



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Sistem Tasarımı Proje Özetleri

2022-2023



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

SİSTEM TASARIMI
PROJE ÖZETLERİ
2022-2023

Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

Hazırlayan:

Araştırma Görevlisi Mert Paldrak

İZMİR 2023

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ

2022-2023

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

ISBN 978-625-6719-00-2

İzmir, Aralık 2023

Önsöz

Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü müfredatının son yılında yer alan ve mezuniyetten önce öğrencilerimize karmaşık gerçek hayat problemleri 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 iş birliği faaliyetlerimizin temel bir parçasını oluşturan bu projelerde, İzmir ve çevresinde üretim yapan veya servis sağlayan şirket ve kurumların endüstri mühendisliği ve yöneylem araştırması teknikleriyle çözülebilecek sorunlarını tespit ederek sistematik ve bilimsel 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, 2022-2023 akademik yılında bölgemizdeki saygın şirketlerde on proje hayata geçirilmiştir. Bu projelerden iki tanesi “TÜBİTAK 2209 B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında desteklenmeye layık görülmüştür. Böylelikle TÜBİTAK desteği alan mezuniyet projesi sayısı ise 34'ye ulaşmıştır.

Proje konularımız endüstri mühendisliği problemlerinin geniş yelpazesini yansıtacak niteliktedir. Üzerinde çalışılan problemler ve geliştirilen fikirler, TEYDEB ve TÜBİTAK destekli diğer projelerin kurgulanması gibi farklı işbirliği imkânlarının ön aşamalarını oluşturmaktadır.

Sistem Tasarımı Proje Özetleri 2022-2023 kitabı aracılığıyla öğrencilerimizin bir yıl boyunca gösterdikleri yoğun çalışmanın sonuçlarını sizlerle paylaşmaktan mutluluk duymaktayız.

Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

Yaşar Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği Bölümü

Lisans Mezuniyet Projeleri Koordinatörü

Aralık 2023

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

Proje sürecinde özveriyle çalışan **akademik danışmanlarımız** ve yoğun emek veren **öğrencilerimize** en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Sistem Analizi ve Tasarımı Komitesi:
Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner
Araştırma Görevlisi Mert Paldrak

İçindekiler

Önsöz	iii
İçindekiler	v
İzmir Metro Sisteminde Rejeneratif Enerjinin Verimli Kullanımı	1
Orijinal Malzeme Üreticisi Firma için Darboğaz Analizi Aracılığıyla Kapasite Genişletme.....	10
Konfeksiyon İmalat Şirketinde Kalite Yönetimi ve İstatistiksel Proses Kontrol Sisteminin Uygulanması	17
Konfeksiyon Endüstrisi için Depo Tasarımı ve Sipariş Toplama Algoritması.....	27
Valf Sanayii A.Ş.'de Temel Bileşen Malzemeler için Envanter Yönetimi.....	35
Sıraya Bağlı Kurulum Süreleri ile Çok Modelli Montaj Hattını Sıralama.....	43
Manisa Valf A.Ş.'de Soğutucu Küresel Valf Üretim Sürecinde Değer Katmayan Faaliyetleri En Aza İndirme	52
Evka 3-Kaymakamlık Metro Hattının Simülasyonu ve Varış Zamanlarının Değerlendirilmesi	59
Totomak için Depo Yönetimi Karar Destek Sistemi	65
Aralıklı Talep için Envanter Yönetimi Optimizasyonu	74
Değerlendirme ve Sonuçlar	82
IE 4910 Sistem Analizi ve IE 4920 Sistem Tasarımı Derslerinin Uygulama Planı.....	83
Proje Ekipleri.....	89



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

İzmir Metro Sisteminde Rejeneratif Enerjinin Verimli Kullanımı

Deniz MUTLUM, Ecemnaz AYDIN, Melisa ARAS, Selin AYLANÇ

Akademik Danışmanlar
Dr. Adalet ÖNER
Gamze ERDEM

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

İzmir Metro Şirketi, İzmir belediyesinin bir yan kuruluşudur ve günlük ortalama 135.000 yolcuya hizmet vermektedir. 17.675 kilometrelik bir demiryolu hattında on istasyon üzerinden işlem yapmaktadır. Her istasyon platformu 125 metre uzunluğunda olup, en fazla 5 vagonlu trenler sistemde çalışabilir.

Her tren ileri hareket ederken elektrik enerjisi tüketir ve geri kazanımlı fren sistemi sayesinde frenleme sırasında enerji üretir. Geri kazanımlı frenleme, frenleme sırasında üretilen kinetik enerjiyi geri kazanarak kullanılabilir bir enerji formuna dönüştüren bir mekanizmadır. Bu sistem kullanılarak, trenin artık ihtiyaç duymadığı kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek pilin şarj edilmesi için kullanılabilir ve sistem daha verimli hale gelirken fren sisteminin ömrü uzatılabilir.

İzmir Metro, tren hizmetlerini belirlerken enerji tüketimini, iş sağlığı ve güvenliğini ve müşteri memnuniyetini dikkate almaktadır. Projenin amacı, üretilen enerjiyi hareket halindeki diğer trenlere aktararak ekstra enerji tüketimini en aza indirmek ve müşteri memnuniyetini karşılayan daha enerji verimli ve çevre dostu bir ulaşım sistemi oluşturmaktır. Bu hedefe ulaşmak için trenler arası süreler düzenlenerek geri kazanımlı enerjiden yararlanarak elektrik enerjisi tasarrufu sağlanacaktır. Genel olarak, bu girişim, enerji maliyetlerini azaltmaya ve İzmir Metro'nun verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaya yardımcı olabilir.

II. PROBLEM TANIMI

Günümüz dünyasında, fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunlar nedeniyle enerji korunumu önemlidir ve bunlar temel enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların neden olduğu zararları hafifletebilirken, yeterli vurguyu almamaktadır.

Metro sistemleri, kentsel trafik sıkışıklığına sürdürülebilir bir çözüm sunar. Metro araçları elektrikle çalışmaları için daha çevre dostu olarak kabul edilir, ancak yüksek enerji tüketimleri maliyet etkin tüketim yöntemlerini gerektirir. Demiryolu sistemlerinde enerji verimliliği, enerji tüketimini ve maliyetleri azaltma konusunda küresel bir endişe ve önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Metrolardaki enerji tüketimi, iki şekilde en aza indirilebilir. İlk olarak, tren hizmetlerinin düzenlenmesiyle, iki trenin mümkün olan en uzun süre aynı transformatörden elektrik alması sağlanır. Verimli bir planlama, modern şehirlerin taleplerini karşılamak için önemlidir. İkinci yaklaşım ise sürücülere metro programını değiştirmeden belirli yerlerde hızlanma veya yavaşlama imkânı vererek, iki metronun mümkün olan en uzun süre aynı transformatörden elektrik almasını sağlamaktır. Bu çalışmada hız sabit tutulurken, trenlerin yaklaşma zamanları düzenlenir. Bu çalışmanın amacı göz önüne alındığında, planlama uygun bir yöntem olarak kabul edilir.

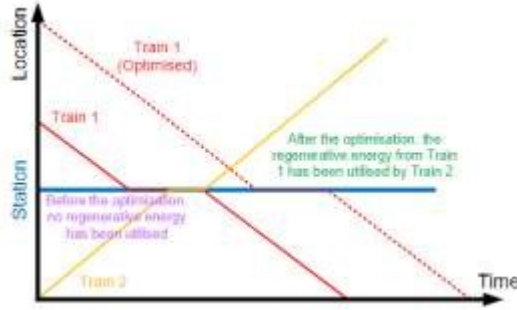
Planlama, sınırlı kaynakların (makine, işçi, ekipman, araçlar vb.) belirli bir amaç için belirli kısıtlamalar içinde ve belirli bir zaman çerçevesi içinde işlere tahsis edilmesiyle ilgili kararların verildiği süreçtir. Planlama faaliyeti, üretim veya hizmet merkezinde işlenmesi gereken birden fazla işin "sırasını" belirleme işini içerir.

Planlamanın temel unsurları "etkinlik" (üretim, hizmet vb.), "kaynak" (makine, operatör vb.) ve "zaman" (başlangıç, bitiş vb.) olarak belirlenir. Sefer sıklığı, karmaşık ve zaman alıcı bir görev olup, birçok karmaşık kısıtlamaya tabidir. Mevcut bir odak, tren işletmelerinde enerji tüketimini azaltmaya yöneliktir. Enerji verimli tren işletme yaklaşımlarının iki ana seviyesi bulunmaktadır. Son zamanlardaki bir araştırma ilgisi, hizmet verme süresi ile çalışma süresini (iki bitişik istasyon arasındaki süreyi) içeren bir tarife geliştirmeye odaklanan rejeneratif enerji kullanımı alanındadır. Bu şekilde, frenleme ve hızlanma trenlerinin işletmelerini senkronize ederek rejeneratif enerjinin kullanımını artırmak hedeflenmektedir.

Modern trenler, frenleme enerjisini elektrik gücüne dönüştüren rejeneratif fren sistemlerini kullanır ve bu enerjiyi başka trenlerin ivmelenmesinde kullanabilir, böylece enerji verimliliği artar. Bu nedenle, sefer sıklığını koordine ederek frenleyen bir trenin rejeneratif gücünün aynı güç aralığındaki diğer trenlerin çekişinde kullanılması sağlanabilir. Bu şekilde, sefer sıklığını optimize ederek rejeneratif enerji kullanımını artırmak, trenlerin işletimi için gereken enerji miktarını önemli ölçüde azaltabilir. Sefer sıklığı optimizasyonunun amacı, frenleme ve hızlanma süreçlerinin tüm trenlerin aynı elektrik bölgesinde seyahat edenlerin senkronizasyonundan kaynaklanan enerji tüketimini en aza indirmektir. Bu, tek trenin işletme eğrisini ve kontrol stratejisini optimize ederek rejenerasyonun kullanımını artırma prensibine dayanır.

Tren hizmetinin sıklığı ve aralıkları, sosyal ve iş yaşamının ihtiyaçlarına dayanarak belirlenir. Bununla birlikte, zaman geçiş süreleri minimum seviyelere eklenen ek zaman aralıklarını hesaba katan temel zaman çizelgesi yapısı tasarlanır, böylece potansiyel gecikmelere izin verilir. Yolcuların istasyonlarda beklemek zorunda kaldıkları süre, yolcuların ne kadar iyi hizmet alındığında önemli bir faktördür. Kapıların açılmasından önceki süre, yolcu değişimi süresi ve kapıların kapatılmasından sonra kalkış öncesi süre, yolcu hizmetinin önemli bir bileşenidir. Kapıların açılma ve kapanma zamanları sabit olduğundan, tren hareketlerini senkronize etmek, rejeneratif enerji kullanımının verimliliğini artırmak için önemlidir.

Figür 1'deki yeşil kutuda gösterildiği gibi, Tren 1 fren yaparken Tren 2 aynı elektrik bölgesinden geçerken Tren 1 tarafından üretilen rejeneratif gücü kullanabilir, enerji verimliliğini artırır. Bu tren çifti senkronize edilmiş bir grup olarak kabul edilir. İvmelenme ve frenleme sürelerinin örtüştüğü zaman senkronize zaman olarak kabul edilir.



Şekil 1. Rejeneratif Fren Gücü Kullanımı

Problemin karar değişkenleri istasyonlardaki bekleme süreleri, aralıkların sıklığı ve her bir aralıktaki tren hızıdır. Bu problem, istasyonlardaki bekleme süreleri, aralıkların sıklığını, hızı ve enerji bölgesini dikkate alan bazı kısıtlamalar içerir. Her istasyonda bir bekleme süresi bulunur. İstasyonlarda uzun bekleme sürelerini veya metrolar için çok kısa bir iniş süresini (örneğin 1-2 saniye) önlemek için bekleme süresi üst ve alt sınırlara sahiptir.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Raylı sistemimizde bir günde transfer edilen rejeneratif enerjiyi optimize etmek için karmaşık bir model oluşturduk. Bu model, istasyonlar arası hızları, istasyonlarda bekleme sürelerini ve sefer sıklığını dikkate alarak, rejeneratif enerjinin transferini maksimize edecek optimal bir yapıyı belirlemektedir.

Model, raylı sistem ağının işletimsel özelliklerini tanımlayan çeşitli girdiler kullanmaktadır:

- Mesafeler: Raylı sistem ağında her istasyon arasındaki mesafeler.
- Enerji Bölgeleri: Raylı sistem ağında enerji bölgelerinin konumu ve düzeni.
- Hızlanma Süresi: Bir trenin durmuş durumdan sabit hıza ulaşması için gereken süre.
- Frenleme Süresi: Bir trenin hareket halinden durması için gereken süre.
- İstasyonlar ve Koordinatlar: Raylı sistem ağı boyunca istasyonların konumları.

Modelimiz, raylı sistem ağının sorunsuz ve güvenli işleyişinde önemli olan belirli kısıtlamalar kümesiyle tanımlanmıştır:

- Minimum Tren Mesafesi: Güvenlik açısından, herhangi iki tren arasındaki minimum mesafe en az bir istasyon olmalıdır.
- İstasyonlar Arası Hızlar: İstasyonlar arasında seyahat eden trenlerin hızı 25 km/s (alt limit) ile 55 km/s (üst limit) arasında olmalıdır.
- Bekleme Süreleri: Bir trenin istasyonda kalma süresi, yani bekleme süresi, 15 ile 25 saniye arasında sınırlanmıştır.
- Enerji Bölgesi: Her iki tren herhangi bir zamanda aynı enerji bölgesinde olmalıdır.

Bu kısıtlamalar ve girişler göz önüne alındığında, modelimiz raylı sistem ağının karmaşıklığıyla başa çıkmak ve işletimsel gereksinimlere uygun bir optimal çözüm üretmek üzere tasarlanmıştır. Bu çözüm

bulmak için iki farklı ancak birbirini tamamlayan algoritma kullanıyoruz: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Grid Algoritması.

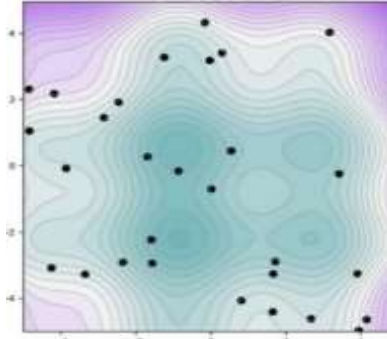
İleri gelen bölümler, bu algoritmaların detaylarına ve modelimizin tanımlanan parametre uzayında optimal bir çözüm sunmak için nasıl birlikte çalıştıklarına odaklanacaktır.

A. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), sürüngen kuşların veya sürü halindeki balıkların gözlenen sosyal davranış kalıplarından esinlenen bir popülasyon tabanlı optimizasyon tekniğidir. Basitliği, uygulanması kolay olması ve etkinliği, çeşitli alanlarda yaygın olarak uygulanmasına yol açmıştır.

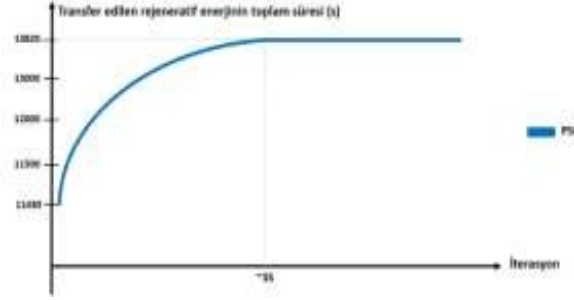
Bu projede, PSO, birkaç enerji bölgesinden oluşan bir metro hattında bir günde transfer edilen rejeneratif enerjiyi optimize etmek için kullanılır. Bu projenin bağlamında, PSO algoritmasındaki her "partikül", istasyonlar arası hızlar, her istasyondaki bekleme süreleri ve sefer sıklığı ile karakterize edilen potansiyel bir çözümü temsil eder. Bir partikülün çok boyutlu arama uzayındaki konumu bu karar değişkenlerine karşılık gelir. PSO'nun optimize etmeye çalıştığı amaç fonksiyonu, rejeneratif enerjinin transfer edildiği toplam sürelerdir. Bu, her istasyon arasındaki seyahat sürelerini (istasyonlar arası hızlar ve bekleme süreleri tarafından etkilenen), her zaman diliminde çalışan tren sayısını (sefer sıklığı tarafından belirlenen) ve aralık frekansını (iki ardışık tren arasındaki süre) dikkate alarak hesaplanır.

Başlangıçta, partiküller arama uzayında rastgele yerleştirilir ve her biri rastgele atanan bir hızla donatılır. Algoritma iterasyonlarla ilerledikçe, partiküller kendi en iyi bilinen konumlarına ve tüm sürünün en iyi bilinen konumlarına dayanarak hızlarını ve konumlarını ayarlarlar. Bu, keşif (yeni alanlarda arama) ve sömürü (mevcut en iyi çözümleri iyileştirme) arasında denge sağlayan matematiksel denklemler kümesi aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu özel uygulamada, her partikülün konumu (veya çözümü), istasyonlar arası hızların bir dizisi, bekleme süreleri ve sefer sıklığı olarak tanımlanır. PSO algoritması bu değişkenleri optimize ederek toplam rejeneratif enerji süresini maksimize eder. Optimizasyon süreci, belirlenen bir sayıda iterasyon için çalıştırılır ve arama sırasında bulunan en iyi çözüm, nihai sonuç olarak döndürülür.



Şekil 2. Parçacıklar arama alanında

Algoritmanın ilerlemesi, her iterasyonda amaç fonksiyonunun değerinin (toplam rejeneratif enerji süresi) çizdirilerek takip edilmesiyle izlenebilir. Bu şekilde algoritmanın optimal çözüme yaklaşarak nasıl yakınsadığını gösterir. PSO'nun kullanılmasıyla proje, potansiyel hız ayarları, bekleme süreleri ve sefer sıklığı gibi geniş ve karmaşık arama uzayını etkili bir şekilde keşfeder ve gün boyunca transfer edilen toplam rejeneratif enerjiyi önemli ölçüde artıran neredeyse optimal bir çözüm bulur. Özetlemek gerekirse, bu projede PSO'nun kullanımı, sadece mevcut optimizasyon problemini etkili bir şekilde çözmek için verimli bir yöntem sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sistem işleyişine ilişkin içgörüler sunar. Bu içgörüler, metro sisteminin enerji verimliliğini iyileştirmek için stratejik planlama ve karar vermede daha ileri kullanılabilir.



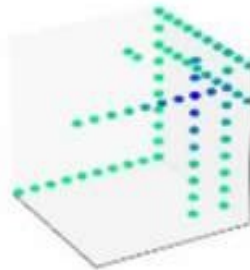
Şekil 3. PSO- en iyi çözüme kadar gerekli iterasyon sayısı

B. Grid Arama Algoritması

Projemizde, geleneksel ve sistemli bir arama yöntemi olan Grid Arama algoritmasını kullanmaya karar verdik. Bu algoritma, optimizasyon problemimizin hiper parametre uzayının önceden belirlenmiş bir alt kümesini keşfeder. Çalışma şekli, her parametre için bir dizi potansiyel değeri belirlemek ve algoritmanın en iyi kümesini bulmak için her kombinasyonu incelemektir.

Çalışmamızın bağlamında, optimize etmek için üç önemli parametre belirledik: istasyonlar arası hızlar, her istasyondaki bekleme süreleri ve sefer sıklığı. Bu üç parametrenin her olası kombinasyonu, grid arama uzayımızda benzersiz bir noktayı temsil eder. Bu kombinasyonlar için her biri için rejeneratif enerji aktarılan toplam süreleri, yani amaç fonksiyonumuzu hesaplarız. Grid Aramanın kapsamlı doğası nedeniyle, belirtilen aralıklarda karar değişkenlerinin her bir olası kombinasyonunu test eder. Bu, hesaplama açısından maliyetli olsa da tanımlanan aralıkta en iyi çözümü bulmayı garanti eder.

Grid Arama uygulaması, her bir parametre kombinasyonu için amaç fonksiyonunu değerlendirerek parametrelerin tüm kombinasyonlarını keşfeder. Her değerlendirmeden sonra, yeni sonucu önceki en iyi çözümle karşılaştırır ve yeni çözüm daha iyi ise onu günceller. Bu süreç, tüm kombinasyonlar değerlendirilene kadar devam eder. Grid arama tamamlandığında, en iyi çözümle kalırız: rejeneratif enerji aktarılan toplam süreleri maksimize eden parametre kombinasyonu. Parametre uzayında aramamızı görselleştirebilmek için her parametre kombinasyonu için amaç fonksiyonunun değerini izleyerek algoritmanın ilerlemesini takip edebiliriz.



Şekil 4. Grid Arama Algoritması, parametre aralığını araştırıyor

Grid arama algoritması projemiz için değerli bir araç olmuştur. Parametre uzayımızı tümüyle tarayarak, istasyonlar arası hızlar, bekleme süreleri ve sefer sıklığının kombinasyonunu bulmamıza yardımcı olur. Bu kombinasyon, rejeneratif enerji aktarılan toplam süreleri maksimize eden en iyi çözümü sunar. Bununla birlikte, grid arama yöntemimizin etkinliği, parametre aralığının ayrıntı düzeyine bağlıdır. Daha ince bir aralık daha kesin sonuçlar sağlayabilirken, daha fazla hesaplama kaynağı ve zaman gerektireceğini göz önünde bulundurmaktır önemlidir.

IV. SONUÇ

Enerji tasarrufunu optimize etmek için modelimiz, ara istasyon hızı, bekleme süresi ve sefer sıklığı gibi üç temel karar değişkenini içerir. Bu değişkenler, sistem içinde rejeneratif enerji transferini optimize etmek için kontrol ettiğimiz temel unsurlardır. Olası konfigürasyon spektrumunu keşfetmek için sekiz farklı senaryo belirledik. Bu senaryolar, tüm karar değişkenlerini sabit bırakarak mevcut işletme durumunu yansıtan senaryolardan, bir veya birden fazla değişkeni aynı anda ayarlamayı içeren senaryolara kadar uzanmaktadır. Bu senaryolar, ara istasyon hızları, bekleme süreleri ve sefer sıklığı gibi karar değişkenlerini optimize etmeye odaklanmaktadır. Bu optimizasyonu gerçekleştirmek için, Grid algoritması ve parçacık sürüsü algoritması gibi gelişmiş optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Algoritmalar, Python Yazılım Programı ile çözülmüştür.

TABLO I. KARAR DEĞİŞKENLERİ

#	İSTASYONLAR ARASI HIZ	BEKLEME SÜRESİ	SEFER SIKLIĞI
1	Sabit	Sabit	Sabit
2	Değişken	Sabit	Sabit
3	Sabit	Değişken	Sabit
4	Sabit	Sabit	Değişken
5	Değişken	Değişken	Sabit
6	Değişken	Sabit	Değişken
7	Sabit	Değişken	Değişken
8	Değişken	Değişken	Değişken

İlk senaryoda, ara istasyon hızı, bekleme süresi ve sefer sıklığı gibi tüm karar değişkenlerini sabit tutmayı seçtik. Bu yaklaşımın çift bir amacı vardır. İlk olarak, sonraki senaryolarda yapılan değişikliklerin etkisini karşılaştırabileceğimiz mevcut sistem işletmesinin bir temelini sağlar. Bu temel senaryo, mevcut hız sınırları, bekleme süreleri ve sefer sıklığından kaynaklanan sonuçları yansıtarak, rejeneratif enerji transferinin mevcut durumunu yakalar. İkinci olarak, modelimizi ve optimizasyon yöntemlerimizi doğrulamak için değerli bir fırsat sunar. Değişkenler sabit tutulduğunda modelimizin mevcut işletme durumunu doğru bir şekilde temsil ettiğini doğrulayarak, daha sonraki senaryolarda bu değişkenleri kontrol ettiğimizde elde edilen sonuçlara daha fazla güvenebiliriz.

İkinci olarak, ara istasyon hızları Grid Algoritması ve Parçacık Sürüsü Algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimize edilmiştir. Raylı sistemi bölümlere ayırarak her bölüm için farklı hız değerlerini sistematik olarak keşfeden algoritma, enerji tüketimini en aza indiren optimal hızları belirlemiştir. Bu yaklaşım, metro sisteminin enerji verimliliği ile yolcu memnuniyeti arasında en iyi dengeyi sağlamasını sağlamıştır.

Ardından, trenlerin her istasyonda harcadığı bekleme süreleri Parçacık Sürüsü Algoritması ve Grid Algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Problemi çok boyutlu bir optimizasyon sorunu olarak tanımlayarak, algoritma kapı açma ve kapama sürelerinin, platform düzenlemelerinin ve yolcu akışı yönetimi tekniklerinin en verimli kombinasyonunu aramıştır.

Ayrıca, sefer sıklığı Grid Algoritması ve Parçacık Sürüsü Algoritması kombinasyonu kullanılarak ayarlanmıştır. Tren geliş ve gidişlerinin etkileşimini dikkate alan bu algoritmalar, tren hareketlerinin koordinasyonunu sağlayarak rejeneratif fren sisteminin en iyi şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Grid algoritması farklı tarife seçeneklerinin sistematik olarak keşfedilmesine izin verirken, parçacık sürüsü algoritması enerji verimliliği göz önünde bulundurularak tarifeleri geliştirmiştir. Bu dinamik yaklaşım, frenleme sırasında üretilen enerjinin hareket halindeki diğer trenlere verimli bir şekilde aktarılmasını sağlayarak genel enerji tüketimini azaltır ve sürdürülebilirliği iyileştirir.

Bu senaryolar arasında bu karar değişkenlerini yöntemli bir şekilde değiştirerek, amacımıza olan bireysel ve birleşik etkilerini ayrıntılı bir şekilde araştırmayı amaçlıyoruz. Bu kapsamlı yaklaşım, ara istasyon hızı, bekleme süresi ve sefer sıklığı rejeneratif enerji transferini en üst düzeye çıkarırken raylı sistemlerin güvenliği ve verimliliğini koruyan optimal kombinasyonunu belirlememize yardımcı olmak için çözüm alanının tamamını keşfetmemizi sağlar.

TABLO II. GRID ALGORİTMASI VE PARÇACIK SÜRÜ ALGORİTMASI

#	İSTASYONLAR ARASI HIZ	BEKLEME SÜRESİ	SEFER SIKLIĞI	GRID ALGORİTMASI	PSO
1	Sabit	Sabit	Sabit	12750 sn	12750 sn
2	Değişken	Sabit	Sabit	14340 sn	14330 sn
3	Sabit	Değişken	Sabit	13130 sn	13135 sn
4	Sabit	Sabit	Değişken	21600 sn	23000 sn
5	Değişken	Değişken	Sabit	14660 sn	14040 sn
6	Değişken	Sabit	Değişken	24450 sn	24430 sn
7	Sabit	Değişken	Değişken	23506 sn	23556 sn
8	Değişken	Değişken	Değişken	26052 sn	26030 sn

Yaklaşımımızda, formüle ettiğimiz modeli çözmek için hem Grid Arama algoritmasını hem de Parçacık Sürüsü Optimizasyonunu (PSO) uyguladık. Bu karar, modelimizden elde edilen çözümlerin doğrulanması ve hesaplama süresi açısından en verimli yöntemi bulma isteğiyle yönlendirildi. Çalışmamızın bağlamında bu iki algoritmanın karşılaştırılması değerli bilgiler sunmaktadır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar ya aynıydı ya da yakından ilişkiliydi, bu da modelin doğruluğunu ve çözümlerin geçerliliğini doğrulayan bir kanıttır. Bu iki yöntem arasındaki karşılıklı doğrulama, önerilen politikaların uygulanabilirliği ve geçerliliği konusundaki güvenimizi artırır.

Sonuç olarak hem Grid Arama hem de PSO etkili çözümler sağlasa da PSO hesaplama verimliliği açısından üstün performans sergilemiş ve gerçek zamanlı karar verme durumlarında tercih edilen bir seçenek olmuştur. İki algoritmanın kullanımı, en iyi çözümleri sağlamakla kalmamış, aynı zamanda sonuçların kalitesini sağlamak için bir öz doğrulama mekanizması olarak görev yapmıştır.

Optimizasyon sürecinin tamamlanmasının ardından, her senaryonun sonuçlarını tablo formatında sunarak gerekli politika önerilerini sunuyoruz. Bu tablolar, karmaşık matematiksel sonuçları eyleme geçirilebilir stratejik önlemlere dönüştürmek için tasarlanmıştır. Her senaryo için, tablo, ara istasyon hızı, bekleme süresi ve sefer sıklığı gibi karar değişkenlerinde yapılan değişikliklerin rejeneratif enerji transferinde farklı düzeylerde nasıl sonuçlandığını gösterir. Tablo temsili, farklı koşullar altında optimal işletme yapılandırılmalarını belirlemeye yardımcı olan pratik bir rehber olarak hizmet eder. Bu tablolar aracılığıyla yapılan karşılaştırmalı analiz, paydaşların raylı sistemde rejeneratif enerji kullanımını optimize etmek için bilinçli kararlar almasına ve gelecekteki stratejileri planlamasına büyük ölçüde yardımcı olabilir.

TABLO III. SONUÇLAR

TREN ÇİZELGESİ		BEKLEME SÜRELERİ		İSTASYONLAR ARASI ORTALAMA HIZLAR	
SAAT	SEFER SIKLIĞI				
06.00-07.00	5 dk	Bornova	20 sn	Bornova - Bölge	42 km/h
07.00-20.00	3 dk	Bölge	18 sn	Bölge - Sanayi	28 km/h
20.00-00.20	7.5 dk	Sanayi	15 sn	Sanayi - Stadyum	33 km/h
		Stadyum	25 sn	Stadyum - Halkapınar	35 km/h

Sonuç olarak, grid algoritması ve parçacık sürüsü algoritmasını kullanarak yapılan optimizasyon senaryolarının uygulanması, İzmir Metro sisteminde enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından önemli gelişmeler sağladı. Bu ileri optimizasyon teknikleri, sistemin optimal ara istasyon hızları, bekleme süreleri ve sefer sıklığı elde etmesini sağlayarak enerji tüketimini azalttı ve işletme verimliliğini artırdı. Bu

algoritmaların gücünden yararlanarak, İzmir Metro, şehir sakinleri ve ziyaretçileri için daha çevre dostu ve enerji verimli bir ulaşım sistemi oluşturma konusunda proaktif bir yaklaşım sergilemiştir.

Bu çalışmada, İzmir Metro sisteminin ayrıntılı bir analizini gerçekleştirdik, ana operasyonel parametreleri belirledik ve verimliliği artırma potansiyeli olan alanları tespit ettik. Ana sorunumuz, metro sistemi içindeki rejeneratif enerji transferini optimize etmek olarak tanımlanmıştır. Bu amaç, sürdürülebilirliği artırmak ve enerji maliyetlerini azaltmak olarak belirlendi. Mevcut literatürün incelenmesi, benzer bağlamlarda uygulanan çeşitli yöntemleri öne çıkardı ve model formülasyonumuz için temel oluşturdu. Model, üç karar değişkeni ile oluşturulmuştur: istasyonlar arası hız, bekleme süresi ve tren programı. Pratik operasyonel düşüncelere saygı göstermek için kısıtlamalar belirlendi. Çözüm için Grid Search algoritması ve Parçacık Sürüsü Algoritması (PSO) ana algoritmaları kullanıldı.

Karar Destek Sistemi (KDS), İzmir Metro şirketi tarafından kullanılabilir değerli bir araç olarak hizmet vermektedir. KDS, modelimizden elde edilen sonuçları eyleme geçirilebilir stratejilere dönüştürür. Sürdürülebilirlik açısından, modelimiz rejeneratif enerjinin maksimum kullanımını sağlama üzerine tasarlanmıştır. Uygulanabilirliği yüksek olan model ve sonuçları, kullanıcı dostu arayüzler ve net çıktılarla İzmir Metro'nun mevcut karar verme sürecine kolayca entegre edilebilir.



Şekil 5. Karar Destek Sistemi

Sonuç olarak, bu rapor İzmir Metro sisteminde rejeneratif enerji transferinin optimize edilmesine yönelik kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. İleri düzey bir model ve pratik bir KDS geliştirerek, sürdürülebilirliği artıran, verimliliği iyileştiren ve İzmir Metro'nun gerçek dünya ortamında uygulanabilirliği vaat eden sağlam bir çözüm sunuyoruz. Bu raporda sağlanan bulguların ve araçların İzmir Metro'nun operasyonel stratejisi ve benzer raylı sistemlere dünya genelinde anlamlı bir katkıda bulunacağı umudumuzdur.

REFERANSLAR

- [1] İZMİR Metro A.Ş. (2022). Available: from <https://www.izmirmetro.com.tr/Sayfa/13/1/tarihce>
- [2] J. Feng, X. Li, H. Liu, X. Gao and B. Mao. Optimizing The Energy-Efficient Metro Train Timetable and Control Strategy In Off-Peak Hours With Uncertain Passenger Demands. *Energies*, pp. 512-523, 2017.
- [3] F. Shang, J. Zhan and Y. Chen. Energy-Saving Train Regulation for Metro Lines Using Distributed Model Predictive Control. *Energies*, pp. 1809--1823, 2020.
- [4] B. Jin, P. Sun, Q. Wang and X. Feng. Two-step Method to Reduce Metro Transit Energy Consumption by Optimising Speed Profile and Timetable. *IET Intelligent Transport Systems*, 2020.
- [5] H. Tang, C.T. Dick, and X. Feng. Improving Regenerative Energy Receptivity in Metro Transit Systems: Coordinated Train Control Algorithm. *Transportation Research Record*, 2015.
- [6] O. Ustaoglu. İstanbul Metrosu'nda Rejeneratif Enerjinin Geri Kazanımı İçin Bir Çizelgeleme Çalışması. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2009
- [7] Y. Zhao. "Optimization model design of regenerative braking energy utilization of subway train based on block zoning", *Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 804, No. 3, pp. 032002, 2021.
- [8] D. Liu, S.Q. Zhu, Y.R. Bi, K. Liu and Y.X. Xu. Research On The Utilization Of Metro Regenerative Braking Energy Based On An Improved Differential Evolution Algorithm. *Journal of Advanced Transportation*, 2020.

- [9] B. Tural, M. Turan, and İ.E. Demirci. Tren Raylarından Enerjinin Geri Kazanımı İçin Genetik Algoritma ile Zaman-Planı Optimizasyonu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2021
- [10] Z. Tian, P. Weston, N. Zhao, S. Hillmansen, C. Roberts and L. Chen. System Energy Optimisation Strategies For Metros With Regeneration. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Orijinal Malzeme Üreticisi Firma için Darboğaz Analizi Aracılığıyla Kapasite Genişletme

Arda Ali BAYRAKTAR, Gülşah ÇOSKUNSEDA, Ege SALMAN

**Akademik Danışmanlar
Dr. Ayhan Özgür TOY
Nazlu Karataş AYGÜN**

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

Bu proje, krank mil üretim tesisinde darboğaz belirlemeye ve gidermeye yönelik bir sistem analiz ve tasarım çalışmasını içermektedir. Projenin amacı, aylık üretim plan ve hedeflerini karşılamak üzere, en az maliyetle toplam imalat süresini uzatan ve birim zamandaki çıktının azalmasına neden olan darboğaz istasyonunu tespit ederek kapasiteyi genişletmektir. Yapılacak analiz ile birim zamandaki üretim miktarının belirlenmesi ve darboğazların tespit edilip çözülerek sistemin daha verimli hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu proje Totomak Makine ve Yedek Parça Sanayi ve Ticaret A.Ş. iş birliği ile yapılmıştır.

