



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Sistem Tasarımı Proje Özetleri

2021-2022



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

SİSTEM TASARIMI
PROJE ÖZETLERİ
2021-2022

Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

Hazırlayan:

Araştırma Görevlisi Mert Paldrak

Araştırma Görevlisi Melis Tan Taçoğlu

İZMİR 2022

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ
2021-2022

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

ISBN : 978-975-6339-94-7

İzmir, Eylül 2022

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, 2021-2022 akademik yılında bölgemizdeki saygın şirketlerde on proje hayata geçirilmiştir. Bu projelerden altı tanesi “TÜBİTAK 2209 B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında desteklenmeye layık görülmüştür. Böylelikle son sekiz yılda, TÜBİTAK desteği alan mezuniyet projesi sayısı ise 32'ye ulaşmıştır.

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

Sistem Tasarımı Proje Özetleri 2021-2022 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

Eylül 2022

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
Araştırma Görevlisi Melis Tan Taçoğlu

İçindekiler

Önsöz	iii
İçindekiler	v
Hazır Giyim Sektörü Dikim Hatları İçin Benzetim Tabanlı Analiz ve Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi	1
Çelik Endüstrisinde Stok Kesme Problemi	10
Çok Aşamalı Envanter Yönetimi ile Ulaşım Planlaması	16
Elektrik Ekipman İş Çizelgeleme Problemi	22
Çoklu Üretim Hatları için Yetkinlik Bazlı İnsan Kaynağı Çizelgeleme Karar Destek Sistemi ...	29
Valf Üretim Sektöründe Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi	36
Proje Bazlı Üretim Sistemi için Esnek Tesis Yerleşim Tasarımı	43
Mineral Yağ Üretim Sektöründe Envanter Yönetimi	49
Endüstriyel Valfler için Talep Tahmini ve Envanter Kontrol Sistemi	56
Konfeksiyon Üretiminde Yetkinlik Bazlı İşçi Ataması ile Montaj Hattı ve İşçi Yüğü Dengeleme	62
Değerlendirme ve Sonuçlar	68
IE 4910 Sistem Analizi ve IE 4920 Sistem Tasarımı Derslerinin Uygulama Planı	69
Proje Ekipleri	75



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Hazır Giyim Sektörü Dikim Hatları İçin Benzetim Tabanlı Analiz ve Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

**Işıl A YDIN, Can ELHAN, Zilan GERİLAKAN, Burak ÖZDEŞ, Zeynep RALA, Zeynep
Hazal SOYAN, Sanemnaz YURTERİ**

Akademik Danışmanlar
Dr. Önder Bulut
Berk Kaya

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

TYH Tekstil A.Ş. 2000 yılından bu yana kaliteli kumaşlarla örme giysiler üreten hazır giyim firmasıdır. Yönetim kurulu başkanı Selçuk Mehmet Kaya'dır. TYH Tekstil A.Ş'nin 4200'den fazla çalışanı bulunmaktadır. 20 Milyon adet üretim kapasitesine ve yıllık 120 milyon € ciroya sahiptir. Kendi markalarına sahip olmasının yanı sıra 40'tan fazla ülkeye ihracat yapmaktadır. TYH Tekstil A.Ş. tarafından kendi tasarımları ile üretilen Roqa ve NVC Athletica markaları mevcuttur. Bu markalara ek olarak TYH Tekstil A.Ş. Varner-Gruppen'in çalışma ortakları Tommy Hilfiger, Calvin Klein, Ralph Lauren, Gant, Emporio Armani, Massimo Dutti, Bestseller, Superdry, Selected Femme ve Topshop'tur. TYH Tekstil A.Ş. Ege, Marmara ve Karadeniz bölgelerinde 9 üretim tesisi, 2 lojistik merkezi ve 2 şirket merkezi ofisi bulunmaktadır. Yurt dışında Amerika, İngiltere ve Hollanda'da da satış ofisleri bulunmaktadır. Şirketin ayrıca İzmir'de üretim ve merkez ofisi bulunmaktadır. TYH Tekstil A.Ş. Türkiye'nin en hızlı büyüyen 4. şirkettir.

