka test atanmamaktadır. Bu durum, o zaman dilimi için operatörün boşa kalmasına, makinenin istenilen verimde kullanılmamasına ve sıradaki işlerin birikmesine neden olmaktadır.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEM(LER)İ

Güncel sistemde mevcut olan problemin tanısı konulduktan sonra sistemin iyileştirilmesi, problemin ortadan kaldırılması ve verimliliğin sürdürülebilirliği için çeşitli çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Sistem yapısı atölye tipi üretim sistemine uygun olduğu için atölye tipi üretim ile ilgili kaynaklar araştırılmış ve incelenmiştir. Ancak klasik atölye tipi üretim sistemi ile güncel sistem arasında bazı farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıkların en önemlisi klasik atölye tipi çizelgeleme probleminde her operasyon belirli bir makinede yapılması gerekirken güncel sistemde bu durum değişkenlik gösterir. Güncel sistemde bir işin operasyonu birden fazla makinede yapılabilmektedir. Bu koşullar kılavuz alınarak daha kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda da güncel sistem probleminin bir 'Esnek Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemi' olduğu saptanmıştır. Esnek atölye tipi üretim çizelgeleme problemleri Np-Zor sınıfındadır [3]. Bu nedenle bu problemlerin optimal sonuçlarını bulmak oldukça zordur. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerini kavramak için matematiksel modelleri ve çözüm yöntemleri incelenmiştir. İncelenen modellerden güncel sisteme en uygun modeller seçilmiştir. Elde edilen aday modellerin bütün karar değişkenleri, parametreleri ve kısıtları incelenmiş ve güncel sisteme uyarlamak için gerekli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler iki zaman tanımı için yapılmıştır. Bu zaman tanımları ayrık zaman ve sürekli zaman olarak sınıflandırılmıştır. Ayrık zaman modeli için mevcut sistemde uygulanabilir zaman dilimleri modele entegre edilmiştir. Güncel sistemin planlama sonuçlarını ve modellenen sistemin sonuçlarını karşılaştırabilmek için bazı anahtar performans ölçütleri belirlenmiştir. Bu problemdeki en önemli performans ölçütü, testlerin tamamlanma zamanının maksimumudur(Cmax). Diğer performans ölçütleri ise toplam gecikme ve test makinesi kullanım oranlarıdır. Saptanan model ve çözüm yöntemlerinin kıyaslanması için güncel sistem koşullarını kapsayan daha küçük ölçekli örnek bir problem oluşturulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda problemdeki değişken sayısının çokluğundan dolayı belirlenen modellerle optimal çözümün uygun zaman diliminde mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenden dolayı uygun zamanda optimal sonuca yakın bir sonuç veren sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma Visual Basic dili kullanılarak Microsoft Excel'de kodlanmıştır. İşlem süreleri ve işlerin öncüllük ardıllık ilişkilerini gözeterek geliştirilen algoritma makul bir planlama sonucu elde edilmesini sağlamaktadır. Çözüm yöntemlerinin araştırılmasındaki ilk aşama olan matematiksel modeller, geliştirilen algoritma için bir kıyaslama verisi elde edilmesini sağlamıştır. Bu kıyaslamalar için çözüm yöntemlerinde belirtilen küçük ölçekli problem verileri kullanılmıştır. Elde edilen karşılaştırma sonuçlarına göre algoritma güncellenerek geliştirilmiştir. Bulunan sonucu iyileştirmek için de çeşitli meta-sezgisel yöntemler araştırılmıştır. Tabu Arama, Karınca Kolonisi, Tavlama benzetimi, Genetik Algoritma meta-sezgisel örnekleridir.

**İndeksler;**

$i, h$ : İş indeksi (1,...,n)  
 $j, g$ : Operasyon indeksi (1,...,Ji)  
 $k$ : Makine indeksi (1,...,m)  
 $l$ : k makinesine atanan operasyon sırası (1,...,dk)  
 $u$ : zaman periyodu indeksi

**Parametreler;**

$n$ : Toplam iş sayısı  
 $m$ : Toplam makine sayısı  
 $Ji$ :  $i$  işinin toplam operasyon sayısı  
 $a_{kij}$ :  $O_{ij}$  operasyonunun atanabilir olduğu uygun makine kümesi  $M_{ij}$   
 $akij$ :  $\begin{cases} 1; & \text{operasyon } O_{ij}, i \text{ makinesinde işlem görebilirse} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$   
 $p_{kij}$ :  $O_{ij}$  operasyonunun  $k$  makinesinde ki işlem süresi  
 $M$ : Büyük sayı  
 $E_k$ :  $k$  makinesinin yapabileceği operasyon kümesi.

**Karar değişkenleri;**

$C_{max}$ : Toplam bitiş zamanı  
 $c_{ij}$ :  $O_{ij}$ ' nin tamamlanma zamanı  
 $s_{ijk}$ :  $k$  makinesinde  $O_{ij}$  operasyonunun başlama zamanı  
 $c_{ijk}$ :  $k$  makinesinde  $O_{ij}$  operasyonunun bitiş zamanı  
 $c_i$ :  $i$  işinin tamamlanma zamanı  
 $x_{ijkl}$ :  $\begin{cases} 1; & \text{operasyon } O_{ij}, k \text{ makinesinde } l \text{ öncüllüğünde} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$   
 $v_{ijk}$ :  $\begin{cases} 1; & \text{operasyon } O_{ij}, k \text{ makinesinde işlem gördüyse} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$   
 $z_{ijhkg}$ :  $\begin{cases} 1; & \text{operasyon } O_{ij}, k \text{ makinesinde } Ohg \text{ den öncüllüklü ise} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$   
 $w_{ijku}$ :  $\begin{cases} 1; & \text{operasyon } O_{ij}, k \text{ periyodunda işlem görüyorsa} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$   
 $t_{ij}$ :  $O_{ij}$ ' nin başlama zamanı  
 $T_{mkl}$ :  $k$  makinesinin  $l$  öncüllüğü ile çalışmaya başlama zamanı  
 $d_k$ :  $k$  makinesine atanan operasyon sayısı  
 $p_{sij}$ : makine seçildikten sonra  $O_{ij}$  operasyonun işlenme süresi

**Model;**

Amaç fonksiyonu;

Min Cmax

Kısıtlar;

$$\left(\sum_{k \in M_{ij}} W_{ijku}\right) * u \leq C_{max} \quad \forall i, u, j = J_i \quad (1)$$

$$\sum_u W_{ijku} = p_{kij} * v_{ijk} \quad \forall i, j \quad \forall k \in M_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j W_{ijku} \leq 1 \quad \forall k, u \quad (3)$$

$$p_{kij} * (W_{ijku} - W_{ijku+1}) + \sum_{r=u+2}^T W_{ijkr} \leq p_{kij} \quad \forall i, j, k, u = 1, \dots, T - 2 \quad (4)$$

$$\sum_{k \in M_{ij}} v_{ijk} = 1 \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$p_{kij} * W_{hgku} \leq \sum_{r=1}^{u-1} W_{ijkr} + M * (1 - Z_{ijhkg}) \quad \forall i \leq h, \quad \forall j, g, u = 2, \dots, T \quad \forall k \in M_{ij} \cap M_{hg} \quad (6)$$

$$p_{khg} * W_{ijku} \leq \sum_{r=1}^{u-1} W_{hgkr} + M * (Z_{ijhkg}) \quad \forall i \leq h, \quad \forall j, g, u = 2, \dots, T \quad \forall k \in M_{ij} \cap M_{hg} \quad (7)$$

$$\sum_{k \in M_{ij}} p_{kij} * v_{ijk} * \sum_{k \in M_{ij}} W_{ij+1ku} \leq \sum_{r=1}^{u-1} \sum_{k \in M_{ij}} W_{ijkr} * v_{ijk} \quad \forall i, j = 1, \dots, J_i - 1, \quad \forall u = 2, \dots, T \quad (8)$$

$$W_{ijku} \in \{0 - 1\} \quad \forall i, j, k, u \quad (9)$$

$$Z_{ijhkg} \in \{0, 1\} \quad \forall i \leq h, \forall j, g, \forall k \in M_{ij} \cap M_{hg} \quad (10)$$

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

**Kısıt açıklamaları;**

Kısıt (1); toplam bitiş zamanını hesaplar. Kısıt (2);  $O_{ij}$ 'nin  $k$  makinesinde işlenmesi için gerekli olan zaman periyotlarını hesaplar. Kısıt (3); Her periyot için her makinenin sadece bir operasyonu yapmasını

sağlar. Kısıt (4); Her bir operasyon için, operasyonun yarıda kesilmesini engeller. Kısıt(5); Bir operasyon yalnız bir makinede işlem görebilir. Kısıt (6,7); Operasyon Oij ve Ohg nin, Mij \ Mhg setindeki hiçbir makinede aynı anda yapılamayacağına garantisidir. Kısıt (8); İki ardışık operasyon arasındaki öncelik ilişkisini kurar.

#### IV. SONUÇ

Bosch Araştırma ve Geliştirme (AR-GE) laboratuvarlarında gözlemlenen problem, makine-test atamasının manuel olarak yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu projenin temel amacı, belirlenen teslim zamanını aşmadan ve makineleri verimli bir şekilde kullanarak planlanan testlerin tamamlanma süresini en aza indirmektir. Geliştirilmiş olan karar destek sistemi (KDS) yardımı ile test makinelerinin verimlilik analizleri karşılaştırılması ve sistemin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu proje kapsamında geliştirilen yöntemlerin ve yazılımların benzer sistemlere de uygulanabilir olması, projeyi sadece hedeflenen şirket için değil diğer kuruluşlar için de kullanılabilir olmasını sağlayacaktır. Bu durum, projeyi evrensel ve yenilikçi kılmaktadır. Proje boyunca, müşteri veya mühendis tarafından talep edilen testlerin verilen süre içerisinde teslim edilmesi, makine kullanımının yüksek tutulması, gecikmelerin en aza indirilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Şirkette kullanılan güncel sistemdeki zaman dilimleri dörder saat olarak belirtilmiş ve bu karar, zaman dilimlerinin verimli kullanılmamasına neden olmuştur. Geliştirilen sistem ile zaman dilimleri kırk beşer dakika olarak düzenlenmiş ve toplam günlük test planlama süresi on zaman dilimine ayrılmıştır.

Yapılan kapsamlı literatür taraması sonucunda ele alınan sistemin esnek atölye tipi çizelgeleme problemi olduğuna karar verilmiştir. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri NP-zor sınıfındadır. Bu nedenle bu problemlerin optimal sonuçlarını bulmak oldukça zordur. Yapılan CPLEX kodlamasıyla küçük boyutlu problemler için optimal sonuçlar bulunabilmiştir. Ancak mevcut planlama sisteminde genellikle daha büyük ölçekli problemlerle karşılaşmış ve büyük ölçekli problemlerin optimal çözümlerini bulmak için oldukça fazla bir zamana ihtiyaç duyulmuştur. Belirtilen bu nedenler dolayısıyla ele alınan problemi çözmek için sezgisel yöntemlere başvurulmuştur.

Esnek atölye tipi çizelgeleme probleminin matematiksel modelleri araştırılmış ve problemin doğasına uygun olan beş model, aday model olarak belirlenmiştir [4]. Seçilen modellerin kısıtları, parametreleri ve karar değişkenleri incelenmiştir. Yapılan modellemelerin sisteme birebir uyum sağlayabilmesi için çeşitli kısıtlar eklenmiş ve karar değişkenleri üzerinde gerekli değişiklikler yapılmıştır. Güncel sisteme en yakın, iki farklı zaman dilimi kullanan iki model sistem için güncellenerek CPLEX’de kodlanmıştır. Sistemde kullanılan planlama metodu ile proje sonunda geliştirilen metod sonuçlarının karşılaştırıldığı küçük ölçekli verilerle hazırlanan örnek bir problem yaratılmıştır. Örnek problem verileri kullanılarak her iki model için sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçların yorumlanabilmesi ve karşılaştırılabilmesi için Excel üzerinde gerekli kodlamalar yapılarak dinamik Gantt Grafikleri oluşturulmuştur.

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin literatürde gerçek hayat problemine yönelik uygulama örneği sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu çalışmanın literatürdeki gerçek hayat problemlerine katkı yapması beklenmektedir.

#### REFERANSLAR

- [1] Ekos Group website [Online]. Available : <https://www.ekosinerji.com/mp-include/uploads/2016/07/retim-sistemlerinde-cizelgeleme.pdf>
- [2] S. Kaya and N. Fırlalı. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemler ile çözümüne yönelik bir inceleme. *SAÜ Fen Bil Der.*, vol. 20(2), pages 223-244, 2016.
- [3] E. Sirkeci. *Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Çözüm Yaklaşımları*: Savunma Sanayinde Bir Uygulama. MSc Thesis, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Turkey, 2015
- [4] Demir, Y. İşleyen, K. S. (2013). "Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems". *Applied Mathematical Modelling*, vol. 37(3), pp. 977-988. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.03.020>





**YAŞAR  
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

**MALZEME ALIM PARTİ BÜYÜKLÜKLERİNİN  
OPTİMİZASYONU**

**Ege ÖZGÜLTEKİN, Furkan KOÇ, Merve BAŞAY, Merve EYÜPOĞLU,**

**Naz ÇELİK, Pırl KÖKSAL, Yağız Can ÇELGİN**

**Akademik Danışmanlar**

**Prof. Dr. Mustafa Arslan ÖRNEK, Dr. Damla KIZILAY**

**Şirket Danışmanı**

**Zühre KOŞAY**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Türkiye'nin ilk özel girişim entegre et tesisi olarak 1985 yılında kurulan Pınar Entegre Et ve Un Sanayi, şarküteri ve dondurulmuş et ürünleri pazarında lider konumda faaliyet göstermektedir. Şirket; şarküteri, dondurulmuş et ürünleri, dondurulmuş unlu ürünler, dondurulmuş deniz ürünleri, deniz ürünleri ve taze et ürünleri kategorilerinde geniş ürün portföyü ile tüketicilerinin beklenti ve taleplerine cevap vermektedir.

Pınar Entegre Et ve Un Sanayi, İzmir Kemalpaşa'da 300.000 m<sup>2</sup>'lik bir alanda faaliyet göstermektedir. Şirketin 590 mavi yakalı, 220 beyaz yakalı çalışanı vardır. Üretim kapasitesi ise 3 farklı şekilde ele alınmaktadır. Yılda 102.000 adet büyük baş hayvan kesim, 408.000 adet küçük baş hayvan kesim ve işleme kapasitesi varken hindi kesim ve işleme kapasitesi yılda 18.000.000 hindidir (İK,2018).