Orijinal malzeme üreticisi olan Totomak, 1950 yılında İzmir'de kurulmuştur. Otomotiv, klima, ağır işleme endüstrisi ve enerji sektörlerine ürünler sunan bir tedarikçidir. Firmanın, biri İzmir/Türkiye'de, diğeri Monterrey/Meksika'da olmak üzere iki üretim tesisi bulunmaktadır. Çiğli Organize Sanayi'deki tesis, toplam 17.500 m2 alan üzerine kurulmuştur. Fabrikada toplam 503 kişi çalışmaktadır. Şirket, %95'lik bir ihracat oranıyla çalışmaktadır. Şirket küresel müşterilerinin taleplerini karşılamak için 4'ü Avrupa'da ve 1'i ABD'de toplamda 5 lojistik depo kullanmaktadır. Şirket 30 farklı ürün grubu altında yaklaşık 800 çeşit ağır metal ürün üretmektedir.

Şirketin çalışma prensibi, her müşteri için özelleştirilmiş üretim üzerine kurulmuştur ve ana hedef müşterinin talep ettiği kadar, yani sipariş miktarı kadar üretim yapmaktır. Fabrika düzeni, her ürün çıktısının birbirinden bağımsız olarak üretilmesi için tasarlanmıştır. Her ürün grubu için ayrı bir hat vardır. Şirket, üretim verimliliğini olumsuz yönde etkileyen bazı belirtiler tespit etmiştir. Temel belirti, teslimat süresindeki gecikmelerdir. Fabrika, bu belirtileri iyileştirmek için çözümler aramaktadır.

Projemizde, krank mil üretim hattına odaklandık. Krank mil üretim hattı, fabrikanın en yeni kurulan üretim hattıdır ve yalnızca bir yıl önce devreye alınmıştır. 12 farklı tip krank mil aşama ve akış benzerliklerine göre A, B, C ve D olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Hatta 7 makine bulunmaktadır. Toplamda 17 aşama olup, bunlar belirli bir sırayla gerçekleştirilmektedir. Aşama sıralaması değiştirilemez. Ayrıca, imalat sürecinde sözleşmeli üreticilere 3 ısıl işlem yaptırılmaktadır.

Bu rapor dört bölümden oluşmaktadır. Bu bölüm, makro ve mikro analizi temsil eden bir giriş bölümüdür ve bir sonraki bölüm problem tanımını ele almaktadır. Bölüm 3'te simülasyon modeli ve çözüm yöntemi açıklanmaktadır. Son olarak, çalışmanın sonuçları özetlenmektedir.

II. PROBLEM TANIMI

2022 yılında devreye alınana krank mili üretim hattı, fabrikanın en son kurulan üretim hattıdır. Bu hatta, planlanan üretim miktarı ile gerçekte üretilen ürün miktarı arasında fark vardır. Gerçekte üretilen ürün miktarı, planlamada belirlenen kapasitesini altına düşmektedir. Bu nedenle, bazı dönemlerde alınan siparişlerin üretiminde gecikmeler ve sonraki aylara sarkmalar olmaktadır. Şirket ile yapılan toplantılar sonucunda bu problemin üretimde oluşan bir darboğazdan kaynaklandığına karar verdik. Bu nedenle problemimizi darboğaz analizi olarak adlandırdık. Ayrıca, şirket temsilcileri önümüzdeki yıllarda bu hatta 20%'lik bir talep artışı beklemektedir. Bu nedenle, hat kapasitesinin genişletilmesini talep etmektedirler.

Üretimde darboğaz sorunu, istenen çıktıyı üretmek için gereken bir veya daha fazla kaynaktan bir kısıtlama veya sınırlama olduğunda ortaya çıkan bir durumu ifade eder. Darboğaz, yetersiz ekipman, yetersiz hammadde veya yetersiz personel gibi çeşitli sebeplerden kaynaklanabilir. Bir darboğaz ortaya çıktığında, verimlilik ve üretkenlik azalabilir, ayrıca müşteri talebini karşılamakta gecikmeler yaşanabilir. Bir darboğaz sorununu ele almak için, kaynakları yeniden tahsis etmek, süreçleri optimize etmek veya üretimi artırmak için ek ekipman veya personel yatırımı yapmak gibi çalışmalar yapmak gereklidir. Örneğin, darboğaz yetersiz ekipman tarafından kaynaklanıyorsa, üretim kapasitesini artırmak için yeni veya yükseltilmiş makineler yatırımı yapmak gerekebilir. Darboğaz, yetersiz hammadde nedeniyle ortaya çıkarsa, sabit hammadde sağlamak için yeni tedarik sözleşmeleri görüşmek veya stok yönetimi sistemlerine yatırım yapmak gerekebilir. Darboğaz, yetersiz personel tarafından kaynaklanıyorsa, ek işçi almak veya mevcut personeli daha iyi kullanmak için üretim sürecini yeniden düzenlemek gerekebilir.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Problem çözüm yaklaşımımızın ilk aşaması bir simülasyon modeli oluşturmaktır. Bu aşamada Arena simülasyon yazılımı aracılığıyla, mevcut sistemin tüm ürün gruplarını kapsayan detaylı bir simülasyon modeli oluşturduk. Arena simülasyon yazılımı ayırık olaylı simülasyon yapmamıza ve sistemin karmaşık ilişkilerini detaylı bir şekilde analiz etmemize olanak sağlar. Bununla birlikte, sistem performansının çeşitli koşullar altında değerlendirilmesi için uygun bir yazılımdır.

Mevcut simülasyon modeli kurulduktan sonraki adım, sistem kapasitesini artırmayı amaçlayan belirlenmiş kontrol parametrelerinin kombinasyonları sonucu ortaya çıkan farklı senaryoların uygulanmasıdır. Senaryolar uygulandıktan sonra, sistem üzerinde etkilerini değerlendirmek için bir performans analizi yapılır. Bu analiz, gecikmeli ürün sayısını hedeflere ulaşacak şekilde azaltan ve maliyeti en az olan senaryonun seçilmesini sağlar. Dikkat edilmesi gereken bir diğer durum, bir darboğazın çözülmesi başka bir darboğazın ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle, tekrarlayan süreç, sistemin sürekli olarak anali edilip, performansının iyileştirilmesini sağlar. Bu tekrarlayan döngü, gecikmeli ürün sayısı sıfır olduğunda sona erer. Bu noktada, tekrarlamalar sırasında belirlenen en iyi senaryolar uygulanmak üzere seçilir.

A. Simulation Model

Simülasyonumuzda, A, B, C ve D ürün gruplarını temsil eden dört ayrı varlık tipini oluşturduk. Simülasyon modelimiz için çeşitli modüller kullandık. Bu modüller arasında 16 işlem modülü, 30 karar modülü, 101 değer atama modülü, 21 gecikme modülü, 13 bekletme modülü ve 18 sinyal modülü bulunmaktadır. Simülasyonumuzda bulunan ve olasılıksal dağılımlara dayanan parametreler nedeniyle modeli 10 replikasyonla çalıştırdık. Bu replikasyon sayısını değişkenlik katsayısı değerine bakarak belirledik. Her replikasyon, bir yıllık üretim süresine karşılık gelen 312 simülasyon gününü kapsar. Ayrıca, simülasyon modelinde bir ısınma süresi yoktur. Çünkü simülasyona, üretim planına göre aylık bazda üretilmesi gereken hammadde miktarını sınırlı bir şekilde verdik. Simülasyon modelinin davranışını kontrol etmek için de 73 değişken kullandık. Yukarıda bahsedilen bileşenlere ek olarak, genişletilmiş simülasyon modelimizde varsayımlar, kısıtlamalar, girdiler ve etkinlik ölçütleri gibi bir dizi önemli bileşeni dahil ettik.

Varsayımlar:

- Makineler arasındaki transfer süresi ihmal edilebilir.
- Tüm makineler için tüm çıktılar kabul edilir.
- İşçiler her zaman makinede hazır bulunur.
- Hammaddelerin kaynakları sınırlı değildir.

Kısıtlar:

- Hat üzerinde ürün akışı değiştirilemez.
- Üretim planı talebe eşit olmalıdır.
- Talep karşılanana kadar üretim devam etmelidir.
- Anlaşmalı üreticinin işleme ve geri teslim süresi bir haftadır.

Girdiler:

- Toplam 7 adet makine vardır.
- Her aşama için makine işleme süreleri sabittir.
- Her makine için işçi sayısı 1'dir.
- İşçi çalışma süreleri aşama başına rastgeledir. İşçinin çalışma süresi, parça bağlama süresi ve parça kalite kontrol süresinden oluşur.
- Çalışma programı sabittir.
- Her makine için iş duruş süreleri farklıdır.

- Her ürün grubu için yıllık talep, aylara dağıtılarak sisteme giriş yapmıştır.

Etkinlik Ölçütü:

• Gecikmiş Ürün Sayısı: Belirtilen zaman çerçevesi içinde teslim edilmeyen ürün sayısını temsil eder. Bir diğer deyişle geciken sipariş miktarını hesaplar. Aylık üretim miktarına bakarak, hangi ayın üretimi gecikmesi yaşadığı tespit edilebilir. Bu, gecikmeye neden olan darboğaz istasyonunun o belirli ayda meydana geldiği ve başka bir etkinlik ölçütüne dayanarak tespit edilebileceği anlamına gelir.

• Ortalama Yarı Mamul Sayısı: Bu etkinlik ölçütünü ölçmek, üretim hattındaki darboğaz istasyonunu belirlemeye yardımcı olacaktır.

B. Senaryo Yaratma

Sistem simülasyonu yapıldıktan ve model oluşturulduktan sonra, bir dizi farklı senaryo oluşturma aşamasına geçilir. Bu nedenle öncelikle senaryolarda değiştirilebilecek kontrol parametrelerinin bir listesi oluşturulmuştur. Darboğaz aşamasındaki; makine sayısı, makine başına atanan operatör sayısı, ileri düzeyde yetenekli operatörlerin atanması ve makinenin yükseltmesi olmak üzere 4 farklı kontrol parametresi belirlenmiştir. Kontrol parametrelerinin mantıksal kombinasyonlarını kullanarak ve şirketin kısıtlamalarını dikkate alarak aşağıdaki beş farklı senaryoyu oluşturduk. Bu beş farklı senaryo uygulama açısından anlamlı senaryolardır. Denenmesi mümkün senaryo sayısı beşten fazladır ancak anlamsız bunların arasında anlamsız senaryolar da oluştuğu için bunları senaryo olarak değerlendirmedik. Örneğin, makineyi yükselttiğinizde ek bir operatöre veya ileri düzeyde yetenekli bir operatöre ihtiyacımız yoktur. Çünkü makine artık çift paletlidir ve parça bağlama süreleri parça döngü sürelerini etkilemez. Ayrıca, şirket tarafından getirilen finansal ve alansal kısıtlamalardan dolayı, yalnızca 1 ek makine satın alınabilir ve tek bir makineye en fazla 2 operatör atanabilir.

- Senaryo 1: Darboğaz aşamasındaki makine sayısını 2'ye çıkarmak.
- Senaryo 2: Darboğaz aşamasındaki makineye atanmış olan operatör sayısını 2'ye çıkarmak.
- Senaryo 3: Darboğaz aşamasındaki makineye ileri düzeyde yetenekli bir operatör atamak.
- Senaryo 4: Darboğaz aşamasındaki makineyi yükseltmek.
- Senaryo 5: Darboğaz aşamasındaki makine sayısını 2'ye ve her makinedeki operatör sayısını 2'ye çıkarmak.

Karşılaştırma yapmak ve maliyeti en az olan senaryoyu seçmek için birim maliyet bileşenlerini belirlememiz gerekiyordu. Bu nedenle, temel operatör günlük maaşını birim maliyet olarak aşağıdakileri hesapladık.

- Temel operatör günlük maaşı (C_b)= 1
- İleri düzey becerilere sahip operatör günlük maaşı (C_a)= 1.5
- Yeni makine satın alma yıllık maliyeti (C_p)= 3500
- Yeni yükseltilmiş makine satın alma yıllık maliyeti (C_{pu})= 5000
- Yeni makine için hurda değeri (C_s)= 375.80
- Yeni yükseltilmiş makine için hurda değeri (C_{su})= 536.87
- Makine satış değeri (C_{se})= 500:
- Mevcut makine için yıllık bakım maliyeti (C_m)= 200
- Yükseltilmiş makine için yıllık bakım maliyeti (C_{mu})= 150
- Yeni makine için amortisman maliyeti (C_d)= 350
- Yeni yükseltilmiş makine için amortisman maliyeti (C_{du})= 500

Diğer parametreler ise aşağıdaki gibidir. Karşısında değer almayan parametreler senaryolarda test edilecektir.

- Yeni makine ömrü yılı (M_l)= 10

- Yeni yükseltilmiş makine ömrü yılı (Mlu)= 15
- Temel operatör sayısı: Nb
- İleri düzey becerilere sahip operatör sayısı: Na
- Yeni makine sayısı: Np
- Yükseltilmiş yeni makine sayısı: Npu
- Satılan makine sayısı: Nse

Yıllık Ek Maliyet Formülü:

$$312 \left(\frac{C_b N_b}{M_b} + \frac{C_a N_a}{M_a} \right) + N_p \left(\frac{C_m + C_d}{M_p} \right) + \left(\frac{N_p (C_p - C_s)}{M_p} \right) + N_{pu} \left(\frac{C_{mu} + C_{du}}{M_{pu}} \right) + \left(\frac{N_{pu} (C_{pu} - C_{su})}{M_{pu}} \right) - C_{se} N_{se}$$

Yeni Makinenin Toplam Maliyeti
Yükseltilmiş Makinenin Toplam Maliyeti

Maliyet parametreleri ve senaryolar düşünüldüğünde, her senaryonun yıllık ek maliyeti aşağıdaki tabloda hesaplanmıştır.

TABLO I
EK MALİYET TABLOSU

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
Yıllık Ek Maliyet	962.42	312.00	156.00	447.54	1274.42

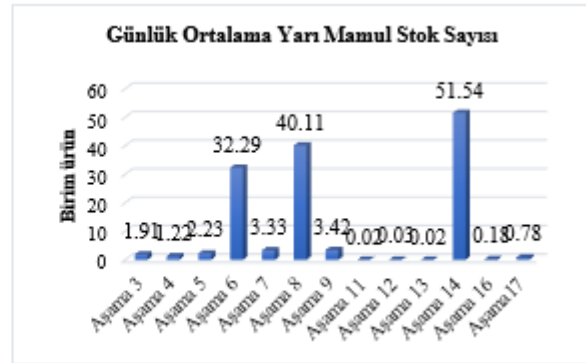
C. Senaryo Karşılaştırılması ve Seçilmesi

Farklı senaryoları karşılaştırmak ve en iyi senaryoyu seçmek için, ek maliyetin geç ürün sayısına bölünerek hesaplanan bir performans oranı belirlendi. Bu oran, her senaryoda geç ürünleri ortadan kaldırmak için bir birim maliyet sağlar. Değerlendirme sürecimiz, en uygun senaryoyu seçerken belirli öncelikleri dikkate alma üzerine kuruludur. İlk önceliğimiz, geç ürünlerin tamamen ortadan kaldırılmasıdır. Bu, hiçbir geç ürünün üretilmediği bir senaryonun ideal olacağı anlamına gelir, böylece zamanında teslimat ve müşteri memnuniyeti sağlanır. Geç ürün sayısını sıfıra indirdikten ve ilk önceliği yerine getirdikten sonra, ikinci önceliğimiz performans oranını minimize etmektir. Geç ürünleri ortadan kaldırmak için birim maliyeti azaltarak, kaynak tahsisini ve maliyet etkinliğini optimize edebiliriz. Daha düşük bir performans oranı, geç ürünleri önleme maliyetlerinin en aza indirildiğini gösterir, bu da kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasına ve mali yükün azaltılmasına olanak tanır.

Simülasyonumuzu mevcut durum için aylık talep verilerini kullanarak çalıştırdıktan sonra, sonuçlar analiz edildi. Yaptığımız çalışmada aşama 1, 10 ve 15'i değerlendirmedik çünkü bu ısıl işlem aşamaları sözleşmeli üretici tarafından gerçekleştirilmektedir. Bulgulara göre, Şekil 1'de de görüldüğü gibi 6. ayda sipariş gecikmesi gözlemlendi. Buna sebep veren darboğazı belirlemek için yapılan analizler sonucunda, günlük en yüksek yarı mamul stoğunun 14. aşamada olduğu belirlendi (bknz. Şekil 2).



Şekil 1. Şimdiki Durumda Aylık Ürün Girdi-Çıktı-Gecikme Miktarı



Şekil 2. Şimdiki Durumda Günlük Ortalama Yarı Mamul Stok Sayısı

14. aşamaya senaryoları uyguladıktan sonra, Tablo 3'teki sonuçlara bakarak birinci önceliğimizi karşılamadığımızı gördük. Sonuç olarak, senaryo 2 ve 3'ü reddettik, çünkü hiçbir geç ürünü ortadan kaldırmadılar. Buna bağlı olarak, kalan senaryoların performans oranlarını hesaplayıp karşılaştırdık. Senaryo 4, minimum olarak belirlendi ve aşama 14'e uygulandı. Sonuç olarak, hala geç ürünler olduğu için tekrarlayan sürecimize devam ettik. Yeni darboğaz aşamasının 8. aşama olduğunu bulduk ve senaryoları uygulayarak bu sürece devam ettik.

TABLO III
%20 TALEP ARTIŞ DURUMU İÇİN SENARYO KARŞILAŞTIRMA TABLOSU (İLK İTERASYON)

	Gecikme	Yarı Mamul Stok	Ek Maliyet	Darboğaz Aşaması	Elenen Geç Ürün Sayısı	Performans Oranı
Şimdiki Durum	1359	93.94	0	Aşama 14	-	-
Senaryo 1	944	63.17	962.42	Aşama 8	415	2.32
Senaryo 2	1359	93.94	312	Aşama 14	0	-
Senaryo 3	1359	93.94	156	Aşama 14	0	-
Senaryo 4	996	63.17	447.54	Aşama 8	363	1.23
Senaryo 5	944	63.17	1274.42	Aşama 8	415	3.07

Daha sonra, darboğaz aşaması 8 için senaryoları uyguladık. Ancak, 8. aşamadaki makine zaten yükseltilmiş olduğu için senaryo 2, 3 ve 4'ü dikkate almadık. Geriye kalan senaryoları uyguladıktan sonra, hiç geç ürün kalmadığını gözlemledik, böylece birinci önceliğimizi yerine getirmiş olduk ve tekrarlayan süreçten çıktık. Son olarak, geriye kalan senaryoların performans oranlarını karşılaştırdık ve Tablo 4'te gösterilen bulgulara göre en düşük olanı belirleyerek senaryo 1'i seçtik.

TABLO IV
%20 TALEP ARTIŞ DURUMU İÇİN SENARYO KARŞILAŞTIRMA TABLOSU (İKİNCİ İTERASYON)

	Gecikme	Yarı Mamul Stok	Ek Maliyet	Elenen Geç Ürün Sayısı	Performans Oranı
Şimdiki Durum	996	63.17	447.54	363	1.23
Senaryo 1	0	0.55	1409.96	1359	1.04
Senaryo 2	0	0.55	1721.96	1359	1.27

D. Karar Destek Sistemi

Kullanıcıların karar verme süreçlerini desteklemek ve bilgi sunmak için kullanıcı dostu bir karar destek sistemimiz geliştirdik. Karar destek sistemi, Şekil 5'te gösterildiği gibi üç adımdan oluşmaktadır. Şekil 6'da gösterildiği gibi ilk adımda, kullanıcı üretim planını Excel'e girer. Karar destek sistemimiz bu girdi verilerini, simülasyon yazılımımız olan Arena ile uyumlu bir formata dönüştürür. Daha sonra kullanıcı verileri Arena ortamına aktarılır ve simülasyonu başlatılır. İkinci adımda, "Rapor" başlıklı kullanıcı formuna erişilir (Şekil 7). Bu form aracılığıyla, her ay meydana gelen gecikme sayısını öğrenmek mümkündür. Simülasyon sonuçları, her aydaki gecikmeli ürün sayısını göstererek, otomatik olarak Arena'dan kullanıcı ara yüzüne aktarılır. Ayrıca, kullanıcı, darboğazın hangi aşamada olduğunu öğrenebilir, böylece sistem performansıyla ilgili değerli bilgiler elde eder. Son adımda, kullanıcı, darboğaz aşamasını seçerek, tanımlanan sorunları ele almayı ve sistem performansını iyileştirmeyi amaçlayan uygun senaryolara erişir (Şekil 8).

IV. SONUÇ

Bu proje kapsamında, Totomak Şirketi ile iş birliği içinde krank mili üretiminin darboğaz analizi yapıldı. Projenin temel amacı, krank mil hattının üretim kapasitesini artırıp sipariş gecikmelerini önlemek, beklenen %20 talep artışını karşılamak ve genel hat performansını artırmak için maliyetleri minimize etmektir.

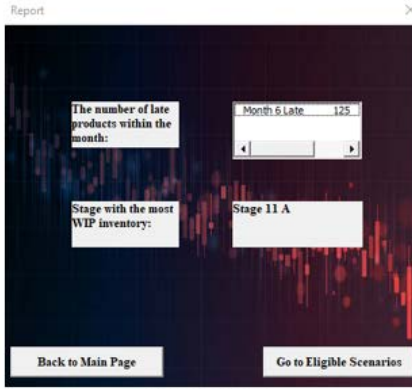
Bu rapor dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, Totomak Şirketi ve krank mili hattı hakkında bilgi veren bir giriş bölümüdür. İkinci bölüm, darboğaz sorununu ve projenin hedeflerini açıklayan problem



Şekil 5. Ana Sayfa



Şekil 6. Üretim Planı



Şekil 7. Rapor



Şekil 8. Uygulanabilir Senaryolar

tanımı bölümüdür. Üçüncü bölüm, simülasyon modelimizi ve çözüm yöntemimizi açıklar. Son bölüm ise sonuç kısmıdır.

Çeşitli varsayımlar ve kısıtlar göz önünde bulundurularak üretim hattının detaylı bir simülasyon modeli Arena simülasyon yazılımıyla oluşturuldu. Simülasyon çalışmaları sonucunda, hat içindeki darboğaz noktasının belirlenmesine olanak sağlayan belirli çıktılar elde edildi. Darboğaz noktası belirlendikten sonra, çözmek için sistemde farklı senaryolar oluşturuldu ve tek tek uygulandı. Her senaryonun performansını değerlendirdi ve ek maliyetleri hesaplanarak karşılaştırdı.

Sonuç olarak, mevcut durumda, darboğaz aşaması olan 14. aşamaya senaryo 4'ün uygulanmasıyla, yani makinenin yükseltilmesiyle, gecikmeli ürünleri ortadan kaldırdığımızı ve maliyetleri aza indirebileceğimizi hesapladık. Ayrıca, aynı çözüm yöntemimizi şirket tarafından öngörüldüğü gibi 20%'lik bir artış olması durumunda da uyguladık. Burada da ilk önce 14. aşamada oluşan darboğazı makine yükselterek ardından 8. aşamada oluşan darboğazın ise makine sayısını ikiye çıkartarak en az maliyetle çözebileceğimizi bulduk.



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Konfeksiyon İmalat Şirketinde Kalite Yönetimi ve İstatistiksel Proses Kontrol Sisteminin Uygulanması

Ceylin ERTON, Çağla GERŞİL, Pınar ERDİNÇ, Zeynep BUDUNELİ

Akademik Danışmanlar

**Dr. Efthimia STAIYOU
Mert PALDRAK**

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

Kalite ve kontrol prosedürleri, günümüz imalat süreçlerinin temel bir unsur haline gelmiştir. Şirketler, en düşük maliyetle en yüksek verimi elde etmek amacıyla çeşitli çalışmalar yürütmektedirler. Kalite kontrol, süreçlerin etkinliğini olumsuz yönde etkileyen herhangi bir durumda müdahale ederek, ürün kalitesinin titizlikle kontrol altında tutulmasını sağlayan kritik bir süreçtir.

Hazır giyim sektörü, kaliteli ürünler üreterek pazar payını artırmayı hedefleyen firmalar için önemlidir. Bu bağlamda, İzmir'in en büyük 10 konfeksiyon ihracatçısından biri olan MOSİ Tekstil öne çıkmaktadır. Şirket, Türkiye'de ve yurtdışında birçok fabrika işletmektedir ve yıllık cirosu 30 milyon Euro'yu aşmaktadır. MOSİ Tekstil, Endüstri 4.0 uygulamalarını kullanarak müşteri memnuniyetine ve sürekli gelişime büyük önem vermektedir. Erkek, kadın ve çocuk giyim ürünleri üretmekte ve Guess, Massimo Dutti gibi büyük markalarla iş birliği yapmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilirlik ve ürün sorumluluğu taahhüdüne sahip çeşitli sertifikaları bulunmaktadır.

Bu bitirme projesi, hazır giyim üretiminin kalitesini artırmaya odaklanmaktadır. Yapılan makro ve mikro analizler, firmanın karşılaştığı en büyük sorunun, yetersiz kalitedeki kumaşların üretime girmeden önce fark edilememesi olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, MINITAB kullanılarak ana tedarikçiler için belirlenen kalite özelliklerine ait I-MR çizelgeleri oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Konfeksiyon şirketinin son ürün kalitesini doğrudan etkileyen kumaş tedarikçilerinin değerlendirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi hem niteliksel hem de niceliksel faktörleri içeren karmaşık bir karar verme sürecidir. Bu nedenle, tedarikçilerin değerlendirilmesi için AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanılmıştır. AHP ve istatistiksel analizler sonuçlarına dayanarak, her tedarikçi için ayrı ayrı kabul örnekleme planları önerilmiştir. Daha sonra, minimum ve maksimum sipariş sayıları, kabul edilebilir kalite maliyet seviyeleri ve ürün talep kısıtları göz önüne alınarak, tedarikçi ağırlık katsayıları kullanılarak öncelikli hedef programlama modeli oluşturulmuş ve gelecek sezon için bir satın alma planı önerilmiştir. Model, CPLEX kullanılarak çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar duyarlılık analizi ile değerlendirilmiştir.

Son olarak, birinci kalite ürün sayısını maksimize etmek amacıyla farklı kontrol noktası senaryoları dikiş hattına uygulanmıştır. Bu senaryoları simüle etmek için ARENA™ simülasyon yazılımı kullanılmıştır.

II. PROBLEM TANIMI

Mosi Tekstil, son ürünlerinin beklenen kalite standardını karşılamadığı bir sorunla karşı karşıyadır. Mevcut kalite kontrol süreçleri ve prosedürleri ile hatalı ürün yüzdesi %4,83 seviyesindedir. Hatalı ürünler incelendiğinde, en büyük sorun %37,3 ile gelen kumaşların yetersiz kaliteye sahip olması olduğu belirlenmiştir. İkinci büyük sorun ise %19,5 ile dikiş hattı kaynaklı problemlerdir.

Hazır giyim sektöründe son ürün kalitesi, tedarik edilen kumaşın doğrudan kalitesi ile ilişkilidir. Bu nedenle, öncelikli olarak tedarik edilen kumaşların en önemli kalite özelliklerinin istatistiksel analizinin yapılması ve tedarikçilerin değerlendirilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Kumaşların en önemli kalite özellikleri en ve gramajdır. Bu nedenle, en fazla iş yapılan tedarikçilerin kumaşları I-MR grafikleri ile analiz edilecek ve AHP yöntemi kullanılarak şirket tarafından belirlenen kriterlere göre tedarikçiler değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler sonucunda her tedarikçi ayrı bir şekilde sınıflandırılacak ve her bir sınıf için özgün bir kalite kontrol planı oluşturulacaktır. Şirket şu anda gelen kumaşların yalnızca %20'sini kontrol etmektedir. Her tedarikçi için özel kontrol planları oluşturulmasıyla yetersiz kalitedeki kumaşların üretime girişi en aza indirilecektir.

Ek olarak, şirketin bir sonraki sezon için 2,700,000 metrekare kumaş temin etmesi gerekmektedir. Satın alma işleminden önce, şirketin dört hedefi belirlenmiştir: satın alma maliyetini minimize etmek, en düşük iade oranına sahip tedarikçiyi seçmek, AHP katsayılarını maksimize etmek ve karayolu harici lojistik işlemlerini minimize etmek. Bu sorunu ele alan literatürdeki çalışmalar ve araştırmalar incelendikten sonra, öncelikli hedef programlama modeli oluşturulması uygun görülmüştür. Bu yaklaşım, kalite hususlarını da göz önünde bulundurarak bir satın alma planı önerisinde bulunulabilecektir.

Dikiş hattından kaynaklanan kalite problemlerini önlemek için önceki çalışmalarda hattın analizi ve modellenmesi yapılmıştır. Mevcut dikiş hattı, seri üretim yapan bir hat olarak çalışmaktadır. Sadece bir kalite kontrol noktasına sahiptir ve bütün ürünler son işleminden sonra kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, farklı kontrol noktalarının tasarımları ARENA simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiş ve birinci kalite ürün sayısını optimize etme, yeniden işlenmiş, hurda ve ikinci kalite ürünleri minimize etme hedeflenmiştir.

Tüm bu yaklaşımlar, ürün kalitesinin artırılmasına ve müşteri memnuniyetinin artırılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

MOSİ Tekstil'in içinde bulunduğu konfeksiyon sektöründe kalite kaynaklı sorunları çözmek için, model ve çözüm yöntemleri olarak: I-MR Kontrol Grafiği, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), ARENA Simülasyon Modeli, Kabul Örnekleme ve Öncelikli Hedef Programlama Kullanılmıştır.

A. I-MR Kontrol Grafiği

I-MR grafiği, belirli bir süre boyunca bir süreçten alınan numuneleri inceleyerek süreç değişkenliğini izlemek için iki ayrı grafiği, Bireysel grafiği ve Hareketli Aralık grafiğini birleştirir. MOSİ Tekstil'in en büyük tedarikçilerinin son otuz siparişlerindeki veriler kullanılarak grafikler MINITAB ile oluşturulmuştur. Tedarikçilerin sonuçları ve ilgili formüller aşağıda verilmiştir:

$$UCL/LCL = \bar{x} \pm 3\overline{MR}/d_2$$

$$CL = \bar{x}$$

TABLO I

EN İÇİN I-MR GRAFİĞİ

TEDARİKÇİ	HEDEF/ ÜKL & AKL	HAREKET ARALIĞI
A	180 / UCL=192,51 LCL=149,48	8,09
B	180 / UCL=190,24 LCL=169,26	3,95
C	180/ UCL=180,35 LCL=170,66	2,03
D	185/ UCL=209,45 LCL=168,45	7,71
E	185/ UCL= 190,89 LCL= 172,87	3,39

TABLO II

GRAMAJ İÇİN I-MR GRAFİĞİ

TEDARİKÇİ	HEDEF/ ÜKL & AKL	HAREKET ARALIĞI
A	160 / UCL=171,57 LCL=143,26	6,5
B	160/ UCL=172,38 LCL=142,48	5,62
C	160/ UCL=160,94 LCL=149,39	2,45
D	160/ UCL=166,34 LCL=150	3,46
E	160/ UCL= 171,92, LCL= 147,34	4,62

Grafikler B, C ve E tedarikçileri için en ile ilgili sürecinin kontrol altında olduğunu göstermiştir. Gelen kumaşların genişlik ölçümleri kontrol limitleri içindeydi ve hareket aralığı oldukça düşüktü, bu da süreçte düşük bir değişkenlik derecesini göstermektedir. Öte yandan, A ve D tedarikçisi için süreç kontrol dışında idi. Gelen kumaşların genişlik ölçümleri kontrol limitlerinin dışındaydı ve hareket aralığı oldukça yüksekti, bu da süreçte yüksek bir değişkenlik derecesini göstermektedir. Gelen kumaşın gramajı için oluşturulan I-MR grafiklerine göre, tüm tedarikçilerin süreçleri kontrol altında gibi görünmektedir çünkü ağırlık ölçümleri çoğunlukla kontrol limitleri (ÜKL ve AKL) içerisindedir. Ancak, Tedarikçi A ve E için bazı ölçümler kontrol limitlerinin dışına çıkmaktadır. Tedarikçiler A, B, D ve E için hareket aralıkları oldukça yüksektir, bu da süreçte yüksek bir değişkenlik derecesini göstermektedir. Öte yandan, Tedarikçi C için hareket aralığı oldukça düşüktür, bu da süreçte düşük bir değişkenlik derecesini göstermektedir.

B. AHP Metodu

Analitik hiyerarşik proses (AHP), bir puan tablosuyla kalitatif kriterleri ve bir metrik ölçeğiyle kantitatif kriterleri dikkate almayı mümkün kılan bir yöntemdir. Yöntemsel olarak AHP, şirket tarafından belirlenen kriterlere göre tedarikçilerin sınıflandırılmasında nasıl kullanılabileceğini gösterir. Bu yöntemin özel bir yanı, ağırlıkların ve fonksiyonların tanımlanma şeklidir ve bunlar hiyerarşik ve toplamcıl bir ağırlık yöntemiyle belirlenir. AHP uygulanırken kriterlerin tanımlanması, alternatiflerin seçimi, alternatiflerin değerlendirilmesi, tedarikçilerin sınıflandırılması adımları izlenilmiştir.



Şekil1. AHP Kriterleri ve Alt Kriterlerinin Temel Yapısı

- Kriterler için İkili Karşılaştırmalar Matrisi Oluşturulması:

Bu adım, her bir hiyerarşi seviyesinin kriterlerinin bir sonraki daha üst seviyedeki ilgili kriterlerle olan ilişkisini keşfetmekle ilgilidir. AHP, karşılaştırmalı olarak kararları değerlendirir. Bu, özellikle kriter seviyesiyle bağlantılı olarak ve alternatiflerin değerlendirilmesiyle bağlantılı olarak gerçekleşir, bu değerlendirme hiyerarşi boyunca yukarıdan aşağıya doğru sıkıştırılır.

TABLO III
İKİLİ KARŞILAŞTIRMA ÖLÇEĞİ

Sayısal Değer	Sözel Ölçek & Açıklama
1	İki öge eşit olarak katkıda bulunur.
3	Bir öge diğerine göre biraz daha tercih edilebilir.
5	Bir öge şiddetle tercih edilir.
7	Bir element çok güçlü bir şekilde baskındır.
9	Bir öge diğerine aşırı derecede baskındır.
2, 4, 6, 8	Ara değerler, muhakemeleri uzlaştırmak için kullanılır.