TYH Tekstil A.Ş.'nin 2 ana merkezi bulunmaktadır. Bunlardan biri İzmir'in Işıkkent ilçesinde bulunan fabrikadır. Işıkkent fabrikası 1778 metrekairelik açık, 5400 metrekairelik kapalı alanıyla toplam 7178 metrekairelik alanda üretimine devam etmektedir. Tesis bünyesinde 279'u beyaz yakalı, 196'sı mavi yakalı olmak üzere toplam 475 çalışan bulunmaktadır. Müşteriler tarafından gönderilen çizim ve taslaklar tasarım ekibi tarafından düzenlenerek üretime hazır hale getirilmekte ve toplam 6 hat üzerinde üretim yapılmaktadır. En son trendleri ve yenilikleri takip ederek doğru ürünü doğru zamanda sunmayı hedefleyen Işıkkent Genel Merkezinde Hazır Giyim Örneklemeye, Üretim, Satın Alma, Merkezi Planlama, Kalite Güvence, Bilişim, Finans, Bütçe ve Muhasebe departmanları bulunmaktadır. Üretim planlaması Excel programı üzerinden yapılmakta ve şirkette ERP programı olarak Canias kullanılmaktadır. Işıkkent fabrikası, müşterilerinin istediği her türlü üretim modelini dikme iznine sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, dikiş hatlarında ihmal edilen rastgelelik faktörünü analiz etmek, üretim sırasında verimliliği artırmak için kullanılan farklı karar politikalarını araştırmak ve sonuçları optimum politika parametrelerini belirleyecek bir simülasyon modeline entegre etmektir.

II. PROBLEM TANIMI

Tekstil sektörü emek yoğun bir sektör olarak bilinir. Bu nedenle sektörün gelişigüzel doğasından dolayı dikiş işlemlerinde sık sık aksaklıklar yaşanmaktadır. Bu sapmaların bir sonucu olarak en sık karşılaşılan sorunlardan biri dönem dönem sapmalardır. Sapmaların nedenlerinden biri, standart çalışma sürelerinin ve dolayısıyla üretim hedeflerinin (tolerans faktörü dikkate alınsa da) deterministik/spesifik sayılar olarak kullanılmasıdır. Bu projedeki istatistiksel analizler, çalışma sürelerindeki bu standart sapmaların ihmal edilebilir seviyelerin üzerinde kaldığını göstermektedir. Bu durumun temel nedenlerinden biri de yukarıda belirttiğimiz gibi hazır giyim sektörünün emek yoğun bir sektör olmasıdır. Ek olarak, operatörlerin performansının rastgeleliğinin yanı sıra yorgunluk ve öğrenme etki faktörleri de sistemdeki belirsizliği artırmaktadır. Bu belirsizliklerin artması, oluşabilecek darboğazların tahmin edilmesini ve önlenmesini zorlaştırmaktadır. Projeyi birlikte yürüttüğümüz TYH Tekstil A.Ş'nin halihazırda darboğazları tespit etmek ve önlemek için göz önünde bulundukları bazı kritik noktalar var. Bunlar, operatörün kişisel ihtiyaçlarını, makinelerin hazırlanmasını ve işlem sırasında makinede oluşabilecek iplik kopması ve iğne kırılması gibi zaman kayıpları ve yorulmaları temsil eden "Tolerans" düzeyi dikkate alınır. Bununla birlikte, şirketin politikaları, her makine için toleransın aynı seviyede olması ve hazır giyim sektörünün doğasına neden olan rastlantısallığı ifade etme kabiliyetine sahip olmaması nedeniyle gerekli optimizasyon seviyesine ulaşmamaktadır. Ayrıca, bu rastgelelik dinamik süreç iyileştirme politikalarına dahil edilmemiştir. Bunun nedeni, hat yöneticisinin bu süreci bilimsel olarak değil, yalnızca deneyimlerine göre yapmasıdır. Projenin amacı, ürün dikiş hattına girmeden önce rastlantısallığı dikkate alarak joker eleman atamalarla optimum parametre değerleri ve koşulları bularak darboğazları dinamik olarak tespit etmek ve dikiş sürecini iyileştirmektir.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Dikiş işlemleri insan gücüne bağlıdır. Kişiden kişiye farklılık gösteren bu güç özellikle performans açısından ciddi bir fark yaratmaktadır. Bu nedenle verileri analiz ederek performansı etkileyebileceğini