AR-GE bölümü, üç ana hayvansal hammaddeyi kullanarak beş ana ürün grubunda 350'den fazla ürünün üretimine katkı sağlamaktadır. Üretilen bu ürünler Türkiye'deki 150.000'den fazla müşteriye sunulurken dünya çapında da yirmiden fazla ülkeye ihraç edilmektedir. İşlenmiş et sektöründe şarküteri ürünlerinde pazarda lider olan Pınar Et, dondurulmuş et ürünleri, unlu ürünler ve balık ürünleri ile pazarda fark yaratmaktadır. Başarılı büyüme performansını devam ettirip, her kategoride payını artırarak, sektörde liderliğini sürdüren şirketin toplam şarküteri ciro pazar payı geçtiğimiz yıl %23,7 iken 6,1 milyon ABD Doları tutarında toplam ihracat cirosu gerçekleştirmiştir [1].

## II. PROBLEM TANIMI

Pınar Et, şarküteri ve dondurulmuş et ürünleri pazarında geniş ürün yelpazesine sahiptir. Ürün yelpazesinin geniş olması satın alınan kalemlerin sayısının artmasına ve planlanmasının kontrolünün zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu noktada, satın alma ve planlama birimleri üretime hizmet sağlamak ve karlılığı arttırmak için senkronize bir şekilde, ortak bir politika ile çalışmalıdır. Pınar Et bünyesinde bulunan planlama birimi, Yaşar Birleşik Pazarlama, direkt satış ve ihracat birimlerinden gelen 3 aylık satış tahminlerine göre üretimin ana ve ara ürün ihtiyacını belirler. Malzeme ihtiyacına karar verildikten sonra satın alımlar, satın alma biriminin kontratlar ile anlaşmalı olduğu tedarikçilerden karşılanır.

Planlama birimi malzeme ihtiyaç planını ile belirlenmiş miktarlarda satın alımlar yapmak isterken, tedarikçilerin asgari parti büyüklükleri ve tedarik süreleri satın alma biriminin sipariş parti büyüklüklerini arttırmaktadır. Bu da planlama departmanının öngördüğü malzeme ihtiyaç sayılarının üzerine çıkılmasına ve dolayısıyla tutulan stok miktarlarının büyümesine neden olmaktadır. Mevcut durumda, planlama ve satın alma birimleri arasında ortak politikayı belirleyen ve iki birimin paralel çalışmasını sağlayabilecek analitik bir yöntem kullanılmamaktadır. Şirket içerisinde satın alım parti büyüklüklerine karar verilirken bu iki birim arasında yaşanan fikir ayrılıkları çoğu zaman fazladan maliyetlere ve dolayısıyla şirketin finansal kaynaklarının boşa harcanmasına neden olmaktadır.

Sistemde gözlemlenen semptomlar ışığında, bu proje, şirketin mevcut üretim planlama sistemini geliştirmek, planlama ve satın alma departmanlarının verdiği kararlar arasındaki dengeyi sağlamak, planlama sürecine ait analitik bir metod bulmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu proje, toplam envanter maliyetlerini en aza indirmeyi, servis seviyesi göz önünde bulundurularak en uygun parti büyüklüklerini, sipariş sıklıklarını ve zamanlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Toplam envanter maliyeti azaltılırken satın alma esnasında oluşan birim maliyet, sabit giderler ve elde tutma maliyetleri dengelenmeye çalışılmaktadır.

Toplam maliyet ve servis düzeyi projenin iki ana performans ölçütüdür. Bu performans ölçütlerinin iyileştirilmesi projenin ana amacıdır. Toplam maliyet en aza indirgenmeye çalışılırken toplam talebi karşılamayı ifade eden servis düzeyi de müşteri memnuniyetini devam ettirebilmek adına Pınar Et'ten alınan verilere göre olabildiğince yüksek tutulmuştur.

Bu projenin çıktıları, asgari parti büyüklükleri, sipariş zamanları, elde tutulan envanter miktarı ve yoka düşme miktarıdır. Ayrıca, proje sonunda şirkete sunulacak olan kullanıcı dostu karar destek sistemi, gerekli veriler sisteme girildiği taktirde üretim alanında faaliyet gösteren her şirkette toplam envanter maliyetlerini en aza indirecek şekilde çalışacaktır.

Bu problem, literatürde envanter problemi olarak yer almaktadır. Sistem analizi sonrasında problemimizin deterministik ve dinamik bir envanter problemi olduğuna karar verilmiştir. Çünkü Pınar Et'in üretim planlarında kullandığı talep tahminleri deterministik olup bu talep zamanla değişim gösteren özelliktedir. Bu yüzden literatürde ilk olarak deterministik ve dinamik olarak oluşturulan envanter modelleri ve bunlara ek olarak, periyodik planlama, dönen planlama ufku ve ortak sipariş

verme ile ilgili çalışmalar da incelenmiştir. İlgili yazınlar Tablo 1’de gösterilmektedir. Sonuç olarak, deterministik ve zaman içinde değişen talep ve maliyet parametrelerine uyumlu, literatürde Wagner Whitin adıyla bilinen envanter modeli, dönen planlama ufku bakış açısıyla sipariş karşılama düzeyi göz önünde bulundurularak sipariş ötelemeye izin verecek şekilde yeniden formüle edilmiştir.

Tablo 1  
Teknik Yazın Taraması

YAZAR, TARİH	BAŞLIK	KISITLAR	AMAÇ FONKSİYONU
Wagner & Whitin, 1958	“Dynamic version of the economic lot size model” [2]	Tek ürün, talep deterministik, maliyet parametreleri dinamik, kısıtlı planlama ufku, sipariş ötelemeye izin yok.	Toplam envanter maliyetini en aza indirirken her periyodun talebini karşılamak.
Gonzalez & Tullous, 2004	“Optimal lot size decision the WW model with backorders” [3]	Tek ürün, kısıtlı planlama ufku, Klasik Wagner Whitin algoritması, sipariş ötelemeye izin verilmektedir.	Toplam envanter maliyetini en aza indirirken her periyodun talebini karşılamak.
Chand, 1982	“Dynamic lot sizing in a rolling-horizon environment” [4]	Dönen planlama ufkunun Klasik Wagner Whitin modeline uyarlanmasına izin vermektedir.	Toplam envanter maliyetini en aza indirirken her periyodun talebini karşılamak.
Khouja & Goyal, 2008	“A review of the joint replenishment problem literature” [5]	Birden fazla ürün, birden fazla tedarikçi, kısıtlı planlama ufku, ortak sipariş verme modeli	Toplam envanter maliyetini en aza indirirken her periyodun talebini karşılamak.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

İlk aşamada, projede çalışılacak olan ürünler belirlendi. Bunun için Phyton yazılım programı kullanarak ABC analizi uygulandı ve analiz, kullanım değerine göre gerçekleşti. Sonuç olarak, en pahalı ve aynı zamanda üretimde yüksek miktarlarda kullanılan kalemler seçildi. Bu projede ambalaj, kutu ve üretimde kullanılan yardımcı malzeme, baharat ve koruyucu maddeler gibi, gruplarından toplamda 46 ara ürün için çalışıldı. Daha sonra problemin yapısına uygun olarak matematiksel model geliştirildi ve bu 46 ara ürün için uygun zaman aralığında optimal sonuçlar elde edildi. Matematiksel modelde kullanılan parametreler, değişkenler, modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları, yapılan bazı varsayımlar ile aşağıda verilmiştir.

#### A. Kısıtlar ve Varsayımlar

Probleme yönelik matematiksel model formüle edilmeden önce bazı varsayımlar ve kabullenmeler yapılmıştır.

Periyodik planlama ufku uygulanmış olup, periyotlar haftalara bölünmüştür. Her periyodun talebi, periyodun başında oluşur. Ürünler yığınlar halinde sipariş edilip teslim alınır. Talep, tüm ürünler için deterministiktir ve zamanla değişebilir. Tedarik süresi deterministiktir ve zaman içinde değişmez. Sipariş ötelemeye izin verilmektedir. Maliyet parametreleri ürünlere özeldir. Birim maliyet satın alım adedinden bağımsız olup herhangi bir indirim söz konusu değildir. Karar değişkenlerinden olan sipariş verme, elde tutulan envanter ve ötelenen sipariş miktarı sürekli değişken olarak belirlenmiştir.

-Parametreler:

$t$  : zaman indisi

$u$  : zaman indisi

$i$  : ürün indisi

$d_t^i$  :  $i$  ürününün  $t$  zamanındaki talep miktarı

$c_t^i$  :  $i$  ürününün  $t$  zamanındaki birim maliyeti

$k_t^i$  :  $i$  ürününün  $t$  zamanındaki sipariş verme maliyeti

$h_t^i$  :  $i$  ürününün  $t$  zamanındaki elde tutma maliyeti

$l^i$  :  $i$  ürünün tedarik süresi

$T$  : planlama ufkunun uzunluğu

$J$  : toplam kalem sayısı

$M^i$  :  $i$  ürününün her periyotta görülen taleplerinin toplamı şeklinde hesaplanan büyük bir sayı

$I_0^i$  :  $i$  ürününün başlangıçtaki elde tutulan envanter düzeyi

$r_t^i$  : içinde bulunulan planlama ufkundan daha önceki planlama ufkunda  $i$  ürününün siparişi verilmiş ve stoğa  $t$  anında girecek olan envanter miktarı

-Setler:

$u, t \in \{1, \dots, T\}$  = zaman kümesi

$i \in \{1, \dots, J\}$  = ürün kümesi

-Karar Değişkenleri:

- $X_{u,t}^i = \begin{cases} 1, & \text{eğer ürün } i \text{ u anında sipariş edilip } t \text{ zamanında stoğa giriyor ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
- $P_t^i = \begin{cases} 1, & \text{eğer ürün } i \text{ için } t \text{ anında sipariş ötelemesi varsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
- $Q_{u,t}^i$  :  $u$  zamanında  $i$  ürününün  $t$  zamanında stoğa giren sipariş miktarı
- $I_t^i$  :  $t$  anında  $i$  ürününün elde tutulan stok miktarı
- $B_t^i$  :  $t$  anında  $i$  ürününün ötelenen sipariş miktarı

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^J (c_{(t-l)^i}^i \cdot Q_{(t-l)^i,t}^i + k_{(t-l)^i}^i \cdot X_{(t-l)^i}^i) + \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^J (h_t^i \cdot I_t^i) \quad (1)$$

subject to

$$Q_{(t-l)^i,t}^i + I_0^i - d_t^i + B_t^i + r_t^i = I_t^i, \quad t=1 \parallel t-l_i \geq 1, \quad \forall i \in J, \quad (2)$$

$$Q_{(t-l)^i,t}^i - d_t^i + I_{(t-1)}^i + B_t^i - B_{t-1}^i + r_t^i = I_t^i, \quad t=2, \dots, T-1 \parallel t-l_i \geq 1, \quad \forall i \in J, \quad (3)$$

$$Q_{(t-l)^i,t}^i - d_t^i + I_{(t-1)}^i - B_{(t-1)}^i + r_t^i = 0, \quad t=T \parallel t-l_i \geq 1, \quad \forall i \in J, \quad (4)$$

$$1 - \left( \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^J B_t^i / \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^J d_t^i \right) \geq 0,98, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J, \quad (5)$$

$$X_{t-l}^i \cdot M^i \geq Q_{(t-l)^i,t}^i, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J, \quad (6)$$

$$P_t^i \cdot M^i \geq B_t^i, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J \quad (7)$$

$$(1 - P_t^i) \cdot M^i \geq I_t^i, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J, \quad (8)$$

$$X_{t-l}^i, P_t^i \in \{0,1\}, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J, \quad (9)$$

$$I_t^i, Q_{(t-l)^i,t}^i, B_t^i \geq 0, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J \quad (10)$$

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu toplam envanter maliyetinin minimizasyonu olup denklem (1)'de gösterilmiştir. Kısıt (2), (3) ve (4) ve envanter denge kısıtlarıdır. Kısıt (2) herhangi bir planlama ufkunun ilk periyodu için yazılmış olup envanter sisteminin meydana gelen artış ve azalışlardan nasıl etkilendiğini göstermektedir. Kısıt (3) ara periyotlar için, Kısıt (4), özel olarak herhangi bir planlama ufkunun son periyodu için yazılmıştır. Dönen planlama ufkuna göre son periyotta envanter tutmama özel durumu Kısıt (4) ile sisteme anlatılmıştır. Problemimizde servis düzeyi talebin zaman içinde karşılanan ortalama değeri olarak ölçülmüştür ve bu değer 0,98'e büyük ya da eşit olması gerektiği Kısıt (5) ile ifade edilmektedir. Eğer ikili değişken  $X_{u,t}^i = 1$  olursa sipariş miktarı  $Q_{u,t}^i$  sıfırdan büyük bir sayı olmalıdır ifadesi Kısıt (6) ile gösterilmektedir. Kısıt (7) ve (8), siparişin ötelenip ötelenmemesi ile ilgili olup, sistemde ötelenmiş sipariş mevcutsa elde envanter tutulmamasını ifade etmiştir. Son olarak Kısıt (9) ve (10) ile değişkenlerin aralıkları ve işaret kısıtlamaları ifade edilmiştir.

Yukarıda anlatılan Dönen Planlama Ufku Modeli en klasik formda formüle edilmiştir. Buna ek olarak modelin iki versiyonu daha oluşturulmuştur. Bunlar da aynı uzunluktaki planlama ufku ve diğer şartlar için uygulanabilir olup şirkete farklı kolaylıklar sağlamaktadır. İlk model Ortak Sipariş Verme Modelidir. Bu model, sabit sipariş verme maliyetlerinden biri olan lojistik masrafını en aza indirmek ve planlama departmanında sipariş takibine ayrılan süreyi azaltmak için oluşturulmuştur. Pınar Et'in yurtiçindeki tedarikçileri şehirlere göre gruplanmıştır ve herhangi bir gruptaki bir ürün sipariş edildiyse o gruptaki diğerleri de otomatik olarak edilir. Siparişi ortak verilen bu ürünler aynı zaman içinde teslim alınır ve tek bir araçla fabrikaya getirilir. Böylece, bu model lojistik masrafının azaltılmasını sağlar. Bu

model için ek olarak tanımlanmış parametreler, set, karar değişkeni ve modeldeki değişiklikler aşağıda gösterilmektedir.