TABLO IV
BİRİNCİ KRİTER DÜZEYİNİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

Optimum Lokasyon Numarası	Hesaplama Matris'i P					Normalleştirilmiş Matris (P normalleştirilmiş)					Σ Sıra	Ağırlık
	T	E	M	K	G	T	E	M	K	G		
Teslimat (T)	1.00	0.50	0.14	0.14	0.20	0.05	0.03	0.08	0.03	0.01	0.20	0.04
Esneklik (E)	2.00	1.00	0.14	0.14	0.33	0.09	0.05	0.08	0.03	0.02	0.28	0.06
Maliyet (M)	7.00	7.00	1.00	3.00	7.00	0.32	0.38	0.57	0.68	0.45	2.39	0.48
Kalite (K)	7.00	7.00	0.33	1.00	7.00	0.32	0.38	0.19	0.23	0.45	1.56	0.31
Güvenilirlik (G)	5.00	3.00	0.14	0.14	1.00	0.23	0.16	0.08	0.03	0.06	0.57	0.11
Σ Sütun	22.0	18.5	1.76	4.43	15.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00

TABLO V
İKİNCİ KRİTER TESLİMAT DÜZEYİNİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

Teslimat (T)	Hesaplama Matris'i P			Normalleştirilmiş Matris P			Σ Sıra	Ağırlık
	TS	NK	CK	GL	NK	CK		
Toplam Sipariş Teslim Süresi (TS)	1.00	9.00	7.00	0.80	0.82	0.78	2.39	0.80
Navlun Koşulları (NK)	0.11	1.00	1.00	0.09	0.09	0.11	0.29	0.10
Coğrafik Konumu (CK)	0.14	1.00	1.00	0.11	0.09	0.11	0.32	0.11
Σ Satır	1.25	11.00	9.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00

TABLO VI
ÜÇÜNCÜ KRİTER ESNEKLİK DÜZEYİNİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

Esneklik (E)	Hesaplama Matris'i P					Normalleştirilmiş Matris P					Σ Sıra	Ağırlık
	K	EM	BP	PE	Ö	K	EM	BP	PE	Ö		
Kapasite (K)	1.00	3.00	0.33	3.00	0.20	0.10	0.20	0.11	0.24	0.08	0.73	0.15
Envanter Müsaitliği(EM)	0.33	1.00	0.33	0.33	0.20	0.03	0.07	0.11	0.03	0.08	0.32	0.06
Bilgi Paylaşımı (BP)	3.00	3.00	1.00	3.00	1.00	0.31	0.20	0.33	0.24	0.38	1.47	0.29
Pazarlık Edilebilirlik (PE)	0.33	3.00	0.33	1.00	0.20	0.03	0.20	0.11	0.08	0.08	0.50	0.10
Özelleştirme (Ö)	5.00	5.00	1.00	5.00	1.00	0.52	0.33	0.33	0.41	0.38	1.97	0.39
Σ Satır	9.67	15.00	3.00	12.33	2.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00

TABLO VII
DÖRDÜNCÜ KRİTER MALİYET DÜZEYİNİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

Maliyet (M)	Hesaplama Matris'i P		Normalleştirilmiş Matris P		Σ Sıra	Ağırlık
	SF	SVF	SF	SVF		
Tedarikçi Satış Fiyatı (SF)	1.00	9.00	0.90	0.90	1.80	0.90
Sipariş ve Faturalandırma (SF)	0.11	1.00	0.10	0.10	0.20	0.10
Σ Satır	1.11	10.00	1.00	1.00	2.00	1.00

TABLO VIII
BEŞİNCİ KRİTER KALİTE DÜZEYİNİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

Kalite (K)	Hesaplama Matris'i P					Normalleştirilmiş Matris P					Σ Sıra	Ağırlık
	SİP	MS	S	ZM	İM	SİP	MS	S	ZM	İM		
Sürekli İyileştirme Programlar (SİP)	1.00	3.00	0.20	0.14	0.20	0.05	0.12	0.03	0.03	0.10	0.33	0.07
Müşteri Servisi (MS)	0.33	1.00	0.14	0.14	0.14	0.02	0.04	0.02	0.03	0.07	0.18	0.04
Sertifikalar (S)	5.00	7.00	1.00	0.33	0.33	0.27	0.28	0.14	0.07	0.17	0.93	0.19
Zamanında Teslim (ZM)	7.00	7.00	3.00	1.00	0.33	0.38	0.28	0.41	0.22	0.17	1.45	0.29
İade Miktarı (İM)	5.00	7.00	3.00	3.00	1.00	0.27	0.28	0.41	0.65	0.50	2.11	0.42
Σ Satır	18.33	25.00	7.34	4.62	2.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00

TABLO IX
ALTINCI KRİTER GÜVENİLİRLİK DÜZEYİNİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

Güvenilirlik (G)	Hesaplama Matris'i P			Normalleştirilmiş Matris P			Σ Sıra	Ağırlık
	GD	AU	GP	GD	AU	GP		
Güven duygusu (GD)	1.00	7.00	5.00	0.74	0.64	0.79	2.17	0.72
Anlaşmalara Uyum (AU)	0.14	1.00	0.33	0.11	0.09	0.05	0.25	0.08
Garanti Politikaları (GP)	0.20	3.00	1.00	0.15	0.27	0.16	0.58	0.19
Σ Satır	1.34	11.00	6.33	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00

Nicel veriler söz konusu olduğunda, bir öğeden ve ayrıca öğe verilerinin toplamından bir oran oluşturulur. Kriter kazanma ve anlam arasında pozitif bir bağlam olması durumunda, w_i aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Pozitif bağlam için: } w_i = \frac{a_i}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad i=1, \dots, n$$

$$\text{Negatif Bağlam için: } w_i = \frac{\frac{1}{a_i}}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n}} \quad i=1, \dots, n$$

C. Hedef Programlama Modeli

Öncelikli hedef programlama tedarikçi seçiminde farklı hedefleri optimize etmek ve şirketin stratejik hedeflerine uygun tedarikçilerini belirlemek için etkili bir yöntemdir. Aşağıda şirketin hedefleri en büyük ağırlıklı hedeften en küçük ağırlıklıya doğru sıralanmıştır:

- Satın alma maliyetini minimize etmek,
- İade oranını minimize etmek,
- AHP skorunu maksimize etmek,
- Karayolu harici lojistik işlemleri minimize etmek.

Setler ve İndisler

j tedarikçi indksi, $j = 1, 2, 3, \dots, m$

i hedef indeksi, $i = 1, 2, 3, \dots, m$

g_i hedefi, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Parametreler

P_i : Satın alma maliyeti

r_j : İade oranı

U_j : Üst sipariş sınırı

L_j : Alt sipariş sınırı

c_j^q : Kalite kontrol maliyeti/ürün

$w_{s_{uppj}}$: Tedarikçinin AHP skoru

Q_j : Toplam kalite bütçesi

D : Şirketin talep miktarı

M : Çok büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

X_j : Tedarikçiden Satın Alma Miktarı j

Y_j : Tedarikçi j için ikili karar değişkeni

d_i^- : Hedef için negatif sapma miktarı g_i

d_i^+ : Hedef için pozitif sapma miktarı g_i

Q_j : Sapma i için ikili karar değişkeni

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \quad \text{Min } Z = \quad P_1 d_1^+ + P_2 d_2^+ + P_3 d_3^- + P_4 d_4^+ \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar:} \quad X_j \geq L_j \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$X_j \leq U_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^5 X_j \geq D \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^5 c_j^q X_j \leq QC \quad (5)$$

$$\text{Hedef 1:} \quad \sum_{j=1}^5 c_j^p X_j + d_1^- - d_1^+ = 0 \quad (6)$$

$$\text{Hedef 2:} \quad \sum_{j=5}^5 r_j X_j + d_2^- - d_2^+ = 0 \quad (7)$$

$$\text{Hedef 3:} \quad \sum_{j=1}^5 w_{\text{suppl}} X_j + d_2^- - d_2^+ = 0 \quad (8)$$

$$\text{Hedef 4:} \quad \sum_{j=1}^5 d_j^a X_j + d_2^- - d_2^+ = 0 \quad (9)$$

$$d_1^+ \leq M * (1 - Q_1) \quad (10)$$

$$d_1^- \leq M * Q_1 \quad (11)$$

$$d_2^+ \leq M * (1 - Q_2) \quad (12)$$

$$d_2^- \leq M * Q_2 \quad (13)$$

$$d_3^+ \leq M * (1 - Q_3) \quad (14)$$

$$d_3^- \leq M * Q_3 \quad (15)$$

$$d_4^+ \leq M * (1 - Q_4) \quad (16)$$

$$d_4^- \leq M * Q_4 \quad (17)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j \in J \text{ ve tamsayı} \quad (18)$$

$$Y_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (19)$$

$$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 \in \{0,1\} \quad (20)$$

Amaç fonksiyonu (1), her bir önceden belirlenmiş hedeften toplam ağırlıklı sapmaları minimize etmektedir. Kısıt (2), tedarikçi j ile çalışmak için gereken minimum sipariş miktarını belirtmektedir. Kısıt (3), ürün sayısına ayrılan kapasite nedeniyle tedarikçi j'den gelen sipariş miktarının sınırını belirler. Kısıt (4), tüm tedarikçilerden minimum gereken ürün miktarının sağlandığından, yani toplam talep gereksiniminin karşılandığından emin olur. Kısıt (5), şirketin karşılayabileceği toplam kalite kontrol maliyeti ile ilgilidir. Kısıt (6)-(7)-(8) ve (9), her bir hedefin hedeflenen seviyesi dikkate alınarak başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini sağlar. Kısıt (10)-(11), (12)-(13),(14)-(15),(16)-(17) birlikte, hedef i'nin başarısızlık durumunda pozitif bir değeri varsa, hedef i'nin aşırı başarısının değerinin sıfır olmasını sağlar veya tam tersi durumda. (18) ile (20) arasındaki kısıt, tüm karar değişkenlerinin alanlarını verir. Sorun

CPLEX kullanılarak çözülmüştür. Çıktı $X = [0 \ 900000 \ 1800000 \ 0 \ 0]$ $Y = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$ olarak çıkmıştır. Ardından modele duyarlılık analizi yapılmıştır ve sonuçlar şirket ile paylaşılmıştır.

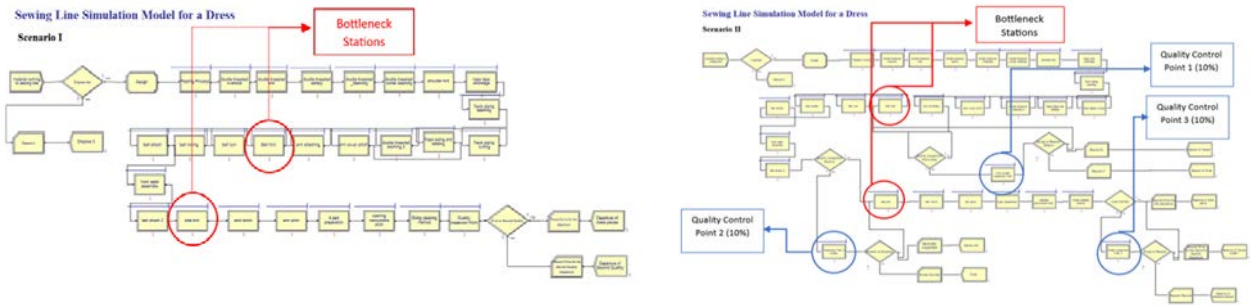
D. Simülasyon Modeli

Bu çalışmada, dikiş hattından kaynaklanan kalite sorunlarını önlemek için hat analiz edilmiş ve modellenmiştir. Var olan dikiş hattı seri işleyen bir hattır ve sadece tek bir kalite kontrol noktasına sahiptir. Bütün ürünler, son işlemden sonra kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, farklı kontrol noktası tasarımları ARENA simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiştir. Altı farklı senaryo, ikinci kalite ürünlerin, atıkların ve yeniden işlenen ürünlerin üretim hattından çıkışını azaltmak için simüle edilmiştir. Önceki çalışmada, darboğaz noktaları olarak yan örme ve kemer örme istasyonları belirlenmiştir. Senaryolar oluşturulurken, darboğaz istasyonların önüne ve arkasına kontrol noktaları yerleştirilmesine öncelik ve vurgu yapılmıştır. Farklı kontrol noktası sayılarıyla deney yaparak, mümkün olan en düşük maliyetle maksimum verimlilik sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, dikiş hattından kaynaklanan kalite sorunlarını önlemek için hat analiz edilmiş ve modellenmiştir. Var olan dikiş hattı seri işleyen bir hattır ve sadece tek bir kalite kontrol noktasına sahiptir. Bütün ürünler, son işlemden sonra kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, farklı kontrol noktası tasarımları ARENA simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiştir. Altı farklı senaryo, ikinci kalite ürünlerin, atıkların ve yeniden işlenen ürünlerin üretim hattından çıkışını azaltmak için simüle edilmiştir. Önceki çalışmada, darboğaz noktaları olarak yan örme ve kemer örme istasyonları belirlenmiştir. Senaryolar oluşturulurken, darboğaz istasyonların önüne ve arkasına kontrol noktaları yerleştirilmesine öncelik ve vurgu yapılmıştır. Farklı kontrol noktası sayılarıyla deney yaparak, mümkün olan en düşük maliyetle maksimum verimlilik sağlamayı amaçlamaktadır.

Kısıtlar ve varsayımlar:

- Kurulum süreleri dikkate alınmamıştır, çünkü gerçek bir sistemde kurulum süreci genellikle çalışma süresinin sonunda gerçekleştirilir.
- 40 saatlik çalışma süresi araları içermemektedir.
- Çalışma süresi boyunca bakım işlemi yapılmamaktadır.
- Üretim için toplamda 31 operatörden (28 dikiş operatörü, 2 banko çalışanı ve 1 kalite kontrol görevlisi) oluşmaktadır.
- Montaj hattı aç kalmaz.
- Her bir işlemin olasılık dağılımları, bir önceki çalışmadan alınan bir zaman çalışması sonrasında ARENA Giriş Analizörü kullanılarak belirlenmiştir.
- Hammaddelerin taşınması, dikiş operasyonları için kullanılmayan işçiler tarafından gerçekleştirilir



Şekil 2. Simülasyon Modelleri

Var olan sistemin simüle edilmesi ile birinci kalite ürün sayısı 1393 olarak gözlemlenmiştir; ikinci kalite, yeniden işlenmiş ve hurda sayısı ise toplamda 78 olarak tespit edilmiştir. Altı farklı simülasyon senaryolarının çalıştırılması sonucunda, birinci kalite ürün sayısının en yüksek olduğu ikinci senaryo olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, ikinci kalite, hurda ve yeniden işlenen ürünlerin sayısı ise de en düşük ikinci

senaryoda olmaktadır. Özetlemek gerekirse, şirkete, darboğaz istasyonların arkasına ve üretim hattının sonuna kontrol noktaları kurması önerilecektir. Bu şekilde, şirketin hatalı dikiş oranını 0.056'dan 0.008'e düşürmesi beklenmektedir. Ayrıca, aynı süre içinde ütüleme işlemine taşınmak üzere 497 ekstra son ürünün hazır olacağı öngörülmektedir.

E. Karar Destek Sistemi

Karar Destek Sistemi (KDS), insanlara ve kuruluşlara daha iyi kararlar almalarında yardımcı olan bilgisayar tabanlı bir araçtır. Bilgi, modeller ve analitik araçları bir araya getirerek çeşitli alanlarda karar verme sürecine destek olur. Bu çalışmada KDS oluşturulması için Excel VBA kullanılmıştır. Geliştirilen KDS verilerin dijital bir şekilde depolanmasına, AHP ile tedarikçi değerlendirilmesine, çeşitli AQL ve gözlem seviyeleri için örnekleme planlarını içerir.

IV. SONUÇ

Bu proje, MOSI Tekstil'in ürün kalitesini artırmak amacıyla kapsamlı bir makro ve mikro analiz sunmaktadır. Ham maddelerden nihai ürünlere kadar olan kumaş işlemleri, kalite özelliklerini belirlemek ve kalite sorunlarını araştırmak amacıyla detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma, birincil kalite sorununun düşük kaliteli gelen kumaşlardan kaynaklandığını ve ikincil kalite sorununun dikiş hattındaki kusurlardan kaynaklandığını tespit etmiştir.

Tedarikçileri değerlendirmek için istatistiksel proses kontrolü araçları kullanılmıştır. Özellikle I-MR grafikleri, en iyi beş tedarikçinin gelen kumaşların genişlik, ağırlık gibi kritik kalite özelliklerini izlemek ve bu verileri analiz etmek için kullanılmıştır. Bu grafikler, belirlenen hedeflere ne kadar yakın olduklarını değerlendirmek için önemli bir araç olmuştur. Analizler için MİNİTAB yazılımından faydalanılmıştır.

Daha sonra, tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi için AHP metodolojisi uygulanmıştır. Karar ağacı ve gerekli ağırlık oranları şirket temsilcileri tarafından belirlenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre, her bir tedarikçi için özelleştirilmiş kabul örnekleme planları ve muayene seviyeleri önerilmiştir. Bu önerilen sistem, şirkete tedarikçileri değerlendirmek ve kalite kontrolünü standartlaştırmak için objektif bir yaklaşım sunmaktadır. Bu önlemler, şirketin tedarik zinciri yönetimini optimize etmesine ve kusurlu ürün alımı riskini azaltmasına yardımcı olacaktır.

Ayrıca, hesaplanan AHP ağırlıkları kullanılarak bir sonraki sezon için bir satın alma planı önerisi sunulmuştur. Bu öncelikli hedef programlama modeli CPLEX kullanılarak çözümlenmiştir. Dikiş hattından kaynaklanan hatalı ürün sayısını azaltmak ve kaliteyi artırmak için ARENA simülasyon uygulaması kullanılmıştır. Mevcut sistemi ve beş farklı kalite kontrol senaryosunu içeren altı senaryo simüle edilmiştir.

Son olarak, EXCEL VBA kullanılarak bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem, kullanıcı dostu bir arayüzle siparişlerin ve laboratuvar sonuçlarının dijitalleştirilmesine olanak sağlar. Ayrıca, kullanıcının parti büyüklüğünü, AQL ve denetim seviyelerini belirlemesine izin veren AQL kabul numune alma planlarını içerir. Sistem, sipariş ve laboratuvar verilerini sayısallaştırarak analiz eder ve tedarikçi değerlendirmesi için sürekli bir araç sağlar. Bu yaklaşımların tümü, ürün kalitesini artırmayı, müşteri memnuniyetini yükseltmeyi ve tedarik zinciri yönetimini optimize etmeyi amaçlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı akademik danışmanımız Dr. Öğr. Eftimia STAIΟΥ'ya, Araş. Gör. Mert PALDRAK'a ve şirketin proje danışmanı Burak ÖZDEŞ'e teşekkür ederiz

REFERANSLAR

- [1]Altıntaş, O., Keuschen, T., Saur, A., & Klumpp, M. (2010). Analytical Hierarchy Process for Location Problems in Logistics. Innsbruck: Eigenverlag.
- [2]Bishr, O. M., Al-Maqbali, H., & Al-Maqbali, N. A. (2010). Towards a new decision-making framework for location selection problems: An application to Oman. In Proceedings of the 9th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences (pp. 185-194). Springer.
- [3]Charnes, A., & Cooper, W. W. (1961). Management models and industrial applications of linear programming (Vol. 2). John Wiley & Sons.
- [4]Haggag, Y. A., Mahmoud, M. A., & Ghazy, A. (2018). Statistical process control charts for quality monitoring and improving production processes. Journal of Manufacturing Technology Management, 29(5), 791-819.
- [5]Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Swets, N. B. (2010). Simulation with Arena (5th ed.). McGraw Hill.
- [5]Kokangul, A., & Susuz, Z. (2009). Integrated analytical hierarchy process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. Applied Mathematical Modeling, 33, 1417-1429.
- [6]Montgomery, D. C. (2009). Introduction to Statistical Quality Control (6th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- [7]Nedra, A. (1993, September 1). FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. Effect of ISO (9001) Certification and Article Type Produced on Lean Six Sigma Application Successes: a Case Study Within Textile Companies.
- [8]Sevklı, M., Koh, S. C. L., Zaim, S., Demirbağ, M., & Tatoglu, E. (2007). An application of data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection: a case study of BEKO in Turkey. International Journal of Production Research, 45(9), 1973-2003.
- [9]Shewhart, W. A. (1939). The statistical method from the viewpoint of quality control. Washington DC: The Graduate School of the US Department of Agriculture.
- [10]Shukla, M. K. (n.d.). Supplier evaluation and selection criteria in the business performance of small and medium scale enterprise [Lecture]. Kalaniketan (Govt.) Polytechnic College, Jabalpur-482001, MP, India.



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Konfeksiyon Endüstrisi için Depo Tasarımı ve Sipariş Toplama Algoritması

Deniz Su GÜNTEKİN, Egemen ŞAHİN, Elif ÜNLÜ, Nesrin ÖZBAY

**Akademik Danışmanlar
Dr. Mahmut Ali GÖKÇE
Simge Güçlükol ERGİN**

Izmir, 2023

I. GİRİŞ

Hızla büyüyen şirketler için depo optimizasyonu, üretim kapasitesi ve miktarındaki artışla birlikte ortaya çıkabilecek sorunların üstesinden gelmek için kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, rekabetçi bir şekilde ayakta kalmak isteyen şirketler, günümüz hızlı iş dünyasında depo sistemlerine önem vermeleri gerektiğinin farkındadırlar. Depo optimizasyonu, çeşitli avantajlar sunar; daha iyi envanter yönetimi ve stok kontrolü, depo alanını maksimize ederek maliyetleri azaltır, ürün yerleştirme ve sevkiyat süreçlerini hızlandırır, ürünlerin doğru ve hızlı bir şekilde bulunmasını sağlar ve işgücü verimliliğini artırarak iş yükünü azaltır.

Bu projede, hazır giyim sektöründeki bir şirketin depo optimizasyonu çalışması ele alınmıştır. SUN Tekstil'in kendi markası olan Jimmy Key'in Torbalı deposu incelenmiş ve çeşitli sipariş toplama algoritmaları üzerinde çalışılmıştır. Jimmy Key, Türkiye genelinde 54 mağaza ile hizmet vermektedir ve aynı zamanda online platformlarda da satış yapmaktadır.

Depo optimizasyonu projesi, depo uygunluğu ve satış hacmi gibi faktörleri dikkate alarak birim zamanda toplanan ürün sayısını artırmayı, ürünleri raflardan toplayan çalışanların kat ettiği mesafeyi en aza indirmeyi, ürün kırılımlarını azaltmayı ve bu iyileştirmeleri sürdürülebilir hale getirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla, depo tasarım algoritmaları ve rotalama algoritmaları dahil olmak üzere gerekli olan algoritmalar için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca, ABC analizi ve korelasyon analizi gibi analitik araçlar kullanılarak veriler analiz edilmiştir. Problemin simulasyon modeli çözümü için PyCharm Community Edition 2021.2.1 kullanılmıştır.

Bu projenin sonuçları, depo optimizasyonu süreçlerinin şirketin etkinliğini artırmasına ve maliyetlerini düşürmesine yardımcı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, depo tasarımı ve sipariş toplama süreçlerindeki iyileştirmeler, şirketin rekabetçi kalmasına ve müşteri memnuniyetini artırmasına katkı sağlayabilir.

II. PROBLEM TANIMI

Hızla büyüyen şirketler için depo optimizasyonu, üretim kapasitesi ve miktarındaki artışla birlikte ortaya çıkabilecek sorunların üstesinden gelmek için kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, rekabetçi bir şekilde ayakta kalmak isteyen şirketler, günümüz hızlı iş dünyasında depo sistemlerine önem vermeleri gerektiğinin farkındadırlar.

Depo optimizasyonu, çeşitli avantajlar sunar. Daha iyi envanter yönetimi ve stok kontrolü, depo alanını maksimize ederek maliyetleri azaltır. Ayrıca, ürün yerleştirme ve sevkiyat süreçlerini hızlandırır, ürünlerin doğru ve hızlı bir şekilde bulunmasını sağlar. Bu iyileştirmeler aynı zamanda işgücü verimliliğini artırarak iş yükünü azaltır.

Bu projede, hazır giyim sektöründeki bir şirketin depo optimizasyonu çalışması ele alınmıştır. SUN Tekstil'in kendi markası olan Jimmy Key'in Torbalı deposu incelenmiş ve çeşitli sipariş toplama algoritmaları üzerinde çalışılmıştır. Jimmy Key, Türkiye genelinde 54 mağaza ile hizmet vermektedir ve aynı zamanda online platformlarda da satış yapmaktadır.

Depo optimizasyonu projesi, depo uygunluğu ve satış hacmi gibi faktörleri dikkate alarak birim zamanda toplanan ürün sayısını artırmayı, ürünleri raflardan toplayan çalışanların kat ettiği mesafeyi en aza indirmeyi, ürün kırılımlarını azaltmayı ve bu iyileştirmeleri sürdürülebilir hale getirmeyi hedeflemektedir.

Bu amaçla, depo tasarım algoritmaları ve rotalama algoritmaları dahil olmak üzere gerekli olan algoritmalar için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca, ABC analizi ve korelasyon analizi gibi analitik araçlar kullanılarak veriler analiz edilmiştir.

Bu projenin sonuçları, depo optimizasyonu süreçlerinin şirketin etkinliğini artırmasına ve maliyetlerini düşürmesine yardımcı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, depo tasarımı ve sipariş toplama süreçlerindeki iyileştirmeler, şirketin rekabetçi kalmasına ve müşteri memnuniyetini artırmasına katkı sağlayabilir.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Yapılan detaylı literatür araştırması sonucunda çeşitli depo tasarımı ve rotalama algoritmalarının deneneceği, karşılaştırılacağı bir simülasyon modelinin tasarlanmasına karar verilmiştir. Depo tasarımı için kullanılacak yöntemlerde Accorsi, Manzini & Bortolini [1] tarafından kullanılan rastgele depolama stratejisi, sınıf tabanlı depolama stratejisi ve ilişkiye dayalı depolama stratejilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun yanı sıra ürün kırılımlarını azaltmak amaçlı da Nils & Konrad [3] tarafından geliştirilen SKU tabanlı yerleştirme kullanılmıştır. Rotalama algoritmaları için ise Roodbergen [5] tarafından doktora tezinde kullandığı algoritmalar incelenmiş ve bizim çalıştığımız depoya uygun olduğu düşünülen 3 rotalama algoritması seçilmiştir. Bunlar en büyük boşluk sezgisel yöntemi, S-shaped sezgisel yöntemi ve alfabetik sıra yöntemidir.

Sınıf tabanlı depolama sisteminin uygulanabilmesi için öncelikle ABC analizi yapılmıştır. Bu analiz yaz ve kış sezonu olmak üzere sezon bazlı yapılmıştır çünkü tekstil sektöründe ürünler sezonsal olarak değişmektedir. Bunun yanı sıra ilişkiye dayalı depolama sistemini uygulamak için de korelasyon analizi yapılmıştır aynı şekilde bu analiz de sezon bazlı olarak gerçekleştirilmiştir.

A. ABC Analizi

ABC analizi yapılarak ürünleri satış miktarlarına göre A, B ve C gruplarına ayrılmasına ve her bir ürünün bulunduğu bölgenin belirlenmesine karar verilmiştir. Bu analiz, depoyu bölgelere ayırarak en çok satan ürünleri çıkış noktasına yakın bir yere yerleştirmeyi ve sonucunda da sipariş toplama sürelerini azaltmayı amaçlamaktadır. ABC analizini gerçekleştirmek için 2022 satış verilerini kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

TABLO I
YAZ SEZONU ABC ANALİZİ SONUÇLARI

Sınıf	Ürün Sayısı	Ürün Yüzdeleri	Satış Yüzdeleri
A	518	17%	80.00%
B	689	22%	97.50%
C	1857	61%	100.00%

TABLO II
KIŞ SEZONU ABC ANALİZİ SONUÇLARI

Sınıf	Ürün Sayısı	Ürün Yüzdeleri	Satış Yüzdeleri
A	557	18%	80.00%
B	856	27%	97.50%
C	1744	55%	100.00%

Elde edilen sonuçlar kullanılarak depo A, B ve C bölgelerine bölünmüştür. Bu verileri kullanarak hangi sınıf için kaç koridora ihtiyaç olduğu tahmin edilmiştir. Bu işlem yapılırken farklı senaryolar uygulanmıştır. Bu senaryolar depoyu yatay şekilde, dikey şekilde ve karesel şekilde A, B ve C bölgelerine ayırmak olmuştur.

B. Korelasyon Analizi

Birlikte en çok satılan ürünleri belirlemek ve bu ürünleri birbirine yakın lokasyonlara yerleştirmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Bu analiz, birbiriyle ilişkili ürünleri yakın lokasyonlara yerleştirdiğimiz

bir depo tasarım algoritması oluşturularak sipariş toplama süresini azaltmayı amaçlamaktadır. Korelasyon analizi yapmak için 2021 ve 2022 günlük satış verilerini kullanılmıştır. Depoda toplam 43 ürün çeşidi vardır ve bu ürünler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yaz ve kış sezonu için yapılan analizlerde benzer ürünler arasında korelasyon çıktığı için iki durumun ortak kesişimleri analizde kullanılmıştır.

TABLO III
KORELASYON ANALİZİ SONUÇLARI

Bluz-Elbise	Korelasyon Katsayısı	,711**	Gömlek-Pantolon	Korelasyon Katsayısı	,648**
	Sig.(2-Tailed)	0.000		Sig.(2-Tailed)	0.000
	N	53		N	53
Elbise-Pantolon	Korelasyon Katsayısı	,769**	Elbise-Etek	Korelasyon Katsayısı	,676**
	Sig.(2-Tailed)	0.000		Sig.(2-Tailed)	0.000
	N	53		N	53
Bluz_Pantolon	Korelasyon Katsayısı	,684**	Etek-Pantolon	Korelasyon Katsayısı	,626**
	Sig.(2-Tailed)	0.000		Sig.(2-Tailed)	0.000
	N	53		N	53
Elbise-Gömlek	Korelasyon Katsayısı	,646**	Crop-Mayo	Korelasyon Katsayısı	,686**
	Sig.(2-Tailed)	0.000		Sig.(2-Tailed)	0.000
	N	53		N	53
Sweatshirt-Yelek	Korelasyon Katsayısı	,602**			
	Sig.(2-Tailed)	0.000			
	N	53			

C. Simülasyon Analizi

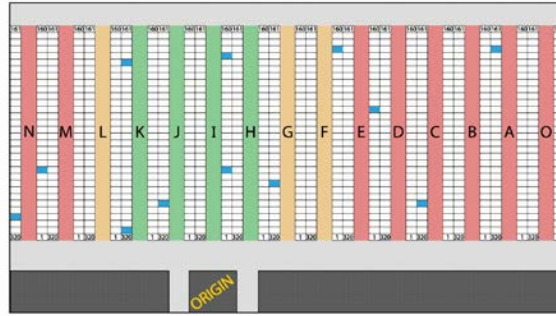
Projemizde depodaki işleyişleri simüle etmek için 2 farklı simülasyon kodu yazılmıştır. Bu kodlardan birincisinde depoya gelen ürünlerin yerleştirilmesi simüle edilmiştir. İkincisinde ise depo tasarımı yapıldıktan sonra çeşitli rotalama algoritmaları kullanılarak siparişlerin toplanmasını simüle edilmiştir. Problem çözümünde oluşturulan simülasyon modelinde aşağıda belirtilen varsayımlar göz önüne alınmıştır:

- Depodaki işçi sayısı sabittir.
- Depoya yerleştirilecek ürünler gün başlangıcında tek bir seferde gelmektedir.
- Depo yeterince büyüktür, öngörülebilir gelecek için alan gereksinimleri sorun olmayacaktır.
- Depoya gelen kutular her zaman tamamen dolu olarak gelmektedir.

Ürün yerleşimi için yazılan kod şu şekilde çalışmaktadır: Depo tasarımı için 4 farklı yerleştirme algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalarından birincisi ABC analizi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlara göre depoda bulunan koridor ve lokasyonları A, B ve C bölgelerine ayrılmasıdır. Bunu yaparken depoyu yatay, dikey ve karesel şekilde bölecek şekilde depo tasarımları yapılmıştır. İlk önce gelen ürünün A, B, C gruplarından hangisine ait olduğu kontrol edilmektedir. Dikey ABC yerleşimi için eğer ürün A grubuna aitse 3,4,5,6 koridorlarında bulunan boş lokasyonlar, B grubuna aitse 2,7,8 koridorlarında bulunan boş lokasyonlar, C grubuna aitse 0, 1, 9, 10, 11, 12, 13, 14 koridorlarında bulunan boş lokasyonlardan seçim yapılmaktadır. Yatay ABC yerleşimi için her ürün grubu bütün koridorlara atanabilmektedir ancak lokasyonlar şu şekilde ayrılmaktadır eğer ürün A grubuna aitse 0-52 veya 267- 320 aralığındaki boş lokasyonlar, eğer B grubuna aitse 53-84 veya 232-266 aralığındaki boş lokasyonlar eğer C grubuna aitse 85-231 aralığındaki boş lokasyonlardan uygun olanlar seçilmektedir. Karesel ABC yerleşiminde ise A grubu ürünleri için 1-10 arasındaki koridorlarda 0-60 veya 261-320 lokasyonları, B grubu ürünleri için 0 ve 11

koridorlarında 0-80 veya 240-320 lokasyonları; 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 koridorlarında ise 61-80 veya 241-260 lokasyonları arasından, C grubu ürünleri için 12,13,14 koridorlarında ise 0-320 lokasyonlarından 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 koridorlarında ise 81-240 lokasyonları arasından olacak şekilde seçim yapılmaktadır. Bunun dışında korelasyon analizi sonucu elde edilen veriler kullanarak aralarında ilişki olduğunu tespit edilen ürünler koridor kapasitesini de göz önünde bulundurarak gruplara ayrılmıştır ve satış verilerinden yola çıkarak bu gruplara uygun sayıda koridor ataması gerçekleştirilmiştir. Bu gruplandırmada elbise, pantolon ve bluz aralarında en fazla ilişki olduğu tespit edilen ürün grubu olduğundan onların kapıya en yakın koridorlara yerleştirilmesi tercih edilmiştir. Gömleğin ise elbise ve pantolon ile arasında önemli bir ilişki olduğu için onların bulunduğu koridora yakın olacak şekilde koridor seçimi yapılmıştır. Crop, mayo, sweatshirt ve yelek grubu ise diğerleri kadar olmasa da göz önünde bulundurulabilecek ilişkiye sahip olduğu için boş kalan koridorlardan kapıya daha yakın olanlara yerleştirildi. Son olarak da kırılımı azaltmak için bir depo tasarımı denendi. Bu algoritmamızda ürün tiplerinin depoda kapladığı yer göz önüne alınarak aynı koridor veya koridorlarda bulunmasını hedeflendi. Bu algoritmaların her biri fonksiyon olarak yaratıldı ve en uygun olan yerleştirme algoritmasını belirlemek için firmadan alınan veriler kullanıldı. Simülasyon günlük bazda çalıştırılıp her gün için toplam yerleştirme süresinin nasıl çıktığının verisi tutulmuştur ve bu veriler şu anki sistem ile karşılaştırarak en uygun algoritmaya karar verilmiştir.

ABC analizi sonucuna göre yapılan yerleştirmelerde oluşan depo tasarımları aşağıdaki gibidir. Yeşil alanlar A bölgelerini, turuncu alanlar B bölgelerini ve kırmızı alanlar C bölgelerini göstermektedir.