düşündüğümüz bazı faktörleri analiz etmeyi amaçladık. Bu faktörler öğrenme ve yorgunluktur. Öğrenmenin bir etken olabileceğini düşünmemizin nedeni, dikiş hattına gelen farklı siparişlerin farklı modellerde olması ve her modelin işlemlerinin birbirinden farklı olabilmesidir. Öte yandan, yorgunluğu başka bir faktör olarak analiz ettik çünkü insanların çalışma saatlerinde bir noktada yorulduğunu ve günün başında ve sonunda aynı performansta kalamayacağını gözlemledik. Bunlara dayanarak, veri analizi için bir hipotez belirledik. İlk hipotezimiz, saatlik çalışma çıktıları ile hedef çıktı arasında bir fark olup olmadığıdır. İkinci hipotezimiz, çalışma saatleri boyunca iki zaman aralığının çıktıları arasındaki ilişkidir. Bu hipotezler yorgunluğun etkisini görmek için kurulmuştur. Öğrenme etkisini görmek için son hipotezimizi oluşturduk. Bu hipotezde, her farklı üretim modeli için aynı iş günlerini inceledik. Hipotez testlerini gerçekleştirmek için araştırdığımız dikiş hattı olan bant 3'ün 2020-2021 yılları arasında farklı modeller için kaydettiği saatlik üretim verilerini kullandık. Her bireyin performansının farklı olduğunu düşünürsek, bir operasyon operatör eşleşmesi yaptık. Daha doğru olacağını düşündüğümüz için saatlik çıktıyı dakika çıktı olarak hesapladık ve günlük karşılaştırma için model üzerinde çalışılan günlerdeki çıktıları ortalama çıktı olarak hesapladık ve testleri gerçekleştirdik. Veri numarasının uygunluğu nedeniyle hipotez testlerini gerçekleştirmek için Z-test yöntemini kullandık. Testlerden elde ettiğimiz sonuçları güven aralıklarına göre oluşturduğumuz grafiklerde gösterdik.

Hipotez Testi 1: Amacımız, seçilen zaman aralığında hedeften sapmaları görmektir. Saatlik hedefler, standart işlem süresine göre hesaplanır. Her işlemin standart süresi farklı olduğundan, saatlik çıktı hedefleri de farklıdır.

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

i : karşılaştırma için seçilen zaman aralığı

j : karşılaştırma için seçilen zaman aralığının saatlik hedefi

$$i \in \{08.00-09.00, 09.00-10.00, 10.00-11.15, 11.15-13.00, 13.00-14.00, 14.00-15.00, 15.00-16.15, 16.15-17.15, 17.15-18.00\}$$

Bazı operasyon sonuçları hedeften uzaktı bu operasyonların z değerleri arasında saatlik hedefe göre anlamlı bir fark olduğu için saatlik hedeften bağımsız olarak işlemleri iki saatlik aralıklarla test etmeye karar verdik. Hipotez Testi 2: Günlerden bağımsız olarak saatler arasındaki sapmaları görmeyi amaçladık. Ek olarak, bu hipotezi oluşturmanın amacı yorgunluk faktörünü araştırmaktır.

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

i : karşılaştırma için seçilen zaman aralığı

j : karşılaştırma için ikinci seçilen zaman aralığı

$$i, j \in \{08.00-09.00, 09.00-10.00, 10.00-11.15, 11.15-13.00, 13.00-14.00, 14.00-15.00, 15.00-16.15, 16.15-17.15, 17.15-18.00\}$$

Hipotez Testi 3: Bu hipotezde, çalışma saatlerine bakılmaksızın ortalama günlük çıktıyı göz önünde bulundurarak üretim modelindeki iş günlerini karşılaştırdık. Bu hipotezin amacı öğrenme faktörünü araştırmaktır.