Parametreler ve set:

$k^{i,A}$  : Gruba özel sipariş verme maliyeti

$A$  :Grup indisi, tedarik süresine ve tedarikçinin şehrine göre atanır

$l_A$  :Bir gruptaki en uzun tedarik süresi, o gruptaki tüm ürünler için referans alınan değerdir

$G$  : grup sayısı

$A \in \{1, \dots, G\}$  = grup kümesi

Karar Değişkeni:

$X_{u,t}^{i,A} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } A \text{ grubundaki ürün } i \text{ u anında sipariş edilip } t \text{ zamanında stoğa giriyor ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^J (c_{(t-l^A),t}^i \cdot Q_{(t-l^A),t}^{i,A} + k_{(t-l^A)}^{i,A} \cdot X_{(t-l^A)}^{i,A}) + \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^J (h_t^i \cdot I_t^i) \quad (1)$$

subject to

$$Q_{(t-l^A),t}^{i,A} + I_0^i - d_t^i + B_t^i + r_t^i = I_t^i, \quad t=1, \quad \forall i \in A, \forall A \in G \quad (2)$$

$$Q_{(t-l^A),t}^{i,A} - d_t^i + I_{(t-1)}^i + B_t^i - B_{t-1}^i + r_t^i = I_t^i, \quad t=2, \dots, T-1, \quad \forall i \in A, \forall A \in G \quad (3)$$

$$Q_{(t-l^A),t}^{i,A} - d_t^i + I_{(t-1)}^i - B_{(t-1)}^i + r_t^i = 0, \quad t=T, \quad \forall i \in A, \forall A \in G \quad (4)$$

$$X_{(t-l^A)}^{i,A} \geq X_{(t-l^A)}^{j,A} \quad \forall t \in T, \quad \forall i, j \in J, i \neq j \quad (5)$$

$$X_{(t-l^A)}^{i,A} \leq X_{(t-l^A)}^{j,A} \quad \forall t \in T, \quad \forall i, j \in J, i \neq j \quad (6)$$

İlk modelden farklı olarak, yukarıdaki modelde her ürün için ayrı sipariş verme maliyeti yerine artık o grup için ortak sipariş verme maliyeti  $k^{i,A}$  parametresi kullanılır. Değişiklik Denklem (1)'de gösterilmiştir. Buna ek olarak amaç fonksiyonu ve Kısıt (2-3-4)'te grup indisi  $A$  ve gruba özel tedarik süresi  $l_A$  sipariş verme miktarını etkiler. Kısıt (5) ve (6) ise aynı grupta olan ürünlerin siparişinin aynı anda verilmesi için yazılmıştır.

Klasik dönen planlama ufku modelinde tedarikçilerin empoze ettiği kısıtlamalar olmadan talebe yönelik sipariş miktarları hesaplanmıştır. Modelin ikinci versiyonu olan Tedarikçi Bazlı Asgari Parti Büyüklüğü Modelinde ise tedarikçilerin asgari parti büyüklükleri ve yuvarlama miktarları göz önünde bulundurularak sipariş miktarları yeniden hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise üretim sektöründe her satın alınan ürünün üreticisinin kendi asgari üretim miktarının olmasıdır. Bu model için ek olarak tanımlanmış parametreler, karar değişkenleri ve modeldeki değişiklikler aşağıda gösterilmektedir.

Parametreler:

$p^i$  :  $i$  ürününün asgari parti büyüklüğü

$r^i$  :  $i$  ürününün asgari parti büyüklüğünden fazla alınacağı zaman söz konusu olan sipariş artış miktarı, yuvarlama miktarı

Karar Değişkenleri:

$R_{t-l_i}^i$  :  $i$  ürünün sipariş esnasında kaç kez artış miktarından etkilendiği, yuvarlama sayısı

$$Y_{u,t}^i = \begin{cases} 1, & i \text{ ürünü } u \text{ zamanında asgari sipariş miktarına ek olarak yuvarlandı ise,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^J (c_{(t-i)}^i \cdot (p^i + r^i \cdot R_{t-i}^i) + k_{(t-i)}^i \cdot X_{(t-i)}^i) + \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^J (h_t^i \cdot I_t^i) \quad (1)$$

subject to

$$(p^i + r^i \cdot R_{t-l_i}^i) + I_0^i - d_t^i + B_t^i + r_t^i = I_t^i, \quad t=1, \quad \forall i \in J, \quad (2)$$

$$(p^i + r^i \cdot R_{t-l_i}^i) - d_t^i + I_{(t-1)}^i + B_t^i - B_{t-1}^i + r_t^i = I_t^i, \quad t=2, \dots, T-1, \quad \forall i \in J, \quad (3)$$

$$(p^i + r^i \cdot R_{t-l_i}^i) - d_t^i + I_{(t-1)}^i - B_{(t-1)}^i + r_t^i = 0, \quad t=T, \quad \forall i \in J, \quad (4)$$

$$Y_{t-l_i}^i \cdot M^i \geq R_{t-l_i}^i, \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J, \quad (5)$$

$$R_{t-l_i}^i \geq 0, \text{ integer} \quad Y_{t-l_i}^i \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in J, \quad (6)$$

Bu modelde,  $i$  ürünü için sipariş verme miktarı, o ürünün asgari parti büyüklüğünden ve yuvarlama miktarından etkilenir. Amaç fonksiyonu (1)'de toplam birim maliyetle ilgili değişiklik gösterilmektedir. Aynı şekilde, Kısıt (2-3-4)'te de envanter denge denklemi yazılırken sipariş miktarı  $(p^i + r^i \cdot R_{t-l_i}^i)$  şeklinde yazılmıştır. Kısıt (5)'te,  $Y_{t-l_i}^i = 1$  olduğu durumda ancak yuvarlama sayısının pozitif tam sayı değeri alabileceği anlatılmıştır. Son olarak Kısıt 6'da değişkenlerin aralıkları ve işaret kısıtları anlatılmıştır.

Özetlemek gerekirse, problemimiz için formüle ettiğimiz bu üç matematiksel model kısıtlı veri setleri ve ardından Pınar Et'ten alınan gerçek veri setleriyle test edildikten sonra tutarlı sonuçlar elde edildiği anlaşıldığı ve problemde optimal sonuca ulaşılabildiği için başka herhangi bir çözüm yöntemine ihtiyaç duyulmamıştır. Bu yüzden oluşturduğumuz karar destek sistemimiz de IBM ILOG CPLEX 12.7.0. ile koordine çalışmaktadır.

Optimal sonuçlar ile karşılaştırıldığında verimliliği yüksek sonuçlar veren çoklu ürün ve periyodik planlama koşullarına uygun sezgisel bir yöntem üzerinde çalışılmaktadır. Sezgisel yöntem istenilen olgunluğa ulaştığı takdirde proje sunumunda ve fuarda sunulacaktır. Sezgisel yöntem sayesinde, Pınar Et, IBM ILOG CPLEX programına ihtiyaç duymadan da karar destek sistemini çalıştırabilecektir.

#### IV. SONUÇ

Bu projede Pınar Et'te satın alımı yapılan 46 kalemin sebep olduğu toplam envanter maliyetinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. "Klasik Dönen Planlama Ufku", "Ortak Sipariş Verme" ve "Tedarikçi Bazlı Asgari Parti Büyüklüğü" olmak üzere 3 farklı matematiksel model formüle edilmiş ve optimal sonuçlar IBM ILOG CPLEX yardımıyla elde edilmiştir. Şirketin, modelin çıktılarını kullanabilmesi için kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Her yönüyle dinamik olarak tasarlanan karar destek sistemi, problemin tüm parametrelerinin zaman içindeki değişimine izin vermektedir. Projenin katkılarından bahsedecek olursak, 2018 yılının ilk 5 aylık toplam envanter maliyeti Pınar Et'te 66.810.378 TL olarak gerçekleşirken; projemizin aynı veri seti ile verdiği sonuç "Klasik Dönen Planlama Ufku" için yaklaşık 25.000.000 TL, "Ortak Sipariş Verme" için yaklaşık 29.000.000 TL, "Tedarikçi Bazlı Asgari Parti Büyüklüğü" için ise yaklaşık 30.000.000 TL'dir. Yani, proje ile birlikte toplam envanter maliyetinde yaklaşık 50% azalma sağlanabileceği görülmüştür. Buna ek olarak, önceden şirketin planlama ve satın alma birimlerinde toplam 6 personelin yaptığı işi, tasarlanan karar destek sistemi 30 saniye gibi kısa bir sürede sadece bir dokunuş ile yapmaktadır. Sonuç olarak bu proje ile, fazladan maliyetlerin azaltılmasının yanı sıra hem iş gücünden hem de zamandan ciddi bir tasarruf sağlanmıştır.

#### REFERANSLAR

- [1] "Pınar Et," Pınar Et | Yaşar Holding. [Online]. Available: <http://yasar.com.tr/faaliyet-alanlari/detay/Pinar-Et/22/22/0>
- [2] H. M. Wagner and T. M. Whitin, "Dynamic Version of The Economic Lot Size Model," *Manage. Sci.*, vol. 5, pp. 89–96, 1958.
- [3] J. J. Gonzalez and R. Tullous, "Optimal Lot Size Decisions Using the Wagner-Whitin Model with Backorders," 2004.
- [4] S. Chand, "A Note On Dynamic Lot Sizing In A Rolling-Horizon Environment," *Decision Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 113–119, 1982.
- [5] M. Khouja and S. Goyal, "A review of the joint replenishment problem literature: 1989–2005," *European Journal of Operational Research*, vol. 186, no. 1, pp. 1–16, 2008.



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

# BOŞ KONTEYNER DEPOLAMADA MALİYETLERİN OPTİMİZASYONU

Volkan HELVACI, Mehmet Yasin GÖÇEN, İdil EFE

Koray ÇETİN, Öykü ÇAĞLAR, Doruk KIZILTUNÇ, Barış ATAY

**Akademik Danışman**

**Dr. Damla Kızılay**

**Şirket Danışmanı**

**Ceyhun Güven**

**İzmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, lojistik sektöründe çok önemli bir yere sahiptir. Günümüzde, taşımacılığın yaklaşık %90'ı deniz yoluyla yapılmaktadır. Deniz taşımacılığını, alternatiflerinden ayıran en önemli özelliği ise, diğerlerine göre çok daha ucuz olmasıdır. Bu sebepten dolayı, deniz taşımacılığı sıkça tercih edilmektedir. Deniz taşımacılığı Dünya'da 1950'lerin sonlarına doğru, Türkiye'de ise 1980'lerin başında popüler olmuştur.

Arkas Holding, 67 şirketi ve 7300 çalışanı ile Türkiye'nin öncü deniz taşımacılığı şirketidir. 25 farklı ülkede faaliyet gösteren şirketin, ülkemizde 14 şubesi bulunmaktadır.

Bu projenin amacı, gemiler tarafından limana indirilen boş konteynerlerin çeşitli depolara en uygun şekilde dağıtımını sağlamaktır. Bu dağıtım sırasında her bir deponun fiyatlandırma politikası ve depoların limana olan uzaklıkları göz önünde bulundurularak en düşük maliyet hedeflenmiştir. Bu planlamanın temel amacı şirketin boş konteynerlerin dağılımında meydana gelen karmaşa ve karışıklıkların, konteyner büyüklükleri ve stoklanacakları süreler göz önüne alınarak en uygun dağılımı yapmasına yardımcı olmaktır. Bu sayede, depolama ve nakliye maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

## II. PROBLEM TANIMI

Boş konteynerlerin yönetimi lojistik sektöründe her zaman geliştirilmesi gereken bir konu olmuştur. Bir yük gemisi ile limana gelen konteynerler, limanda boşaltıldıktan sonra, boş konteynerlerin depolanması ve nakliyesi düşünülmeli gereken bir problem haline gelmektedir. Mevcut sistemde, boş konteynerler, maliyet yönünden en uygun şekilde dağıtılmamaktadır. Şu anda, Arkas, boş konteynerleri en yakın depoya göndermeyi tercih etmektedir. Bu tercihin amacı, nakliye mesafesini azaltmaktır, ancak yapılan bu tercih sonucunda, bazı konteyner terminallerinde yığılma yaşanmaktadır. Bazı durumlarda ise, bu tercih, talebi karşılama konusunda sıkıntılara yol açmaktadır.

Song ve Carter [1] yakıt tüketimini ve tıkanıklığın azaltılmasını sağlayan boş konteyner hareketlerinin minimum düzeye indirilmesinden bahsetmiştir. Öte yandan, nakliye hatları ve konteyner yöneticilerinin de boş konteyner konumlandırma maliyetlerini azaltmak için kullanabilecekleri ayırt edici yöntemleri değerlendirmişlerdir ancak buradaki ana engel talep, kullanım ve taşımadaki belirsizliktir. Epstein ve diğerleri [2] binlerce konteyner konumlandırmasının kararını otomatik olarak verebilmek için bir karar destek sistemi kurdular. Karar alma süreci karmaşık ve belirsizliklerle dolu olduğu için karar destek sistemi (ECO), hem araştırmacılara hem de şirkete bu karışıklıkları aşmada yardımcı olmuştur. Song ve Dong [3], kargo yönlendirmesinden ve boş konteyner yeniden konumlandırmasından bahsetmiştir. Bu makaledeki farklılıkların ve benzerliklerin değerlendirilmesi, planlama ufkuyla ilgili maliyetleri en aza indirmeye yardımcı olmuştur. Bandeira vd. [4] boş ve dolu konteynerlerin aktarma işlemlerini göstermektedir. Bir çözüm yöntemi olarak, düğümlerin şirketleri, limanları ve depoları sembolize ettiği bir ağ olarak matematiksel bir model önerilmiştir. Bu makalenin farkı, dolu konteynerlerin de hesaba katılmasıdır. Moon vd. [5] şirketler için boş konteynerlerin yeniden konumlandırılması konusunu belirtmiştir ve bir çözüm yöntemi olarak matematiksel model önerilmiştir ve amacı katlama / açma maliyetini, stok maliyetini, konteyner satın alma maliyetini ve yeniden konumlandırma maliyetini içeren toplam bir maliyeti en aza indirmektir. Matematiksel modelleri çözmek için sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Ayrıca, duyarlılık analizi, satın alma ve nakliye maliyetinin katlanabilir konteynerlerin kullanımını etkilediğini gösterir. Shintani vd. [6], boş konteyner yeniden konumlandırılmasını açıkça dikkate alarak konteyner gemisi nakliye servis ağlarının tasarımından bahseder ve hem dolu hem de boş konteyner trafiğini göz önünde bulundurarak ağ tasarlayarak tüm sorunun optimize edilmesini önermektedir. Bu sorun Sırt Çantası Problemi temel alınarak modellenmiştir ve konum yönlendirme sorununa indirgenmiştir. Hjortnaes vd. [7] hasarlı ve hasarsız konteynerlerin akışları arasında basit bir farklılık gösteren çok ürünlü bir model önermektedir. Dış konteyner boş depoları, deniz terminalleri ve iç terminaller ağının örnek düzenindeki boş konteynerlerin yeniden konumlandırılması için hazırlanmıştır.

Projenin amacı doğrultusunda yapılan çeşitli gözlemler ve analizler sonucunda, mevcut durumda, şirketin sistematik bir karar verme sistemi olmadığı tespit edilmiştir. Boş konteynerlerin bir konteyner terminalinden veya deposundan diğerine taşınması (yeniden konumlandırma olarak da adlandırılır), Arkas'a gereksiz masraflar getirmektedir.