Şekil 1. Yatay ABC Yerleştirme Planı



Şekil 2. Dikey ABC Yerleştirme Planı



Şekil 3. Karesel ABC Yerleştirme Planı

Sipariş toplama operasyonu için yazdığımız kodumuz da şu şekilde çalışmaktadır: Şirketten alınan verilere göre günlük bazda siparişler oluşturulmuştur. Bu siparişlerin içinde 30-50 arasında ürün bulunmaktadır. Oluşturulan siparişlerin işçilere ataması 4 farklı algoritma kullanılarak yapılmıştır. Bu algoritmalar rastgele atama, işçilerin hızlarına göre atama (en hızlı işçiye en uzak mesafede bulunan siparişleri atama şeklinde), ABC'ye göre yapılan yerleştirmelerde siparişlerin içinde hangi bölgelerden daha fazla ürün varsa işçilere spesifik siparişlerin atanması ve korelasyona göre yerleştirmenin uygulandığı depo düzeninde birbirleri arasında ilişki bulunan siparişlerin spesifik işçilere atanması algoritmalarıdır. Bu atamalar için de fonksiyonlar kullanılmıştır. Sipariş toplarken uygulanacak rotalama algoritmaları için de 3 farklı algoritma denenmiştir. Bu algoritmalar S-shaped sezgisel yöntemi, en büyük boşluk sezgisel yöntemi ve alfabetik sıra ile toplama algoritmalarıdır. Her bir rotalama algoritması için fonksiyonlar oluşturulmuş ve depo tasarımı için kullanılan ürün yerleştirme stratejileri ve bu algoritmalar birlikte denenmiştir. S-Shaped sezgisel rotalama, bir depodaki birbirine paralel koridorlar üzerinde kuşbakışı bakıldığında "S" şekline benzeyen şekilde rotalama sağlayan bir sipariş toplama veya yerleştirme algoritmasıdır. Rota, deponun en uç koridorundan başlar, koridorlarda doğrusal ilerlenir ve bu süreçte koridor üzerindeki bütün siparişler toplanır. Koridordan çıkıldıktan sonra yatay koridordan bir sonraki siparişin bulunduğu koridora girip yapılır. İçinde sipariş bulunmayan koridorlara girilmez. Sipariş toplama işlemi tamamlandıktan sonra başlangıç noktasına geri dönlür. En büyük boşluk deponun yatay olarak hayali bir çizgi ile ortadan üst ve alt olmak üzere ikiye ayrılması ile gerçekleşen rotalama algoritmasıdır. Bu algoritma alt koridordan giderken siparişlerin bulunduğu koridorlara girip orta çizgiye kadarki siparişlerin toplanması ardından yatay alt koridora dönüp siparişin bulunduğu sonraki koridora geçilmesidir. Gidilebilecek son alt dikey koridora girildiğinde koridor boyunca doğrusal ilerlenir ve üst yatay koridora geçilir. Aynı prensiple rota izlenmeye devam edilir. Bütün lokasyonlara uğrandıktan sonra başlangıç noktasına dönlür. Alfabetik rotalama algoritması ise proje çalışmamızı yürüttüğümüz deponun hali hazırda kullandığı ürün toplama algoritmasıdır. Toplama rotası, siparişlerin bulunduğu koridorlara alfabetik sırayla girilerek koridor boyu ilerlenirken öncelikle koridorun sağ tarafında yer alan 1-160 sayılarıyla numaralandırılmış lokasyonlara uğranıp ardından 160-320 numaralarının bulunduğu taraftan dönüş sürecinde siparişlerin toplanması prensibine dayanır. Depo tasarımı, rotalama ve sipariş atama algoritmalarının birleştirilmesiyle toplamda 45 farklı kombinasyon oluşmuştur. Bütün kombinasyonları içeren simülasyonlar çalıştırılmış ve sonuçlar excel dosyalarında tutulmuştur. Çıkan sonuçlar şu anki sipariş toplama sisteminin süreleri ile karşılaştırılmış, yapılan iyileştirmeler gözlemlenmiş ve depo için en uygun algoritmalar belirlenmiştir.

Ürün yerleştirme operasyonu için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

TABLO IV
ÜRÜN YERLEŞTİRME VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Yerleştirme Algoritması	Atama Algoritması	Süre	İyileştirme Yüzdesi
Dikey ABC Yerleşimi	Bölgelere göre Atama	415.456 saniye	52.87%
Karesel ABC Yerleşimi	Bölgelere göre Atama	444.865 saniye	49.53%
Yatay ABC Yerleşimi	Bölgelere göre Atama	453.345 saniye	48.57%
Korelasyona göre Yerleştirme	Korelasyona göre Atama	748.87 saniye	15.04%
Dikey ABC Yerleşimi	Rastgele Atama	770.836 saniye	12.55%
Kırılıma göre Yerleştirme	Rastgele Atama	805.269 saniye	8.64%
Korelasyona göre Yerleştirme	Rastgele Atama	832.595 saniye	5.54%
Karesel ABC Yerleşimi	Rastgele Atama	856.545 saniye	2.82%
Yatay ABC Yerleşimi	Rastgele Atama	906.198 saniye	-2.81%

Mevcut sistem ile depo tasarım algoritmaları karşılaştırıldığında, bir algoritma dışında diğerlerinin mevcut sisteme göre daha iyi sonuç verdiği ve ürün yerleştirme operasyonunun daha kısa sürede

tamamlandığı görülmüştür. En iyi sonucu veren depo tasarımı, deponun Dikey olarak ABC sınıflarına ayrılarak ürünlerin yerleştirilmesi ve bölgelere göre işçi ataması yapılarak oluşturulmuştur.

Sipariş toplama operasyonu için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

TABLO V
EN İYİ ÜRÜN YERLEŞTİRME-SİPARİŞ TOPLAMA SONUÇLARI

Depo Tasarımı	Atama Algoritması	Rotalama Algoritması	Yerleştirme-Toplama Süresi	İyileştirme Yüzdesi
Korelasyona göre Yerleştirme	Korelasyona göre Atama	En Büyük Boşluk Yöntemi	2380.170 saniye	36.56%
Kırılıma göre Yerleştirme	Rastgele Atama	Alfabetik Sıra Yöntemi	2627.239 saniye	29.98%
Kırılıma göre Yerleştirme	Rastgele Atama	S-Shaped Yöntemi	2714.129 saniye	27.66%
Kırılıma göre Yerleştirme	Rastgele Atama	En Büyük Boşluk Yöntemi	2719.879 saniye	27.51%
Kırılıma göre Yerleştirme	Kırılıma göre Atama	En Büyük Boşluk Yöntemi	2720.889 saniye	27.48%

TABLO VI
EN İYİ ÜRÜN YERLEŞTİRME-SİPARİŞ TOPLAMA SONUÇLARI

Depo Tasarımı	Atama Algoritması	Rotalama Algoritması	Yerleştirme-Toplama Süresi	İyileştirme Yüzdesi
Karesel ABC Yerleşimi	Bölgelere göre Atama	Alfabetik Sıra Yöntemi	3778.575 saniye	-0.71%
Yatay ABC Yerleşimi	Bölgelere göre Atama	Alfabetik Sıra Yöntemi	3810.808 saniye	-1.57%
Karesel ABC Yerleşimi	Hıza göre Atama	S-Shaped Yöntemi	3929.245 saniye	-4.72%
Karesel ABC Yerleşimi	Hıza göre Atama	En Büyük Boşluk Yöntemi	3980.035 saniye	-6.08%
Dikey ABC Yerleşimi	Hıza göre Atama	Alfabetik Sıra Yöntemi	4074.186 saniye	-8.59%
Korelasyona göre Yerleştirme	Korelasyona ve Hıza göre Atama	Alfabetik Sıra Yöntemi	4148.355 saniye	-10.56%

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ABC'ye göre ürün yerleştirmenin sadece ürün yerleştirme işlemlerinde daha iyi sonuç verdiği, ancak sipariş toplama işlemi de sisteme dahil edildiğinde korelasyona göre ürün yerleştirmenin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, depo tasarımı için korelasyona göre yerleştirme yapmanın daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Rotalama algoritması için ise en büyük boşluk yönteminin en iyi sonuç veren algoritma olduğu tespit edilmiştir. Mevcut sistem ve algoritmalar karşılaştırıldığında, korelasyona göre yerleştirme ve en büyük boşluk toplama algoritması kullanıldığında toplam ürün yerleştirme ve toplama süresinin %36,56 oranında azaldığı görülmektedir.

IV. SONUÇ

Bu projede SUN Tekstil firmasına ait Jimmy Key markasının deposu için depo tasarımı yapılmakta sonrasında ise sipariş toplama algoritmaları kullanılarak depo için en uygun sipariş toplama yöntemine karar verilmektedir. Şirketin çalışılan gerçek hayat problemi için bir simülasyon modeli ve kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Firmadaki mevcut depo yerleşimi ve sipariş toplama algoritmaları detaylı olarak incelenmiş ve sorunlar tespit edilmiştir. Mevcut sistemde depoya giren ürünler rastgele bir şekilde boş olan herhangi bir lokasyona yerleştiği için depo düzeninde karışıklık olduğu, sipariş toplama sürecinde işçilerin zaman kaybı yaşadığı ve verimliliklerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu problemi çözmek için önerilen simülasyon modeli en uygun depo yerleşim düzenini bulmayı ve sipariş toplama operasyonu sırasında da uygun rotalama algoritmasına karar vermeyi sağlamaktadır. Simülasyon modeline geçilmeden önce ABC ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Simülasyon modelini kodlamak için ise PyCharm Community Edition 2021.2.1 kullanılmıştır.

Problemin doğrulanması, için hipotez testi yapılmıştır. Hipotez testinin sonucuna göre her iki operasyon için yazılan kodun da gerçek hayattaki sistemle uyumlu olduğu ve simülasyon modelinin doğru sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Şirketin elde edilen sonuçlara kolay bir şekilde erişebilmesi, sonuçlar arasında karşılaştırma yapabilmesi ve bazı girdileri hızlı bir şekilde simülasyon modeline aktarabilmesini sağlamak için Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur. Geliştirilen Karar Destek Sistemi, kullanıcının simülasyonun hangi günler için uygulanacağını belirlemesine, simülasyon analizleri sonucu çıkan süreleri görüntülemesine, kullanılan algoritmalar arasında karşılaştırmalar yapıp hangi algoritmaların ve depo tasarımının onlar için daha uygun olduğunu belirlemesine, hangi ürünün hangi ürün grubuna ait olduğunu ve birbiri arasında ilişki olan ürünlerin hangileri olduğunu bulmasına olanak sağlamaktadır.

Projenin ilerleyen süreçlerde devam etmesi ve geliştirilmek istenmesi durumunda farklı rotalama algoritmaları ve depo tasarımları denenmeye devam edilerek daha iyi bir sonuç veren algoritmalar olup olmadığı tespit edilebilir.

REFERANSLAR

- [1] Accorsi R., Manzini R. & Bortolini M. (2012) A hierarchical procedure for storage allocation and assignment within an order-picking system. A case study, International Journal of Logistics Research and Applications, 15:6, 351-364, DOI: [10.1080/13675567.2012.742877](https://doi.org/10.1080/13675567.2012.742877)
- [2] Flores, B. E. & Whybark, D. C. Multiple Criteria ABC Analysis. International Journal of Operations & Production Management, vol.6(3), pp.38-46, 1986.
- [3] Nils B., Konrad S.(2013, December), The deterministic product location problem under a pick-by-order policy, Discrete Applied Mathematics, Volume 161, Issue 18, 2013, Pages 2862-2875, ISSN 0166-218X, <https://doi.org/10.1016/j.dam.2013.07.002>.
- [4] Radoslaw, P., Karkula, M., & Duda, J. (2019). IMPROVING S-SHAPE ROUTING STRATEGY FOR ORDER PICKING. In *18th April 2019* (pp. 729–734). Prague, Czech Republic.
- [5] Roodbergen, Kees Jan. Layout and Routing Methods for Warehouses. International Journal of Production Research 39, no. 16 (2001): 3665-3687.
- [6] Sun Tekstil, (n.d.). Sirketimiz. suntekstil. <https://www.suntekstil.com.tr/sirketimiz/>



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Valf Sanayii A.Ş.’de Temel Bileşen Malzemeler için Envanter Yönetimi

Asya ÖZKAN, Ecem İRDEM, Ecem Tezgiden, Yılmaz Ata ÖZEN

**Akademik Danışmanlar
Dr. Murat FADİLOĞLU
Gamze ERDEM**

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

Bu rapor, Valf Endüstri A.Ş.'nin kullanmış olduğu bir envanter yönetim sistemiyle ilgilidir. Envanter yönetimi, müşteri taleplerinin zamanında karşılanması (eksiklik ve eksik sipariş durumlarının mümkün olduğunca önlenmesi) ve şirket maliyetlerinin düşürülmesi gibi faktörlerin göz önünde bulundurulduğu önemli bir unsurdur ve etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Valf Endüstri A.Ş., Elginkan Vakfı'nın bir alt şirketi olarak 1985 yılında kurulmuştur. ECA markası altında üretimine 1957 yılında başlamıştır. Elginkan Topluluğu, artan talepleri karşılamak amacıyla 1970 yılında Valf Endüstri A.Ş.'yi kurmuştur. Fabrika, Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde, Şekil 1'de görülen 4.380 m²'lik bir arazi üzerinde faaliyet göstermektedir. Başlangıçta 28 kişilik bir ekip ile üretime başlayan fabrika, su ve gaz armatürleri olmak üzere yaklaşık 5.000 farklı tipte ürün üretmektedir. Tüm operasyonlar kalite odaklı olarak gerçekleştirilmektedir. Valf Endüstri A.Ş., ısıtma tesisatı ve soğutma sistemleri için vanalar gibi sektörlere hizmet vermektedir ve 11 ana ürünü bulunmaktadır.



Şekil 1. Fabrika Görüntüsü

Valf Endüstri A.Ş., her ürünün üretiminde pirinç gibi bir hammadde kullanmaktadır. Pirinç temini, Elginkan Vakfı'na bağlı Elsan Hammadde Sanayi A.Ş. tarafından sağlanmaktadır. Diğer yan bileşenler (alüminyum, plastik vb.), ise dış şirketlerden satın alınmaktadır. Bu dış şirketlerden alımlar periyodik olarak yapılmaktadır. Bu, envanter seviyelerinin belirli aralıklarla kontrol edildiği ve düzenlendiği anlamına gelir. Her kontrol sırasında, envanter seviyesi önceden belirlenmiş bir hedef seviyeye karşılaştırılır ve envanteri hedef seviyeye getirmek için gerekli düzeltmeler yapılır. Envanter yönetiminin bir başka yönü de stok tutmadır. Stok tutmanın temel amacı, talepte beklenmedik değişiklikler olduğunda müşteri taleplerini zamanında karşılamaktır. Bu nedenle, bazı ürünler için emniyet stoğu tutulmaktadır. Ancak stok tutmanın bir maliyeti vardır ve bu maliyeti göz önünde bulundurarak stok tutma arasında bir denge kurmak önemlidir. Envanter yönetiminde bir diğer önemli faktör ise tedarikçi seçimidir. Tedarikçiler, malzemeleri doğru kalitede, doğru miktarda, doğru zamanda ve doğru fiyatta tedarik edecek şekilde seçilmelidir. Tedarikçi belirlendikten sonra, envanter modelinde iki önemli nokta vardır: ne zaman sipariş verileceği ve ne kadar sipariş verileceği.

Raporun geri kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2, problemin tanımını yapmakta ve özelliklerini açıklamaktadır. Bölüm 3, (s, S) politikasına dayalı modeli formüle etmekte ve elde edilen sonuçları sunmaktadır. Son olarak, Bölüm 4, bulgulara dayalı olarak sonuçları çıkarmaktadır. Bu yapı, problemin açık bir şekilde anlaşılmasını, modelin sunulmasını, sonuçların tartışılmasını ve nihai sonuçların çıkarılmasını sağlar.

II. PROBLEM TANIMI

Şirket, sipariş verme süreçlerini SAP ve Microsoft Excel programları aracılığıyla yürütmektedir. Microsoft Excel kullanılarak sipariş miktarları belirlenirken, bu miktarlar SAP programı üzerinden tedarikçilere sipariş edilmektedir. Planlama Departmanı, geçmiş taleplerin incelenmesiyle aylık tüketimler, stok seviyeleri ve sipariş miktarları konusunda kararlar almaktadır. Ayrıca, Satınalma Departmanı tarafından belirlenen en son sipariş miktarları da göz önünde bulundurularak sipariş miktarları

belirlenmektedir. Ancak firmaların belirli bir stok yönetim sistemi olmaması nedeniyle her ürün tipi için ne zaman ve ne kadar sipariş verileceği konusunda karar vermekte zorluk yaşanmaktadır.

Şirket, yan bileşen ürünlerini dışarıdan temin etmektedir ve her bir bileşenin farklı bir birim maliyeti, temin süresi ve tedarikçisi bulunmaktadır. Şirket, tedarikçi seçiminde kalite, temin süresi ve maliyet olmak üzere üç farklı kriteri dikkate almaktadır. Kalite kriteri, tedarikçilerin aynı kalite standardına sahip olmaları nedeniyle göz ardı edilebilir, ancak temin süresi ve maliyet açısından en uygun olan tedarikçi tercih edilmelidir. Bazı bileşenlerin envanter seviyeleri ve güvenlik stoku yeniden düzenlenmelidir. Aylık sipariş planları her ayın başında oluşturulmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen model, planlanan faaliyetleri ayın başında takvimlendirerek uygulanacaktır.

Geçmiş verilere bakıldığında, mevcut sistemde bazı aylarda gereksiz miktarda sipariş verildiği, bazı aylarda ise yeterli miktarda sipariş verilmemesi sonucu ön sipariş durumlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bazı aylarda gereğinden fazla ürün stokta bulundurulduğu ve stokların düzenli kontrol edilmediği için yeni siparişlerin devam ettiği görülmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında, optimal sipariş miktarına doğru karar verilmediği anlaşılmaktadır.

Bu problemde bazı varsayımlar bulunmaktadır. İlk olarak, ürünlerin temin süreleri bilinmektedir ve firma, anlaşmalı olduğu tedarikçinin ürünlerini belirlenen sürede teslim etmesini sağlamaktadır. Ancak beklenmedik durumlar için %95 hizmet seviyesi belirlenmiştir. İkinci olarak, nakliye maliyetleri birim maliyetlerin içerisinde yer almaktadır. Yani, herhangi bir ayı sipariş maliyeti ihmal edilmekte ve nakliye maliyetleri birim maliyetlere dahil edilmektedir. Üçüncü olarak, tedarikçiler alınan miktarlara bağlı olarak herhangi bir indirim uygulamamaktadır. Dolayısıyla, fiyatlar sabit kalmaktadır ve indirimler miktarlara bağlı olarak değişmemektedir. Son olarak, tedarikçilerin herhangi bir kapasite kısıtlaması bulunmamaktadır. Bu durumda, tedarikçilerin istenilen miktarlarda ürün temin edebileceği varsayılmaktadır ve kapasite konusunda herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır. Bu varsayımlar, problem çözümüne yönelik bir çerçeve oluşturmakta ve temel analizlerin yapılmasını sağlamaktadır.

Araştırma sonucunda, şirketin periyodik gözden geçirme modeli kapsamında (s, S) envanter politikasını benimsemeye karar verildiği belirlenmiştir. Bu yöntemde, şirket stok seviyesinin belirlenen alt sınıra ulaştığında bir ikmal siparişini tetikleyecek olan bir yeniden sipariş noktası belirlemektedir. Yeniden sipariş noktası, temin süresi boyunca beklenen talebi ve beklenmedik talep veya tedarik zinciri kesintilerine karşı koruma sağlamak için gereken güvenlik stoğunu içermektedir. Bu şekilde, şirket stoklarını etkin bir şekilde yönetmeyi ve talebi karşılamak için gerekli envanter seviyelerini korumayı hedeflemektedir. (s, S) envanter politikası, şirketin sipariş miktarlarını ve stok düzeylerini optimize etmek için bir çerçeve sunmaktadır.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, önerilen (s, S) envanter politikasının uygulanmasıyla optimal sipariş miktarı, yeniden sipariş seviyesi ve hedef seviyenin belirlenmesi önerilmektedir. Şirketin sağladığı geçmiş veriler kullanılarak, bu politikanın uygulanması amaçlanmaktadır. Geçmiş verilere dayanarak, yeni bir siparişin verilmesi gereken envanter seviyesi (yeniden sipariş noktası olarak adlandırılan s) ve maksimum envanter seviyesi (istenilen üst envanter seviyesi olarak adlandırılan S) belirlenebilir. (s, S) envanter politikasının uygulanmasıyla optimal envanter seviyeleri elde edilebilir, envanter maliyetleri minimize edilebilir ve envanter yönetim sisteminin genel verimliliği artırılabilir. Bu politika, şirketin tedarik zinciri ve envanter süreçlerini etkinleştirmeyi hedeflemektedir.

Önerilen (s, S) envanter politikası, optimal envanter seviyelerini korumak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir envanter yönetimi modelidir. Bu politika, envanter seviyelerinin belirli bir aralıkta kalmasını sağlar. Minimum seviye (yeniden sipariş seviyesi) "s" olarak adlandırılırken, maksimum seviye (hedef seviye) ise "S" olarak adlandırılır. Bu politika, sabit bir talep ve bilinen teslim süreleri varsayımına dayanır. Matematiksel olarak, (s, S) politikası şu şekilde temsil edilir: Envanter seviyesi minimum seviyeye (s) ulaştığında, envanteri maksimum seviyeye (S) kadar yeniden doldurmak için belirli bir miktar (Q) sipariş verilir. Sipariş miktarı (Q), mevcut envanter pozisyonu, yeniden sipariş seviyesi (s), hedef seviye (S), teslim süresi, geçmiş tüketim miktarları ve güvenlik stoku gibi birkaç faktöre dayanarak belirlenir. (s, S) politikasının uygulanmasıyla, işletmeler müşteri talebini karşılamak için yeterli bir envanter tamponunu

sağlarken (yeniden sipariş seviyesinin üzerinde stok tutarak), gereksiz envanter maliyetlerini minimize edebilir (hedef seviyenin üzerinde aşırı stok seviyelerinden kaçınarak). Bu politika, sipariş miktarlarını talep desenleri ve teslim süreleriyle uyumlu hale getirerek envanter yönetimini optimize etmeye yardımcı olur.

Şirket tarafından kullanılan envanter yönetim sistemi, her ay sipariş miktarını belirlemek için Excel formülleri kullanmaktadır. Bu sistem, 2022 yılına ait 12 aylık verileri kullanarak kararlar almayı sağlamaktadır. Sistemde aşağıda açıklanan çeşitli gösterimleri kullanmaktadır:

S: Hedef seviye veya maksimum envanter seviyesi

s: Yeniden sipariş seviyesi veya minimum envanter seviyesi

c: Birim satın alma maliyeti (envanterin birim maliyeti)

H: Tutma maliyeti (belirli bir süre boyunca envanterin taşınması veya bekletilmesi maliyeti)

Q_n: n. dönemdeki sipariş miktarı (her dönemde sipariş edilecek envanter miktarı)

QA_n: n. dönemdeki gelen miktar (her dönemde gelen envanter miktarı)

T: Dönem aralığı (siparişin verilmesi için kontrol edilen zaman aralığı)

LT: Teslim süresi (bir siparişin verilmesi ve gelmesi arasındaki süre)

SS: Güvenlik stoğu (talep değişkenliği veya belirsizlikler için ek envanter miktarı)

IL_n: n. dönemin sonundaki envanter seviyesi (her dönemin sonunda elde bulunan envanter miktarı)

IP_n: n. dönemin sonundaki envanter pozisyonu (her dönemin sonunda elde bulunan envanter miktarı ve siparişte olan envanter miktarı toplamı)

TC: Toplam envanter maliyeti (tutma maliyetleri ve sipariş maliyetlerinin toplamı)

D_n: n. dönemdeki tüketim miktarı (her dönemde kullanılan envanter miktarı)

D̄: Ortalama tüketim miktarı (dönem başına kullanılan ortalama envanter miktarı)

Z: İstenen hizmet seviyesi (kuruluşun tolere etmeyi kabul ettiği stok eksiklikleri düzeyini ölçen bir gösterge)

σ_D: 12 aylık tüketim standart sapması (talep değişkenliğini ölçen bir gösterge)

n: Ay (n=1,2,...,12)

Modelde kullanılan formüller aşağıda belirtilmiştir.

Emniyet stoğu formülü:

$$SS = Z * \sigma_D * \sqrt{T+LT} \quad (1)$$

Yeniden sipariş verme seviyesi formülü:

$$s = SS + \bar{D} * LT \quad (2)$$

$$\bar{D} = (D_1 + D_2 + \dots + D_{12}) / 12$$

Hedef seviyesi formülü:

$$S = \bar{D} * (T + LT) + SS \quad (3)$$

Envanter seviyesi formülü:

$$IL_{(n)} = IL_{(n-1)} + QA_n - D_{(n)} \quad (4)$$

Gelen miktar (QA_n), şirket tarafından verilen verilerdir. Ürünlerin teslim süresine göre, şirket bu giriş miktarlarını aylık olarak kaydetmektedir. Giren aylık miktarlar, gelen miktarlar olarak kullanılmıştır.

Aralık 2021 için veri olmadığından önceki ayın envanter seviyesi yerine, Ocak 2022 için envanter seviyesini hesaplamak için 12 aylık ortalama stoklar kullanılmıştır.

Envanter pozisyonu formülü:

$$IP_{(n)} = IP_{(n-1)} + Q_{(n)} - D_{(n)} \quad (5)$$

Aralık 2021 için veri olmadığı durumlarda, ürünün teslim süresi dört haftadan az ise Ocak 2022 için envanter seviyesi ve envanter pozisyonu aynı olarak kabul edilir. Teslim süresi dört haftadan daha uzun olan ürünler için ise Ocak 2022 envanter pozisyonunu hesaplarken, Ocak ayındaki envanter pozisyonu ile Ocak ayında yerleştirilen sipariş miktarının toplamı kullanılır.

Sipariş miktarı formülü:

$$Q_{(n)} = S - IP_{(n-1)} \quad (6)$$

Aralık 2021 için veri olmadığı durumlarda, Ocak 2022 sipariş miktarı 12 aylık tüketim miktarlarının ortalamasından alınır. Diğer aylar yukarıdaki formülle hesaplanır. Eğer önceki ayın envanter pozisyonu yeniden sipariş seviyesinden daha düşükse, miktar miktarı denklem (6) ile bulunur, aksi halde sipariş miktarı sıfır olarak kabul edilir.

Toplam envanter maliyeti formülü:

$$\begin{aligned} TC &= Q \times c + (c \times 2\%) + Q / 2 \\ &= Q \times c + (H + Q) / 2 \end{aligned} \quad (7)$$

Şirket tarafından sağlanan 71 üründen 19 tanesi için iki tedarikçi bulunmaktaydı. Uzun vadeli tercih edilecek tedarikçiyi belirlemek için iki farklı senaryo değerlendirildi. Her bir tedarikçi bazı ürünler için farklı birim maliyetler ve teslim süreleri sunabilmekteydi. İlk senaryoda, tüm ürünlerin ilk tedarikçiden sipariş edildiği varsayıldı ve hesaplamalar ilk tedarikçiye ait verilere göre yapıldı. İkinci senaryoda ise tüm ürünlerin ikinci tedarikçiden sipariş edildiği varsayıldı ve hesaplamalar ikinci tedarikçiye ait veriler kullanılarak yapıldı. Toplam envanter maliyeti üzerinden 12 aylık bir karşılaştırma yapıldı. 12 ayın sonunda daha düşük toplam maliyeti olan tedarikçi, takip eden yıl için tercih edilen tedarikçi olarak seçildi. Her ürün için tek tek uygulandı. Tedarikçilerin belirli bir kapasite sınırlaması olmadığı varsayılarak, ürünlerin tüm satın alımları seçilen tedarikçiden yapılabilir. Bu analiz, birim maliyetler, teslim süreleri ve envanter yönetimi gibi faktörleri dikkate alarak tercih edilecek tedarikçiyi belirlemeye yardımcı oldu.

Farklı ürün türleri kullanılarak Microsoft Excel'de çözümler elde edildi. Sonuçlar ve karşılaştırmalar, "712213041" (şaft güvenli fırın musluğu) ürün koduna sahip ürün için gösterildi. Bu ürüne ait verileri kullanarak (s, S) politikasını uygulayarak, güvenlik stoku, yeniden sipariş noktası ve hedef seviye hesaplandı. Sonuç olarak, optimal sipariş miktarı belirlendi.

Genel envanter durumunu aylık olarak değerlendirmek için belirlenen sipariş miktarına dayanarak envanter seviyesi ve envanter pozisyonu hesaplandı. Birim maliyet, tutma maliyeti ve sipariş miktarları aylık bazda dikkate alınarak toplam envanter maliyeti hesaplandı ve ardından yıllık maliyet elde edildi. Şirket tarafından sağlanan verilerle (s, S) politikasından elde edilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapıldı. Karşılaştırma, 2022 yılı için sipariş miktarları, envanter seviyeleri ve toplam envanter maliyetlerini içeriyordu. (s, S) politikasının getirdiği iyileştirmeler gözlemlendi ve önümüzdeki yıl için envanter kontrol sistemi oluşturuldu.

"712213041" ürün koduna sahip ürün için Tablo 1'de bir örnek sunulmuş olup, güvenlik stoku, yeniden sipariş seviyesi ve hedef seviye değerleri gösterilmektedir. Bu ürün için ortalama yıllık tüketim miktarı 87.172 birimdir. Üç hafta teslim süresi, 0.91₺ birim maliyeti ve tek bir tedarikçisi bulunmaktadır.

TABLO I.
"712213041" ÜRÜNÜN DEĞERLERİ

Emniyet Stok	Yeniden Sipariş Verme Seviyesi	Hedef Seviyesi
95.483	160.862	248.033

Tablo 2'de görüldüğü gibi, envanter seviyemiz genellikle çoğu ayda daha düşüktü, bu da şirketin aşırı stok tutmaktan kaçındığını göstermektedir. Teslim süresi dört haftadan daha kısa olduğu için envanter seviyesi ve envanter pozisyonu değerleri aynı kaldı. Bu, her ayın başında yerleştirilen siparişlerin aynı ay içinde fabrikaya ulaştırılması nedeniyle gerçekleşti.

TABLO II.
"712213041" NUMARALI ÜRÜN İÇİN ENVANTER SEVİYESİ VE ENVATER POZİSYONU DEĞERLERİ

Aylar	Valf Endüstri için Envanter Seviyesi	(s, S) Politikası için Envanter Seviyesi	Envanter Pozisyonu
Ocak	245.877	153.048	153.048
Şubat	197.953	147.801	147.801
Mart	85.603	80.183	80.183
Nisan	150.458	164.738	164.738
Mayıs	161.458	103.088	103.088
Haziran	185.328	153.103	153.103
Temmuz	233.988	218.693	218.693
Ağustos	207.438	192.143	192.143
Eylül	165.238	149.943	149.943
Ekim	151.113	177.708	177.708
Kasım	172.203	69.498	69.498
Aralık	346.795	107.125	107.125

Tablo 3'te görüldüğü gibi, şirket tarafından sağlanan sipariş miktarları ile (s, S) politikasına göre belirlenen sipariş miktarları farklılık gösterdi. Şirketin politikasına göre, yıl boyunca toplam sipariş miktarı 1.092.500 birim iken, bizim politikamıza göre bu miktar 966.739 birim oldu. Bizim politikamıza göre, belirli aylarda sipariş verme ihtiyacının olmadığı gözlemlendi, oysa şirket bu aylarda siparişler vermişti. Ayrıca, politikamıza göre şirketten 125.761 birim daha az sipariş verilmişti.

TABLO III.
"712213041" NUMARALI ÜRÜN İÇİN SİPARİŞ MİKTARLARI

Aylar	Valf Endüstri için Sipariş Miktarları	(s, S) Politikasına göre Sipariş Miktarları
Ocak	118.400	87.172
Şubat	55.500	94.985
Mart	118.150	100.232
Nisan	93.000	167.850
Mayıs	62.250	0
Haziran	144.200	144.945
Temmuz	0	94.930
Ağustos	0	0
Eylül	46.200	0
Ekim	74.800	98.090
Kasım	290.800	0
Aralık	89.200	178.535
Toplam	1.092.500	966.739

Tablo 4'te görüldüğü gibi, formüllerin uygulanması sonucunda toplam envanter maliyetimizin şirketin maliyetinden daha düşük olduğu gözlemlendi.

TABLO IV.
"712213041" ÜRÜNÜ İÇİN TOPLAM ENVANTER MALİYETİ

	(s, S) Politikası	Şirket
Yıllık Envanter Maliyeti	₺883.648	₺998.600

Bu işlemler iki tedarikçi ürünler için de tek tek yapıldı, yukarıda belirtildiği gibi aynı formüller kullanılarak iki farklı senaryoda incelendi. 12 ay sonunda en düşük maliyet sağlayan tedarikçi bir sonraki sene için tercih edilen tedarikçi seçildi.

Sonuç olarak, (s, S) politikasıyla 71 ürün için bu işlemler tek tek gerçekleştirildi ve Tablo 5'te gösterildiği gibi yıllık toplam envanter maliyetini karşılaştırarak %17'lik bir iyileşme elde edildi.

TABLE V.
İYİLEŞME

Ürün Sayısı: 71		İyileşme
Sistem Envanter Maliyeti	Yıllık Toplam Maliyet	
Mevcut Sistem Maliyeti	₺39.317.744	17%
(s, S) Politikasına göre Maliyet	₺32.600.258	

IV.SONUÇ

Bu raporda, Valf Sanayii genel olarak açıklandı. Mikro sistem analizi yapılarak sorunlar belirlendi. Şirket, bitmiş ürünleri üretmek için büyük miktarlarda yan bileşenler satın almaktadır. Bu durum, şirketin bileşen miktarlarını doğru bir şekilde belirlemesini engellemiştir. Bu yan bileşenlerin optimal sipariş miktarlarının belirlenmesiyle, planlama uygulamalarının iyileştirilmesi ve toplam envanter maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu nedenle, Valf Sanayii envanter politikalarını geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu amaç doğrultusunda envanter yönetimi konusunda yapılan literatür araştırması sonucunda şirkete en uygun politika bulunmuştur. Şirket tarafından rapor edilen 71 ürün üzerinde bu politikanın uygulanması için en uygun araç Microsoft Excel olarak belirlenmiştir. Şirket tarafından verilen 2022 verileri, aylık stok miktarları, aylık tüketim miktarları, birim maliyetler, teslim süreleri ve sözleşmeli tedarikçiler alınmıştır. Teslim süreleri ve birim maliyetler, ürünlerin bir veya iki tedarikçiden olmasına bağlı olarak değişmektedir. Gerekli tüm veriler ürün bazında Excel'e girilmiştir. Bu şekilde, şirket ve (s, S) politikasına dayalı olarak envanter seviyesi, envanter pozisyonu, güvenlik stoğu, hedef seviye, yeniden sipariş noktası ve toplam envanter maliyeti hesaplanmıştır. En uygun miktarlar envanter politikası sonucunda bulunmuştur. Envanter sisteminde bir iyileşme kaydedildiği gözlemlenmiştir. Bu iyileşme raporda gösterilmiştir.

Rapor 4 bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, Valf Sanayii'nin genel olarak açıklandığı giriş bölümüdür. İkinci bölüm, sorun tanımıdır. Sorun tanımında, şirketin ana sorunu ve sorunu yaratan etkenlerin neler olduğu belirtilmiştir. Üçüncü bölüm, model oluşturma bölümüdür ve burada uygulanan (s, S) politikası ve model formülleri açıklanmıştır ve politikanın örnek bir ürün üzerinde nasıl uygulandığı açıklanmıştır. Dördüncü ve son bölümde ise iyileştirilmiş envanter sisteminin çıktıları görülebilir.