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

i : karşılaştırma için ilk seçilen gün

j : karşılaştırma için ikinci seçilen gün

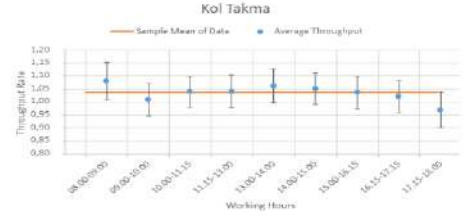
$$i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

n = üretim modeli üzerinde çalışmanın son günü

Hipotez 2 ve 3'ün test sonuçları bize yorgunluk ve öğrenme faktörlerinin dikiş hattının performansı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını gösterdi.

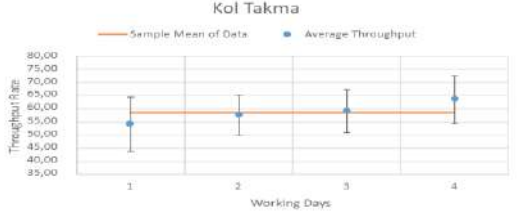
Dağılım Belirleme ve Çıktı Analizörü

Sağ tarafta gördüğünüz grafik saatlik ortalama çıktıların güven aralıklarını temsil etmektedir. Güven aralıkları, zaman aralıklarındaki ortalama çıktılarına göre tanımlanır. Saat dilimleri arasındaki çıktı güven aralığı genellikle aritmetik ortalamaya yakındır, ancak günün son zaman aralığında operatörün yorgunluğuna bağlı olarak üretim sayısı ortalamadan biraz uzaktır.



Şekil 1. “Kol Takma” operasyonu için saatlik Ortalama çıktıların güven aralığının gösterilmesi

Grafik, aynı operatörler tarafından farklı üretim modellerinde aynı işlemlerin iş günleri hakkında bilgi sağlar. 1. gündeki operatör üretim modelini ilk kez ürettiğinden, dakika başına çıktı sayısı aritmetik ortalamadan uzaktır. Operatör bunu öğrenmeye başladığında, 2. ve 3. günün dakika çıktıları sayısal ortalamaya yaklaştı. 4. günde, operatör üretim modelini tamamen öğrendiğinden, üretim sayısı aritmetik ortalamadan daha yüksektir.



Şekil 2. “Kol Takma” operasyonu için Günlük Ortalama çıktıların güven aralığının gösterilmesi

Verilen sipariş miktarı üretilinceye kadar üretime devam edilmesi zorunludur. Bu nedenle, simülasyon modeli, dikiş çizgisi sipariş edilen miktara ulaştığında sona eren bir sonlandırma modelidir. Doğası gereği dikiş çizgileri rastgelelik içerdiğinden, modeli bir kez çalıştırmak ve tutarlı sonuçlar beklemek anlamlı olmayacaktır. Bu nedenle, model birden çok kez çoğaltıldı. Farklı rasgele sayılar kullanılarak, çoğaltmaların birbirinden bağımsız olması sağlanır. Modelde amaç, planlanan hedef son tarihlerden sapmaları en aza indirmektir ve bu metrik, çoğaltma sayısını belirlerken bir performans ölçüsü olarak alınır.

Benzetim Modeli

Kuyruk Uzunluğu Temelli Politika:

O : Operasyonlar kümesi W : Jokerler kümesi $i, w \in W$ $o, k, b \in O$

$Q_{o,k,b}(t)$: t zamanında o, k, b operasyonlarının kuyruk uzunluğu

BS_o : o operasyonu için tampon stok

Kısıtlar

$$BQ_o, WIQ_i, RBQ_b, RIQ_i < BS_o$$

$$BQ_o, WIQ_i < 0$$

$$WIQ_i, RBQ_b < BQ_o$$

$$RIQ_i < RBQ_b$$

$$WIQ_i < RIQ_i$$

$$\text{Amaç: } (\overline{BQ}, \overline{WIQ}, \overline{RIQ}, \overline{RBQ})$$

Darboğaz Tespiti

BQ_o : o operasyonunu aday darboğaz operasyonu olarak tanımlamak için bu operasyonda oluşabilecek minimum kuyruk uzunluğudur.