Tablo 1. Depoların fiyatlandırma politikaları

	<b>Kapı Giriş Maliyeti</b>	<b>Günlük Depolama Maliyeti</b>	<b>Ücretsiz depolanabilecek konteyner sayısı</b>	<b>Ücretsiz stoklanabilecek gün sayısı</b>
<b>Depo 1</b>	\$15	\$2	100 ADET-20 TEU'luk 50 ADET-40 TEU'luk	YOK
<b>Depo 2</b>	\$15	\$2	YOK	7
<b>Depo 3</b>	\$15	\$2	100 ADET-20 TEU'luk 50 ADET-40 TEU'luk	7
<b>Depo 4</b>	\$15	\$2 (0-7); \$2.5 (7-14); \$3 (14-21); \$4 (21+)	100 ADET-20 TEU'luk 50 ADET-40 TEU'luk	YOK
<b>Depo 5</b>	\$30	YOK	YOK	YOK

Tablo 1’de, Arkas’ın bünyesinde bulunan 5 konteyner deposunun uyguladığı fiyatlandırma politikaları gösterilmiştir. Her deponun bir kapı giriş maliyeti vardır. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü depolar için bu maliyet 15\$’dır. Beşinci depo için ise bu maliyet 30\$’dır. Bu ücret, her konteyner başına ödenmektedir. Günlük depolama maliyeti, konteynerlerin depoda durduğu gün sayısı kadar, günlük olarak ödenmektedir. Birinci, ikinci ve üçüncü depolar için, bu ücret günlük 2\$’dır. Dördüncü depoda, bu fiyat konteyner baz alınarak belirlenir. 0-7 konteyner için 2\$, 7-14 konteyner için 2.5\$, 14-21 konteyner için 3\$, 21 ve üzeri konteyner için günlük 4\$’dır. Ücretsiz depolanabilecek konteyner sayısı, eğer o depoya atanan konteynerlerin sayısı, “ücretsiz depolanabilecek konteyner sayısı”ni aşmaz ise, söz konusu olan depo, o konteynerler için günlük depolama maliyetini ücret olarak yansıtmaz. Bu tarife, birinci, üçüncü ve dördüncü depolar için geçerlidir ve 100 adet-20 TEU’luk veya 50 adet-40 TEU’luk konteyner sayısı ile sınırlıdır. Ücretsiz stoklanabilecek gün sayısı ise, söz konusu depoya atanmış konteynerler “ücretsiz stoklanabilecek gün sayısını aşmaz ise, söz konusu olan depo, günlük depolama maliyetini ücret olarak yansıtmaz. Bu tarife, ikinci ve üçüncü depolar için geçerlidir ve 7 gün ile sınırlıdır.

### III. ÇÖZÜM YÖNTEM (LER)İ

Önerilen sistemde, sitemin parametreleri ve karar değişkenleri belirlenerek matematiksel modeli formüle edilmiştir.

Matematiksel modelin çalıştığını doğrulamak için, küçük boyutlarda farklı sentetik veriler oluşturularak model çalıştırılmış ve sonuçları manuel olarak analiz edilmiştir. Daha sonra firmadan alınan gerçek veriler ışığında IBM ILOG CPLEX Optimization Studio v12.8 programı kullanılarak oluşturulan matematiksel model çözülmüştür.

Çözüm yöntemimiz iki adımdan oluşmaktadır;

- İlk adımda veriler önceden işlenir ve hasarlı konteynerler doğrudan Sütçüler deposuna gönderilir.
- İkinci adımda önerilen tamsayı programlama modeli hasarsız konteynerler için çözümler ve model taşıma ve depolama maliyetlerini göz önünde bulundurarak her boş konteynerin hangi depoya gönderileceğini belirler.

Matematiksel modelin varsayımları aşağıda açıklanmıştır:

- Boşalmış konteynerlerde incelemenin yapıldığı ve modelin sadece hasarsız konteynerleri girdi olarak aldığı varsayılmıştır.
- Her deponun planlama periyodu içinde gelen tüm boş konteynerleri depolayabilecek kadar kapasitesinin olduğu bilinmektedir ve depo kapasitesinin her zaman yeterli olduğu varsayılmıştır. Firma ile görüşmeler sonucunda hiçbir zaman kapasite problemi yaşamadıkları öğrenilmiştir. O nedenle bu varsayım çalışılan firma özelinde geçerli bir varsayımdır.
- Depolara müşterilerden gelen boş konteynerlerin taşıma maliyetleri müşteriler tarafından üstlenilmektedir. Fakat tüm konteynerlerin depolama maliyetleri firmaya aittir. Bu nedenle geliştirilen modelde sadece limandan depolara gönderilen konteynerler için taşıma maliyetleri dikkate alınırken, tüm konteynerlerin depolama maliyetleri düşünülmüştür.

Kümeler, karar değişkenleri, parametreler ve matematiksel model formülü aşağıda verilmiştir. Fonksiyonlar, kısıtlar, kümeler ve değişkenler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Problemimizde toplam 5 depo vardır ve her deponun fiyatlandırma politikası farklıdır. Bu politikalar deponun kapı giriş çıkış maliyetleri, günlük depolama maliyetleri, ücretsiz depolama yapılabileceği gün limitleri ve ücretsiz stok tutma kapasiteleri ile değişiklik gösterir. Farklı özellikteki depoların maliyetlerine ve konteyner taşınma maliyetine göre minimum harcama yapılması esas alınmıştır. Buna göre her depo için farklı durumlar incelenmiştir. Projenin hedefleri doğrultusunda oluşturulan matematiksel model aşağıdaki gibidir.

### Kümeler ve Parametreler

$N$ :	Konteyner kümesi
$M$ :	Konteyner depolarının kümesi
$N^v$ :	Limandan depolara gidecek olan konteynerlerin kümesi
$g_j$ :	$j$ deposunun kapı giriş maliyeti, $j \in M$
$c_j$ :	Limandan $j$ deposuna olan birim ulaşım maliyeti, $j \in M$
$d_i$ :	$i$ konteynerinin depolanacağı toplam gün sayısı, $i \in N$
$ds_j$ :	$j$ deposunun günlük depolama maliyeti, $j \in M   j \neq 3$
$ds_{j,k}$ :	$j$ deposunun gün sayısına göre $k$ tane aralıkta artan günlük depolama maliyeti
$k   k = 1, 0 \leq d_i < 8; k = 2, 8 \leq d_i < 15; k = 3, 15 \leq d_i < 22; k = 4, 21 \leq d_i, j = 4$	
$freedays_j$ :	$j$ deposunun ücretsiz stok tutabileceği gün limiti
$freepool_j$ :	$j$ deposunun ücretsiz stok tutabileceği konteyner limiti
$TEU_i =$	$\begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ konteynerinin TEU hacmi } 20 \text{ ise} \\ 2, & \text{eğer } i \text{ konteynerinin TEU hacmi } 40 \text{ ise} \end{cases}$

**Karar Değişkenleri**

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ konteyneri } j \text{ deposuna atandıysa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ konteyneri } j \text{ deposunun ücretsiz stok konteyner limitini aşarsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$fp_{i,j}$ :  $j$  deposuna atanan  $i$  konteynerinin TEU hacmi cinsinden kapladığı ücretsiz stok konteyner miktarı. TEU=20 için 1, TEU=40 için 2 konteynerlik yer kaplamaktadır.

$y_{i,j}$ :  $j$  deposuna atanan  $i$  konteynerinin ücretsiz stok gün sayısını aşan gün miktarı.

**Amaç fonksiyonu**

Minimize  $Z=$

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} g_j * x_{i,j} + \\ & \sum_{i \in N^v} \sum_{j \in M} c_j * x_{i,j} + \\ & \sum_{i \in N} \sum_{j \in M | j \neq 2,5} d_i * w_{i,j} * ds_j + \\ & \sum_{i \in N} \sum_{j \in M | j \neq 1,3,5} y_{i,j} * ds_j + \\ & \sum_{i \in N | d_i < 8} d_i * w_{i,4} * ds_{4,1} + \sum_{i \in N | 8 \leq d_i < 15} (7 * w_{i,4} * ds_{4,1}) + ((d_i - 7) * w_{i,4} * ds_{4,2}) + \\ & \sum_{i \in N | 15 \leq d_i < 21} (7 * w_{i,4} * ds_{4,1}) + (7 * w_{i,4} * ds_{4,2}) + ((d_i - 14) * w_{i,4} * ds_{4,3}) + \\ & \sum_{i \in N | 22 \leq d_i} (7 * w_{i,4} * ds_{4,1}) + (7 * w_{i,4} * ds_{4,2}) + (7 * w_{i,4} * ds_{4,3}) + ((d_i - 21) * w_{i,4} * \\ & ds_{4,4}) \end{aligned} \quad (0)$$

**Kısıtlar**

$$\sum_{j \in M} x_{i,j} = 1, \quad \forall i \in N \quad (1)$$

$$x_{i,j} * TEU_i \leq fp_{i,j} + (w_{i,j} * TEU_i), \quad \forall i \in N, \forall j \in M | j \neq 2, 5 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} fp_{i,j} \leq freepool_j, \quad \forall j \in M | j \neq 2, 5 \quad (3)$$

$$x_{i,j} * d_i \leq freedays_j + y_{i,j}, \quad \forall i \in N, j = 2 \quad (4)$$

$$x_{i,j} * d_i \leq freedays_j + y_{i,j} + (M * w_{i,j}), \quad \forall i \in N, j = 3 \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (0) toplam stokta tutulan konteyner maliyetinin ve bu konteynerlerin taşıma maliyetlerinin minimum olmasıdır. Amaç fonksiyonunun ilk denklemi her depoya atanan konteynerlerin depo kapı giriş maliyetlerini ifade ederken, ikinci denklem limandan depolara gönderilen konteynerlerin birim taşıma maliyetlerini göstermektedir. Firma sadece limandan taşınan konteynerler için birim taşıma maliyeti ödemektedir. Müşteriden gelen konteynerlerin taşıma maliyeti müşteriye aittir. Amaç fonksiyonunun üçüncü kısmı ücretsiz stok sayısını aşan konteynerler için stok gün başına ödenen maliyetleri hesaplamaktadır. Ücretsiz stok konteyner sayısı politikası 2 ve 5 numaralı depolar için geçerli değildir. Dördüncü denklem ise ücretsiz stok gün sayısını aşan konteynerler için stok gün başına ödenen maliyetleri hesaplamaktadır ve bu politika 2 ve 4 numaralı depolar için geçerlidir. Amaç fonksiyonunun son denklemi ise 4. depo için tanımlanmıştır ve stok gün sayısına göre artan maliyetleri hesaplamaktadır.

Kısıt (1)'e göre her bir konteyner sadece bir depoya atanabilir. Depoların tüm konteynerleri depolayabilecek kadar kapasitesinin olduğu varsayılmıştır. Kısıt (2) ve (3) ücretsiz stok konteyner sayısı politikası olan depolar için yazılmıştır. Kısıt (2) her konteynerin TEU hacmine göre atandığı depoların ücretsiz depolama limiti içindeki ( $fp_{i,j}$ ) ve dışındaki ( $w_{i,j}$ ) konteyneri ifade etmektedir. Kısıt (3) ise

ücretsiz depolama limiti içine atanan konteynerlerin verilen limiti aşmamasını sağlar. Ücretsiz depolama limiti dışında olan konteynerlerin amaç fonksiyonunda stokta tutuldukları her gün başına maliyet ödemeleri sağlanmıştır. Kısıt (4) ve (5) ücretsiz stok gün sayısı politikası olan depolar için yazılmıştır. Kısıt (4) ikinci depoya atanan konteynerlerin ücretsiz stok gün sayısını aşan günlerini tutmaktadır. Daha sonra amaç fonksiyonunda bu aşan günler için stok maliyeti hesaplanması sağlanmıştır. Kısıt (5) ise hem ücretsiz stok konteyner sayısı hem de ücretsiz stok gün sayısı politikası uygulayan dördüncü depo için yazılmıştır. Eğer bu depoya atanan konteyner, ücretsiz stok konteyner limiti içinde ise ( $w_{i,j} = 0$ ) ücretsiz stok gün limitini aşan konteynerlerin aştıkları günler hesaplanmıştır. Eğer bu depoya atanan konteyner ücretsiz konteyner limitini aşıyorsa ( $w_{i,j} = 1$ ), onun zaten depoda kaldığı gün başına maliyet ödenmektedir ve ücretsiz stok gün limitine bakmaya gerek yoktur. Her deponun politikasına uygun kısıtlar belirlenmiş ve depoların konteyner ya da stok gün limitini aşan konteyner maliyetleri amaç fonksiyonunda minimize edilmeye çalışılmıştır.

#### IV. SONUÇ

Genel Sistem Analizi, Problem Tanımı, Teknik Yazın Taraması, Matematiksel Modelleme, Çözüm Metodolojisi ve bu raporun ana bölümleridir. Boş konteynerlerin düzensiz dağıtılmasının, şirket için beklenmeyen maliyetlere yol açan sorunlara neden olduğu görülmektedir. Mevcut sistemde boş konteynerler en uygun depoya gider. Önerilen sistemimiz, taşıma maliyetini ve depolama maliyetini en aza indirerek, sorundaki depoların kapasitesine bağlı olan boş konteynerler için istikrarlı ve dengeli bir tahsis sunmaktadır. Bu çalışmanın beklenen sonuçları, İzmir limanında boş konteynerlerin Arkas'ın sahip olduğu depolara tahsis etmesinin yanı sıra, maliyetleri konteynerlerin boyutları, depoların depolama maliyetleri ve nakliye maliyetlerini minimum düzeyde tutar.

Yapılan çalışmalar sonucunda, depolarda oluşabilecek yığılmaların ve dengesizliklerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Üretilen sentetik veriler ve şirketten sağlanan küçük boyutlu gerçek veriler, modelin doğru çalıştığını doğrulamıştır. Projenin çıktılarına göre boş konteynerlerin en hızlı şekilde, en uygun maliyetlerle depolara dağıtımını sağlanabilecektir. Projenin amacı, depolama ve nakliye maliyetlerinin en aza indirgenmesini sağlamaktır ve bu çalışma firma özelinde yenilik anlamına gelmektedir. Ara çıktılar veya nihai çıktılar için patent, endüstriyel tasarım vb. fikri/sınai mülkiyet hakkı elde etme olasılığı şirket politikalarına bağlıdır. Yaygın etki olarak ise, yeni projelere öncülük etme niteliği taşıyıp, şirket kaynakların daha verimli kullanılmasına aracılık etmektedir. Projenin sonuçlarından, bu alanda çalışma yapacak olan araştırmacılar ve şirket yetkilileri faydalanabilirler.