Son olarak, iyileştirilmiş envanter sisteminin çıktıları, Karar Destek Sistemi (KDS) aracılığıyla görülebilir. KDS, Excel'e girilen verilerden mevcut verileri çıkarırken, kullanıcı tarafından girilen verileri arka planda hesaplar ve kullanıcıya sunar. İyileştirilmiş envanter sistemi uygulamasıyla oluşturulan KDS sisteminin kullanımı kolay anlaşılır olduğundan, kullanıcıdan bağımsız olarak sürdürülebilir bir sistem olarak kabul edilebilir.

REFERANSLAR

- [1] Supply chain modeling: past, present and future. (2002, March 22). Supply Chain Modeling: Past, Present, and Future - ScienceDirect. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00066-9)
- [2] Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. (2016, March 25). Big Data Analytics in Logistics and Supply Chain Management: Certain Investigations for Research and Applications - ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014>

- [3] E A Silver, D P Bischak, T de Kok. (2012) Determining the reorder point and order-up-to level to satisfy two constraints in a periodic review system under negative binomial demand. *Journal of the Operational Research Society* 63:7, pages 941-949.
- [4] Chaaben Kouki, Zied Jemai, Evren Sahin & Yves Dallery (2014) Analysis of a periodic review inventory control system with perishables having random lifetime, *International Journal of Production Research*, 52:1, 283-298, DOI: 10.1080/00207543.2013.839895
- [5] Panagiotis Kouvelis, Genaro J. Gutierrez, (1997) The Newsvendor Problem in a Global Market: Optimal Centralized and Decentralized Control Policies for a Two-Market Stochastic Inventory System. *Management Science* 43(5):571-585. <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.5.571>
- [6] Paul Zipkin, (2008) On the Structure of Lost-Sales Inventory Models. *Operations Research* 56(4):937-944. <https://doi.org/10.1287/opre.1070.0482>



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Sıraya Bağlı Kurulum Süreleri ile Çok Modelli Montaj Hattını Sıralama

Devin DURAN, Elvin SARI, Sude Dila CEYLAN, Tunahan KUZU, Yaren CAN

**Akademik Danışmanlar
Dr. Mustafa Arslan ÖRNEK
Mert PALDRAK**

Izmir, 2023

Çeşitli ürün türlerinin gruplar halinde üretildiği çok modellenmiş montaj hatları, bu tür bir optimizasyon için uygundur. Ancak, her ürün değişikliği, kurulum süresindeki zaman kaybını artırabilir. Proje, bu kayıpları azaltmaya odaklanmaktadır. Bu sorunu çözmek için matematiksel modeller kullanarak yöneylem araştırması tekniklerini uygulamaktadır. Ancak, gerçek yaşam problemleri genellikle karmaşıktır ve optimal çözümler hesaplama açısından mümkün olmayabilir. Bu nedenle, projede problemi etkili bir şekilde ele almak için özgün sezgisel yöntemler geliştirilmektedir. Temel amaç, ardışık ürünler arasındaki hazırlık sürelerini minimize etmektir.

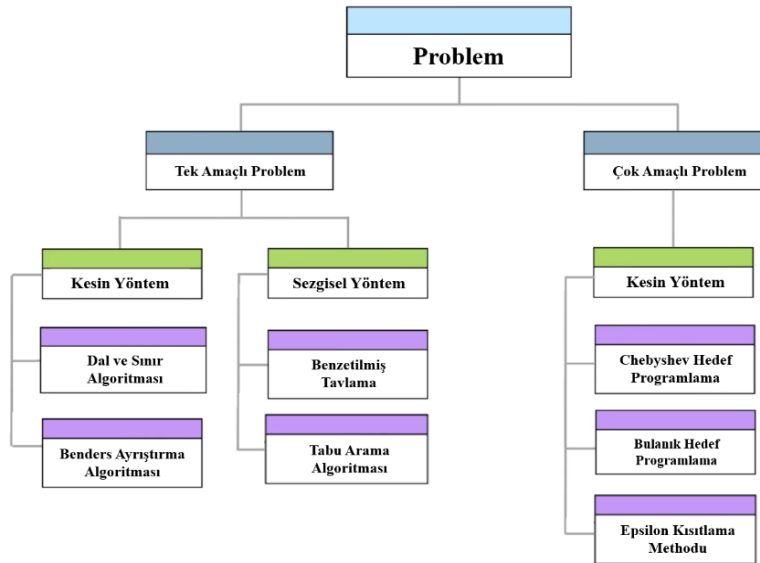
TABLE I.
MODEL BİLGİLERİ

Model Bilgileri	Kurulum Süresi (dk)	Döngü Süresi (dk)	Toplam Ürün Sayısı	İşlem Süresi (dk)	Çalışanların sayısı	Saatlik Hedef	Sipariş tarihi	Üretim tarihi	Bitiş tarihi
Örgü Ceket	90	25,19	496	12584	17	40	6.03.2023	10.03.2023	21.03.2023
Pantolonlar	180	31,11	1341	41899	18	35	3.03.2023	7.03.2023	17.03.2023
Kısa Lastikli Şort	40	11	753	8323	17	95	16.03.2023	22.03.2023	24.03.2023
Elektra Elbise	60	15,16	1181	17964	17	67	15.03.2023	23.03.2023	31.03.2023
Saten Elbise	120	12,2	1253	15406,6	18	70	17.03.2023	28.03.2023	4.04.2023

Tablo 1'de gösterilen model bilgilerinin yer aldığı tabloda, fabrika analizleri sonucunda elde ettiğimiz, düzenli aralıklarla gittiğimiz ve ölçtüğümüz kurulum süreleri yer almaktadır. Projemizde bizim için en büyük risk, verilerimizi toplamanın çok uzun sürmesidir. Bu nedenle veriler bizim tarafımızdan oluşturulmuştur ve modellere bu şekilde atıfta bulunulmuştur. Firmanın bize verdiği bu beş model ürün hakkında bilgiler sayesinde bunlar kendi problemimize entegre edilmiştir.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu çalışma, montaj hatlarında uzun kurulum sürelerini ve son ürünlerin tamamlanma sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan çok amaçlı bir optimizasyon problemine odaklanmaktadır. Bu iki hedef, birbirleriyle çelişen hedeflerdir, çünkü genellikle birini geliştirmek, diğerini olumsuz etkileyebilir. Sun Tekstil'in dikiş hattı, iş istasyonlarının belirli bir sıraya göre işlediği bir üretim sistemi içerir. Gecikme ve hazırlık sürelerini azaltmak için, üretim sisteminin performansını izlemek için sıra bağımlı hazırlık sürelerini kullanan hat dengeleme problemini ele almaktadır. Bu amaçla Şekil 2'de belirtilen çözüm yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Çözüm Metodolojisi

A. Tek Amaçlı Model

İlk olarak, iki amaç fonksiyonunun ayrı ayrı ele alındığı bir MIP modeli önerilmiştir. Daha sonra bu sorun çok amaçlı problem teknikleriyle çözülmüştür.

Bu matematiksel model oluşturulurken yapılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Başlangıçta tüm modellerin üretim hattına girmeye hazır olduğu varsayılmaktadır.
- Ardışık iki model arasındaki kurulum süreleri önceden bilinmektedir.
- Modeller arasında ön alıma izin verilmez.
- Her modelin termin tarihi müşteri siparişlerine göre belirlenmektedir.

İndisler:

$i, k \in I = \{0, \dots, n\}$ – hatta üretilen modellerin dizini

$j, a \in J = \{0, \dots, n\}$ – hattaki bir modelin konum indeksi (sıra)

Parametreler:

$PT_i = i$ modelinin işlem süresi

$DD_i = i$ modelinin termin tarihi

$ST_{ik} = i$ ve k modeli arasındaki kurulum süresi

Karar Değişkenleri:

$CT_j = j$ pozisyonunda bir modelin tamamlanma süresi

$X_{ij} = 1$; i modeli j pozisyonunda işlem görürse, aksi halde 0

$Y_{ij} = 1$; i modeli termin tarihinden önce j k pozisyonunda a işlem görürse, aksi halde 0

$Z_{jik} = 1$; k modeli, i modelinden hemen sonra j pozisyonunda işlem görürse, aksi halde 0

$L_j =$ Bir modelin j pozisyonunda gecikme

$E_j =$ Bir modelin j pozisyonunda erkenlik

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_1 = \min \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^n Z_{jik} * ST_{ik} \quad (1)$$

$$Z_2 = \min \sum_{j=0}^n L_j \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=0}^n X_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{ij} = 1, \quad \forall j \quad (4)$$

$$X_{00} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^n Z_{jik} = 1, \quad \forall j; j \neq 0 (j = 1, \dots) \quad (6)$$

$$X_{ij-1} + X_{kj} - Z_{jik} \leq 1, \quad \forall j, \forall i \text{ and } \forall k; k \neq i; j \neq 0 (j = 1, \dots, n) \quad (7)$$

$$Z_{0ik} = 0, \quad \forall i, \forall k \quad (8)$$

$$CT_j = \sum_{a=1}^j \sum_{i=0}^n PT_{i*} x_{ia} + \sum_{i=1}^n \sum_{k \neq i}^n Z_{jik} * ST_{ik}, \quad \forall j \quad (9)$$

$$CT_j - DD_i * X_{ij} + M * Y_{ij} \geq 0, \quad \forall j \text{ and } \forall i \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^n DD_i * Y_{ij} - CT_j \leq E_j, \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^n DD_i * X_{ij} - CT_j + L_j \geq 0, \quad \forall j \quad (12)$$

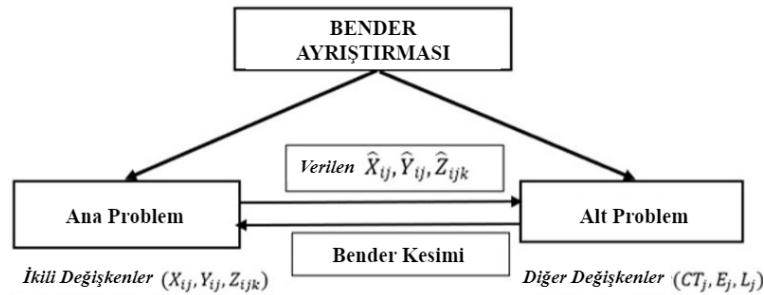
$$L_j \geq 0, \quad \forall j \quad (13)$$

$$E_j \geq 0, \quad \forall j \quad (14)$$

$$X_{ij}, Y_{ij}, Z_{jik} \text{ binary}, \forall j, i, k, a \quad (15)$$

Hedefimiz, model tipini değiştirirken montaj hattındaki toplam hazırlık sürelerini (1) ve toplam gecikme sürelerini (2) en aza indirmektir. Kısıt (3) ve (4), bir pozisyona sadece bir modelin ve bir modele sadece bir pozisyonun atanabilmesini sağlamaktadır. Bir önceki model tipinin son konumu bir sonraki modelin ilk konumu olduğu için model 0'ın 0. konuma atanması kısıt (5) ile sağlanmaktadır. Başlangıç konumu dışındaki tüm konumlar için, bir modelden hemen sonra yalnızca bir modelin işlemi, kısıt (6)'daki denklem ile sağlanmaktadır. Kısıt (7)'de görüldüğü gibi iki model arka arkaya işleniyorsa ilk model diğer modelden hemen sonra işlenmelidir. Kısıt (8)'deki denklemde, 0 konumundaki bir model, herhangi bir modelin önceki konumunda bulunamayacağını göstermektedir. Kısıt (9), modelin her pozisyonda tamamlanma süresini hesaplamaktadır. Kısıt (10), (11) ve (12) atanan modele göre bir pozisyonun erken ve geç olup olmadığını belirlemektedir. Kısıt (13) ve (14)'te görüldüğü gibi gecikme ve erkenlik tamsayı değişkenlerdir. Kısıt (15), karar değişkenlerinin alanını vermektedir.

Bu problemi en uygun şekilde çözmek için, Dal Sınır Algortiması ve Benders Ayrıştırma Algoritması olmak üzere iki kesin çözüm tekniği kullanılmıştır. Dal Sınır (Branch & Bound) Tekniğiyle optimum çözüm bulunana kadar X_{ik}, Y_{ij}, Z_{jik} değişkenlerinin kesirli değerleri üzerinde dallara ayrılmıştır. Dal ve Sınır teknikler, karar değişkenlerinin ve kısıtlamaların sayısı arttıkça makul bir süre içinde en uygun çözümleri bulmada etkili olmayabilir. Benders Ayrıştırması ile algoritmanın sorunu verimli bir şekilde çözmesini sağlayarak sorunun basitleşmesini hedeflenmektedir. Karar değişkenlerinin problem türüne göre dağılımı Şekil 3'te gösterilmektedir.



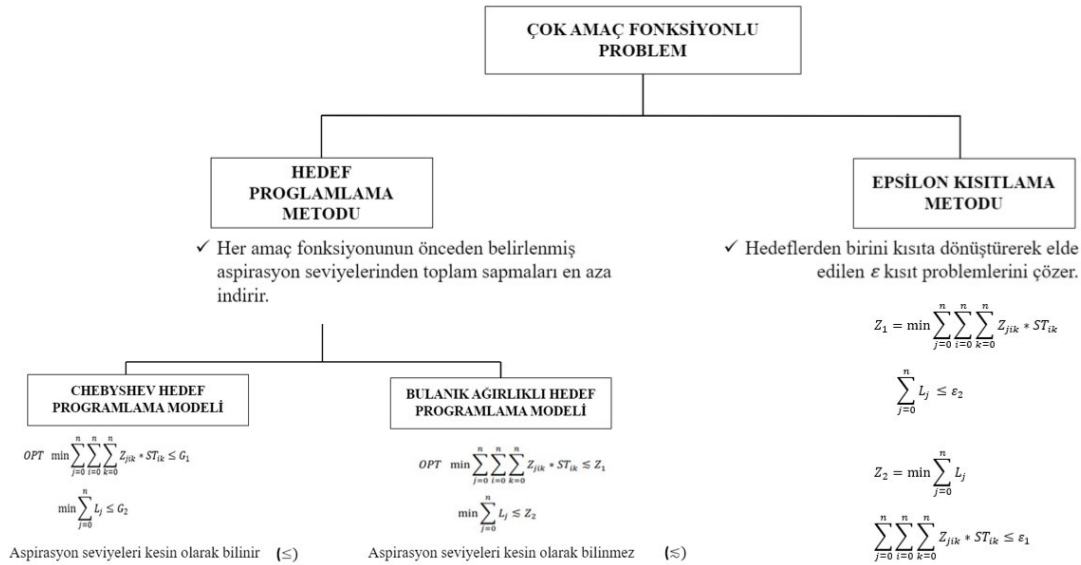
Şekil 3. Önerilen MIP Modeli için Benders Ayrıştırma Modeli

B. Çok Amaçlı Model

Çok amaçlı problem sıralama modeli montaj hattını dizilere bağlı kurulum süreleriyle modellemek için Şekil 4'te görülen Hedef Programlama yöntemleri ve Epsilon Kısıtlama yöntemleri olmak üzere iki farklı teknik kullanılmıştır.

Bu sorunu çözmek için, karar vericiler tarafından sağlanan aspirasyon seviyelerinin belirsizliğinden dolayı iki farklı hedef programlama yöntemi önerilmektedir. Aspirasyon seviyeleri kesin olarak bilinmediğinde, bunlar Bulanık Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemiyle çözümlenmektedir. Aspirasyon seviyelerinin bilinmemesinin en büyük sebeplerinden birisi yeni üretilecek olan modeller için yeterli verilerin elde bulunmamasıdır. Aspirasyon seviyeleri önceden bilindiğinde ise, Chebyshev Hedef Programlama yöntemini kullanılarak çözüm elde edilmiştir.

Bir diğer çok amaçlı problem çözme metodu olan ϵ -kısıt yöntemi, ϵ seviye karşılaştırmasını kullanarak kısıtlanmamış problemimizi kısıtlı probleme dönüştürmek için kullandığımız bir yöntemdir. Bu kısıtlar aşağıda belirtildiği gibidir.



Şekil 4. Çok Amaçlı Problem Metodolojisi

ϵ_1 = minimum kurulum süresi olan hedef 1 için elde edilebilecek maksimum değer

ϵ_2 = minimum gecikme olan hedef 2 için ulaşılabilen maksimum değer

C. Meta-Sezgisel Algoritmalar

Bu raporda, daha büyük örnekleri daha hızlı çözebilmesi sebebiyle tek amaçlı sorunu çözmek için Benzetilmiş Tavlama ve Tabu Arama olmak üzere iki etkili meta-sezgisel algoritma kullanılmıştır. Meta-sezgisel algoritmaların amacı, karmaşık optimizasyon problemlerine iyi veya optimale yakın çözümler bulmaktır. Tek çözüm tabanlı bir meta-sezgisel yöntemin en büyük dezavantajı, yerel bir minimumda veya yerel bir maksimumda sıkışıp kalmasıdır. Bir meta-sezgisel yöntemin verimli şekilde çalışabilmesi için iyi bir çözüm gösterimine ihtiyaç vardır. Bizim problemimiz için çözüm gösterimlerimiz “modellerin sırası” şeklinde belirlenmiştir. Oluşturulan rastgele çözümden yeni çözümler elde etmek için “swap” ve “insert” operatorleri kullanılmıştır. Aşağıda probleme uygulanan meta-sezgisel yöntemlerin yalancı kodları verilmiştir.

1) Benzetilmiş Tavlama

Bu algoritma genellikle arama uzayı ayrık olduğunda kullanılmaktadır ve belirli bir zaman çerçevesi içinde kesin bir yerel optimum yerine yaklaşık bir küresel optimum bulmanın önemini vurgulamaktadır.

Benzetilmiş Tavlama Algoritması

Optimize edilecek x_0 başlangıç dizisini rastgele oluşturun.

Parametreleri başlatın, başlangıç sıcaklığı $T = T_0$, maksimum yineleme sayıları (N_{max}), ve Boltzman sabitini K olarak belirleyin.

while sonlandırma kriteri karşılanmadığında

Taşıma operatörlerini kullanarak bir komşuluk çözümü ($x_0 + \Delta x$) oluşturun.

for her yeni çözümde

if $f(x_0 + \Delta x) \leq f(x_0)$

$f_{new} = f(x_0 + \Delta x)$

$x_0 = x_0 + \Delta x$

else

```

 $\Delta f = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$ 
Rastgele sayı üret  $r \in (0,1)$ 
if  $r < e^{-\Delta F/k*T}$ 
   $f_{new} = f(x_0 + \Delta x)$ 
   $x_0 = x_0 + \Delta x$ 
else
   $f_{new} = f(x_0 + \Delta x)$ 
   $x_0 = x_0$ 
end if
end if

```

Sıcaklığı periyodik olarak azaltın $T = K * T$

end for

end while

$x^* = x_0$ and $f^* = f_{new}$

Çıktı sonuçları

$T_0 = 1000$ ve $K = 0.85$ 20 yineleme için ve 10 kez çalıştırılır.

2) *Tabu Arama*

Tabu Arama, keşif ve kullanım arasında bir denge kurarak küresel optimumu bulmada etkili hale getirmektedir.

Tabu Arama Algoritması

Optimize edilecek x_0 başlangıç dizisini rastgele oluşturun.

$TabuList = \{ \}$ boş küme olarak belirleyin ve $MaxTabuSize$ değerine karar verin.

while sonlandırma kriterinin karşılanmaması

 Taşıma operatörlerini kullanarak bir komşuluk çözümü ($x_0 + \Delta x$) oluşturun.

for her yeni çözümde

if ($f(x_0 + \Delta x) \leq f(x_0)$ and $(x_0 + \Delta x) \notin TabuList$)

$f_{new} = f(x_0 + \Delta x)$

$x_0 = x_0 + \Delta x$

else

$f_{new} = f(x_0)$

$x_0 = x_0$

end if

 En iyi adayı zorlayarak $TabuList$ güncelleyin

if ($TabuListSize > MaxTabuSize$)

$TabuList$ 'ten ilk öğeyi kaldırın

end if

end for

end while

$x^* = x_0$ and $f^* = f_{new}$

Çıktı sonuçları

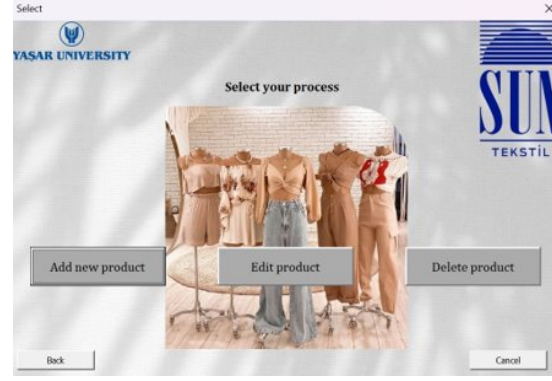
$MaxTabuSize$ küçük, orta ve büyük örnekler için sırasıyla 3 ve 5 olarak alınır.

D. Karar Destek Sistemi

Karar verme sürecinde kullanıcıya bilgi sunmak amacıyla kullanıcı dostu bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Şekil 5,6,7,8 ve 9'da görüldüğü üzere bir kullanıcı giriş sistemi bulunmaktadır. Kayıtlı kullanıcı, giriş yaptıktan sonra sistem üzerinden ürün girişi, düzenlemesi ve çıkarma gibi işlemler yaparak ürün listesi oluşturabilmektedir. CPLEX ve Microsoft Excel aracılığıyla optimizasyon yöntemlerini kullandığımız algoritma tarafından sağlanan çözümlere kullanıcı erişim sağlayabilmektedir. Bu çözüm kullanıcıya sisteme girilen ürünlerin minimum kurulum süresine göre sıralamasını vermektedir.



Şekil 5. KDS Giriş Ekranı



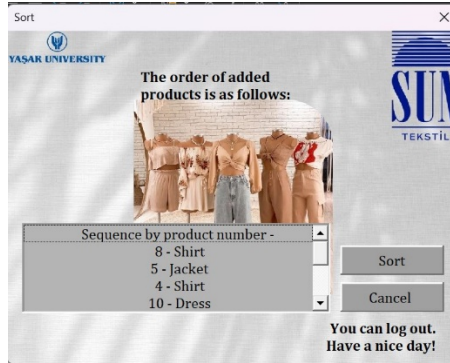
Şekil 6. KDS'de ürün işlem adımı

Number of Product	Model	Cycle Tim	Setup Tim	Processing Time	Due Dat	Due Date Differeni
1	Dress	12	120	15406	4.04.2023	0
2	Shorts	11	40	8323	24.03.2023	45
3	Trousers	31	180	41899	17.03.2023	52
4	Shirt	15	60	17964	31.03.2023	38
5	Jacket	25	90	12584	21.02.2023	76
6	Trousers	31	180	41899	26.03.2023	43
7	Shorts	11	40	8323	10.03.2023	59
8	Shirt	15	60	17964	13.03.2023	56
9	Jacket	25	90	12584	5.04.2023	33
10	Dress	12	122	15406	6.04.2023	32
11	Jacket	25	90	12584	21.05.2023	76
12	Shorts	11	40	8323	10.06.2023	59

Şekil 7. KDS'de Girdi Ekranı

Jobs/Seq	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sequence by product number
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 8. KDS'de Çıktı Ekranı



Şekil 9. KDS Ürün Sıralama Ekranı

IV. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'de İzmir'de bulunan bir konfeksiyon üreticisinde, dikiş hattının verimliliğini artırmak ve müşteri taleplerini zamanında karşılamak için hem toplam hazırlık sürelerini hem de toplam gecikmeleri en aza indirmeye odaklanmaktadır. Bu raporda, üretilen ürün çeşidinin çeşitliliğinden kaynaklanan zaman kayıplarını önlemek için analiz yöntemi olarak geliştirilecek matematiksel model tanıtılmakta ve açıklanmaktadır. Fabrikayı birkaç kez ziyaret edip, bölgeyi ve sorunun belirtilerini yerinde gözlemledikten sonra sorun tespit edilmiş ve gerekli veriler toplanmıştır. Problem formülasyonu ve çözüm yaklaşımı geniş bir literatür taraması ile belirlenmiştir. Belirlenen matematiksel model tamamlanmış, termin tarihi ve model tipine göre belirlenen kurulum sürelerine ulaşmak için model formülasyonunun geçerliliği IBM ILOG CPLEX ile çözümlenerek kontrol edilmiştir.

Tek amaçlı problem için iki kesin ve iki meta-sezgisel teknik ve çok amaçlı problem için üç kesin teknik kullanılmıştır. Bunlar Dal-Sınır Yöntemi, Benders Ayrıştırma Algoritması, Benzetilmiş Tavla, Tabu Arama, Chebyshev Hedef Programlama, Bulanık Ağırlıklı Hedef Programlama ve Epsilon Kısıtlama Yöntemidir. Kesin tekniklerin karşılaştırılması sonucunda, Ağırlıklı Bulanık Hedef Programlama Modeli'nin çeşitli tutarlı çözümleri yakalaması nedeniyle diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Buluşsal yöntemler için Tabu Arama yönteminin en iyi sonuçlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu çalışma için ek olarak bir Karar Destek Sistemi oluşturulmuş ve mevcut sistemle karşılaştırılmıştır. Bu Karar Destek Sistemi sayesinde, kullanıcı firma ürün sıralamalarını kolaylıkla ve kısa zamanda planlayabilecektir.

REFERANSLAR

- [1] Abdel-Basset, M., Abdel-Fatah, L., & Sangaiah, A. K. (2018). *Metaheuristic algorithms: A comprehensive review. In Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications* (pp. 185-231). Springer.
- [2] Anglani A, Grieco A, Guerriero E, Musmanno R. Robust scheduling of parallel machines with sequence-dependent set-up costs. *European Journal of Operational Research* 2005;161:704–20
- [3] Charnes A, Cooper WW. *Management models and industrial applications of linear programming*. New York: Wiley; 1961.
- [4] D.Karaboga, D.Pham. *Intelligent Optimisation Techniques: Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing, and Neural Networks*. Springer Verlag, 2000.
- [5] Glover, F., McMillan, C., “The general employee scheduling problem: an integration of MS and AI”, *Computers & Operations Research*, Vol. 13, No. 5, (1986), pp. 563-573.
- [6] Infanger, G. (1992). *Monte Carlo (importance) sampling within a Benders decomposition algorithm for stochastic linear programs*. *Annals of Operations Research*, 39(1), 69-95.
- [7] Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical goal programming*. Springer, LLC. (2010)
- [8] Karakutuk, S. S., & Ornek, M. A. (2022). *A goal programming approach to lean production system implementation*. *Journal of the Operational Research Society*, 1-14.
- [9] Kirkpatrick, S., Gelatto, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). *Optimization by simulated annealing*. *Science*, 220, 671–680.
- [10] Lockett, A. G., & Muhlemann, A. P. (1972). *A scheduling problem involving sequence dependent changeover times*. *Operations Research*, 20(4), 895-902.
- [11] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). *Equation of state calculations by fast computing machines*. *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.
- [12] Rivaz, S., Nasser, S. H., & Ziaseraji, M.: A fuzzy goal programming approach to multiobjective transportation problems. *Fuzzy Information and Engineering*, 12(2), 139-149 (2020)
- [13] Tan, K. C., Narasimhan, R., Rubin, P. A., & Ragatz, G. L. (2000). *A comparison of four methods for minimizing total tardiness on a single processor with sequence dependent setup times*. *Omega*, 28(3), 313-326.



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIM ÖZETİ

Manisa Valf A.Ş.'de Soğutucu Küresel Valf Üretim Sürecinde Değer Katmayan Faaliyetleri En Aza İndirme

Ahmet Enes ŞİMŞEK, Ege ILIK, Umut Berke KOÇ, Süleyman Efe ŞINIK

Akademik Danışmanlar
Dr. Önder BULUT
Gamze Esmâ BEKTAŞ

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

Yalın üretim, atığı azaltmak ve müşteri taleplerini karşılayan ürünler üretmek için çeşitli araçları kullanır [1]. Müşteri taleplerine göre değeri akış haline getirerek atığı ortadan kaldırmayı hedefler (JIT). Yalın üretimin yedi atık alt kategorisi vardır: taşıma, envanter, hareket, bekleme, aşırı işleme, aşırı üretim ve hatalar. Bu prosedürler müşteriler tarafından istenmez ve maliyetler, performans ve kalite üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.

Değer Akışı Haritalama [2], [3], değer eklemeyen faaliyetleri belirlemek için en faydalı tekniklerden biridir. Değer akışı, bir ürünün başlangıç noktasından müşteri teslimatının olduğu noktaya kadar olan süreçleri ifade eder. Değer akışında, ürünün her aşamasında değer artmalıdır, ancak genellikle böyle olmaz. DAH, değer katan ve değer eklemeyen (israf) faaliyetler arasındaki farkı daha kolay ayırt etmeyi sağlar.

Değer yaratma sürecinde yer alan prosedürler ve eylemlerin kapsamlı bir listesi, değer akış haritası adı verilen bir araçta bulunabilir. Bu harita, standartlaştırılmış terimler, semboller ve iyileştirme tekniklerini kullanarak, iç iletişim için ve daha geniş bir toplulukla planları ve sonuçları paylaşmak için bir iletişim aracı olarak kullanılabilir.

Değer akışı haritalama, atık miktarını azaltmak, işleyişi kolaylaştırmak ve süreç verimliliğini artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Amacı, atık nedenlerini bulmak ve ortadan kaldırmak için gelecekteki bir değer akışını oluşturmaktır. Hedef, müşterilerin ihtiyaç duyduğu şeyleri tam zamanında üretebilen ve sürekli akış veya çekme prensiplerine dayalı bir üretim zinciri kurmaktır. Mevcut durumu değerlendirdikten sonra, süreci gereksiz görevlerden kurtarmak ve iyileştirmek için ince üretim araçları kullanılabilir, örneğin süpermarket rafları, Kanban kartları, kaizen teknikleri ve tek parça akışı.

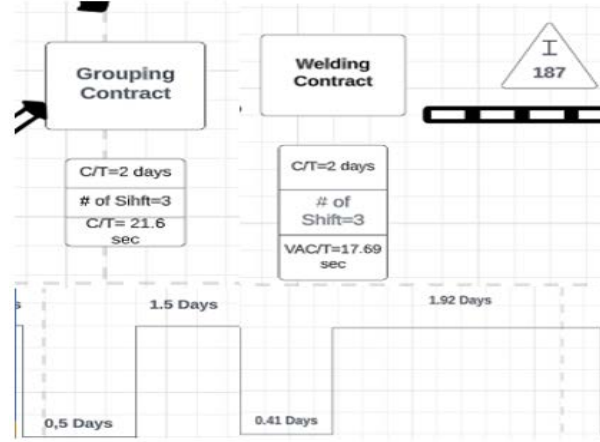
ARENA Yazılım programıyla bir simülasyon oluşturarak değer katmayan faaliyetleri belirledik ve onları ortadan kaldırmak için adımlar attık. Ayrıca, DAH ve diğer modelleme araçlarını birleştirerek nasıl kullanabileceğimizi araştırdık. Son olarak, VALF A.Ş. tarafından üretilen soğutucu küresel valflerin üretim hattını anlamak için bir DAH simülasyonu oluşturduk.

VALF A.Ş., 415 kişilik bir işgücüne sahiptir. Bu çalışanlar arasında 300 mavi yakalı işçi ve 120 beyaz yakalı çalışan bulunmaktadır. Şirket, gece gündüz çalışan üç vardiya düzenlemektedir. Fabrika, 25.100 m² alana sahiptir ve 28 milyon vanayı üretmektedir. Ayrıca, yaklaşık 5.000 farklı tipte su ve gaz armatürü de üretilmektedir. VALF A.Ş., 55.000 metrekairelik iki ayrı tesise sahiptir [4].

II. PROBLEM TANIMI

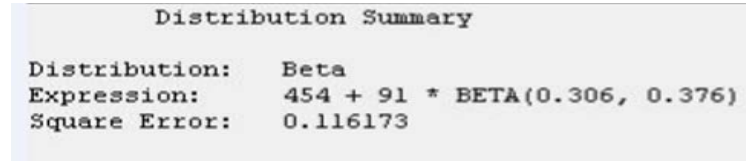
Bu proje, Manisa Valf A.Ş.'nin soğutucu küresel valflerinin yalın üretim odaklı bir şekilde üretimini kapsamaktadır. Fabrikanın önceden değer ekleyen ve eklemeyen faaliyetleri ayırt edememesi büyük bir sorundur. Hedefimiz, değer eklemeyen operasyonları azaltarak üretimi optimize etmek ve müşteri teslimatlarını zamanında gerçekleştirmektir. Yarı mamullerin işlenmesi için uzun süreler gerekmektedir ve yüklenicilerin diğer talepler nedeniyle teslimatları geciktirme yeteneği vardır. Teslim süresi 7,5 gün olarak belirlenmiştir ve gerçekleşme yüzdesi yaklaşık %65'tir. Fabrika, üretimi hızlandırarak müşterilere planlandığı gibi teslimat yapmayı ve karımı artırmayı hedeflemektedir. Değer akış haritası ve simülasyon modeli kullanılarak mevcut süreçler analiz edilmekte ve iyileştirmeler planlanmaktadır. Ayrıca, ceza maliyetlerini azaltmayı hedefliyoruz.

Siparişleri iki farklı sözleşme şirketine eşit olarak bölme politikası kullanılabilir. İkinci fason şirketinde üretimin artan birim maliyeti gibi ek maliyet parametreleri göz önünde bulundurulabilir. Siparişlerin iki gruba bölüneceği eşik seviyesi kontrol parametresi olarak kullanılır. Üretim maliyeti artışıyla gecikme ceza maliyeti azalması arasında bir tercih yapılabilir. İşçi atamaları için farklı senaryolar incelenebilir, örneğin ikinci kaynak makinesinin devreye alınması ve işçi sayılarının farklı kombinasyonlarıyla işçi atamaları yapılabilir. Mevcut sistem ayarı, tüm siparişlerin tek bir fason şirketine gönderildiği özgün fabrika politikasının bir özel durumudur.



Şekil 1. Gruplama ve Kaynak İşlemleri için NVA ve VA Zamanları

Performansı değerlendirmek amacıyla bir simülasyon modeli geliştirdik. Bu model için Arena uygulama araçlarını kullanarak, VALF A.Ş'den soğutucu küresel valf siparişlerinin parti boyutlarıyla ilgili verileri Excel dosyası olarak aldık. Ardından, Arena Simulasyon Programında Input Analyzer modülünü kullanarak siparişlerin grup boyutunun dağılımını belirledik ve Şekil 4'te sunulan dağılımı elde ettik. Bu verileri simülasyon modelimizde kullanacağız.



Şekil 2. ARENA Input Analyzer Grup Boyut Dağılımı

Bu ARENA modelinde birçok modül kullanarak senaryoları ve politikaları çalıştırmak için tek bir model geliştirdik. WIP unsurlarını birleştirme ve bölme üzerine çalışmalar yaptık. Çalışma saatlerine göre çay molası ve yemek molası gibi çalışma takvimi oluşturduk. VALF A.Ş., 3 vardiya, fason şirketler ise 2 vardiya çalışma yetkisine sahiptir. Transfer politikası için, sadece sekizden dörde kadar olan saatlerde taşıma izinleri düzenledik. Pazar günleri hem fabrika hem de fason fabrikalar için tatil olarak belirlendi. Arıza takvimi için fabrikadan alınan verileri kullandık. Hammadde ve nihai ürün olan soğutucu küresel valflere kadar olan iç durum bilgilerine erişim için varlık türlerini tanımladık.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Projemiz için alternatif bir fason şirketi bulundu. Bu şirket, gruplama ve kaynak işlemlerini aynı kalite ve yakınlıkta gerçekleştirebileceği için seçenek olarak değerlendirilebilir. Ancak, bu şirketle çalışmanın ek bir maliyeti olduğu belirlendi. Detaylı araştırmalar yapıldıktan sonra bu maliyetlerin ortaya çıktığı tespit edildi.