$\forall o$, eğer $Q_o(t) \geq BQ_o$ ise o operasyonu darboğaz adayı olur.

$\text{Argmax}\{Q_o(t) \mid Q_o(t) \geq BQ_o\}$ darboğaz olarak belirlenir. $\rightarrow b = o$

Joker Çalışanını Yeniden Atama

WIQ_i : i joker elemanını aday joker eleman olarak tanımlamak için k ilk operasyonunda oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğudur.

$\forall k$, eğer $Q_k(t) \leq WIQ_i$ i joker elemanı joker adayı olur.

$\text{Argmin}\{Q_k(t) \mid Q_k(t) < WIQ_i\}$ joker eleman olarak belirlenir. $\rightarrow w = i$

Joker Çalışanını Geri Çağırma

RBQ_b : w joker elemanının k operasyonuna geri çağrılabilmesi için b darboğazında oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğudur.

RIQ_w : w joker elemanının k operasyonuna geri çağrılabilmesi için b darboğazında oluşabilecek minimum kuyruk uzunluğudur.

Eğer $Q_b(t) \leq RBQ_b \vee Q_k(t) \leq RIQ_w$ ise w joker elemanını b darboğazından k ilk operasyonuna geri çağırın

Çıkan Ürün Sayısı Temelli Politika

O : Operasyonlar kümesi W : Jokerler kümesi H : Saatler kümesi

$i, w \in W$ $o, k, b \in O$ $h, m, n \in H$

$T_{o,k,b}(t)$: o, k, b operasyonlarının t zamanında gözlemlenen saatlik çıktısı

$G_{h,m,n,o,k,b}$: o, k, b operasyonlarının h, m, n saatlerinde planlanan saatlik çıktısı

Amaç: $(\overrightarrow{BT}, \overrightarrow{RIT})$

Darboğaz Tespiti

BT_o : o operasyonunu aday darboğaz operasyon olarak tanımlamak için bu operasyonda oluşabilecek gözlemlenen ve planlanan saatlik ürün çıktısı arasındaki minimum fark.

$\forall o$, eğer $G_{h_o} - T_o(t) \geq BT_o$ ise operasyon o darboğaz operasyon adayı olur.

$Argmax\{G_{h_o} - T_o(t) | G_{h_o} - T_o(t) > BT_o\}$ darboğaz olarak belirlenir. $\rightarrow b = o$

Joker Çalışanını Yeniden Atama

RIT_i : Joker elemanı aday joker eleman olarak tanımlamak için i joker elemanının k ilk operasyonunda oluşabilecek gözlemlenen ve planlanan saatlik çıktısı arasındaki maksimum fark.

$\forall k$, eğer $G_{h_k} - T_k(t) < RIT_i$ ise joker karakteri i joker adaydır.

$Argmin\{G_{h_k} - T_k(t) | G_{h_k} - T_k(t) < RIT_i\}$ joker eleman $\rightarrow w = i$

Joker Çalışanını Geri Çağırma

$G_{m_b} - T_b(t) = G_{n_k} - T_k(t)$, olduğunda w joker elemanını b darboğazından k ilk operasyonuna geri çağırın.