#### REFERANSLAR

- [1] Song, D. P., & Carter, J. (2009). Empty container repositioning in liner shipping. *Maritime Policy & Management*, 36(4), 291-307.
- [2] Epstein, R., Neely, A., Weintraub, A., Valenzuela, F., Hurtado, S., Gonzalez, G., ... & Angulo, G. (2012). A strategic empty container logistics optimization in a major shipping company. *Interfaces*, 42(1), 5-16.
- [3] Song, D. P., & Dong, J. X. (2012). Cargo routing and empty container repositioning in multiple shipping service routes. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(10), 1556-1575.
- [4] Bandeira, D. L., Becker, J. L., & Borenstein, D. (2009). A DSS for integrated distribution of empty and full containers. *Decision Support Systems*, 47(4), 383-397.
- [5] Moon, I., Do Ngoc, A. D., & Konings, R. (2013). Foldable and standard containers in empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 107-124.
- [6] Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. (2007). The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(1), 39-59.
- [7] Hjørtnaes, T., Wiegman, B., Negenborn, R. R., Zuidwijk, R. A., & Klijn, R. (2017). Minimizing cost of empty container repositioning in port hinterlands, while taking repair operations into account. *Journal of Transport Geography*, 58, 209-219.



**YAŞAR  
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR UNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

**Yeni Bir Ürün Üretilmesi için Mevcut Montaj Hattının Yeniden Düzenlenmesi ve Hat Dengelemesinin Yapılması**

**Dilruba TELLİ, Gizem KARADENİZ, Yalçın BERBEROĞLU**

**Cemal Berke ERSOY, Doğançün UZUN, Caner SAMANCI, Elif BAYKAL**

**Akademik Danışmanlar**

**Assoc.Prof.Dr. Yiğit KAZANÇOĞLU, Araş.Gör. Damla YÜKSEL**

**Şirket Danışmanı**

**Murat PETEKKAYA**

**Izmir, 2019**

## I. GİRİŞ

Bosch Termoteknoloji, enerji verimli ısıtma sistemleri, sıcak su çözümleri ve soğutma sistemleriyle dünyanın önde gelen tedarikçilerindedir. 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 fabrika, üretiminin %70'ini 5 kıtaya ve 40'dan fazla ülkeye ihraç edip, 800 binden fazla evi ısıtmaktadır. 2,1 milyar Avro ihracat ile Türkiye'nin toplam ihracatının %1,5'ini oluşturmaktadır. 109 bin metrekarelik alana kurulu fabrika, 27 yıldır ürünlerini hem tasarlayan hem de geliştiren bir üs konumundadır.

Misyonu; uzun ömürlü, yüksek verimli, çevre dostu, enerji tasarrufu sağlayan ve yenilenebilir enerjiye dayanan ileri teknoloji kullanımınıdır. (Bosch Termoteknoloji,2017)

Değişen dünya ve gelişen teknolojiler kapsamında her zaman daha iyisini üretmeyi hedefleyen Bosch Termoteknoloji yenilikçi bakış açısıyla mevcutta ürettiği cihazlara yeni bir cihaz ailesini eklemeyi hedeflemektedir. Bu durum sayesinde hem müşterilerinin talepleri doğrultusunda üretim yapacak hem de pazardaki yerini koruyarak Pazar rekabetine devam edebilecek.

Proje kapsamında bulunan semptomlar aşağıdaki gibidir;

- Üretilen ürünün üretim hattına karar verilmesi gerekmektedir.
- Üretilen ürünün üretim hattına karar verildikten sonra bu ürünün çevrim zamanı hesabının ve kaç operatörle üretileceğinin hesaplarının yapılması gerekmektedir.
- Üretilen ürünün üretim hattı belirlendikten sonra hatta yapılacak fiziksel çalışmaların belirlenmesi gerekmektedir.
- Fiziksel çalışmalar ile birlikte hat düzeninde değişiklikler yapılmalıdır.
- Ürünün hattının ve operatör sayısının belirlenmesi ile birlikte fiziksel çalışmalar da tamamlandıktan sonra malzeme besleme şekline karar verilmelidir.
- Üretilen ürünün iş adımlarının öncelik sırasına karar verilip tüm hesaplamalar sonucunda iş istasyonlarına atanması gerekmektedir.

## II. PROBLEM TANIMI

Bu projede ele alınan problem yeni tasarlanan ürün ailesinin mevcut hatlarda mevcut üretim şekliyle üretime alınmasıdır. Üretilen yeni ürünün adı C2000, mevcut ürün aileleri ise LCK ve LPP'dir. Ürünün mevcut hatta üretilmesi diğer üretilen ürün ailelerini etkilememeli ve optimum çevrim süresi, optimum operatör sayısı ile birlikte alan kullanımı da optimumda tutularak müşteriye istediği adette istediği zamanda ürünü verimli bir şekilde üretmeyi hedeflemektedir. Proje kapsamında ürünün iş adımları analiz edilerek öncelik sırasına karar verilip ardından çevrim süresi, operatör sayısı, fiziksel hat gereklilikleri, malzeme besleme şekilleri belirlenmeli ve hat üretime hazır hale getirilmelidir.

## III. ÇÖZÜM YÖNTEM(LER)İ

Çoklu modellenmiş montaj hattında, var olan iki ürün modelinin yanı sıra bu hatta dahil edilen üçüncü ürün modelinin istasyon ve çalışan sayılarının sabit tutulması kaydıyla, kayıpların engellenerek çevrim sürelerinin en aza indirilmesi ve hattın verimliliğinin en çoklanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çeşitli makaleler taranmıştır. Çalışan sayısını en aza indirmek için toplu öncelik şeması, düzeltilmiş görev işleme süreleri yöntemleri, ters öncelik diyagramı yöntemleri; karınca koloni optimizasyonu ve sezgisel arama; çok tam sayılı programlama ve yine karınca koloni optimizasyonu sırasıyla, kullanılmıştır(Fokkert ve Kok(1996), McMullen ve Tarasewich(2007), Widyadana (2009)). Verilen çevrim süresi için istasyon sayısının en aza indirilmesi için Karınca Koloni optimizasyonu kullanılmıştır(Betül Yagmahan (2011)). Amaçlarımızın farklılığından dolayı bu yöntemler kullanılmamıştır. Çevrim süresini azaltmak için çok tamsayı programlama, sıralı ağırlık yöntemi ve hesaplamalı algoritmalar; kısıtlama yöntemi; genetik algoritma; meta sezgisel yöntemleri sırasıyla, kullanılmıştır.(Karabatı ve sayın (2003), Yoosefelahi et. al (2012), Ramezani ve Ezztpanah (2014), Neda et. al.(2015)). Zaman kayıplarını azaltmak için; sıralı ağırlık, en büyük aday kuralı, deneme-hata yöntemi, Killbridge ve Westers kuralı ve çok tamsayı programlama sırasıyla kullanılmıştır.(Zelter et. al. (2013), Hwang ve Katayama (2007)). Hattın verimliliğini arttırmak için öncelik tabanlı genetik

algoritma, genetik algoritma ile iyileştirme yapısı, rulet tekerleği ve sıralı konum ağırlığı kullanılmıştır.(Hwang ve Katayama (2007)). İstasyon sayısını en aza indirmek için çok tam sayılı programlama kullanılmıştır.(Akpınar ve Baykasoglu (2014)).istenilen görevlerin istasyonlara operatör ve istasyon sayısını azaltarak, eşit dağıtmak için meta sezgisel ve genetik algoritma kullanılmıştır.(Vishnu et. al. (2016)). Eş zamanlı olmayan montaj hattını değişken çalışma süreleriyle dengelemek ve U şeklinde hatların paralel iş istasyonları ve tamponlar ile düz hatlara karşı etkinliğini göstermek için genetik algoritma kullanılmıştır.(Lorenzo Tiacchi (2017)). Belirli sayıda farklı ürün grubu üretmek için gereken toplam süreyi en aza indirmek için meta sezgisel kullanılmıştır.(Mads et. al. (2017)) belirli bir çevrim süresi için görevleri en az sayıda iş istasyonunda gruplayarak, montaj hattını dengeleme ve verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için döngüsel çaprazlama yöntemi ve genetik algoritma kullanılmıştır.( Sivasankaran ve Shahabudeen (2017))

Çözüm aşamasında ilk adım ürünün iş adımlarına göre öncelik sıralarının bubble diyagram ile belirlenmesidir. Problem iki aşamaya bölünerek ilk aşamada tek modellenmiş montaj hattı dengeleme metodu ile yeni ürün ailesinin çevrim süresi ve operatör sayısı modellenir. Problemin ikinci aşamasında bu ürün ailesi diğer ürün aileleriyle birlikte karışık modellenmiş montaj hattı dengeleme metodu ile modellenir. Bulunan çevrim zamanı ile operatör sayısı gerekli kısıtlar çerçevesinde manuel olarak düzenlenip model tekrar kullanılır ve her bir operatör için boş zamanlar belirlenip sonuçlar fabrika yönetimine arena simülasyon aracılığıyla simüle edilerek sunulur. Üretim hattının layout çalışmaları grup teknolojileri yöntemi ile belirlenir.

Aylara göre dağılımı bilinen müşteri talepleri manuel çevrim zamanı hesaplamasıyla gerekli takt zaman bulunur. Takt zamandan yola çıkılarak operatör sayısı elde edilir. Bulunan bu veriler matematiksel için gerekli ilk verileri oluşturmaktadır.

Takt zaman ve operatör sayısı manuel hesabı;

Bir vardiya toplam 8 saat çalışmaktadır. 8 saatlik çalışma zamanı içinde 30 dakika yemek molası, 2 defa 10 dakikadan oluşan çay molası, 8 dakika temizlik ve bilgi aktarımı süresi, 5 dakika egzersiz zamanı bulunmaktadır. Bu durumda gerçekleşen üretim zamanı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$480 - (30 + 2 * 10 + 5 + 8) = 417 \text{ dakika}$$

$$417 * 60 * 22 * 11 * 3 = 18164520 \text{ saniye toplam yıllık üretim zamanı}$$

Üretilcek yeni ürün ailesinin planlanan talep sayısı ise 63084 cihazdır. Fabrika politikasına göre %25 güvenli üretim talep üzerine yansıtılır.

Bu hesaplama birlikte göz önünde bulundurduğumuz gereken talep :  $63084 * 1,25 = 78855$  adet üründür.

$$\text{Maksimum çevrim zamanı : Toplam üretim zamanı / Güvenli üretim talebi} = 18164520 / 78855 \\ = 230,35 \text{ sn}$$

Bosch termoteknik fabrikası çevrim zamanı hesaplamalarını %80 OEE ile yapmaktadır.

$$\text{Planlanan çevrim süresi : } 230,35 * 0,80 = 184,28 \text{ saniyedir}$$

Ürünün işleri belirlendikten sonra endüstri mühendisleri tarafından metot zaman ölçümü yapılır.

Metot zaman ölçümüne göre yeni ürünün tüm iş adımlarının toplam süresi 3063,74 saniyedir.

Yalnız üretim hatlarında bulunan bazı iş adımları bölünemez işler olarak adlandırılır ve bu iş adımları hat içinde darboğazı oluşturmaktadır. Darboğaz olan istasyonlar ise istasyon sayısının belirlenmesinde rol oynar. Toplam iş adımlarının süresi 136 sn olan bölünmez iş süresine bölüdüğü zaman maksimum istasyon sayısı bulunur.

$$\text{Maksimum istasyon sayısı} = 3063,74 / 136 = 23 \text{ istasyon}$$

### Setler ve İndisler

$I$  operasyonları  $\in I$

$J$  istasyonları  $\in J$

### Parametreler

$I$  Operasyonların sayısı,

$J$  İstasyonların sayısı,

$N$  Atanan son istasyon,

- $T_i$  Operasyon  $i$  süresi,  
 $c$  Çevrim süresi,  
 $P_i$  Operasyon  $i$  başlamadan önce yapılması gereken operasyonlar kümesi .  
 $S_i$  Operasyon  $i$  bitmeden başlamaması gereken operasyonlar kümesi.  
 $LJ_i$  Operasyon  $i$ 'nin en erken atanacağı istasyon,  
 $UJ_i$  Operasyon  $i$ 'nin en geç atanacağı istasyon,  
 $pr_i$  Operasyon  $i$ 'nin öncelikli operasyon  $i$ 'si

### Karar değişkenleri

$x_{i,j}$  Operasyon  $i$ , istasyon  $j$ 'ye atanmışsa 1, atanmamışsa 0

(i) İstasyon Sayısının Minimize Edilmesi için Kullanılan Matematiksel Model

$$\text{Min } N; \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^I T_i * x_{i,j} \leq c \quad i = 1, \dots, I \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{i,j} \leq 1 \quad j = 1, \dots, J \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J j * x_{i,j} \leq N \quad i = 1, \dots, I \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J j * (x_{i,j} - x_{pr_i,j}) \leq J \quad i = 1, \dots, I \quad (5)$$

$$x_{i,j} = 0, \quad \text{eğer } j < LJ_i \text{ ve } j > UJ_i \quad (6)$$

$$LJ_i = \left\lceil \frac{T_i + \sum_{k \in P_i} T_k}{c} \right\rceil \quad (7)$$

$$UJ_i = J + 1 - \left\lfloor \frac{T_i + \sum_{k \in S_i} T_k}{c} \right\rfloor \quad (8)$$

$$x_{i,j} = 0 \text{ veya } 1 \quad (9)$$

Modelden (i) elde edilen optimum istasyon sayısı kullanılarak, ikinci modelde çevrim süresi aşağıdaki gibi minimize edilecektir.

(ii) Çevrim Süresinin Minimize Edilmesi için Kullanılan Matematiksel Model

$$\text{Min } c; \quad (10)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^I T_i * x_{i,j} \leq c \quad i = 1, \dots, I \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{i,j} \leq 1 \quad j = 1, \dots, J \quad (12)$$



$$\sum_{j=1}^J j * x_{i,j} \leq J \quad i = 1, \dots, I \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^J j * (x_{i,j} - x_{pr_{i,j}}) \leq J \quad i = 1, \dots, I \quad (14)$$

$$x_{i,j} = 0, \quad \text{eğer } j < LJ_i \text{ ve } j > UJ_i \quad (15)$$

$$LJ_i = \left\lfloor \frac{T_i + \sum_{k \in P_i} T_k}{c} \right\rfloor \quad (16)$$

$$UJ_i = J + 1 - \left\lfloor \frac{T_i + \sum_{k \in S_i} T_k}{c} \right\rfloor \quad (17)$$

$$x_{i,j} = 0 \text{ veya } 1 \quad (18)$$

Amaç çevrim süresinin ve operatör sayısının minimize edilmesidir(1). Kısıt (2), bir istasyona atanan tüm işlemlerin toplam süresinin, çevrim süresini aşmamasını sağlar. Kısıt (3), her operasyonun bir istasyona atanmasını sağlar. Kısıt (4), son atanan istasyon numarasının son istasyon numarasını geçemeyeceğini garanti eder. Kısıt (5), i işleminin önceliğinden önce atanmasını engeller. Kısıt(6), öncelik ilişkisini açıklar. Operasyon i en az  $LJ_i$ , en fazla  $UJ_i$  numaralı istasyonlara atanabilir. Kısıt (7) ve (8) öncelik ilişkisi hesaplamalarını gösterir. Kısıt (7) i işinin en erken atanacağı, kısıt (8) ise en geç atanacağı istasyonları belirtir. Kısıt (7)deki  $P_i$ , operasyon i başlamadan önce yapılması gereken operasyonlar kümesini temsil eder. Kısıt (8)deki  $S_i$ , Operasyon i bitmeden başlamaması gereken operasyonlar kümesini belirtir.