Fabrikada ikinci bir kaynak makinesi bulunmasına rağmen kullanılmamaktadır. Bu makinenin kullanılmamasının nedeni, kullanacak yeterli işçi olmaması ve kaynak sürecinin zaten yavaş olması nedeniyle ikinci bir makineye ihtiyaç duyulmamasıdır.

Simülasyon modeli kullanılarak yapılan gözlemler sonucunda paketleme sürecinde fazla sayıda işçinin olduğu tespit edildi. Bu sorunu çözmek için ikinci bir kaynak makinesi devreye alındı ve farklı çözüm senaryoları denenerek yaklaşık 10 senaryo ele alındı. Bu senaryolar arasında en iyi dört senaryo seçildi. İşçi atamaları, kaynak işlemleri ve paketleme işlemleri arasında x, y ve z şeklinde gösterilmiştir.

x: Kaynak İşlemi 1

y: Kaynak İşlemi 2

z: Paketleme İşlemi

Politikamız ve senaryolarımız;

- Politika: İki Fason Şirkette Çalışmak (Politika)
- 2. Kaynak Makinesi devreye alındı ve işçi ataması 4-4-6 olarak yeniden tasarlandı (Senaryo 1)
- 2. Kaynak Makinesi devreye alındı ve işçi ataması 2-3-9 olarak yeniden tasarlandı (Senaryo 2)
- 2. Kaynak Makinesi devreye alındı ve işçi ataması 3-3-8 olarak yeniden tasarlandı (Senaryo 3)
- 2. Kaynak Makinesi devreye alındı ve işçi ataması 3-5-6 olarak yeniden tasarlandı (Senaryo 4)

Simülasyon modelinde ceza maliyeti (cm), gruplama fason maliyeti (gfm) ve kaynak fason maliyeti (kfm) olarak adlandırılan özellikler belirlendi. Arena'da Statistics modülü kullanılarak toplam politika maliyeti (gfm+kfm), toplam ceza maliyeti (sipariş başına ceza maliyeti x teslim tarihlerine uymayan siparişlerin sayısı x sipariş teslim süresi ortalaması) ve toplam maliyet hesaplandı. Ortalama gecikme süresi, Record modülü tarafından siparişin müşteriye teslim edilmesi arasındaki süre olarak hesaplandı. Eğer bu süre 7,5 günden fazlaysa, program son teslimattan bu yana geçen süreyi ölçer.

IV. SONUÇ

Tahmini teslim tarihleri içindeki teslimatların yüzdesini artırırken maliyeti mümkün olduğunca az artıran bir eşik değeri (k) bulmayı amaçladığımızdan yarıya bölmek için ayrılan toplu sipariş miktarı arasındaki ilişkiyi inceledik. Belli bir eşik seviyesinden sonra, tahmini teslim tarihleri içindeki teslimat yüzdesi sabit kalır. Bu grafik (Şekil 3), satış verilerinden öğrendiğimize göre toplu sipariş miktarlarının 460 ile 560 arasında olduğu için ortaya çıkar.

İlk olarak, en iyi senaryoyu bulmak için tüm politika ve senaryoları gözlemledik. Toplam maliyet ile teslimatların zamanında gerçekleşme yüzdesi arasındaki ilişkiyi inceledik. Bu grafikte, turuncu çizgi yüzde değerlerini, mavi çubuklar ise $k = 500$ için toplam maliyetleri temsil etmektedir (sonuç diğer k değerleri için değişmemektedir). Şekil 4'deki grafiğe göre, 1. senaryo (4-4-6) en iyi senaryo haline gelmiştir çünkü en yüksek teslimatların zamanında gerçekleşme yüzdesine sahip olup, 83.87% ve 5840.01 TL gibi en düşük maliyeti temsil etmektedir.



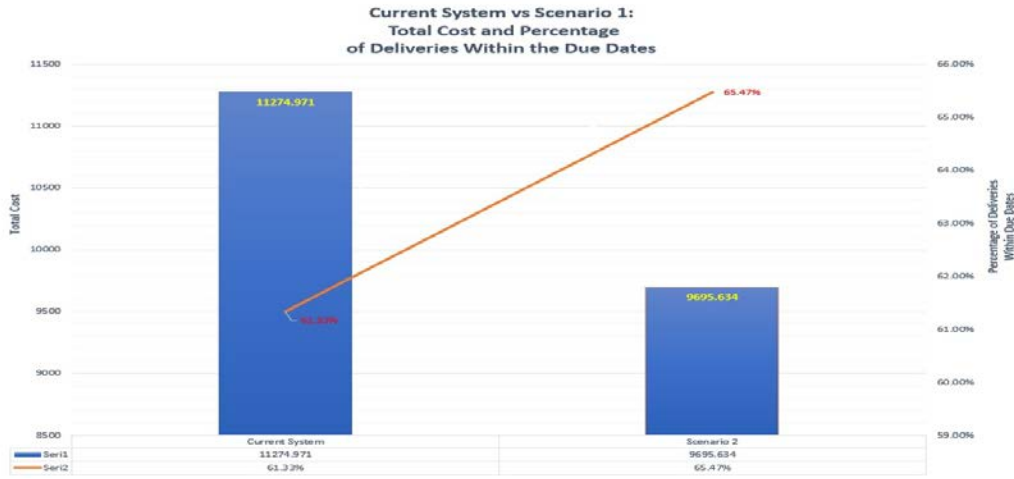
Şekil 3. Senaryoların Karşılaştırılması

Bu grafiği (Şekil 3) Arena Process Analyzer'da oluşturduk ve bu çözümümüzü kanıtlar durumunda. En iyi senaryo kırmızı bir çizgi olarak görülebilir. X-eksenindeki isimler, bilgisayarlarımızdaki Arena dosya adlarını temsil eder. Çünkü, bu raporda tüm dosya adlarını politikalar veya senaryolar olarak belirledik.

En iyi senaryoyu (kaynak ve paketleme işlemleri arasındaki 4-4-6 işçi atamasını temsil eden Senaryo 2) bulduktan sonra, vade tarihleri içindeki teslimatların toplam maliyeti ile yüzdeleri arasındaki ilişkiyi görmek için mevcut (orijinal) sistemle karşılaştırdık.

Bu tablo, Senaryo 2 ve mevcut durumun senaryolarıyla ilgili bilgileri içeren Arena Process Analyzer sonuçlarını göstermektedir. Replikasyon sayısı, K-değerleri, toplam maliyet, ortalama sistem süreleri ve benzeri bilgileri içerir. Mevcut ve Senaryo 2 sistemlerinde aynı ceza maliyeti ve aynı K-değerleriyle bu tabloyu analiz ettiğimizde, toplam maliyet ile teslimatların vadesinde gerçekleşme yüzdesi arasındaki ilişkiyi görebiliriz.

Güncel sistem ile Senaryo 1'i karşılaştırdığımızda hangi sistem daha iyi diye belirlemek için her iki sistem için de ceza maliyetini 20 ve eşik değerini (k-değeri) 560 olarak kullandık ve sonuçları daha iyi görebilmek için bir grafik oluşturduk. Şekil 4'de görüldüğü üzere toplam maliyet yaklaşık olarak 1127'den 970'e düşerken, teslimatların vadesi içinde gerçekleşme yüzdesi ise %61'den %65'e yükseldi.

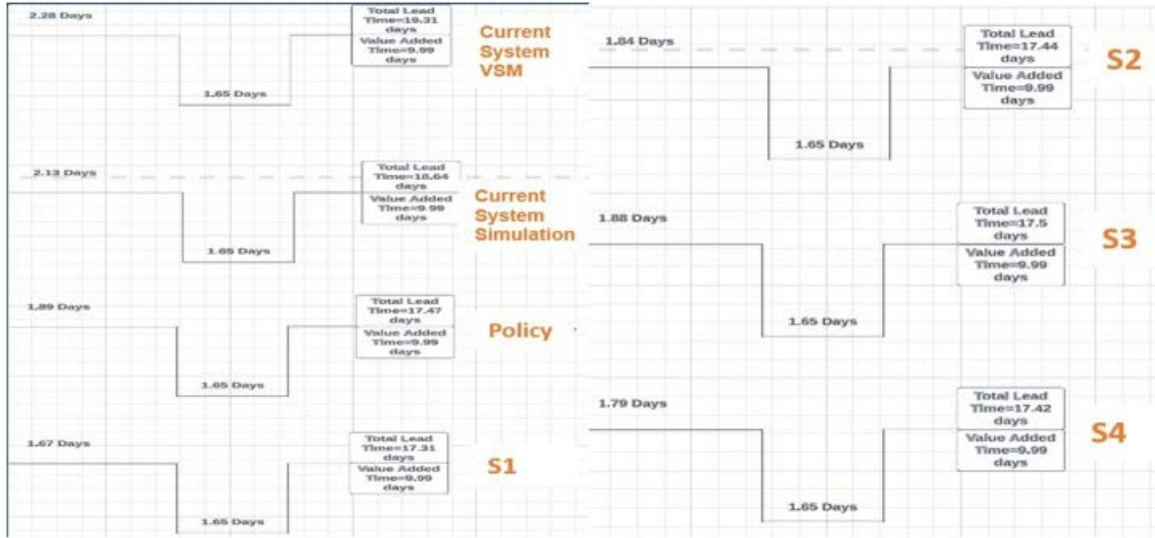


Şekil 4. Mevcut Sistem ve Senaryo 1'in Karşılaştırılması

Şirket, iki farklı senaryoyu karşılaştırmaktadır: Senaryo 1, en düşük maliyet ve teslim süresi ile çalışırken, Senaryo 2, en yüksek teslimat hızı ve maliyeti hedeflemektedir. Senaryo 2, sipariş başına ceza maliyeti arttıkça daha avantajlı hale gelir. Şirket, iş birliği yapılan ikinci bir fason şirketle gruplama ve kaynak işlemlerini daha verimli hale getirerek ceza maliyetini azaltmayı amaçlamaktadır.

Grafiklerde, toplam maliyetler arasında küçük bir fark olduğu görülmektedir, ancak teslimatların zamanında gerçekleşme yüzdesinde büyük bir fark vardır. Senaryo 2, sipariş başına ceza maliyeti arttıkça daha avantajlı hale gelmektedir. Şirket, Microsoft Excel ve Python kullanarak iki farklı karar destek sistemi geliştirmiştir. Raporda, bu karar destek sistemlerine odaklanılmaktadır.

Şekil 5'de gösterilen zaman çizgileri, Mevcut sistemdeki verileri değer akış haritalamasına adapte ettiğimizde, değer yaratmayan ve yaratan zamanları gösterir. Mevcut sistemdeki verileri simülasyon programına geçirdiğimizde de aynı şekilde değer yaratmayan ve yaratan zamanları göstermektedir. Şekle baktığımızda politika ve uyguladığımız senaryolar için değer yaratmayan ve değer yaratan zamanlar zaman çizelgelerinde görülür. Mevcut sistem için NVA (değer yaratmayan zaman) başlangıçta 18,64 gün olarak başladı ve Senaryo 1'de %7,14 iyileşmeyle 17,31 güne düştü.



Şekil 5. Mevcut Sistem ve Çeşitli Senaryolar için Zaman Çizelgesi

Sonuç olarak, daha iyi anlamak ve değer katmayan süreleri bulmak ve hesaplamak için hammaddenin girişinden nihai ürünlerin müşterilere teslimine kadar soğutucu küresel vaflerin tüm akışını görmek için bir mevcut durum değer akışı haritalaması oluşturduk. Daha sonra bu mevcut sistemi Arena programı ile simülasyona çevirdik. Uzun dönem simülasyon modelindeki gözlemimizden sonra, gruplama ve kaynak işlemleri gibi konu süreçlerini tahsis ettik ve kullanılmayan kaynak makinesini kullanmaya ve mümkün olduğunca kaynak ile paketleme işlemleri arasında işçi ataması yapmaya karar verdik. Bir politika (iki sözleşmeli şirketle çalışarak eşik değere bağlı olarak parti büyüklüklerini ikiye ayırıyoruz) ve dört farklı senaryo geliştirdik. Hipotez testi ve Arena Input Analyzer gibi bazı modülleri kullanarak projenin kalitesini artırmak için modelimizi ve verilerimizi doğruladık. Sonra tüm bu senaryoları, politikayı ve mevcut sistemi 460'tan 560'a kadar farklı eşik değerleri için kendi aralarında karşılaştırarak oluşturduğumuz en iyi senaryonun hangisi olduğunu bulduk ve en iyi senaryo 4-4-6 işçi atamasını temsil eden Senaryo 1'dir. Daha sonra mevcut sistem ve en iyi senaryonun toplam maliyetleri ve eşik değerinin optimal olan 460 olduğu vadelerdeki teslimat yüzdeleri arasında karşılaştırma yaptık. Toplam maliyet 11274'ten 9695'e düşerken, teslimat oranı %61 artarak %65'e çıktı. Oluşturduğumuz Senaryo 1, neredeyse her zaman mevcut sistemden daha optimaldir. Ancak ceza maliyeti çok küçük hale geldiğinde senaryomuz halen mevcut olandan daha optimal durumdadır çünkü, fabrikada halihazırda bulunan kullanılmayan kaynak makinesini devreye soktuk ve bu da sipariş başına toplam geçen sürenin (geç kalma yüzdesinin) azalmasına neden olmaktadır.

Mevcut sistemlerimizi, politikalarımızı ve senaryolarımızı tespit ettik. Dört sipariş için ortalama sistem sürelerini bulduk ve uzun vadeli simülasyonda toplam NVA (değer yaratmayan faaliyet) sürelerini, toplam VA (değer yaratan faaliyet) sürelerini belirledik. Ayrıca, uyguladığımız politika ve senaryoların zaman çizelgelerinde katma değeri olmayan ve katma değerli zamanlar görülmektedir. Mevcut sistem için başlangıçta 18,64 gün olan NVA süresi, Senaryo 1'de yüzde 7,14 oranında iyileşerek 17,31 güne geriledi.

1. senaryomuz (4-4-6 işçi ataması), sipariş başına ceza maliyeti arttığında daha kullanışlı ve anlamlı hale geldi. Ancak, tam maliyet değerlerini bilmediğimiz için, tüm farklı k değerleri ve maliyetler (alternatif sözleşmeli şirketlerin maliyeti ve ceza maliyeti) için tüm senaryoları karşılaştıramayız. Bu nedenle, tüm arena dosyaları için (mevcut sistem, 1 politika ve 4 farklı senaryo) toplam maliyetleri, terminlerdeki teslimatların yüzdesini, ortalama sistem süresini vb. hesaplamak için Microsoft Excel üzerinden bir karar destek sistemi hazırladık.

REFERANSLAR

- [1] Triumph of the lean production system krafçik, John F. Sloan Management ... (n.d.). Retrieved December 20, 2022, from https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5373958/mod_resource/content/4/krafçik_TEXTO_INTEGRAL.pdf
- [2] Lean thinking-banish waste and create wealth in your corporation. Taylor & Francis. (n.d.). Retrieved December 20, 2022, from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2600967?journalCode=tjor20>
- [3] A literature review of Lean Manufacturing - Taylor & Francis. (n.d.). Retrieved December 14, 2022, from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17509653.2013.825074>
- [4] Valf Sanayii A.Ş. (n.d.). Retrieved November 26, 2022, from <https://www.valf.com.tr/tr/>
- [5] Modelling and simulation of discrete manufacturing industry
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785318325987>
- [6] Production efficiency improvement in batch production system using value stream mapping and simulation: a case study of the roasted and ground coffee industry
https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2012.702866?casa_token=GkM5YpLuztEAAAAA%3AvdmMVnlhpiUNoMfgC2tFepu-OKbPqonQyxvUoqkBKEoQ6vg9wdII5EVG27yGNxl0MZtR5ThvrEs
- [7] Production planning for semiconductor manufacturing via simulation optimization
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6148055>
- [8] A simulation-enhanced value stream mapping approach for optimisation of complex production environments
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2014.917770>
- [9] Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. (n.d.). Taylor & Francis.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675560210148696>
- [10] A value stream mapping and simulation hybrid approach ... - springer. (n.d.). Retrieved November 27, 2022, from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00170-015-7805-8.pdf>



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Evka 3-Kaymakamlık Metro Hattının Simülasyonu ve Varış Zamanlarının Değerlendirilmesi

Gökçe LOĞOĞLU, Feyza ÇOLMABEY, Gökcem Mısra ŞENOCAK, Kutay TOSUN

Akademik Danışmanlar

Dr. Erdiñ ÖNER
Nazlı Karataş AYGÜN

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

İzmir Metro 2000 yılından itibaren şehrin önemli ulaşım araçlarından biri haline gelmiştir. İlk olarak 1989 yılında çalışmalarına başlanan raylı ulaşım hattı, ilk etapta 10 istasyon ile işleme açılmıştır. 26 Temmuz 2014 günü metronun son iki durağı olan Fahrettin Altay ve Poligon duraklarının da eklenmesi ile sistem Evka3-Fahrettin Altay arasında 20 kilometrelik son haline ulaşmıştır ve 17 istasyon ile hizmetine devam etmektedir.

2022 yılı verilerine göre İzmir Metro günlük ortalama olarak 350.000 yolcu taşımaktadır. Peron uzunlukları 125 metredir ve her trende 5 vagon bulunmaktadır. Trenlerin kapasitesi 1080 yolcudur ve gün içinde çoğunluk olarak 3 dakika sefer sıklığı kullanılmaktadır.

İzmir Büyükşehir Belediyesinin 2015 yılındaki projesi kapsamında 'İzmirim Kart' adı verilen akıllı kartlar ile yolcular metroyu ve İzmir'deki bütün toplu taşıma araçlarını kullanabilmektedir. Bu projede, ulaşım sisteminin planlanmasına katkı sağlamak amacıyla İzmir Metro şirketi tarafından sağlanan İzmirim Kart verileri de kullanılmıştır.

İzmir Metro şirketinin amacı yolcularına daha rahat, ekonomik ve güvenli bir ulaşım hizmeti sağlamaktır. Bu amaç kapsamında 2023 yılının üçüncü çeyreğinde metro hattına 7 yeni durak daha eklenecektir. Metro hattının batı yönünde Balçova, Çağdaş, Dokuz Eylül Üniversitesi Hastane, Güzel Sanatlar Fakültesi (GSF), Narlıdere, Siteler ve Kaymakamlık istasyonlarının eklenmesiyle hat toplamda 24 istasyona ulaşacaktır. Yeni istasyonların eklenmesiyle hat toplamda 27,2 km uzunluğa ulaşacaktır [1].

Bu çalışma öncelikli olarak mevcut metro hatlarına odaklanmıştır. Mevcut metro hatlarının analizi ve simülasyonu yapıp performans ölçütleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı mevcut metro hattı üzerindeki gözlemlerden yararlanarak, yeni açılacak metro hatlarının sefer planını oluşturmaktır.

II. PROBLEM TANIMI

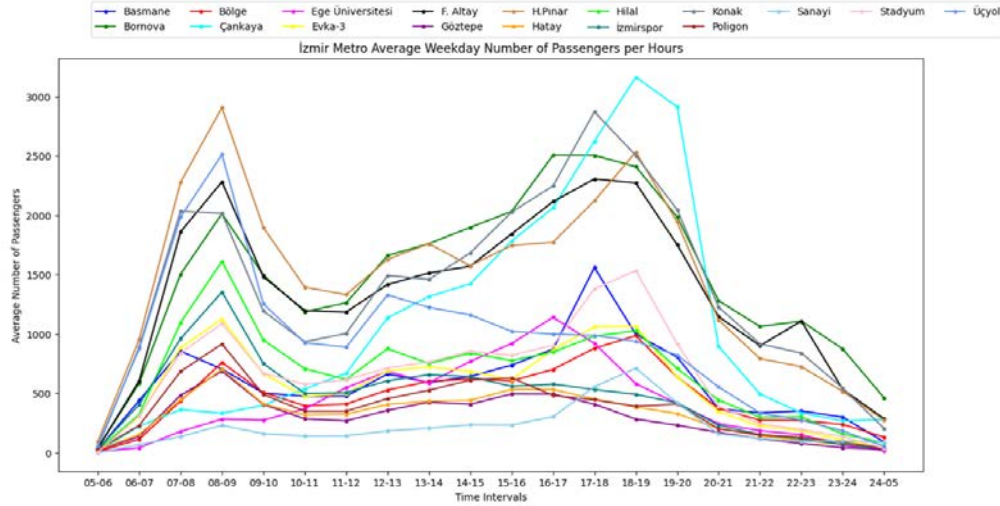
Metropollerde nüfusun geçtiğimiz yıllarda hızlı bir şekilde yükselmesinin sonucu olarak toplu taşımanın önemi bu şehirler için artmıştır. Kurulduğu yıldan itibaren gelişime ve büyümeye ara vermeyen İzmir Metro, artan yoğun talebi karşılamak amacıyla istasyon sayısını 24'e çıkararak şehrin batı ve doğu uçlarında kesintisiz raylı ulaşımı sağlayacaktır. Yeni istasyonlar açılmadan önce sistemin daha iyi bir planlamasını yapmak için bazı eksiklikler tespit edilmiştir. Öncelikle İzmirim Kart sadece metroya girişte kullanıldığı, çıkış turnikelerinde, çıkış yapan yolcuların sayısını tespit etmek için herhangi bir sayaç bulunmaması sebebiyle hiçbir istasyonda inen yolcu verisi bulunmamaktadır. Çıkışlarda kart okutma sisteminin ya da sayacın olmaması sebebiyle herhangi bir duraktan binen bir yolcunun hangi duraktan indiği takip edilememektedir. Bununla birlikte, inen yolcuların yarattığı yoğunluk da ölçülememektedir. Yeni duraklar henüz kullanıma açılmadığı için yeni duraklardan binecek yolcu sayısına dair bir bilgi veya çalışma bulunmamaktadır. Son olarak yeni açılan metro hattının sefer planı yapılmamıştır.

III. VERİ ANALİZİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

İzmir Metro A.Ş. tarafından sağlanan ham veri seti üzerinden 4 adımdan oluşan veri analizi çalışması yapıldı. Veri seti, 2022 yılının 17 istasyondaki 05:00-24:00 saatleri arasındaki her gün için binen yolcu sayılarını içermektedir. Veri setini kullanmadan önce sayılardaki olağandışı sapmayı engelleyip daha sağlıklı bir analiz yapabilmek için özel günler ve resmi tatiller veri setinden çıkarıldı. Sonucunda elde edilen veri seti Tablo 1 'de örnek olarak gösterilmiştir.

TABLE I.
2022 YILI 17 İSTASYONLUK 20 ZAMAN DİLİMİ İÇİN TOPLAM BİKEN YOLCU VERİ SETİ

TARİH	İSTASYON	05:00-06:00	06:00-07:00	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00
01.02.2022	Basmale İstasyonu	27	459	814	709	526	458	500	583	593	678	693	848	1680	1020	868	282	253
01.02.2022	Bornova İstasyonu	23	541	1461	2075	1501	1171	1422	1830	1807	2050	2041	2286	2334	2464	1662	971	803
01.02.2022	Bölge İstasyonu	8	96	395	729	466	385	415	528	689	505	528	534	803	952	533	264	220
01.02.2022	Çankaya İstasyonu	5	223	355	343	361	650	684	980	1147	1389	1764	1866	2866	3817	3121	591	401
01.02.2022	Ege Üniversitesi	10	43	83	143	370	469	970	559	839	1266	978	1080	760	552	295	195	150
01.02.2022	Evka3 İstasyonu	11	310	748	1135	647	477	472	663	645	551	550	552	823	1046	534	221	167



Şekil 1: 2022 Yılı 17 istasyonluk 20 zaman dilimi için ortalama binen yolcu sayısı ve istasyon yoğunlukları

Her istasyon için hafta içi yıllık ortalama yolcu sayısı bilgisi ve sayılardaki artışlara göre yoğun saatler olarak Şekil 1’de gösterilmektedir. Simülasyon modelinde ve diğer analizlerde kullanılmak üzere Şekil 1 benzeri bir çalışma üç gün tipi için ayrı olarak yapıldı: hafta içi, Cumartesi ve Pazar. Bütün istasyonların ortalama yoğun saatleri sabah 07:00-10:00 ve akşam 16:00-20:00 olarak belirlendi. Simülasyon modelinde günün yoğun saatleri kullanılarak model sonuçları elde edildi.



Şekil 2: Yeni açılacak 7 istasyonun harita üzerindeki konumu ve çevre mahallelerin bilgileri

Şekil 2’de görüldüğü gibi yeni açılacak olan 7 istasyonun binen yolcu tahmini için öncelikle istasyon konum bilgilerinden çevrelerindeki mahallelerin belirlenmesi ile başlandı. Daha sonra, her yeni istasyonun çevresindeki mahalleler istasyonlara konumlarına göre dağıtıldı ve bu mahallelerin nüfus bilgileri toplandı. Aynı işlem şu anki 17 istasyonluk sistem için de uygulandı.

17 istasyondan elde ettiğimiz nüfus/saatlik kullanım oranı doğrultusunda, yeni açılacak olan 7 istasyonu kullanacak yolcu sayısı saatlik olarak tahminlendi. Bu tahmin yapılırken oluşabilecek yüksek sapmaların önlenmesi için aktarma istasyonları için hesaplanan oranlar kullanılmadı [2].

TABLE II.
SAATLİK, GÜNLÜK VE AYLIK ÇARPAN HESAPLAMASI

Saatlik Çarpın	Saatlik Toplam Yolcu Sayısı / Toplam Yıllık Yolcu Sayısı
Günlük Çarpın	Günlük Toplam Yolcu Sayısı / Toplam Yıllık Yolcu Sayısı
Aylık Çarpın	Aylık Toplam Yolcu Sayısı / Toplam Yıllık Yolcu Sayısı

Saatlik, aylık ve günlük çarpanlar, karşılık gelen toplam yolcu sayısının yıllık toplam yolcu sayısına bölünmesiyle bulundu. Çarpanların gelecek yılların yolcu sayılarıyla çarpıldıkları durumda, karşılık gelen toplam yolcu bilgilerini günlük, saatlik ve aylık yolcu cinsinden her istasyon için tahmin eder. Tahminlerin formülleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

TABLE III.
İNEN YOLCULAR İÇİN KALKIŞ-VARIŞ (OD) MATRİSİ

	Evka-3	Ege Üni.	Bornova	Bölge	Sanayi	Stadyum	Halkapınar	Hilal	Basmane	Çankaya	Konak
Evka-3	0,0%	3,1%	10,8%	3,5%	1,6%	4,8%	10,7%	4,9%	4,3%	7,8%	10,3%
Ege Üni.	4,1%	0,0%	10,7%	3,4%	1,6%	4,7%	10,6%	4,9%	4,3%	7,7%	10,2%
Bornova	4,4%	3,3%	0,0%	3,7%	1,7%	5,1%	11,5%	5,3%	4,6%	8,3%	11,1%
Bölge	4,1%	3,0%	10,8%	0,0%	1,6%	4,7%	10,7%	4,9%	4,3%	7,7%	10,2%
Sanayi	4,0%	3,0%	10,6%	3,4%	0,0%	4,6%	10,5%	4,8%	4,2%	7,6%	10,1%
Stadyum	4,1%	3,1%	10,9%	3,5%	1,6%	0,0%	10,8%	4,9%	4,3%	7,8%	10,4%
Halkapınar	4,4%	3,3%	11,6%	3,7%	1,7%	5,1%	0,0%	5,3%	4,6%	8,3%	11,0%
Hilal	4,1%	3,1%	10,9%	3,5%	1,6%	4,8%	10,8%	0,0%	4,4%	7,8%	10,4%
Basmane	4,1%	3,1%	10,9%	3,5%	1,6%	4,8%	10,8%	4,9%	0,0%	7,8%	10,3%
Çankaya	4,3%	3,2%	11,3%	3,6%	1,6%	4,9%	11,2%	5,1%	4,5%	0,0%	10,7%
Konak	4,4%	3,3%	11,6%	3,7%	1,7%	5,1%	11,5%	5,2%	4,6%	8,3%	0,0%

Tablo 3’te inen yolcuları tahminlemek için kullandığımız ve 14 durak için örneği bulunan Kalkış-Variş matrisi gösterilmektedir. Matris 24 istasyon için oluşturulmuştur. Satırlardaki istasyon adları kalkış noktasını, sütunlardaki istasyon adları ise varış istasyonlarını göstermekte. İnen yolcu tahminlemesini sağlayan bu matris hesaplanırken, sabah yoğun saatlerde binen yolcuların akşam yoğun saatlerde indiği yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile sabah saatlerinde bir istasyonda binen yolcular, istasyonların ortalama kullanım oranları göz önünde bulundurularak diğer istasyonlara dağıtılmış ve bu yöntemle, inen yolcu sayısının tahminlemesi yapılmıştır [4].



Şekil 3: 2009-2019 Yılları arası toplam yolcu sayılarının analizi

Şekil 3’te 2009-2019 yılları incelenerek yapılan regresyon analizi sonucu kullanıldı ve 2023-2030 yıllarının toplam yolcu sayıları tahmin edildi. Bu tahmin yapılırken 2009 yılından önce yeni istasyonların açılması ve 2019 yılı sonrasında pandemi etkileri göz önünde bulunduruldu. Regresyon analizinde logaritmik regresyon kullanıldı ve on yıllık olacak şekilde gelecek yılların eğimi grafikten çıkartıldı. Bunun sonucunda elde edilen formülde bu eğimin de kullanılması ile 2023-2030 yıllarının toplam yıllık yolcu sayısı tahminlendi [1].

Sistemi modellemek için ayrıklı olaylı benzetim modeli kullanılan ARENA programı tercih edildi. Sistemde iki tane olasılıksal girdi bulunmaktadır. Bunlardan ilki yolcuların varışı, ikincisi de ineceği istasyondur. Her istasyona ait binen yolcu sayısını bulmak için bu raporda daha önceden bahsedilen İzmir Metro şirketinden alınan veriler kullanılmıştır. Yolcu varışları üstel dağılım metodu ile modellenmiştir. Yolcular yaratıldıktan sonra her birine veri analizi ile oluşturulan Kalkış-Variş matrisindeki veriler kullanılarak biniş istasyonu atanmıştır.

Simülasyon modelinde dört ayrı alt blok grubundan oluşmaktadır. Bu gruplar yolcuların yaratılması, trenlerin yaratılması, durakları temsil eden tren-yolcu etkileşimi ve son olarak inen yolcuların sistemden çıkışının sağlandığı temsili çıkış durağıdır. Sistemin yoğun saatleri belirlendikten sonra gün beş ayrı zaman aralığına bölünmüş ve her bir zaman aralığı için model 10 tekrar ile çalıştırılmıştır. Belirli zaman aralıklarında model büyük ölçüde aynı kalmıştır ve sadece trenler arası süre ve tren sayısı değişmiştir. Teknik olarak yolcu ve tren modelde iki ayrı varlık olarak yaratılmıştır. Farklı istasyonlardan binen yolcuları gözlemleyebilmek amacıyla her bir istasyonun yolcusu kendi özel adıyla birbirlerinden ayrı olarak yaratılmıştır.

Yolcuların biniş istasyonu atanırken, her bir metroya da numara atanmıştır. “Decide” modülü ile her tren kendi bekleme alanına gidip giriş zamanı geldiğinde sisteme giriş yapmaktadır. Giriş zamanı ardışık trenler için aradaki belirlenen süreyi temsil etmektedir.

Bir diğer alt model ise yolcu-tren etkileşiminin gerçekleştiği durakları temsil etmektedir. Tren istasyona vardığında bazı yolcuları indirip durakta bekleyen yolcuları almaktadır. Bunun için sırasıyla “Search”, “DropOff” ve “PickUp” modülleri kullanılmıştır. İlk olarak tren içindeki bütün yolcuların ineceği durağı belirleyen özelliği “Search” modülü ile kontrol edilir ve o durakta inmesi gereken yolcular “DropOff” modülü ile trenden indirilir. İnen yolcular sistemden çıkışlarını sağlayan “Dispose” modülüne giderler. Durakta bekleyen yolcular “PickUp” modülü ile alınır ve yolcu-tren varlıklarının olduğu varlık grubuna katılırlar. Trenin durakta yolcu indirme ve bindirmesi için ayrılan süreyi temsilen “Delay” modülü ile tren durakta belirli bir süre bekletilir. Bu sürenin sonunda durakta ayrılmaya hazır olan tren “Route” modülü ile bir sonraki durağa doğru ilerlemeye başlar. Trenin bekleme süresi dolduktan sonra “Route” modülüne girmeden önce her istasyona ait bazı değişkenleri gözlemlemek adına “ReadWrite” modülü ile bir Excel dosyasına veri aktarımı gerçekleşir. Bu değişkenler süre, tren numarası, yolcular binmeden önce trendeki yolcu sayısı, yolcular bindikten sonra trendeki yolcu sayısı, durakta bekleyen yolcu sayısı, kapasite kısıtı yüzünden binemeyen yolcu sayısı ve o istasyonda inen yolcu sayısıdır. Genel yapı uç istasyonlar dışında bütün duraklar için aynıdır.

IV. SONUÇ

İzmir Metro hattı 24 istasyona genişletildikten sonrası için yapılan alternatif simülasyon senaryolarının denenmesi sonucu oluşan ideale en yakın zaman çizelgesi Tablo 4 üzerinde trenlerin doluluk oranları ile birlikte gösterilmiştir.

TABLE IV.
GENİŞLETİLMİŞ SİSTEM İÇİN OLUŞTURULAN HAFTA İÇİ ZAMAN ÇİZELGESİ

Zaman Aralıkları	Sefer Sıklığı (dk)	Trenlerin Doluluk Oranları
05:00-07:00	10	53%
07:00-10:00	3	65%
10:00-16:00	3	62%
16:00-20:00	3	68%
20:00-24:00	6	55%

Bu raporda İzmir Metro A.Ş. için sistem analizi yapılmış, sistem daha iyi gözlemlenmiş ve sorunlar tespit edilmiştir. İlk olarak, projenin sorunları veri analizi yoluyla çözülmüştür. Bu sorunlar, metro hattının tamamında inen yolcuların bilgisinin olmaması, açılacak yeni hatta binen yolcu sayısının bilinmemesi ve yeni hat için sefer tarifesinin olmamasıdır. Veri analizinden bu sonuçlar elde edildikten sonra bu çıktılar Arena simülasyon modelinde girdi olarak kullanılmıştır. İkinci olarak, 16:00-20:00 trafiğin yoğun olduğu saatlerde tüm istasyonlar için binen ve inen yolcu sayısını doğrulamak için tüm sistem modellenmiştir. Ayrıca simülasyon modeli, sistemi daha iyi analiz etmek için her istasyonda ortalama yolcu bekleme süresi, bekleyen yolcu sayısı ve herhangi bir zamanda trende bulunan yolcu sayısı gibi faydalı performans ölçütleri vermiştir. Son olarak, trenlerin gelişler arası sürelerine göre kullanılması gibi diğer faydalı çıktılar analiz edilmiştir. Şirket, bu sisteme göre izin verilen tren doluluk oranını maksimum olarak %70 olarak belirlemiş ve şu anda %50 olduğu bilgisini vermiştir. Rapordaki çalışmalar sonucu alternatif senaryolar denenerek belirli zaman aralıklarında, gelişler arası sürelerine

karşılık gelen trenlerin doluluk oranları %50'den %70'e çıkarılmıştır. Sonuç olarak, metro sisteminin tren kullanım verimliliği yaklaşık %20 arttırılmaktadır. Ayrıca, kullanıcıların belirli yıllara ait yolcu sayısını gün tipi, ay, zaman aralığı ve istasyon adını seçerek saatlik, aylık ve günlük çarpanlarla tahmin edebilmesi için MSEXcel uygulamasında VBA yardımı ile Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturulmuştur.

REFERANSLAR

- [1] İZMİR Metro A.Ş. İZMİR METRO A.Ş.. [Online]. Available: <https://www.izmirmetro.com.tr/> 1943
- [2] Lin, C., Wang, K., Wu, D., & Gong, B. (2020). Passenger flow prediction based on land use around metro stations: A case study. *Sustainability*, 12(17), 6844
- [3] E. Nasiboglu, U. Kuvvetli, M. Ozkilkic, and U. Eliiyi, "Origin-destination matrix generation using smart card data: Case study for Izmir," 2012 IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI), 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICPCI.2012.6486315.



**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Totomak için Depo Yönetimi Karar Destek Sistemi

Sevde Zümrüt İPSAY, Melis KARAKURT, Burak KURT, Güner ŞİRİN

Akademik Danışmanlar

**Dr. Levent KANDILLER
Simge Güçlükol ERGIN**

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

Bu çalışma, makine ve yedek parça ihracatında uzmanlaşmış Totomak Makine ve Yedek Parça Şirketi'nin depo yönetimi uygulamalarını incelemektedir. Depo yönetimi, depolama ve sevkiyat operasyonlarını düzenleyerek verimliliği optimize etmek, maliyetleri azaltmak ve geliri artırmak amacını taşır. Totomak'ın depo yönetimi sorunlarını anlamak ve çözüm önerileri geliştirmek için bir dizi analiz ve çözüm yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada, ABC analizi, Pareto analizi, ikinci dereceden atama problemi analizi ve atama problemi yöntemleri kullanılarak depo yönetimi sorunları tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Ayrıca, yeni depo düzeni ve malzeme yerleştirme politikalarının uygulanmasıyla şirketin verimliliğinin artması, maliyetlerin düşmesi ve müşteri beklentilerinin karşılanması hedeflenmektedir.

Totomak, 1950 yılında kurulan ve makine ve yedek parça ihracatında lider bir şirket haline gelen bir üretim şirkettir. Şirketin büyüme ve başarısını sürdürmek için etkin bir depo yönetimi sürecine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, şirketin depo yönetimini analiz etmek ve iyileştirmek için önemli bir kaynak sunmaktadır.

Özet olarak, şirketin depo yönetimi süreçleri incelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, şirketin depo yönetimindeki sorunları anlamasına ve etkin bir depo yönetimi stratejisi geliştirmesine yardımcı olacaktır.

II. PROBLEM TANIMI

Şirket, mevcut İzmir konumundaki verimsizlikler nedeniyle yeni bir depoya taşınmaktadır. Bu verimsizlikler mali kayıplara ve FIFO (İlk Giren İlk Çıkar) uygulamasının engellenmesine yol açmıştır. Proje, gereksiz forklift işlemlerini azaltmayı ve ürün yerleştirmeyi optimize etmek için bir algoritma geliştirmeyi hedeflemektedir. İncelenen sorunlar arasında yetersiz veri toplama, yapılandırılmamış ürün alma ve yerleştirme operasyonları, FIFO alma politikasının olmaması, SKU (Stok Kodu) konumlarının bilinmemesi ve manuel forklift yönlendirmesi bulunmaktadır. Şekil 1'deki balık kılıcı diyagramı, bu sorunlara yönelik detaylı çözümleri sunmaktadır. Şirket operasyonlarının analizinin ardından, erişilemeyen veriler, planlı operasyonların eksikliği, manuel forklift işlemleri, FIFO veya LIFO (Son Giren İlk Çıkar) politikalarının olmaması ve bilinmeyen SKU konumları gibi çeşitli sorunlar tespit edildi. Bu sorunları ele almak için, endüstri mühendisliği yöntemleri kullanılarak bu sorunları çözmek için anahtar performans göstergeleri (KPI'lar) belirlendi. Ardından, depo düzenini ve yönetimini iyileştirmek ve bu KPI'lar temelinde uygulanan çözümlerin başarısını değerlendirmek için iki aşamalı bir matematiksel model geliştirildi.



Şekil 1. Balık Kılıcı

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bağlamda, proje analizi için gereken veriler, sevkiyat malzemelerinin listesi, talep listesi, depo düzeni ve alan ölçümü gibi bilgiler Totomak'tan alınmaktadır. Şirketten elde ettiğimiz verilere dayanarak, depo yönetimi açısından şirketin sorunlarını anlamak ve teşhis etmek için ABC analizi, Pareto analizi, karesel atama problemi analizi ve atama problemi yöntemlerini kullandık.

Şirketin 2021-2022-2023 verilerini alarak ABC ve Pareto analizleri yapılmıştır ve örneğin 2023 yılı çalışmamızda, analizler sonucunda grup A'da 16 ürün belirlenmiş ve bu ürünlerin sıklığına göre sıralanmıştır. Pareto analizi ise 80-20 kuralı prensibiyle yapılmış ve toplam miktarın %80'ini 48 ürünün oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu analizler, depo yönetimi sorununa odaklanarak etkili çözümler geliştirilmesine yardımcı olmuştur.

Totomak şirketi tarafından düzensiz depo yönetimi sorununu çözmek için iki model oluşturulmuştur. İlk model, taktik düzeyde yer alan altı aylık raf tahsisini şirketin talep listesine göre ele almaktadır. Bu modelin amacı, belirtilen zaman dilimi içinde ürün yerleştirilmesi nedeniyle oluşan toplam işlem süresini en aza indirmektir. İkinci model ise operasyonel düzeyde yer almakta olup, rutin alım ve yerleştirme görevleri sırasında yapılan forklift seferlerinin ve toplam yolculuk mesafesinin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu modeller, depo verimliliğini artırmak ve lojistik süreçleri optimize etmek amacıyla oluşturulmuştur. Modeller için belirleyici parametreler olan devir hızı, güvenlik stoku ve maksimum kullanılabilir taahhüt (ATP) belirlenmiştir. Parametre oluşturma süreci aşağıda detaylandırılmıştır.

A. Model 1 için Parametreler

Totomak şirketi için Mayıs ayından başlayarak altı aylık talep listesi derlenmiştir.

TABLO I.
ÜRÜN SAYISI

Demand: Weeks (Number Of Products)							
Item	12.05.2023	19.05.2023	26.05.2023	2.06.2023	9.06.2023	16.06.2023	...
X2	12	47	24	-	36	-	...
X3	24	12	36	12	12	-	...
X4	12	12	12	36	12	12	...

Tabloda, tek bir palet üzerine sığabilecek ürün sayısı gösterilmektedir.

TABLO II.
TEK PALETTEKİ ÜRÜN SAYISI

Item	Number of Product / Pallet
X2	6
X3	12
X4	4

Ürün bazlı bir analize dayanan tablo, her bir ürünün tek bir palet üzerine sığabilecek adetini yansıtabilecek şekilde güncellenmiştir, bu da bir palet tablosunun oluşturulmasına yol açmıştır.

TABLE III.
PALET SAYISI

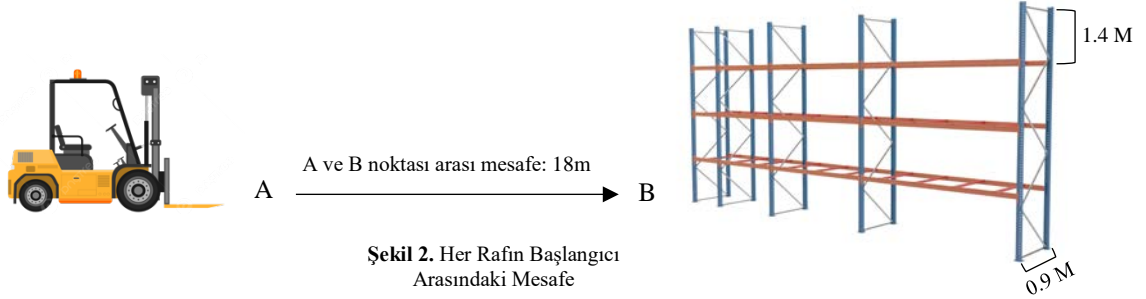
Demand: Weeks (Number Of Pallets)							
Item	12.05.2023	19.05.2023	26.05.2023	2.06.2023	9.06.2023	16.06.2023	...
X2	2	8	4	-	6	-	...
X3	2	1	3	1	1	-	...
X4	3	3	3	9	3	3	...

Her bir ürün için, en yüksek talebin olduğu hafta belirlenmiş ve güvenlik stok miktarına eklenerek maksimum kullanılabilir taahhüt (Max ATP) miktarı belirlenmiştir. Her bir ürün için toplam talep belirlendikten sonra, devir hızı, bu değeri Max ATP değerine bölerek elde edilebilir.

TABLE IV.
HER ÜRÜN İÇİN TOPLAM TALEP

Item	Max Weekly Demand	Safety Stock	Max ATP	Total Demand	Turnover
X2	8	2	10	20	2
X3	3	1	4	8	2
X4	9	3	12	24	2

Totomak şirketi, rafları tahsis etmek için depolarında raf ölçümleri gerçekleştirdi ve bir mesafe matrisi oluşturuldu. Bu matris, baz noktası ile her bir raftaki başlangıç noktası arasındaki mesafelere dayanarak oluşturulmuştur ve baz noktasından konum başlangıç noktasına olan mesafeyi hesaba katmaktadır.



Modelin kümeleri aşağıdaki gibidir:

S Stock Keeping Unit $s \in S = \{1, 2, \dots, |S|\}$
 l Konum: $l \in L = \{1, 2, \dots, |L|\}$

Modelin giriş parametreleri aşağıdaki gibidir:

t_s Frequency of turnover
 $a(s)$ SKU'lar için ayrılacak yerlerin sayısı
 d_l l forklift hareketleriyle taban ile konum arasındaki mesafe

Karar değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

x_l^s Konumunun SKU'lar için ayrılıp ayrılmadığı

Yukarıdaki tanımlara dayanarak, problemin formulasyonu aşağıdaki gibi verilir:

$$\text{Min} \sum_l \sum_s t_s \cdot d_l \cdot x_l^s \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_l x_l^s = a(s) \quad \forall s \quad (2)$$

$$\sum_l x_l^s \leq 1 \quad \forall l \quad (3)$$

$$x_l^s \in \{0,1\} \quad \forall s,l \quad (4)$$

Model 1'in Python uygulamasında, üç farklı yöntem kullanıldı. İlk yöntem matematiksel modelin genel bir problem çözücüsüyle çözülmesini içeriyordu. İkinci yöntem sezgisel bir yaklaşım kullanarak çözüm üretmeyi amaçladı. Üçüncü yöntem ise Macar yöntemini kullanarak problemi çözmeyi hedefledi. Bu yöntemler, 10 üründen oluşan bir oyuncak probleme uygulandı ve yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar analiz edildi. Python kodunda pandas, scipy ve numpy gibi kütüphaneler kullanıldı.

Model 1 ve 2 için kodlar Acer Nitro i7 9. nesil 16GB RAM üzerinde çalıştırıldı ve yapılan deneylere dayanarak, Python kodunda pandas, scipy ve numpy kütüphaneleri kullanıldı. Sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

MODEL 1									
OBJECTIVE FUNCTION					TIME(CPU sec)				
PROBLEM	GPS	Hungarian	Heuristic	%GAP(H)	PROBLEM	GPS	Hungarian	Heuristic	
1	4290,10	4290,10	4589,62	6,98%	1	0,00235	0,00023	0,00171	
2	11566,44	11566,44	12464,99	7,77%	2	0,00211	0,00019	0,00179	
3	7276,34	7276,30	7875,37	8,23%	3	0,00017	0,00025	0,00131	
4	4942,04	4942,04	5241,56	6,06%	4	0,00268	0,00019	0,00156	
5	16235,03	16235,03	17732,61	9,22%	5	0,00267	0,00021	0,00131	
6	5593,98	5593,98	5893,50	5,35%	6	0,00224	0,00024	0,00176	
7	12596,86	12596,86	13794,92	9,51%	7	0,00178	0,00024	0,00155	
8	14552,68	14552,68	15750,74	8,23%	8	0,00121	0,00030	0,00189	
9	19494,72	19494,72	20992,29	7,68%	9	0,00317	0,00021	0,00162	
10	19873,20	19873,20	21670,29	9,04%	10	0,00264	0,00023	0,00161	
					7,81%	Average	0,00210	0,00023	0,00161
					9,51%	Worst	0,00317	0,00030	0,00189

Şekil 3. Model 1 için Yöntemlerin Karşılaştırılması

Oyuncak probleminde, GPS ve Macar yöntemi kullanılarak optimal sonuçlar elde edildi. Macar yöntemi, hız açısından GPS'den daha avantajlı olduğu gözlemlendi. Sezgisel yöntem ise hızlı sonuçlar üretmesine rağmen optimal çözümü bulamadı. Bu nedenle, gerçek ölçekteki problemin çözümü için Macar yöntemi tercih edildi. Mesafe ve konum matrisleri oluşturulduktan sonra, atama problemi olarak problem çözüldü. Macar yöntemi için kare bir matrise ihtiyaç duyuldu ve matrisin kare olmaması durumunda doldurma değerleri eklenmesi gerektiği belirtildi.

TABLO V.

MODEL 1 İÇİN TÜM ÜRÜNLERİN MESAFE MATRİKSİ

DISTANCE			65	63.6	62.2	60.8	59.4	...	102.1
TURNOVER	ITEM	SHELF NUMBER	1	2	3	4	5	...	1320
3.15789474	X2	1	205.263158	200.842105	196.421053	192	187.578947	...	322.421053
3.15789474	X2	2	205.263158	200.842105	196.421053	192	187.578947	...	322.421053
3.15789474	X2	3	205.263158	200.842105	196.421053	192	187.578947	...	322.421053
3.15789474	X2	4	205.263158	200.842105	196.421053	192	187.578947	...	322.421053
...
0.0001	DUMMY	1320	0.0065	0.00636	0.00622	0.00608	0.00594	...	0.01021

Sorun, bir Python uygulamasında Macar yöntemi kullanılarak çözüldü. Problemi çözmek için pandas, scipy ve numpy kütüphaneleri kullanıldı. Sonuçlar özet bir şekilde sunuldu.

Product 1 is assigned to shelf 1043 with a distance of 279.157

Product 2 is assigned to shelf 490 with a distance of 283.894

Product 1312 is assigned to shelf 965 with a distance of 282.540

Total Distance:338515.086

B. Model 2 için Parametreler

Modelin kümeleri aşağıdaki gibidir:

S Stock keeping units $s \in S = \{1, 2, \dots, |S|\}$

k Sorti Sayısı $k \in K$

Modelin giriş parametreleri aşağıdaki gibidir:

$l_{(i)}$ i öğesinin bulunduğu yere olan uzaklık

$d_{0,l(j)}$ Başlangıç noktası ile j ürününün yerleştirilmesi arasındaki mesafe

$d_{l(i),0}$ Toplama ürünü i ile başlangıç noktasına dönüş arasındaki mesafe

$d_{l(i),l(j)}$ Toplama ürünü i ile başlangıç noktasına dönüş arasındaki mesafe

Karar değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

x_i^k 1, SKU i is picked in sortie k ; 0 otherwise

y_i^k 1, SKU i is placed in sortie k ; 0 otherwise

z_k 1, if job is done in sortie k

Yukarıdaki tanımlara dayanarak, problemin formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$\left(\sum_j d_{0,l(j)} + \sum_i d_{l(i),0} \right) + \min \sum_i \sum_j d_{l(i),l(j)} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_i x_{ij} = 1, \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (3)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, \forall i, j. \quad (4)$$

Hedef fonksiyon (1), forkliftlerin ürünleri toplamak ve yerleştirmek için kat edecekleri mesafeyi en aza indirmeyi amaçlar. Kısıt (2), her bir görev için bir ürünün alınacağını garanti eder. Kısıt (3), her bir görev için bir ürünün yerleştirileceğini garanti eder. Karar değişkeninin (4) aralığı.

Model 2'deki gerçek hayat problemini bir Python uygulamasıyla çözmeden önce, ön bir adım olarak oyuncak bir problem belirlendi. Oyuncak örnekler: 20 ürün (10 alınan, 10 yerleştirilen) ve 100 konum.

Oyuncak problem, genel problem çözücü formülasyonu (GPS), Macar yöntemi ve sezgisel yöntem olmak üzere üç farklı çözüm yöntemine tabi tutuldu.

Karşılaştırma sonuçlarına göre, hem GPS hem de Macar algoritmalarının optimal çözümler ürettiği görülmektedir, oysa sezgisel yöntem optimal çözümü başaramamıştır. Sezgisel yöntemin hızı dikkate değer olsa da, Macar algoritması da önemli bir verimlilik sergilemektedir. Bu bulgulara dayanarak, problemin Macar algoritması kullanılarak çözüleceği belirlenmiştir.

Model 1'deki ürünler için altı aylık raf tahsisini tamamladıktan sonra, Model 2 ürünlerin günlük toplama/yerleştirme işlemlerini optimize etmek için devreye girecektir. Günlük toplanacak/yerleştirilecek ürünlerin bir listesi oluşturulduktan sonra, mevcut yerlerden toplama işlemi için ürün, ilk giren ilk çıkar (FIFO) sistemi uygulanarak seçilir.

MODEL2								
OBJECTIVE FUNCTION					TIME			
PROBLEM	GPS	Hungarian	Heuristic	%GAP(H)	PROBLEM	GPS	Hungarian	Heuristic
1	61,33	61,33	65,33	6,58%	1	0,0522	0,0087	0,0002
2	128,66	128,66	154,00	19,70%	2	0,0109	0,0043	0,0002
3	88,66	88,66	106,00	19,64%	3	0,0144	0,0032	0,0001
4	149,33	149,33	185,33	24,11%	4	0,0183	0,0024	0,0003
5	108,66	108,66	108,67	0,01%	5	0,0162	0,0035	0,0001
6	115,33	115,33	122,00	5,78%	6	0,0223	0,0013	0,0002
7	82,66	82,66	84,00	1,62%	7	0,0209	0,0077	0,0005
8	274,66	274,66	313,33	14,08%	8	0,0135	0,0041	0,0001
9	95,33	95,33	99,33	4,20%	9	0,0143	0,0076	0,0002
10	85,33	85,33	108,00	26,57%	10	0,0301	0,0059	0,0002
11	148,00	148,00	172,00	16,22%	11	0,0134	0,0082	0,0004
12	113,33	113,33	133,33	17,65%	12	0,0194	0,0011	0,0002
13	113,33	113,33	120,00	5,89%	13	0,0111	0,0028	0,0002
14	108,00	108,00	108,00	0,00%	14	0,0186	0,0097	0,0001
15	68,00	68,00	69,33	1,96%	15	0,0153	0,0044	0,0002
16	175,33	175,33	195,33	11,41%	16	0,0125	0,0079	0,0002
17	165,33	165,33	178,67	8,07%	17	0,0175	0,0077	0,0006
18	103,33	103,33	142,00	37,42%	18	0,014	0,0065	0,0002
19	106,00	106,00	130,00	22,64%	19	0,0137	0,0071	0,0002
20	93,33	93,33	110,67	18,58%	20	0,01	0,0016	0,0002
				13,11%	Average	0,01793	0,005353	0,000271
				37,42%	Worst	0,0522	0,00978	0,000653

Şekil 4. Model 2 için Yöntemlerin Karşılaştırılması

Bir yerde başlangıçta yerleştirilen ürün, FIFO prensibine dayanarak ilk olarak toplama için seçilir. Yerleştirilecek ürün için, boş yerlerden biri, model tarafından mesafenin minimize edildiği bir şekilde seçilerek ürünün etkili bir şekilde yerleştirilmesi sağlanır.

TABLO VI.

ÜRÜNLERİN ALMA VE YERLEŞTİRME İŞLEMLERİ

Picked	Full Cells Reserved For Item				
X62	44	33	43		
X120	174	25	127	173	
X65	249	304			
X185	303	155	293	339	257
X110	384	256	292	200	246

Picked	Selected Shelf Location For Picking
X62	44
X120	127
X65	249
X185	257
X110	384

Placed	Empty Cells Reserved For Items				
X45	84	88	130	75	
X61	164	72	36		
X146	23	69	124	159	217
X71	300	254	382	336	428
X188	379	471			

Placed	Randomly Selected Cells Location For Placing
X45	75
X61	72
X146	159
X71	254
X188	379

Toplanacak/yerleştirilecek ürünler için rafların belirlenmesinin ardından, ürünler için bir mesafe matrisi oluşturulur. Atama problemi çözebilmek için matrisin kare olması önemlidir. Eğer matris kare değilse, kare olmasını sağlamak için takviye (dummy) değerler eklenmelidir.

Bu proje kapsamında, depoda ürünleri rastgele yerleştiren Totomak Şirketi'nin performansı, optimizasyon sonuçlarıyla 22 iş günü süresince karşılaştırılmıştır. Uygulanan iyileştirmenin sonucunda ortalama %22.7 iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir.

TABLE VI.

MODEL 2 İÇİN ÖRNEK MESAFE MATRİKSİ

	44	127	249	257	384
75	63	98	127	133	183
72	48	76	99	103	142
159	56	88	115	120	165
254	18	28	36	38	52
379	65	101	132	138	189

TABLO VII.

TOTOMAK PERFORMANSI İLE YAPILAN OPTİMİZASYONUN KARŞILAŞTIRMA TABLOSU

	DAY 1	DAY 2	DAY 3	DAY 4	DAY 5	DAY 6	DAY 7	DAY 8	DAY 9	DAY 10	DAY 11
TOTOMAK'S TOUR (m)	6397	6167	4990	6615	6171	6893	6065	6778	4347	4322	6575
OUR TOUR (m)	5123	4981	2992	4009	3682	5067	4112	6011	3781	3792	5137
DIFFERENCE	1274	1186	1998	2606	2489	1826	1953	767	566	530	1438
EFFICIENCY	19.92%	19.23%	40.04%	39.40%	40.33%	26.49%	32.20%	11.32%	13.02%	12.26%	21.87%

	DAY 12	DAY 13	DAY 14	DAY 15	DAY 16	DAY 17	DAY 18	DAY 19	DAY 20	DAY 21	DAY 22
TOTOMAK'S TOUR (m)	7516	6053	4719	7960	7982	3956	8454	4877	4950	6160	7144
OUR TOUR (m)	5568	4843	4140	5897	7002	3440	6657	4205	3779	5177	5332
DIFFERENCE	1948	1210	579	2063	980	516	1797	672	1171	983	1812
EFFICIENCY	25.92%	19.99%	12.27%	25.92%	12.28%	13.04%	21.26%	13.78%	23.66%	15.96%	25.36%

	MINIMUM	MAXIMUM	AVERAGE
TOTOMAK'S TOUR (m)	3956	8454	6141
OUR TOUR (m)	2992	7002	4760
DIFFERENCE	516	2606	1380
EFFICIENCY	11.32%	40.33%	22.07%

C. Karar Destek Sistemi

Oluşturulan Karar Destek Sistemi, proje raporlarının ve sunumlarının görüntülenmesini sağlar. Kullanıcı ürün adını ve talebini girdikten sonra ürün için tahsis edilen lokasyonlar gösterilebilir.

Ayrıca kullanıcı istediği gün için raflara yerleştireceği ve raflardan seçeceği ürünleri seçebilmektedir. Akabinde sistem raflardan alınacak ürünler ile raflara konulacak ürünleri eşleştirerek ilgili mesafeleri kullanıcıya sunar.



Şekil 5. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Arayüzü

V. SONUÇ

Sonuç olarak, kaotik bir depo yönetimine sahip olan ve yeni bir tesisle taşınan Totomak Şirketi için rafların düzenlenmesi ve forklift hareketlerinin optimize edilmesini sağlayan bir karar destek sistemi geliştirildi. Analizler yapıldıktan sonra iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı oluşturuldu. İlk aşama, altı aylık bir talep listesine dayanarak ürünlerin lokasyonlara atanmasını içeriyordu. İkinci aşama, ürün girişleri ve gönderimleri sırasında forklift hareketlerini optimize ederek günlük olarak katedilen mesafeyi en aza indirmeyi hedefliyordu. Matematiksel modeller, Excel ve Python uygulamaları kullanılarak çözüldü. Elde edilen sonuçlar, Totomak Şirketi'nin performansı ile karşılaştırılarak %22,7'lik bir iyileşme gözlemlendi.

REFERANSLAR

- [1] Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (2000). Optimal layout in low-level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 38(1), 101-117.
- [2] Nyman, D., & Levitt, J. (2001). *Maintenance planning, scheduling, and coordination*. Industrial Press Inc..
- [3] Konig, D. (1931). Graphok es matrixok [in Hungarian: Graphs and matrices], *Mat es Fizikai Lapok* 38, 116-119.
- [4] Li, W. J., & Smith, J. M. (1995). An algorithm for quadratic assignment problems. *European Journal of Operational Research*, 81(1), 205-216.
- [5] P. Ji, W.B. Lee, H. Li. A New Algorithm for the Assignment Problem: an Alternative to the Hungarian Method. *Computers Ops. Res.* 1997; 24(11): 1017-1023



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Aralıklı Talep için Envanter Yönetimi Optimizasyonu

Aleyna Ömrüm BAŞAY, Bekir Can TORUN, Fatma Ravza ÇEKİÇ, Eda IŞIKLI

Akademik Danışmanlar

Dr. Oktay KARABAĞ
Berk KAYA

İzmir, 2023

I. GİRİŞ

TP Elektrik, endüstriyel tip elektrik malzemeleri üretmek amacıyla 1989 yılında İzmir'de kurulmuştur. Şirket, 33 yıllık tecrübesi ile sektörün önde gelen firmaları arasında yerini almıştır. 43 beyaz yakalı ve 116 mavi yakalı çalışmanı vardır. Yerel pazarda lider üretici olmanın yanı sıra, 55'ten fazla ülkeye ihracat yaparak bir dünya markası olma yolunda emin adımlarla ilerlemektedir. Rafineriler, tersaneler, şantiyeler, mermer ve taş ocakları gibi ağır sanayi dalları olmak üzere 20'den fazla sektöre 5.500'ün üzerinde ürün tedarik etmektedir. 2018 yılında Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi'ndeki 15.000 m²'lik eski yerine göre 40.000 m²'lik dev bir fabrikaya taşınmıştır. Bu durum, bölgenin aktif ithalatından, ihracatından, imalatından ve sanayileşmesinden yararlanmalarına olanak tanımıştır. Şirketin Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi'nde en düşük maliyet ve en yüksek karı sağlayan konumu, ulaşım, işgücüne yakınlık, tedarik kaynakları, pazarlara yakınlık, karayolu ulaşımının varlığı, enerji arzı ve genişleme imkanının en önemli etkileridir.

Bu rapor, giriş bölümü de dahil olmak üzere dört bölümden oluşur ve problem tanımı bir sonraki bölümde açıklanmıştır. Bölüm 3'te matematiksel model ve çözüm yöntemleri açıklanmıştır. Son bölüm ise çalışmamızın özetini ve hesaplama sonuçlarını içermektedir.

II. PROBLEM TANIMI

Endüstriyel elektrik ekipmanları üreten TP Elektrik, ürünlerini rafineriler, tersaneler, şantiyeler, mermer ve taş ocakları gibi birçok farklı endüstriyel sektöre tedarik etmektedir. Şirket, 3000'den fazla ürün çeşidi üretmektedir ve bu ürünlerden bazıları için MTO (siparişe üretim), bazı ürünler için MTS (stoğa üretim) politikaları uygulamaktadır. Bu nedenle, şirketin envanter yönetimi kritik önem taşımaktadır.

Şirket, envanter seviyelerini optimize etmek için talep tahminine dayalı bir envanter yönetimi yaklaşımı uygulamaktadır. Şirket bilimsel olmayan bir talep tahmini politikası yürütmektedir ve talep tahmini bazı sebeplerden dolayı kesikli çıkabilmektedir. Talebin kesikli çıkmasındaki bazı sebepler ise mevsimsel değişikliklere bağlı sebepler olabilir. Örneğin, yaz aylarında çalışan bir şantiye tesisinde ürünlere olan talep artarken, kış aylarında talep düşebilir. Bu duruma bağlı olarak, hammadde eksikliği veya yüksek stok taşıma maliyeti gibi sonuçlar doğabilir. Özellikle, hammadde eksikliği durumunda üretim yavaşlayabilir veya eldeki ürün sayısı yetersiz kalabilir, bu da şirketin potansiyel satışlarını kaybetmesine neden olabilir. Bu nedenle, şirketin envanter yönetiminde etkin bir strateji izlemesi gerekmektedir. Ancak sektör araştırması yaptığımızda bu sektörde kampanya dönemlerinin olduğu ve bu kampanya dönemlerinde satılan ürünlerin daha ucuz olmasından dolayı bu kampanya dönemlerinin olduğu veya bu kampanya dönemlerine yakın olan aylarda talebin olmadığı ve bunun bir mevsimsellik yarattığı görülmüştür. Bu projenin amacı, en iyi stok yönetimi politikasını belirlemektir. Bu amaçla, hammadde satın alma hazırlık süreleri, üretim sürecinde malzeme hareket hızları, elde tutma maliyetleri vb. gibi faktörler, tarihsel veriler kullanılarak analiz edilmiştir.

Bu projenin amacına göre, bir Python algoritması geliştirilmiştir ve Excel VBA yardımıyla bir kullanıcı dostu karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu çözüm algoritması, şirketin envanter yönetiminde etkin bir şekilde kullanılabilir ve maliyet tasarrufu sağlayabilir. Bu sayede, şirketin üretim sürecinin daha verimli hale gelebilmesi ve müşteri memnuniyetinin artırılması hedeflenmiştir.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu matematiksel model, stok yönetimi ve talep tahmini üzerine odaklanmıştır. Bu model, teslim süresi ve maliyet gibi faktörleri kullanarak ve aralıklı talebi göz önünde bulundurarak bir ürün için en iyi sipariş seviyesini (S) belirlemektedir.

Temel amaç, mevcut verileri analiz ederek gelecekteki talebi tahmin etmek ve ideal stok seviyesini korumak için stok kontrolünü kullanmaktır. Aynı zamanda, teslim süresi ve maliyetlere dayalı olarak sipariş seviyesini optimize ederek tedarik zincirinin performansını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Problem, daha etkili bir envanter yönetim sistemi geliştirilerek ve analitik araçlar kullanılarak çözülmüştür. TP Elektrik'in envanter yönetimini optimize etmek ve maliyetleri düşürmek için Gazete Satıcısı Politikası (Newsvendor Policy) ve Sipariş Üst Sınırı Politikasının (Order Up Level Policy) entegre edildiği modele dayanan bir matematiksel model uygulanmıştır. Algoritma geliştirme, hesaplamalar ve optimizasyon Python üzerinden kodlanmıştır.

Bu model oluşturulurken yapılan varsayımlar şunlardır:

- Hizmet düzeyi %95 olarak kabul edilir.
- SS yeniden sipariş noktası kabul edilir.
- Talepler Poisson ve normal dağılımlı olarak kabul edilir.
- Kapasite kısıtı kaldırılmıştır.
- Z_t 'nin başlangıç değeri ortalama talep verilerini belirler.
- T_t 'nin başlangıç değeri, 0 taleple bölünmüş olan talep miktarının toplam mevcut veriye bölünmesiyle belirlenir.
- T_t , aylık olarak kabul edilir ve ayın ilk günü olarak varsayılır.

Bu model oluşturulurken yapılan notasyonlar şu şekildedir:

- ***Setler ve Göstergeler;***

t: Periyot (t=1, 2, ..., 23)

- ***Parametreler;***

L: Tedarik süresi

S: Seviyeye kadar sipariş

R: Gözden geçirme dönemi

D: Talep

D_t : t döneminde bir kalem için fiili talep

Z_t : t periyodundaki talep büyüklüğü

\hat{Z}_t : t + 1 periyodu için t periyodunda üretilen talep büyüklüğü tahmini

T_t : t periyodunda kaydedilen talepler arası aralık

\hat{T}_t : t + 1 periyodu için t periyodunda üretilen talepler arası aralığın bir tahmini

α, β, λ : Yumuşatma sabitleri ($0 \leq \alpha, \beta, \lambda \leq 1$) SBA tarafından üretilen ortalama talep tahmini

(t + 1 periyodu için t periyodunun sonunda)

T_m : Ortalama talepler arası aralık

F_t : t döneminde tahmin değeri

$\Phi_Z(\cdot)$: Talep boyutunun kümülatif dağılım fonksiyonu

$\phi_Z(\cdot)$: Talep boyutunun olasılık yoğunluk fonksiyonu

$\Phi_D(\cdot)$: Tedarik süresi boyunca talebin kümülatif dağılım fonksiyonu

$\phi_D(\cdot)$: Tedarik süresi boyunca talebin olasılık yoğunluk fonksiyonu

u: Birim maliyet

h: Dönem ve birim başına stok tutma maliyeti

b: Dönem ve birim başına ön sipariş maliyeti

k: Emniyet faktörü

Model aşağıdaki gibidir:

$$E[C(S)] = huS(T_m - L) + huL \max\{E(S - x), 0\} + buL \max\{E(Z - S), 0\}$$

1

$$E[C(S)] = huS(T_m - L) + huL \int_0^S (S - x) \phi_Z(x) dx + buL \int_S^{+\infty} (x - S) \phi_Z(x) dx \quad 2$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[C(S)]}{\partial S} &= hu(T_m - L) + huL \frac{\partial}{\partial S} \left(\int_0^S (S - x) \phi_Z(x) dx \right) \\ &\quad + buL \frac{\partial}{\partial S} \left(\int_S^{+\infty} (x - S) \phi_Z(x) dx \right) \\ &= hu(T_m - L) + huL\phi_Z(S) - buL(1 - \phi_Z(S)) = 0 \end{aligned} \quad 3$$

SONRA

$$\phi_Z(S) = \frac{bL - h(T_m - L)}{(h + b)L}$$

$$\phi_Z(S) = 1 - \frac{h}{(h + b)} \frac{T_m}{L}$$

$$\sum_{x=0}^{S-1} \phi_Z(x) \leq 1 - \frac{h}{b + h} \frac{T_m}{L} \leq \sum_{x=0}^S \phi_Z(x) \quad 4$$

$$S = \phi_Z^{-1} \left(1 - \frac{h}{(h + b)} \frac{T_m}{(L + R)} \right) \quad 5$$

$$SS = k\sigma_{L+R} \quad 6$$

$$\hat{T}_t = \hat{T}_{t-1} + \alpha(\hat{T}_t - \hat{T}_{t-1}) \quad 7$$

$$\hat{Z}_t = \hat{Z}_{t-1} + \beta(Z_t - \hat{Z}_{t-1}) \quad 8$$

$$F_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{\hat{Z}_t}{\hat{T}_t} \quad 9.1$$

$$F_t = \frac{\hat{Z}_t}{\hat{T}_t} \quad 9.2$$

$$MSE_t = \lambda(F_t - D_t)^2 + (1 - \lambda)MSE_t \quad 10$$

$$\mu_{L+R} = F_t(L + R) \quad 11$$

$$\sigma_{L+R} = \sqrt{(L + R)MSE_t} \quad 12$$

Denklem (1), stok tutma, geri siparişler ve stok ile talep arasındaki uyumsuzlukla ilişkili maliyetleri dikkate alan beklenen toplam maliyeti ($E[C(S)]$) temsil etmektedir. Denklem (2), Denklem (1) üzerine kurulmuş olup, sipariş yukarı sınırı (S) seviyesindeki talep boyutunun kümülatif dağılım fonksiyonlarını ($\phi_Z(x)$ ve $\phi_Z(x)$) dahil etmektedir. Bu fonksiyonları uygun aralıklarda tümlleştirerek ilgili maliyet bileşenlerini hesaplar. Sipariş yukarı sınırı (S) seviyesine göre toplam maliyetin ($E[C(S)]$) sipariş yukarı sınırına (S) göre türetilen türevini alıp sıfıra eşitleyen Denklem (3) elde edilir. Denklem (3), beklenen toplam maliyeti en aza indiren optimal sipariş yukarı sınırını (S) belirlemek için bir koşul sağlar. Denklemler (4) ve (5), sipariş yukarı sınırındaki (S) talep boyutunun kümülatif dağılım fonksiyonunun ($\phi_Z(S)$) ifadelerini sunar. Denklem (4) kümülatif dağılım fonksiyonunun alt sınırını temsil ederken, Denklem (5) üst sınırı temsil etmektedir. Bu eşitsizlikler, kümülatif olasılıkların düşmesi gereken aralığı gösterir. Denklem (6), h , b , T_m , L ve $(L+R)$ parametrelerini kullanarak sipariş yukarı sınırındaki (S) talep boyutunun kümülatif dağılım fonksiyonunun tersini hesaplayarak optimal sipariş

yukarı sınırını (S) belirler. Denklemler (7) ve (8), tahmini talep (Zt) ve talep aralığının (Tt) önceki değerlerine ve düzeltme parametrelerine α ve β dayalı olarak güncelleme sürecini tanıtır. Bu denklemler, tahminlerin en son bilgileri yansıtacak şekilde ayarlanmasını sağlar. Denklem (9), tahmini talep (Zt) ve talep aralığı (Tt) kullanarak tahmin hatasını (Ft) hesaplar. Bu denklem farklı senaryoları dikkate alır ve tahmin edilen talep ile gerçek talep arasındaki sapmayı ölçer. Denklem (9.1) SBA modeli için, denklem (9.2) Croston için kurulmuştur. Denklemler (10) ve (11), sipariş yukarı sınırındaki (L+R) talep boyutunun ortalama (μ) ve standart sapmasını (σ) belirler. Bu ölçümler, talep boyutunun merkezi eğilimini ve yayılımını yakalar ve stok planlaması için değerli bilgiler sağlar. Sunulan matematiksel model, stok yönetimi ve talep tahmini için kapsamlı bir çerçeve sunar. Karar vericiler, çeşitli faktörleri, formülleri ve kısıtlamaları dikkate alarak optimal sipariş yukarı sınırını (S) belirleyebilir ve stok yönetimi konusunda bilinçli kararlar verebilirler.