Her iki matematiksel model IBM ILOG Optimization Studio versiyon 12.8.0.0 kullanılarak hesaplanmıştır. Birinci matematiksel modelin çalıştırılmasının ardından, istasyon sayısı 19 istasyon olarak bulunmuştur. İkinci matematiksel modelin sonucuna göre çevrim süresi 175,49 saniye olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar yeni gelecek ürün ailesinin mevcut hatta tek modellenmiş montaj hattı dengeleme metodunun sonuçlarıdır.

Tek modellenmiş montaj hattı dengeleme modeli 3 ürün ailesi için birlikte çalıştırılarak her bir ürün ailesine ait çevrim zamanı ve istasyon sayısı hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre LPP, LCK ve C200 için sırasıyla; 17, 15 ve 19 istasyon sayıları ile 95, 91 ve 175 çevrim süreleri bulunmuştur.

Fabrika kısıtlarına göre istasyon sayısı her yalın üretim hattında ürün bazında aynı kalmak zorundadır. Bu kısıt çerçevesinde sezgisel olarak istasyon sayısı değişikliği yapıp her istasyonun ürün ailesi bazında boş zaman grafiğini ve çevrim zamanını belirlendi.

#### IV. SONUÇ

Yapılan çalışma genel olarak ele alındığında, ilk başta doğru çalışma yönteminin belirlenebilmesi için uygulamanın yapıldığı işletmenin genel yapısı incelenmiştir. Problem belirlendikten sonra ise, montaj hattının yapısı incelenmiş, iş akışı numune üretimi sırasında şema haline getirilmiştir. Çalışma süreleri iş akışına göre belirlenmiştir. 11 ay boyunca aylık talepler toplanmıştır. Yapılan tahminlere herhangi bir değişiklik karşısında müşteri talebini karşılamak adına %25 güven aralığı eklenip çıkarılmıştır. Toplam üretim süresi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra, Bosch firmasında kendi yöntemleri olan OEE hesaplamaları ile çevrim süresi 184 saniye olarak bulunmuştur. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra matematiksel model geliştirilmiştir. IBM ILOG OptimizationStudio, kullanılarak optimum istasyon sayısı 19 olarak belirlenmiştir. Belirlenen istasyon sayısına göre çevrim süresi 175 saniye olarak güncellenmiştir. Optimum sonuç elde edilmiştir.

İkinci aşama olarak problem tek modellenmiş montaj hattı dengeleme modeli 3 ürün ailesi için, LPP, LCK ve C2000, birlikte çalıştırılarak her bir ürün ailesine ait çevrim zamanı ve istasyon sayısı hesaplanmıştır. İstasyon sayıları her bir model için Bosch firmasının belirlediği aralık olan 15 ile 21 arasında

değiştirilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda istasyonların boş kalma süreleri hesaplanmıştır. Üç model için de istasyon sayısının 20 kabul edilmesiyle boş kalma süresinin 72 saniye ile en düşük olduğu gözlemlenmiştir. İstasyon sayısının 20 kabul edilmesiyle çevrim süreleri; LPP için 89, LCK için 89, C2000 için 161 olarak hesaplanmıştır.

Üretim hattındaki düzende yapılan değişiklikler AutoCAD programı kullanılarak gösterilmiştir. Sistemi iyileştirmek için yapılan değişiklikler Arena programı ile benzetim hazırlanarak gösterilmiştir. Son olarak yapılan çalışmalara erişilebilmesi için karar destek sistemi hazırlanmıştır. Karar destek sisteminde kullanıcının modeller için değerleri belirlemesi ile en uygun sonuçları görebilmesi sağlanmıştır.

## REFERANSLAR

- [1] Fokkert, J. & Kok, T. (1997). Themixedandmulti model linebalancing problem: a comparison. (UnpublishedMaster'sThesis). Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [2] Karabatı, S. & Sayın, S. (2003).Assembly linebalancing in a mixed-model sequencingenvironmentwithsynchronoustransfers. (UnpublishedMaster'sThesis). KocUniversity, Istanbul.
- [3] McMullen P.R.&Tarasewich P. (2007). Multi-objectiveassemblylinebalancingvia a modified ant colonyoptimizationtechnique, 44:1, 27-42, DOI: 10.1080/00207540500216748
- [4] Hwang, R.&Katayama, H. (2007).A multi-decisiongeneticapproachforworkloadbalancing of mixed-model U-shapedassemblylinesystems, 47:14, 3797-3822, DOI: 10.1080/00207540701851772
- [5] Boysen, N.,Fliedner, M.&Scholl, A. (2007). Assembly linebalancing: Which model tousewhen?(UnpublishedMaster'sThesis). Universität Hamburg, Germany.
- [6] Widyadana, G.A. (2009). Multi ObjectiveModelfor Balancing U-Type Assembly Line WithPermanentandTemporaryWorkers.(UnpublishedPhD Thesis).PetraChristianUniversity, Indonesia.
- [7] Fattahi, P., Roshani, A.&Roshani, A. (2010). A mathematical model and ant colonyalgorithmformulti-mannedassemblylinebalancing problem. 53:363–378 DOI 10.1007/s00170-010-2832-y
- [8] Yagmahan, B. (2011). Mixed-model assemblylinebalancingusing a multi-objective ant colonyoptimizationapproach. (UnpublishedMaster'sThesis).UludagUniversity, Bursa.
- [9] Yooselahi, A., Aminnayeri, M.,Mosadegh, H.&Ardakani H.D. (2012). Type II roboticassemblylinebalancing problem: An evolutionstrategiesalgorithmfor a multi-objective model. (UnpublishedMaster'sThesis).AmirkabirUniversity of Technology, Iran.
- [10] Al-zubaidy, S.S. &AbdAlrazaq, F.F. (2013). Multi-model Productionand Assembly LineBalancing (CaravansProduction Workshop).(UnpublishedMaster'sThesis).Journals of University of Babylon, Iraq.
- [11] Zeltzer, L.,Limère V.,Aghezzaf, E.-H.&Van Landeghem, H. (2013). Balancing Mixed-Model Assembly Lines in Real World ComplexWorkstations. (UnpublishedMaster'sThesis).GhentUniversity, Belgium.
- [12] Akpınar, Ş.&Baykasoglu, A. (2014). Modelingandsolvingmixed-model assemblylinebalancing problem withsetups. Part I: A mixedintegerlinearprogramming model. (UnpublishedMaster'sThesis). Dokuz EylulUniversity, Izmir.
- [13] Ramezani, R.&Ezzatpanah, A. (2014). Modelingandsolvingmulti-objectivemixed-model assemblylinebalancingandworkerassignment problem.(UnpublishedMaster'sThesis). K.N. ToosiUniversity of Technology, Iran.
- [14] Manavizadeh, N., Rabbani, M.&Radmehr, F. (2015). A newmulti-objectiveapproach in ordertobalancingandsequencing U-shapedmixed model assemblyline problem: a proposedheuristicalgorithm. 79:415–425 DOI 10.1007/s00170-015-6841-8
- [15] A S, V.R., Mathew, J., Jose, P.&Sivan, G. (2016). Optimization of Cycle Time in an Assembly LineBalancing Problem. (UnpublishedMaster'sThesis).St.Joseph'sCollege of EngineeringandTechnology, Palai, India.
- [16] Tiacci, L. (2017). Mixed-model U-shapedassemblylines: Balancingandcomparingwithstraightlineswithbuffersandparallelworkstations.(UnpublishedMaster'sThesis).UniversitàdegliStudiiPerugia, Italy.
- [17] Christensen, M.K.,Janardhanan, M.N.&Nielsen, P. (2017).Heuristicsforsolving a multi-model roboticassemblylinebalancing problem.5:1, 410-424, DOI:10.1080/21693277.2017.1403977
- [18] Sivasankaran, P. &Shahabudeen, P. (2017).Comparison of Single Model and Multi-Model Assembly LineBalancing Solutions. (UnpublishedMaster'sThesis).AnnaUniversity, India.



**YAŞAR  
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ**

# **YEDEK PARÇA TALEP TAHMİN SİSTEMİ**

**Banu HACIALİOĞLU, Büşra İlayda DOKUYUCU, Elif ÖZBAY, Hakan ŞAHİN,  
Mehmet Mukan SAÇLI, Merve Nur GENÇ**

**Akademik Danışmanlar**

**Dr. Efthymia STAIU, Araş. Gör. Mert PALDRAK**

**Şirket Danışmanı**

**Cansu YILDIZ YARIMOĞLU**

**Izmir, 2019**

## I.GİRİŞ

Talep, müşterinin bir mal veya hizmeti belirli bir pazarda, belirli bir ücret karşılığı almaya uygun ve istekli olduğu ürün miktarıdır. Bir ürüne olan talep miktarı ve bunun ölçülmesi şirketler için büyük önem taşır. Talep miktarını ölçmek, tahmin etmek ve analiz etmek için farklı yöntemler kullanılır.

Talep tahmini, şirketlerin gelecekteki hedeflerine ulaşmasında stratejik kararlar alırken kullandıkları en temel faaliyettir. Geleceğe ilişkin alınacak olan kararlarda, gerçeğe yakın bir talep tahmini yapmak, işletmelerin operasyonlarına uygun stratejiler belirlemesine yardımcı olur. Talep tahmini yaparken işletmelerin amacı, müşterilerin taleplerini öngörmek ve bu öngörüler doğrultusunda talep tahminlerine uygun miktarda stok tutmaktır. Talep tahmini yapmak, gelecekteki üretimi ve stoku planlamak adına oldukça önemlidir.

Bu projenin yapılış amacı, Vestel şirketinin 2016-2018 yıllarında gerçekleşen yedek parça taleplerini baz alarak gelecek dönemde gerçekleşecek yedek parça talep miktarını tahmin etmektir.

Bu raporun problem tanımı bölümünde şirketin problemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Çözüm yöntemleri bölümünde talep öngörülere için araştırılan istatistiksel metotlar anlatılarak, kullanılan metotlar ve bu yöntemlerin seçiliş sebebi açıklanmıştır. Sonuç bölümünde ise projeden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve anlatılmıştır.

## II.PROBLEM TANIMI

Vestel, 1984 yılında kurulmuş ve 1994 yılında Zorlu Grubu tarafından satın alınmıştır. Vestel Elektronik, Vestel Beyaz Eşya ve Vestel Ticaret olmak üzere 3 grup şirketinden oluşmaktadır. Yurt içi ve yurt dışındaki tüketicilere, tüketici elektroniği, beyaz eşya, küçük ev aletleri, dijital ürünler, mobil ürünler ve LED aydınlatma ürünlerinden oluşan geniş bir ürün yelpazesi sunmaktadır [1].

Vestel müşterilerine satış sonrasında da hizmet vermektedir. Ürettiği ürünlere 10 yıl yedek parça garantisi veren Vestel, müşteri memnuniyetine çok önem vermektedir. Bu nedenle, müşterilerine ulaşılabilir olabilmek ve daha hızlı hizmet verebilmek için yurt içinde ve yurt dışında birçok teknik servis bulundurmaktadır. Müşteriler ürünlerindeki arızayı teknik servislere bildirirler ve bu servisler, ürünün arızasını gidermek için ihtiyaç duydukları yedek parçayı Vestel'e iletirler. Yedek parça, Vestel Müşteri Hizmetleri'ne bağlı Yedek Parça Planlama ve Tedarik departmanı tarafından temin edilir ve servislere ulaştırılır.

Müşteri memnuniyetinin en önemli kriteri taleplerin zamanında karşılanmasıdır. Müşteri arıza taleplerini karşılama yasal süresi 20 iş günü olmasına rağmen Vestel 3 gün içinde müşterinin arıza talebini karşılamayı hedeflemekte ve yasal süre içerisinde müşteri arıza talebini karşılayamaz ise arızalı ürünün yenisini temin etmektedir. Bu sebeple, şirket için envanter yönetimi çok büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yedek parça tahminlerinin gerçeğe yakın olması stok miktarını optimize etmeyi sağlar ve envanter yönetimi de kolaylaştırır. Yedek parça stok miktarını optimize etmek, ancak güvenilir bir talep tahmini ile mümkündür. Gelebilecek yedek parça talepleri fazla miktarda tahmin edildiğinde stok maliyeti gibi ekstra maliyetler ortaya çıkabilmekte; az tahmin edildiğinde ise talep zamanında karşılanamadığı için müşteri memnuniyeti olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple, yedek parça talep tahmini doğru zaman için doğru miktarda olmalıdır.

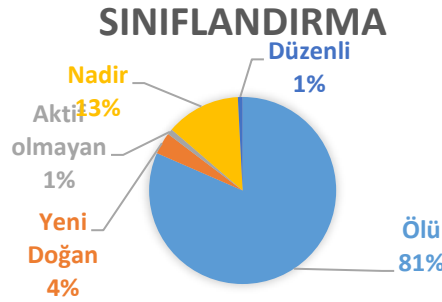
Vestel'de yedek parça tahminleri Yedek Parça Planlama ve Tedarik departmanında yapılmaktadır. Departmanın şu anki yedek parça tahmin süreci incelendiğinde sistemlerine uygun, standart ve istatistiksel bir talep öngörme metodolojisinin olmadığı tespit edilmiştir. Her ürün grubu için farklı bir personel tarafından tahminlerin yapıldığı ve bu tahminlerin genellikle bir SAP çıktısına ve yedek parça tahminini yapan personelin kendi bilgi ve tecrübesine dayandırıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum doğal olarak hataya açıktır. Ayrıca yedek parça tahminlerini yapan personel için ekstra işe ve zaman kaybına neden olmaktadır.

### III.ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Vestel müşterilerine geniş bir ürün yelpazesi sunmakta ve bu ürünler için yedek parça tedarik etmektedir. Her ürünün yedek parça tahminlerinin yapılması, projeyi süre açısından riske atacağından dolayı şirket tarafından televizyon, pilot ürün olarak belirlenmiştir. Televizyon ürününün 2016-2018 yılları arasındaki 36 ayın (156 hafta) verileri şirket tarafından temin edilmiştir. 3 yılda servislerden gelen yedek parça siparişlerinin bulunduğu veride, 12.276 farklı yedek parça ve bu yedek parçaların bulunduğu 52 farklı ürün grubu (şase, ekran kartı, led bar, aksesuar vb.) olduğu tespit edilmiştir. Bu çeşitliliğin en önemli sebebi televizyonun ileri teknolojiye sahip bir ürün olmasıdır. Gelişen teknoloji ve hızla değişen trendler nedeniyle ürün çeşitliliği ve dolayısıyla yedek parça sayısı da sürekli artmaktadır. Bu durumun verilerde karmaşıklığa sebep olduğu görülmüştür. Verileri kullanışlı ve anlaşılır hale getirmek için öncelikle veriler temizlenmiş, sınıflandırılmış ve ABC analizi yapılmıştır. 36 ay boyunca servislerden gelen yedek parça talepleri, talep miktarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma; yeni doğan yedek parçalar, ölü yedek parçalar, aktif olmayan yedek parçalar, nadir ve düzenli talepli yedek parçalar olarak 5 gruba ayrılmıştır. Sınıflandırma gruplarının açıklamaları ve içerdiği yedek parça sayıları aşağıda Tablo 1’de gösterilmiştir. Buna ek olarak, ABC analizi sonuçları da Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Sınıflandırma Açıklamaları

Sınıf	Koşul
Ölü yedek parçalar (Dead)	3 yıl boyunca toplam talebin 50 ve altında olması
Yeni doğan yedek parçalar (Newborn)	2017 Ocak ayından önce hiç talep gelmemesi
Aktif olmayan yedek parçalar (Inactive)	2017 Aralık ayından sonra hiç talep gelmemesi
Nadir talepli yedek parçalar (Rare)	156 haftada en az 15 hafta talep gelmemesi
Düzenli talepli yedek parçalar (Regular)	Her hafta düzenli talep gelmesi



Figür 1. Sınıflandırma Yüzde Değerleri

Tablo 2. ABC Analizi

Sınıf	Yedek Parça Sayısı
A	8
B	75
C	12193

Ayrıca, verilerde, servislerden gelen yedek parça taleplerinin 4 farklı kategoride kaydedildiği görülmüştür. Bu kategorilere satış belge türü denilmiştir. Birinci belge türü, servisler tarafından direkt müşteri arızalarını gidermek amacıyla açılan siparişleri, ikincisi, servislerin kendi stoklarında bulunan yedek parçalar için açılan siparişleri kaydetmek için kullanılmıştır. Üçüncü ve dördüncü belge türleri ise dönemsel satış kampanyaları zamanında gelen siparişleri kaydetmek için kullanılmıştır. Vestel, her yıl Mayıs-Haziran ve Eylül-Ekim olmak üzere yılda 2 kez yedek parça satışlarında indirim yapmaktadır. Birinci ve ikinci sipariş belge türlerinde bulunan yedek parça talepleri sürekli ve düzenli bir dağılım gösterirken üçüncü ve dördüncü türlerdeki taleplerde kesikli dağılım söz konusudur.

Proje kapsamında yedek parça tahminleri için istatistiksel metotların kullanıldığı bir Karar Destek Sistemi kurulması hedeflenmiştir. Bu sistemden, verilerin davranışlarını (durgunluk, trend, sezonsallık) göz önünde bulundurarak bir tahmin yapması ve tahmin hatasını minimize etmesi beklenmektedir. Bu sebeple, en uygun talep tahmin metodunu belirlemek için yerli ve yabancı birçok kaynaktan literatür taraması yapılmıştır. Bu konuya benzer çalışmalar araştırılmış, istatistiksel zaman serileri öngörme yöntemleri ve yapay sinir ağları yöntemleri incelenmiştir.

Yapay Sinir Ağları, insan beyni gibi bilgiyi öğrenerek ve işleyerek çalışan bir işlem mekanizmasıdır. Literatürde yapay sinir ağları kullanılarak yapılmış birçok tahmin çalışması mevcuttur. Fakat yapay sinir ağlarının öğrenme süresi uzundur ve ağı eğitebilmek için çok fazla deneme yapmaya ihtiyaç duyar [2]. Bu projede veriler 3 yıl ile sınırlıdır. Bu sebeple, veri yetersizliğinden dolayı bu metot kullanılmamıştır.

İstatistiksel zaman serileri öngörme yöntemleri 3'e ayrılır. Bunlar; sabit talep dizileri, eğilim (trend) bazlı seriler ve sezonsal (seasonality) serilerdir. *Moving Average (Hareketli Ortalama)* metodu ve *Üstsel Düzeltim (Single Exponential Smoothing)* metodu, sabit talep dizilerinde kullanılan yöntemlerdir. *Moving Average* yönteminde,  $n$  dönem kadar geçmiş verinin ortalaması alınır ve bu ortalama bir sonraki ayın tahminini belirler. Bu işlem son ayın tahmini yapıldığında son bulur. *Single Exponential Smoothing* metodu ise trend ve sezonsallık gibi özelliklere sahip olmayan durgun serilere,  $\alpha$  yumuşatma sabiti ile uygulanan tahmin yöntemidir. *Holt's* metodu olarak da bilinen *Çift Üstsel Düzeltim (Double Exponential Smoothing)* ve *Regresyon* metotları, eğilim (trend) içeren serilerin tahminlerinde kullanılan metotlardır. *Double Exponential Smoothing* metodu, *Single Exponential Smoothing* metodundan daha kapsamlı bir metottur. Bu yöntem,  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleriyle trend içeren serilerin tahminlerinde kullanılır. *Ayrıştırma (Decomposition)* ve *Winter's* metotları sezonsallık (seasonality) gösteren serilerin tahminlerinde kullanılan yöntemlerdir. *Winter's* metodu, verideki mevsimsel etkiyi direkt olarak analiz edebilen bir metot olup, üstel düzeltim yöntemlerinin özel bir halidir. Bu metot, verilerin mevsimsellik ve eğilimde olduğu durumlarda kullanılmaktadır. *Double Exponential Smoothing* yöntemindeki  $\alpha$  ve  $\beta$  parametresine ek olarak bu yöntemde mevsimselliği etkileyen  $\gamma$  parametresi bulunmaktadır.  $\alpha$  sabiti, zaman serilerinin baz seviyesi (level) için,  $\beta$  eğilim (trend) için ve  $\gamma$  mevsimsellik (seasonality) için kullanılır [3]. Diğer metotlardan daha kapsamlı olan bu metot şirket verilerinde gözlenen talep dizilerinin karakterleri de göz önünde bulduğunda sürekli talep gelen 1. ve 2. satış belge türleri için kullanmasına karar verilmiştir.

Croston ve Box Jenkins (ARIMA) metotları, kesikli talep verilerini kullanarak tahmin değerleri veren yöntemlerdir. 3. ve 4. satış belge türlerinde gözlemlenen kesikli verilerin tahminlerinde kullanılmak üzere, Croston metodunun, karar destek sistemine eklenmesine karar verilmiştir.

Kullanılan modellerin verdiği yedek parça tahminleri ve gerçekleşen talepler arasındaki tahmin hatasını ölçmek ve tahminlerin doğruluğunu hesaplamak amacıyla kullanılan yöntemler vardır. Bunlar; Ortalama Mutlak Sapma (MAD), Ortalama Hata Karesi (MSE), Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (MAPE) dir. MAPE denklemi (1), hata oranını yüzdesel olarak göstermesi sebebiyle tercih edilmiş fakat, projenin verilerinde gerçekleşen yedek parça taleplerinin bazı haftalarda "0" olması sebebiyle, sıfıra bölme hatasına sebep olmuştur. Bu durumun üstesinden gelmek ve yine de hata oranını yüzdesel olarak görebilmek için, Yüzdesel Ortalama Hata (PAE) formülü (2) kullanılmıştır [4].

$$(1) \text{ MAPE} = 100 * \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|Demand_i - Forecast_i|}{Demand_i}}{n}$$

$$(2) PAE = 100 * \frac{\sum_{i=1}^N |Demand_i - Forecast_i|}{\sum_{i=1}^N Demand_i}$$

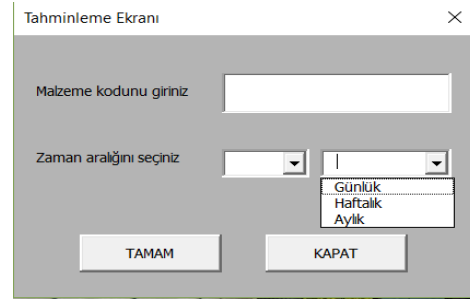
Bunlara ek olarak, seçilen metotlardaki yumuşatma parametrelerinin belirlenmesi tahmin sonucunu yüksek oranda etkiler. Bu parametrelerin optimizasyonu için, veriler yarım yıl (26 hafta) süreçte parçalara ayrılmış ve hepsi için ayrı parametre kümesi belirlenmiştir. Her parametre kümesi için, yarım yıllık süreçlerin PAE değerlerini minimize edecek şekilde Microsoft Excel'in bir eklentisi olan Solver çalıştırılmıştır.

#### IV.SONUÇ

Bu proje, Vestel şirketi için yedek parça talep tahmin sürecinde gerçekleşen talep verileri ile yapılan tahminler arasındaki farkı en aza indirebilen bir karar destek sistemi (KDS) oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Oluşturulan karar destek sisteminde, yedek parça talep tahminleri yapılırken kullanılan metotlar Microsoft Excel VBA dilinde modellenmiştir. Tahminlerin günlük, haftalık ve aylık olarak güncellenebilir olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, Excel'de basit ve kullanıcı dostu bir arayüz hazırlanmıştır. Sistemin arayüzü *Figür 2'de* gösterilmiştir. Oluşturulan karar destek sistemi kısaca şu şekilde çalışır; kullanıcı *Figür 3'te* gösterilen arayüze tahminini yapmak istediği yedek parçanın kodunu ve tahmin etmek istediği aralığı girer. Program, seçilen yedek parçanın geçmiş verilerin Microsoft Access üzerinden çeker ve girilen aralık için gelebilecek talep hesabını yapar ve sonuç ekranında şirket için en uygun yedek parça talep miktarını sunar.



Figür 2. Karar Destek Sistemi Arayüzü



Figür 3. Tahmin için Veri Giriş Ekranı

Yapılan sınıflandırmada, düzenli sınıfta olup ABC analizinde A ve B grubunda bulunan yedek parçaların tahminleri yapılmıştır. Aşağıda bunların *Tablo 3'de* 1. satış belge türündeki, *Tablo 4'de* ise 2. satış belge türündeki 2 yedek parçanın Winter's metodu kullanılarak yapılan tahminlerinin sonuçları verilmiştir. Yedek parça tahminlerinde tahmin hatasını belirlemek için PAE değerleri hesaplanmıştır. Şirket mevcut sistemdeki tahmin hatasını Moving Average metodu kullanarak hesapladığı bilindiği için, tablolarda verilen mevcut sistem tahmin hataları bu yöntem kullanılarak 2 aylık (8 hafta) periyotlarda hesaplanmıştır.

Bu proje için firma üç yıllık veri sağlayabilmiştir. Zaman ilerledikçe veri miktarı artacağı için proje kapsamında geliştirilen tahminleme aracına daha çok veri akışı olacaktır. Veri havuzu genişledikçe tahmin sonuçlarının daha iyi gelmesi beklenmektedir.

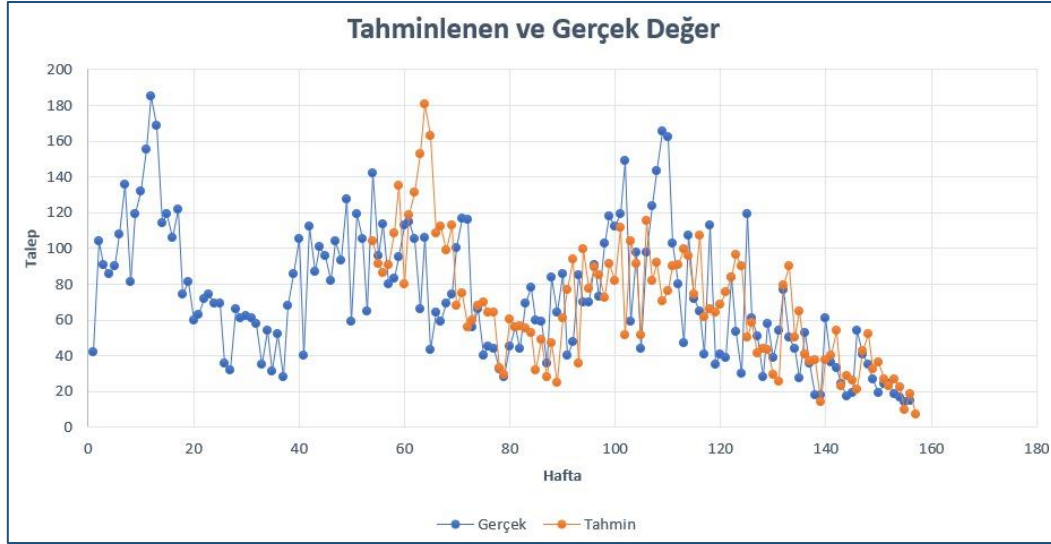
Tüm bunlara ek olarak, bu projede tahminleme sürecine ait bütün veriler firmanın da isteğiyle Microsoft Access'te tutulmakta ve dolayısı ile veri tabanı üzerinden SQL sorguları ile çekilmektedir. Bu sayede veri kaydı daha düzenli ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmakta ve ayrıca VBA'in çalışma hızı arttırılmaktadır.

Tablo 3. 1. Satış Belgesi Türündeki 2 Yedek Parça Tahmin Sonuçları

ABC Analizi Sınıfı	Yedek Parça Malzeme Kodu	Mevcut Sistem Tahmin Hatası	Winter's Metodu Tahmin Hatası
A	V30001319	%180	%20
B	V30082344	%175	%12

Tablo 4. 2. Satış Belgesi Türündeki 2 Yedek Parça Tahmin Sonuçları

ABC Analizi Sınıfı	Yedek Parça Malzeme Kodu	Mevcut Sistem Tahmin Hatası	Winter's Metodu Tahmin Hatası
A	V40075319	%90	%50
B	V23061182	%48	%37



Figür 4. V23061182 kodlu Yedek Parçasının Gerçek ve Tahmin Değerleri Grafiği

## REFERANSLAR

- [1] (n.d.) Vestel Group Corporate Profile [Online]. Available: <http://www.vestelinvestorrelations.com/en/about-us/vestel-group-corporate.aspx>
- [2] M. Karahan, "İstatistiksel Tahmin Yöntemleri: Yapay Sinir Ağları Metodu ile Ürün Talep Tahmini Uygulaması", Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, 2011.
- [3] S. Nahmias and T.L. Olsen. Production and Operations Analysis (7th). WaveLand Press, USA 2015.
- [4] E. Adalı, Y. Ataş, O. M. Baykan, İ. Güldoğan, E. Koral, "Son Ürün Talep Takip Ve Tahminleme Projesi", Lisans tezi, Project Yaşar Üniversitesi, 2015.