Bu problemi ele almak için Gazete Satıcısı Politikası ve Sipariş Üst Sınırı modeline dayanan matematiksel bir model uygulanmıştır. Etkili stok yönetimi, doğru talep tahminine dayanır ve bu da varsayımlar yapmayı ve kesikli veya sürekli talep dağılımlarını belirlemek için denklemler kullanmayı gerektirir. Her ürün için uygun dağılımı belirlemek, kesin talep tahmini elde etmek ve yeterli stok seviyelerini korumak için önemlidir. İncelenen ürünlerin talep dağılımını belirlemek için ürün yelpazesinden en çok satış yapılan 30 ürün üzerinde ayrıntılı bir analiz yapılmaktadır. Python'da Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi çeşitli dağılımlar için uygunluk analizi yapar. Bu sistemin aşağıda normal dağılım için bir hipotez testiyle nasıl uygulandığı gösterilmiştir ve aynı Poisson dağılımı için de geçerlidir.

- H_0 : Seçilen ürünün talep dağılımı normal dağılıma sahiptir.
- H_1 : Seçilen ürünün talep dağılımı normal dağılıma sahip değildir.

Bu hipotezler kullanılarak K-S testinin sonucunda elde edilen p değeriyle karar verilir.

- Eğer p değeri < 0.05 ise:

H_0 reddedilir.

Seçilen ürünün **normal dağılıma sahip olmadığı** varsayılır.

- Eğer p değeri > 0.05 ise:

H_0 reddedilmez.

Seçilen ürünün **normal dağılıma sahip olduğu** varsayılır.

Şirketin 23 aylık talep verilerini analiz etmek ve doğruluğunu göstermek için Arena Input Analyzer aracı kullanılmıştır. Verileri analiz etmek için en çok satış olan 30 ürün seçilmiştir. Python aracılığıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve %87 benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir, bu doğru kabul edilmiş ve modele uygulanmıştır. Bu proje, Croston ve SBA (Syntetos- Boylan Yaklaşımı) yöntemleri kullanılarak kesikli talep tahmini üzerine odaklanmaktadır. Bu yöntemler, gelecekteki talebi tahmin etmek için talep tahmin aralığı (T) ve talep büyüklüğü (Z) tarafından temsil edilen geçmiş verilerden yararlanır. Talep tahminlerinin doğruluğunu artırmak için başlangıç değerleri, lambda düzeltme parametreleri, ortalama (L) ve standart sapma (R) değerleri kullanılır. Kesikli talep tahmininde SBA ve Croston yöntemleri karşılaştırılır ve bu yöntemler düşük talep yoğunluğuna sahip ürünler için uygun olan yöntemlerdir. Etkililik açısından, özellikle sıfır talep durumlarının daha az olduğu durumlarda SBA, Croston yöntemini geride bırakır.

Alfa (α) ve beta (β) değerleri, SBA ve Croston yöntemlerinde tahmin doğruluğunu artırmak için ayarlanır. Bu, bu yöntemleri daha verimli hale getirmeye yardımcı olur. Bir amaç fonksiyonu ortalama hataların karesini (MSE) minimize eder ve bir optimizasyon algoritması bu parametreleri ayarlamak için kullanılır. Başlangıçta eğitim için kullanılan ilk 14 veri noktasını kullanarak parametreleri optimize eder ve geliştirilmiş talep tahmini doğruluğu elde edilir. Elde edilen optimize parametreleri kalan veri noktalarıyla birleştirilerek tahmin performansı daha da doğrulanır. Tüm optimizasyon adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: İlk 14 dönemi temsil eden eğitim setindeki veriler kullanılır.

Adım 2: Eğitim seti için seçili Croston veya SBA yöntemi uygulanır.

Adım 3: Uygulanan yöntem için parametre optimizasyonu, eğitim seti için MSE'yi en aza indiren α ve β değerinin bulunmasıyla yapılır.

Adım 4: Optimum parametreler için Adım 3 kullanılarak bir sonraki dönem tahmin edilir. Eğer tüm dönemler tamamlanmamışsa, eğitim seti 1 artırılarak Adım 1'e geri dönülür. Aksi takdirde, Adım 5'e geçilir.

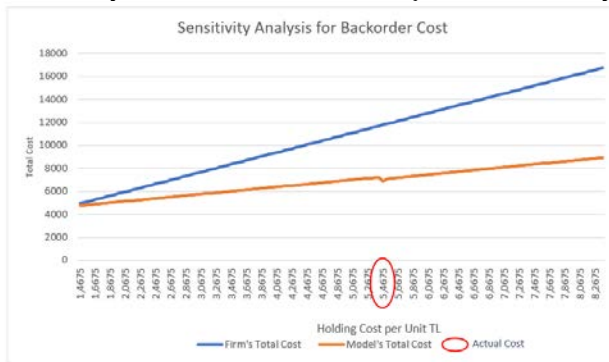
Adım 5: Veri serisinin (MSE / ortalama talep) değeri kullanılarak yöntemin performansı test seti için değerlendirilir.

Çözüm yönteminin uygulanması, Python tabanlı bir yazılım çerçevesi geliştirmeyi içerir. Bu çerçeve, talep tahmin parametrelerini, MSE'yi en aza indirmek için bir amaç fonksiyonunu ve alfa ve beta değerlerini ayarlamak için bir optimizasyon algoritmasını içerir. Kod, Python'un esnekliğini kullanarak tescilli çözücülere esnek ve erişilebilir bir alternatif sunar. Giriş verilerini işleme, amaç fonksiyonunu tanımlama, parametre değerlerini optimize etme, tahmin edilen talebi gerçek taleple karşılaştırma, metrikleri hesaplama ve bilinçli karar verme gibi çeşitli görevleri yerine getirir. Python'un hesaplama yetenekleri ve özelleştirme seçenekleri, verimli ve şeffaf bir stok yönetim sistemi sunar. Model, *scipy.stats*, *matplotlib.pyplot*, *numpy*, *math*, *statistics* ve *scipy.optimize* gibi çeşitli Python kütüphanelerini kullanır. Bu kütüphaneler istatistiksel hesaplamaları gerçekleştirmeye ve parametreleri optimize etmeye yardımcı olur.

IV. SONUÇ

Sonuçlar bölümünde, duyarlılık analizi yöntemiyle elde edilen bulguların detaylı bir açıklaması yer almaktadır. Duyarlılık analizi, parametre değişikliklerinin sistem davranışı üzerindeki etkisini ortaya koyan son derece etkili bir doğrulama tekniğidir. Bu bölümde yapılan duyarlılık analizi, gecikmeli sipariş verme ve envanter tutma maliyetleri gibi değişkenleri inceleyerek toplam maliyet üzerindeki etkiyi doğru bir şekilde belirleyebilir. Sonuç olarak, bu analiz, modelin şirketin mevcut yönteminden daha iyi performans gösterdiğini ve maliyeti önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Şekil 1, değiştirilebilir bekleyen sipariş maliyetleri için hassaslık analizi grafiğini gösterirken, Şekil 2, değiştirilebilir ürün başına tutma maliyetleri için hassaslık analizi grafiğini göstermektedir. Şekil 1'de belirli bir ürünün gerçek bekleyen sipariş maliyetini ve Şekil 2'de gerçek envanter tutma maliyetini temsil eden kırmızı bir daire ile işaretlenen sayı x ekseninde gösterilmektedir. Bu bölümde SBA yöntemi kullanılmaktadır. SBA ve Croston yöntemleri duyarlılık analizinde benzer desenler gösterdiği için Croston yöntemiyle gösterilmesi gereksizdi. Beklentilere uygun olarak, değişken maliyetlerin artmasıyla toplam maliyetin buna paralel olarak arttığı grafikte görülmektedir.

Maliyet ve envanter seviyesi planlamasını genişletmek için analizden yararlanmak işletmelere önemli faydalar sağlayabilir. Bu yaklaşım, envanter yönetimini etkin bir şekilde uygulayarak uzun vadede maliyet tasarrufu sağlar. Son derece etkili modelimiz, işletmeler için maliyet planlaması ve envanter yönetimi konusunda bilinçli kararlar almayı desteklemektedir.



Şekil 1. Değiştirilebilir Bekleyen Sipariş Maliyeti için Duyarlılık Analizi



Şekil 2. Değiştirilebilir Envanter Tutma Maliyeti için Duyarlılık Analizi

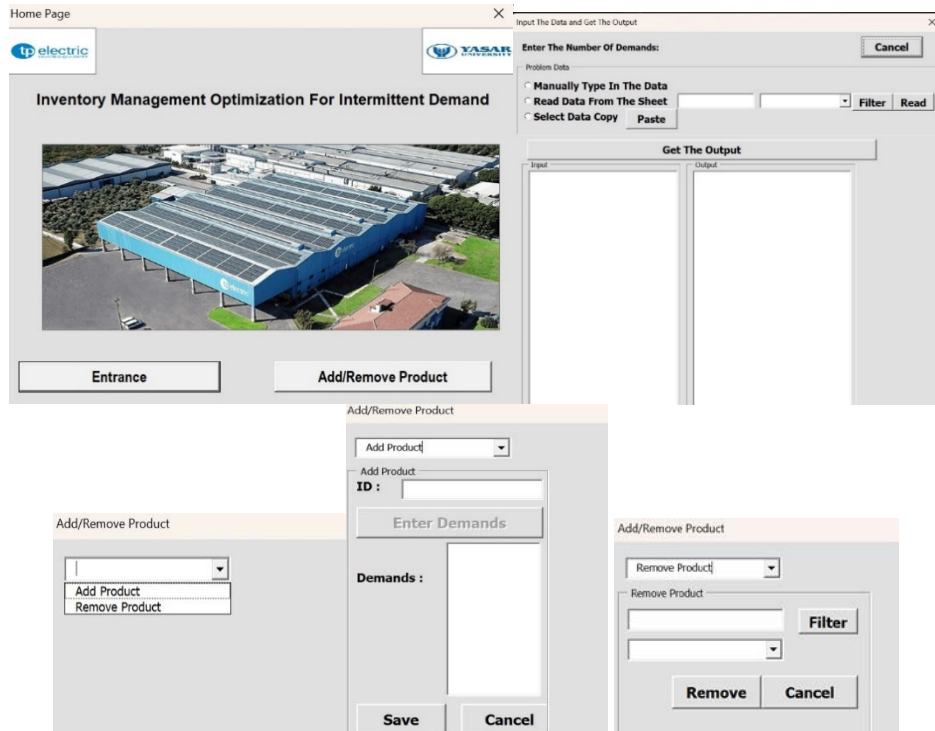
Bakılan ürünlerin %80'inde SBA yöntemi Croston yöntemine göre daha düşük maliyetlidir ve bu yöntem kullanılmaktadır ayrıca SBA yöntemi genel olarak düşük talep yoğunluğuna sahip ürünler için

etkili bir yöntemdir. Geliştirilen modelin maliyet açısından daha iyi sonuçlar verdiği karşılaştırmalarda gözlemlenmiştir. Üstelik, geliştirilen model sayesinde Croston yöntemi kullanılırsa şirketin mevcut sistemine göre ortalama %28 maliyet düşüşü görülürken, SBA yöntemi kullanılırsa şirketin mevcut sistemine göre ortalama olarak %40 maliyet düşüşü sağlanmaktadır.

Bulgulara dayanarak, yeni geliştirilen modelin şirketin mevcut değerlerinden daha iyi performans gösterdiği ve önemli maliyet avantajları sunduğu sonucuna varılabilir. Modelin stratejik avantajı, envanter yönetimi süreçlerini optimize ederek daha etkili ve verimli maliyet tasarrufu sağlamasıdır. Rapor, şirketle yapılan anlaşmalar gereği belirli maliyet bilgilerini açıklamayarak gizlilik ilkesini korumaktadır. Bu nedenle, detaylı maliyet bilgileri paylaşılmamaktadır. Ancak yapılan karşılaştırmalar ve elde edilen yüksek iyileştirme oranı, geliştirilen modelin etkinliğini desteklemekte ve şirketlere maliyet planlaması ve envanter yönetimi stratejileri konusunda bilinçli kararlar almalarına yardımcı olabilmektedir.

Ayrıca Karar Destek Sistemi (KDS) ile, doğru ve güncel veri analizi sağlayarak karar verme sürecini geliştirir, hızlı karar alma imkânı sunar ve alternatif senaryoları değerlendirir. Esnekliği, kullanım kolaylığı ve görselleştirme yetenekleri nedeniyle Excel VBA, KDS için tercih edilen bir araçtır. Projenin KDS bileşeni şirketin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla Excel'de tasarlanmıştır. KDS'nin kullanıcı arayüzü, şekillerde gösterildiği gibi kullanıcılara sunulur.

Kullanıcı Excel dosyasını açtığında "Ana Sayfa" ekranıyla karşılaşır. "Giriş" veya "Ürün Ekle/Kaldır" butonlarından birini seçebilir. "Giriş" butonuna tıklarsa "Verileri Gir" ve "Çıktıyı Al" sayfası açılır. Bu sayfada kullanıcı verileri manuel olarak girebilir, sayfadan okuyabilir veya kopyalayabilir. İkinci seçenekte, mevcut veriler otomatik olarak görüntülenir ve kullanıcı bunlardan birini seçerek girdi olarak kullanabilir. "Filtreleme" düğmesi, ürünleri kolayca bulmak için kullanılabilir. Üçüncü seçenekte ise kullanıcı verileri kopyalayıp yapıştırabilir ve çıktı alabilir. Her durumda, kullanıcının girdi verileri yazılır ve "Çıktıyı Al" düğmesine basılarak çıktılar ekrana yazdırılır. "Ürün Ekle/Kaldır" butonuna tıklanırsa, kullanıcı yeni ürünler ekleyebilir veya mevcut ürünleri listeden çıkarabilir. "Filtreleme" düğmesi, kaldırılacak ürünleri bulmak için kullanılabilir.



Şekil 3. KDS Arayüzleri

Sonuç olarak, bu projeye güçlü bir pazar varlığına ve geniş bir ürün yelpazesine sahip saygın bir elektrik malzemeleri üreticisi olan TP Elektrik'in, stok yönetimini daha etkin bir envanter yönetim sistemi geliştirerek ve analitik yöntemler uygulayarak, envanter yönetimi ve talep tahmininde yaşadığı zorlukları gidermesi amaçlanmıştır.

Bu proje ile TP Elektrik'in envanter yönetimi ve talep tahmininde yaşadığı zorluklar, daha etkili bir envanter yönetim sistemi geliştirilerek ve analitik yöntemler uygulanarak çözülmüştür. Envanter yönetimi için Gazete Satıcısı Politikası ve Sipariş Üst Sınırı modeline dayanan matematiksel bir model uygulanmıştır. Proje kapsamında Python programlama dili kullanılarak algoritmalar ve hesaplamalar kodlanmıştır. Kullanıcı dostu bir karar destek sistemi, Excel VBA kullanılarak oluşturulmuş ve TP Elektrik'in envanter yönetimini optimize etmesine ve maliyetleri minimize etmesine yardımcı olmuştur. Bu proje, literatür analizi, talep tahmini, doğruluk analizi ve duyarlılık analizi gibi adımları içermekte olup, Croston ve SBA yöntemlerini kullanarak kesikli talep tahmini üzerine odaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen modelin, şirketin mevcut yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini ve maliyetleri önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Şirket, bu yöntemler ve araçlar kullanılarak envanter yönetim sürecini optimize edebilir, maliyetleri minimize edebilir ve müşteri memnuniyetini artırabilir.

REFERANSLAR

- [1] Snyder, R. D., Ord, J. K., & Beaumont, A. (2012). Forecasting the intermittent demand for slow-moving inventories: A modelling approach. *International Journal of Forecasting*, 28(2), 485-496.
- [2] Xu, Q., Wang, N., & Shi, H. (2012, May). Review of Croston's method for intermittent demand forecasting. In *2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery* (pp. 1456-1460). IEEE.
- [3] Syntetos, A. A., Babai, M. Z., Dallery, Y., & Teunter, R. (2009). Periodic control of intermittent demand items: theory and empirical analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 611-618.
- [4] Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of forecasting*, 21(2), 303-314.
- [5] Tian, X., Wang, H., & Erjiang, E. (2021). Forecasting intermittent demand for inventory management by retailers: A new approach. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 62, 102662.
- [6] Pinçe, Ç., Turrini, L., & Meissner, J. (2021). Intermittent demand forecasting for spare parts: A critical review. *Omega*, 105, 102513.
- [7] Shi, J. (2022). Application of the model combining demand forecasting and inventory decision in feature based newsvendor problem. *Computers & Industrial Engineering*, 173, 108709.
- [8] Mines, A., & Avinadav, T. (2022). The newsvendor problem with a non-stationary demand process and exact accounting of holding costs. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 2761-2766.
- [9] Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2001). On the bias of intermittent demand estimates. *International journal of production economics*, 71(1-3), 457-466.
- [10] Axsäter, S. (2015). *Inventory control* (Vol. 225). Springer.
- [11] Willemain, T. R., Smart, C. N., Shockor, J. H., & DeSautels, P. A. (1994). Forecasting intermittent demand in manufacturing: a comparative evaluation of Croston's method. *International Journal of forecasting*, 10(4), 529-538.
- [12] Kot, S., & Grondys, K. (2011). Theory of inventory management based on demand forecasting. *Polish journal of management studies*, 3(1), 147-155.
- [13] Levén, E., & Segerstedt, A. (2004). Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution. *International journal of production economics*, 90(3), 361-367.
- [14] Snyder, R. (2002). Forecasting sales of slow and fast moving inventories. *European Journal of Operational Research*, 140(3), 684-699.
- [15] Ciarallo, F. W., & Niranjan, S. (2014). Properties of optimal order-up-to levels for the newsvendor problem with random capacity. *International Journal of Advanced Operations Management*, 6(4), 353-376.
- [16] Ninh, A. (2021). Robust newsvendor problems with compound Poisson demands. *Annals of Operations Research*, 302(1), 327-338.
- [17] Hillier, F. S., & Price, C. C. (2001). *International Series in Operations Research & Management Science*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany

Değerlendirme ve Sonuçlar

2022-2023 akademik yılında, Endüstri Mühendisliği bölümü son sınıf öğrencileri on proje üzerinde çalıştılar. Dokuz aylık bütün bir akademik yılı kapsayan bu proje sürecinde öğrencilerimiz, lisans öğrenimleri boyunca edindikleri bilgi ve yetenekleri, yoğun bir takım çalışması ile pekiştirmiş oldular. Yürütülen projelerle öğrencilerimizin yetenek ve bilgi birikiminin arttığı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, başarılı bir proje süreci yürütülmüştür. Önümüzdeki yıllarda da aynı sistematik yapı içerisinde sürecin disiplin içinde yürütülmeye devam edilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

IE 4910 Sistem Analizi ve IE 4920 Sistem Tasarımı Derslerinin Uygulama Planı

A- Genel

Bitirme projesi; son sınıfta güz döneminde alınan IE 4910 Sistem Analizi ve bahar döneminde alınan IE 4920 Sistem Tasarımı isimli ve birbirini takip eden iki dersten oluşmaktadır. Her iki dersin içeriği, bitirme projesinin yürütülmesine yönelik uygulamalı faaliyetleri içerir. Projenin safhaları ve yürütülmesi gereken faaliyetler 11 bölüme ayrılarak bu iki derse dağıtılır. Aşağıda projenin çeşitli bölümlerinin bu iki dersin içine nasıl dağıtıldığını göstermektedir.

Tablo 1. Proje Bölümleri ve Haftalık Çizelge.

IE 4910 Sistem Analizi Dersi- Güz Dönemi		
Bölüm	Başlık	Hafta
1	Projeye Giriş	3-6
2	Problem Tanımı	
3	Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış	7-14
4	Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu	
5	Literatür Çalışması	18-19

IE 4920 Sistem Tasarımı Dersi - Bahar Dönemi		
Bölüm	Başlık	Hafta
6	Çözüm Metodolojisi	1-7
7	Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması	
8	Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması	8-10
9	KDS'nin Doğrulama ve Geçerlemesi	
10	Karşılaştırma	11-15

Her bir bölümün içinde, öğrencilerin tamamlamakla yükümlü olduğu alt aşamalar vardır. Bu aşamalar ve kesin tarihleri dersin öğretim planında belirtilmiştir.

B- Detaylı İçerik

IE 4910 Sistem Analizi dersi beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin detaylı içerikleri aşağıda verilmiştir.

1. Projeye Giriş

- Konunun belirtilmesi
- İçeriğin belirtilmesi ve proje ile ilişkilendirilmesi
- Çalışmanın motivasyonunun belirtilmesi
- Problem çevresinin belirtilmesi (sistem parçalarının tanımlanması, var olan prosedürlerin belirtilmesi, sistemde var olan pratik uygulamalar)

2. Problemin Tanımlanması

- Problemin konusu ve amacının belirtilmesi
- Sistemin tanımlanması (grafikler ve görsel materyallerle desteklenebilir).

- Gözlemler, veri toplanması.
- Veriler ışığında bulguların (semptomlar) belirlenmesi.
- 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 çözümü yöntemleri açısından irdelenmesi.

5. Detaylı Literatür Çalışması

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

Bu safhada güz dönemi bitmektedir. Bahar dönemi ile birlikte projenin devamı IE 4920 Sistem Tasarımı dersinde yürütülür. Bu dersin içeriği ilk dönemin devamı olacak şekilde kalan diğer beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin detaylı içerikleri aşağıda verilmiştir.

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 geçerliliği, 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 Geçerliliği

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

10. Karşılaştırma

- Kritik başarı faktörleri baz alınarak mevcut işleyiş ile tasarlanan sistemin karşılaştırılması.

- Kritik başarı faktörleri kullanılarak yapılan iyileştirmelerin sayısal verilerle ortaya konulması.

C- Çalışma Takvimi

Güz döneminin başlaması ile birlikte IE 4910 dersi kapsamında yapılması gereken faaliyetler aşağıdaki çalışma takvimine göre yürütülecektir.

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 “A01-Group Formation Form”u doldurarak Sakai platformuna 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 Sakai üzerinden ilan edilecektir.

Grupların proje tercihlerini bildirmesi

Gruplar proje tercihlerini “A02 - Project Preference Form”u doldurarak dersin Sakai 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 Sakai sayfasında ilan edilecektir.

4. Hafta

Grupların danışmanlarıyla ve firmalarıyla temasa geçmeleri

Gruplar danışmanlarıyla temasa geçerek haftalık düzenli buluşma saatlerini belirleyeceklerdir. Danışmanlarının yönlendirmesi ile proje ortağımız şirket temsilcisi ile temasa geçerek proje çalışmalarına başlamış olacaklardır.

5 ve 6. Haftalar Arası

Bölüm 1 ve 2 çalışmaları

5 ve 6. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 1. ve 2. Bölümleri (safhaları) tamamlamaları gerekmektedir.

7 ve 14. Haftalar arası

Bölüm 3 ve 4 çalışması

7. ve 14. haftalar arasında tüm grupların proje çalışmalarının 3. ve 4. bölümlerini (safhalarını) tamamlamaları gerekmektedir. 1. bölümden 4. bölüme kadar yapılan çalışmalar raporlanacaktır.

15. Hafta

Rapor teslimi

Gruplar, 1.-4. bölümlerde yaptıkları çalışmalarını içeren kağıda basılı İngilizce raporlarını teslim edeceklerdir. Raporlar, “A05 - English Report Template” formatında olmalıdır. Öğrencilere, İngilizce raporlarını yazarken yardımcı olması için “A05b- English Report Example for System Analysis” örnek raporu incelemeleri tavsiye edilir. Ayrıca raporun elektronik versiyonu (.docx) Sakai platformuna yükleyeceklerdir.

Sunumlar

Tüm gruplar, kendi çalışmaları ile ilgili İngilizce sunumlarını yapacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından “A04 - IE 4910 Oral Presentation Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır.

17. Hafta

IE 4910 –Not Teslimi

Grupların raporları danışmanlar tarafından “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

Dönem Arası- 5. Bölüm Çalışması

Dönem arasına 5.bölümde belirtilen ayrıntılı (makale bazında) literatür araştırması yürütülecektir.

Bahar döneminin başlaması ile birlikte proje kaldığı yerden bu defa IE 4920 dersi kapsamında devam edecektir. Bu dönemde yapılması gereken faaliyetler aşağıdaki çalışma takvimine göre yürütülecektir.

20. ve 26. Haftalar Arası (7 hafta)

Tüm grupların proje safhalarında 6. ve 7. Bölümlerde gösterilen işleri tamamlamaları beklenmektedir.

27. ve 30. Haftalar arası (4 hafta)

Tüm grupların proje safhalarında 8. ve 9. Bölümlerde gösterilen işleri tamamlamaları beklenmektedir.

31. ve 33. Haftalar Arası (3 hafta)

Bölüm 10 ve Teslim Edilecek Belgelerin Hazırlanması

Projelerin son aşamasında, gruplardan geliştirdikleri çözümleri tüm projelerine uygulamaları beklenmektedir. 10. Bölümde tamamlandıktan sonra, tüm gruplar teslim edilecek belgeleri belirtilen tarihe kadar hazırlamalıdır.

34. Hafta

İngilizce rapor ve değerlendirme formları teslimi

Proje grupları hazırladıkları İngilizce raporlarının bir kopyasını Sakai platformuna yüklemelidirler. Grupların hazırlayacakları raporun formatı ve raporu hazırlarken izlenmesi gereken adımlar “A05a-English Report Template” formunda verilmiştir. Ayrıca her gruba, İngilizce raporlarını yazmaya başlamadan önce “A05c- English Report Example for System Design” ekine göz atması tavsiye edilir. İngilizce raporların elektronik versiyonu DOCX ve PDF formatında, Sakai platformuna ders izlencesinde belirtilen tarihe kadar eklenmelidir.

Bunun yanında tüm grup üyeleri birbirlerini “A11 - Peer-evaluation Form”u kullanarak değerlendirmeli ve bu formları ayrı ayrı kapalı zarflarda son raporla birlikte sekreterliğe teslim etmelidir.

Türkçe rapor teslimi

Proje gruplarının Türkçe raporlarının bir kopyasını Sakai platformu üzerinden teslim etmeleri gerekmektedir. Rapor formatı ve izlenecek adımlar “A07-Turkish Report Template” ekinde verilmiştir. Türkçe raporlar içerisinde ekler kısmı bulunmamalıdır ve raporun elektronik versiyonu DOCX ve PDF formatında, Sakai platformuna ders izlencesinde belirtilen tarihe kadar eklenmelidir.

Sunumlar

Gruplar projeleri kapsamında yaptıklarını anlatan İngilizce bir sunum hazırlayıp teslim ederler. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından “A09- IE 4920 Oral Presentation Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır.

Karar Destek Sisteminin Teslimi

Projenin gerçek hayatta başarılı bir şekilde uygulanabilir olması için, bir Karar Destek Sistemi'nin hazırlanması oldukça önemlidir. Gruplar Karar Destek Sistemlerini, hazırladıkları kullanım kılavuzları ile birlikte Sakai platformuna yüklemelidirler. Aynı zamanda gruplardan, Karar Destek Sistemlerini bölüm akademik kadrosuna sunmak için video hazırlamaları beklenmektedir. Grupların hazırlayacağı videolar, bölüm akademik kadrosu tarafından “A16- IE 4920 Video Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir.

36. Hafta

Bölüm Kurulu toplantısı

Bölüm Kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

Not: Uygulama planında geçen tüm dokümanlar, planın “Ekler” kısmında listelenmiştir ve elektronik halleri Sakai platformunda bulunmaktadır.

D- Diğer Hususlar

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

Grading Component	IE 4910 (%)	IE 4920 (%)
İngilizce Sunum	35	30
İngilizce Poster Sunumu	-	10
İngilizce Rapor (Ekler hariç en fazla 15 sayfa) + Türkçe Yönetici Özeti (-Sadece IE 4920 için- 6 sayfa, Eklere izin verilmemektedir.)	40	30
Grup üyelerinin birbirine verdiği notlar	5	5
Danışman değerlendirmesi	20	25
TOTAL	100	100

Grubun ortalama harf notu, TÜBİTAK Proje Yarışması veya TÜBİTAK Desteği, YAEM Öğrenci Proje Yarışması, Bölüm Proje Fuarı, TMMOB Yarışması gibi saygın platformlarda grubun başarı kazanması halinde bir barem yukarı yükseltilebilir. Bölüm kurulu tarafından kararlaştırılan nihai notlar öğrenci bilgi sistemine dersin grup danışmanları tarafından girilecektir.

Buluşma Saatleri

Grupların danışmanlarıyla düzenli olarak haftada en az bir kez görüşmesi beklenmektedir

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.

Proje Ekipleri

Proje İsmi	İzmir Metro Sisteminde Rejeneratif Enerjinin Verimli Kullanımı
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner (adalet.oner@yasar.edu.tr) Gamze Erdem (gamze.erdem@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Deniz Mutlum Selin Aylanç Ecemnaz Aydın Melisa Aras
Proje İsmi	Orijinal Malzeme Üreticisi Firma için Darboğaz Analizi Aracılığıyla Kapasite Genişletme
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Ayhan Özgür Toy(ozgur.toy@yasar.edu.tr) Araş. Görevlisi Nazlı Karataş Aygün (nazli.aygun@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Ali Yiğit Duman Arda Ali Bayraktar Gülşah Coşkunseda Ege Salman
Proje İsmi	Konfeksiyon İmalat Şirketinde Kalite Yönetimi ve İstatistiksel Proses Kontrol Sisteminin Uygulanması
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Efthimia Staiou (effi.staiou@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Çağla Gerşil Pınar Erdiñç Ceylin Erton Zeynep Buduneli
Proje İsmi	Konfeksiyon Endüstrisi için Depo Tasarımı ve Sipariş Toplama Algoritması
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe (ali.gokce@yasar.edu.tr) Simge Güçlükol Ergin (simge.ergin@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Deniz Su Güntekin Egemen Şahin Elif Ünlü Nesrin Özbay

Proje İsmi	Valf Sanayii A.Ş.'de Temel Bileşen Malzemeler için Envanter Yönetimi
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Murat Fadiloğlu (murat.fadiloglu@yasar.edu.tr) Gamze Erdem (gamze.erdem@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Asya Özkan Yılmaz Ata Özen Ecem İrdem Ecem Tezgiden
Proje İsmi	Sıraya Bağlı Kurulum Süreleri ile Çok Modelli Montaj Hattını Sıralama
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek (arslan.ornek@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Elvin Sarı Tunahan Kuzu Devin Duran Sude Dila Ceylan Yaren Can
Proje İsmi	Manisa Valf A.Ş.'de Soğutucu Küresel Valf Üretim Sürecinde Değer Katmayan Faaliyetleri En Aza İndirme
Akademik Danışmanlar	Doç. Dr. Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr) Gamze Esmâ Bektâş (gamze.bektas@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Ege İlık Ahmet Enes Şimşek Süleyman Efe Şınık Umut Berke Koç
Proje İsmi	Evka 3-Kaymakamlık Metro Hattının Simülasyonu ve Varış Zamanlarının Değerlendirilmesi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Nazlı Karataş Aygün (nazli.aygun@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Felma Çolmabey Kutay Tosun Gökçem Mısra Şenocak Gökçe Loğoğlu
Proje İsmi	Totomak için Depo Yönetimi Karar Destek Sistemi
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Üyesi Levent Kandiller (levent.kandiller@yasar.edu.tr) Simge Güçlükol Ergin (simge.ergin@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Burak Kurt Melis Karakurt Güneş Şirin Sevde Zümrüt İpsay

Proje İsmi	Aralıklı Talep için Envanter Yönetimi Optimizasyonu
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Oktay Karabağ (oktay.karabag@yasar.edu.tr) Berk Kaya (berk.kaya@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Zeynep Eda Işıklı Bekircan Torun Fatma Ravza Çekiç Aleyna Ömrüm Başay



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

Yaşar Üniversitesi Selçuk Yaşar Kampüsü
Üniversite Caddesi, No: 37-39 Ağaçlı Yol, Bornova, İzmir PK 35100
Tel: 0232 570 70 70 Fax: 0232 570 70 00
www.yasar.edu.tr