## IE 4910 ve IE 4920 Uygulama Planı

### 1. GİRİŞ

Bitirme projesi, IE 4910 ve IE 4920 olmak üzere birbirini takip eden iki dersten oluşmaktadır. Bunlar, birinci dönem sistem analizi ve genel tasarımının yapıldığı IE 4910 ve ikinci dönem sistem geliştirme ve uygulamanın bulunduğu IE 4920 dersidir. Bu iki aşamadaki tüm bölümler numaralandırılarak aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

**Tablo 1. Proje Adımları ve Haftalık Çizelge.**

<b>IE 4910, Sistem Analizi, Güz Dönemi</b>		
<b>Bölüm</b>	<b>Başlık</b>	<b>Hafta</b>
1	Sistemin Genel Analizi	5-9
2	Mikro Sistem Analizi	
3	Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış	10-13
4	Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu	
5	Literatür Çalışması	18-19

<b>IE 4920, Sistem Tasarımı, Bahar Dönemi</b>		
6	Çözüm Metodolojisi	1-5
7	Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması	
8	Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması	6-10
9	KDS'nin Doğrulama ve Geçerlemesi	
10	Karşılaştırma	11-13
11	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 4910

IE 4910 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 modellenabilir).
- 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. Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu

- Model formülasyonunun ortaya konulması.
- Modelin çözümlenme yöntemleri açısından irdelenmesi.

#### 5. Literatür Çalışması

- Model belirlendikten sonra çözüm yöntemleri için literatürün derinlemesine araştırılması (makale seviyesinde).

## 2.2. IE 4920

IE 4920 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

### 6. Çözüm Metodolojisi

- Çözüm yönteminin belirlenmesi.
- Belirlenen yöntemin oyuncak veriler kullanılarak oturtulması / doğrulanması.

### 7. Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması

- Veri toplanması.
- Modele veri yüklenmesi.
- Çözüm yönteminin kodlanması ve çözüm alınması.
- Yöntemin geçerlemesi, duyarlılık ve parametre analizleri.

### 8. 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.

### 9. KDS'nin Doğrulaması ve Geçerlemesi

- KDS'nin çeşitli senaryolarla doğrulanması ("verification").
- KDS'nin firma verisiyle işe yaradığının gösterilmesi, geçerleme ("validation").

### 10. Karşılaştırma

- Kritik başarı faktörleri baz alınarak mevcut işleyiş ile tasarlanan sistemin karşılaştırılması.
- Kritik başarı faktörleri kullanılarak yapılan iyileştirmelerin sayısal verilerle ortaya konulması.

### 11. Uygulama

- KDS'nin hazırlanan kullanım kılavuzu ile birlikte firmaya teslim edilmesi.
- Sistemin mümkün olduğunca hayata geçirilmesi.

### 3. IE 4910 / IE 4920 TAKVİMİ

#### 3.1. IE 4910 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 4910 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.

###### 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.

##### 3. Hafta

###### 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

5 ve 9. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 1. ve 2. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

#### **10 ve 14. Haftalar arası**

##### Bölüm 3 ve 4 çalışması

10. ve 13. haftalar arasında tüm grupların 3. ve 4. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir. 1. bölümden 4. bölüme kadar yapılan çalışmalar raporlanacaktır.

#### **15. Hafta**

##### Rapor teslimi

Gruplar, 1.-4. bölümlerde yaptıkları çalışmalarını içeren İngilizce raporlarının teslimini yapacaklardır. Raporlar, EK-5'deki "A05 - English Report Template" formatında olmalıdır ayrıca 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).

Raporun tek kopya halinde öğretim planında belirtilen son tarihe kadar Sekreterliğe teslim edilmesi gerekmektedir. Gecikme durumlarında ceza uygulanır.

##### Sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde ilk 5 bölüm ile ilgili yapmış oldukları çalışmalarını anlatacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4'deki "A04 - IE 4910 Oral Presentation Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecektir. 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**

##### Son sınıf öğrencilerinin final sınavları

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları final döneminin ikinci haftasında yapılacaktır.

##### IE 4910 –Not teslimi

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-7'deki "A06 - IE 4910 English 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**

### **5. 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 4920 Takvimi

#### 1 ve 5. Haftalar arası

##### Bölüm 6 ve 7 çalışması

1 ve 5. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 6. ve 7. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

#### 6 ve 10. Haftalar arası

##### Bölüm 8 ve 9 çalışması

6 ve 10. haftalar arasında tüm grupların 8 ve 9. bölümleri tamamlamaları beklenmektedir.

#### 11 ve 13. Haftalar arası

##### Bölüm 10-11 çalışması ve Türkçe Yönetici Özeti teslimi

11 ve 13. haftalar arasında grupların geliştirdikleri sistemleri işletmelerde uygulamaya başlatmaları ve projeyi tamamlamaları beklenmektedir. Tüm grupların 9. Bölüm çalışmasını tamamladıktan sonra EK-7'deki "A07 - Türkçe Yönetici Özeti Formatı"na uygun bir şekilde hazırladıkları Türkçe Yönetici Özetlerini (en fazla 6 sayfa) öğretim planında belirtilen son tarihe kadar tek kopya olarak sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Ayrıca, Türkçe Yönetici Özeti son halini dersin lectures sayfasına öğretim planında belirtilen son tarihe kadar yüklemeleri gerekmektedir. Bu raporlar proje yarışması kapsamında jüri üyeleri tarafından değerlendirmeye alınacak ve derlenerek kitap olarak basılacaktır.

#### 15. Hafta

##### Sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde yapmış oldukları tüm çalışmalarını anlatacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4'deki "A09 - IE 4920 Oral Presentation Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecektir. 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.

##### 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 4910-4920 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 Fuarı ve İngilizce & Türkçe Poster Sunumu

Gruplar, IE 4920 kapsamındaki İngilizce 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 4910 Poster Presentation Evaluation Form" kullanılarak not verilecektir. Bu sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur.

Gruplar, IE 4920 kapsamında sunacakları posterlerini EK-09'daki "A09 - Poster Formatı" a uyacak şekilde hazırlayacaklardır. Bu posterlerde gruplar, projeleri kapsamında yapmış oldukları tüm çalışmalarını yansıtacaklardır. 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. Bu sunumda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmalarını davetlilere anlatacaklardır. Bunun yanında her grup projeleriyle ilgili 2 dakikayı geçmeyen bir *sunum videosu* hazırlayarak öğretim planında belirtilen tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyecektir

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. Projeler, davetli jüri üyeleri tarafından EK-14'deki "A14-Jüri Değerlendirme Formu"na göre değerlendirilecektir. Fuarın sonunda, rapor ve sunumlar değerlendirilerek en başarılı gruplar seçilecektir.

## **16-17. Hafta**

### Son sınıf öğrencilerinin final sınavları ve IE 4920 Çıkış Anketi

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları final döneminin ikinci haftasında yapılacaktır. Sınav öncesinde öğrencilerin IE 4920 (çıkış) anketini ve mezun bilgi formunu doldurmaları gerekmektedir.

## **18. Hafta**

### Bölüm Kurulu toplantısı

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-15'deki "A15 - IE 4920 English 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 4910 (%)	IE 4920 (%)
İngilizce Sunum	35	25
İngilizce Poster Sunumu	-	20
İngilizce Rapor (Ekler hariç en fazla 15 sayfa) + Türkçe Yönetici Özeti (6 pages, Appendices not allowed)	40	30
Final Sınavı (yazılı)	10	10
Grup üyelerinin birbirine verdiği notlar	5	5
Danışman değerlendirmesi	10	10
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

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**

### **Hızlı Tüketim Ürünleri İçin Satış Tahmini** Univera

#### **Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Özgün Yücel (ozgun.yucel@yasar.edu.tr)

#### **Öğrenciler**

Merve Gül Sarsık  
Alev Alev  
Şule Şen  
Karya Erbil  
Rahmi Gürdal Imrak  
Eflatun Ubeyde Saygılı

---

### **Boş Konteynerlerin Elde Tutma ve Taşıma Maliyetlerinin En Aza İngirgenmesi** Arkas-Bimar

#### **Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr)

#### **Öğrenciler**

Ahmet Can Erşimşek  
Anıl Güneri  
Begüm Demirci  
Buse Yalabık  
Derya Türkmenoğlu  
Elif Beril Yıldırım  
Gizem Topuz

**Büyük Ölçekli Tekstil Şirketinde Günlük Sevkiyat Planlama  
Problemi**  
Tyh Tekstil

**Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner (adalet.oner@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Özgün Yücel (ozgun.yucel@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Ataberk Aydemir  
Oğuzhan Eryıldız  
Ayşegül Hülagü  
Gökay Sümbül  
Fatih Uysal  
Elçin Yanık

---

**Farklı Ürün Grupları İçin Paketleme Malzemelerinin  
Standartlaştırılması ve Paketlemede Maliyet Optimizasyonu**  
Yatsan

**Akademik Danışmanlar**

Öğr. Gör. Nejat Kutup (nejat.kutup@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Damla Yüksel (damla.yuksel@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Tuğçe Alkan  
Ekin Aydın  
Ayça Serra Bayhan  
Özge Ceyhan  
Fatoş Nurdirekli  
Hafize Helvacı

## **Ara Stok Seviyelerinin Belirlenme Sürecinin İyileştirilmesi** Delphi Diesel

### **Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Gizem Mullaoglu (gizem.mullaoglu@yasar.edu.tr)  
Selen Burçak Akkaya (selen.akkaya@yasar.edu.tr)

### **Öğrenciler**

M. Esra Ervatan  
Selen Üçkardeş  
Buket Pirci  
Berfin Taş  
Eser Saraçoğlu  
Şükrü Simitçioğlu  
Alper Kılıç

---

## **Yatsan İçin Günlük Sevkiyat Planı** Yatsan

### **Akademik Danışmanlar**

Doç. Dr. Banu Yetkin Ekren (banu.ekren@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Cansu Yurtseven (cansu.yurtseven@yasar.edu.tr)

### **Öğrenciler**

Atakan Türkyilmaz  
Bartu Arslan  
Batuhan Taş  
Çağlar Su  
Deniz Gülce Dağistanlioğlu  
Ozan Bolel  
Özlem Erdin

**IoT Tabanlı Akıllı Trafik Sistemleri İçin Alıcıların Konum Optimizasyonu**  
Noderix

**Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Orkun Karabaşoğlu  
(orkun.karabasoglu@yasar.edu.tr)  
Gülce Haner Güler (gulce.guler@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Derin Onat Savran  
Ece Özen  
Gökçe Gonca  
İrem Davutluoğlu  
Kenan Kestaneci  
Seda Er  
Şevval Bilici

---

**Opet Fuchs İçin Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Karar Destek Sistemi**  
Opet Fuchs

**Akademik Danışmanlar**

Prof. Dr. Levent Kandiller (levent.kandiller@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Nilay Çınar  
Merve Çamlıca  
Gülce Çini  
Ayşegül Eda Özen  
Hasan Bahtiyar Soydan  
İbrahim Çağcan Çatıkkaş  
Alp Arslan

**Boya Atölyesinde İş Çizelgeleme Problemi**  
Franke

**Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner (adalet.öner@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Murat Can Doğruyol  
Ege Duran  
Gizem Görgülü  
İpek Gülhan  
Ayben Pınar Kuruç  
Kaan Özsümbül  
Batuhan Uğuz

---

**Hızlı Tüketim Ürünleri Sektörü Distribütörleri İçin Periyodik  
Rotalama Problemi**  
Univera

**Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe (ali.gokce@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Cansu Yurtseven (cansu.yurtseven@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Ege Can Erdoğan  
Onur Çopur  
Simru Göven  
Ali Övünç Güneri  
Doğacan Tanış  
Alper Berke Yavuz  
Mert Yıldız

**Bosch TermoTeknoloji Ar-Ge Laboratuvarı Test Makinelerinin  
Operasyonlarının Çizelgelenmesi**  
Bosch Termoteknik A.Ş.

**Akademik Danışmanlar**

Prof. Dr. Levent Kandiller (levent.kandiller@yasar.edu.tr)  
Dr. Damla Kızılay (damla.kızılay@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Tuğçe Akboyun  
Pelin Akçay  
Mustafa Doğa Çetin  
Batu Ekmekçi  
Hakan Elmas  
Beste Yıldız  
Sehercan Yılmaz

---

**Malzeme Alım Parti Büyüklüklerinin Optimizasyonu**  
Pınar Et

**Akademik Danışmanlar**

Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek (arslan.ornek@yasar.edu.tr)  
Dr. Damla Kızılay (damla.kızılay@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Ege Özgültekin  
Furkan Koç  
Merve Başay  
Merve Eyüpoğlu  
Naz Çelik  
Pırıl Köksal  
Yağız Can Çelgin

**Boş Konteyner Depolamada Maliyetlerin Optimizasyonu**  
Arkas-Bimar

**Akademik Danışmanlar**

Dr. Damla Kızılay (damla.kızılay@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Volkan Helvacı  
Mehmet Yasin Göçen  
İdil Efe  
Koray Çetin  
Öykü Çağlar  
Doruk Kızıltunç  
Barış Atay

---

**Yeni Bir Ürün Üretilmesi İçin Mevcut Montaj Hattının Yeniden  
Düzenlenmesi ve Hat Dengelemesinin Yapılması**  
Bosch Termoteknik A.Ş.

**Akademik Danışmanlar**

Doç. Dr. Yiğit Kazançoğlu (yigit.kazancoglu@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Damla Yüksel (damla.yuksel@yasar.edu.tr)

**Öğrenciler**

Dilruba Telli  
Gizem Karadeniz  
Yalçın Berberoğlu  
Cemal Berke Ersoy  
Doğangün Uzun  
Caner Samancı  
Elif Baykal



## **Yedek Parça Talep Tahmin Sistemi** Vestel

### **Akademik Danışmanlar**

Dr. Öğr. Gör. Efthymia Staiou (efthymia.staiou@yasar.edu.tr)  
Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)

### **Öğrenciler**

Banu Hacialioğlu  
Büşra İlayda Dokuyucu  
Elif Özbay  
Hakan Şahin  
Mehmet Mukan Saçli  
Merve Nur Genç

---