Doğrulama

Yapılan Simülasyon modelinin doğruluğunu test etmek adına, model üzerinde doğrulama gerçekleştirildi. Doğrulama yapmak için kısıtları Bu operasyonu aday darboğaz operasyonu olarak tanımlamak için o operasyonda oluşabilecek minimum kuyruk uzunluğu (BQ) = 20, joker elemanın i ilk operasyonda k oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğu (WIQ) = 5, Joker elemanın w k olarak geri çağrılabilmesi için b darboğazda oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğu (RBQ) = 15, w joker elemanın ilk operasyonda k oluşabilecek minimum kuyruk uzunluğu, k ögesine geri çağrılabilmeleri için (RIQ) = 10 olan ilk model seçildi ve bu modelin sonuçları not edildi. Ardından bu ilk modeldeki kısıtlar değiştirilerek modelin farklı parametreler ile verdiği sonuçlar not edilerek ilk model ile karşılaştırıldı. BQ limiti 20'den 22'ye çıkarıldığında atanan joker eleman sayısı azalırken, joker elemanın atandığı işte geçirdiği ortalama süre artıyor, mutlak sapma ise azalıyor. Öte yandan joker elemanın i ilk operasyonda k oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğunun (WIQ) azalmasının sistem üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülüyor. Joker elemanın w k olarak geri çağrılabilmesi için b darboğazda oluşabilecek maksimum kuyruk uzunluğu (RBQ) arttırıldığında ise sistemde daha düşük değerlerde mutlak sapma elde edilmiş oluyor.

Sistemin tampon stok değiştirilerek sistemin çalışma prensibi kontrol edildi. Görüldüğü üzere ilk tampon stok olan 30, 0'a düşürüldüğünde beklendiği gibi sistemde hiçbir joker ataması yapılmadı ve sistem herhangi bir sıraya izin vermediği için mutlak sapma neredeyse 5040 değerlerine yükseldi. Bu sonuçlardan yola çıkarak sistemin doğru ve istenen bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiş oluyor.

Simülasyon Optimizasyonu Metodları

Simülasyon optimizasyonu, en uygun giriş parametresi değerlerinin belirlenmesine yönelik bir yaklaşımdır; burada optimal, simülasyon modelinin çıktı değişkenlerinin bir fonksiyonu ile ölçülür.



Şekil 3. Simülasyon Optimizasyon Methodları

Sezgisel Yöntemler

Sezgisel yöntemlerin geliştirilmesi simülasyon optimizasyonu alanına olan ilgiyi artırmıştır. Buluşsal yöntemler, keşif ve sömürü özellikleri nedeniyle özellikle etkili küresel arama teknikleridir.

Tabu Araması

Tabu Arama, Glover (1986) tarafından geliştirilen sezgisel bir arama yöntemidir. Problemlerin boyutu büyüdükçe hesaplamalı olarak çözülememesi nedeniyle, klasik optimizasyon yöntemleri bu problemleri çözmede verimsizdir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler en uygun çözümü garanti etmez, ancak optimale yakın çözümler sunarlar. Tabu araması, etkili yöntemlerden biridir. Hafıza kullanımı, yoğunlaştırma, çeşitlendirme stratejileri tabu arama algoritmasının temel özellikleridir. Çeşitlendirme, yerel optimal tarafından tuzağa düşürülmek için aramayı yeni uzlaşmacı bölgelere yönlendirirken; yoğunlaştırma, nesnel işlev değerini iyileştirmek için iyi çözümler etrafında aramayı yoğunlaştırır. Son çözümler kısa süreli hafızada saklanır. Belirli sayıda iterasyon için son karşılaşılan çözümler tabu olarak sınıflandırılır. Bu, aramanın bir döngüde sıkışmasını önler. Uzun süreli hafıza, arama sırasında bulunan çözümlerin bir listesini tutar. Araştırmayı çeşitlendirmek için, bu hafızaya göre sık çözümler cezalandırılabilir. [1]

Tabu Arama Algoritması Özellikleri ve Yöntemleri

Başlangıç Çözümü: Rastgele (kısıtlamalara uygun olarak, adım boyutunun katları olacak şekilde)

Karar Parametreleri Alt ve Üst Sınırlar: $0 \leq \text{Karar Parametresi Değeri} \leq \text{Tampon Stok Miktarı}$

Komşu Algoritmasının Belirlenmesi: Verilen çözümün bir adım ilerisinde, yalnızca bir parametreyi bir yönde değiştirerek (artırma / azaltma) bir çözüm bulur.

Amaç Fonksiyonu: Simülasyon amaç fonksiyon değeri (hedef bitiş tarihinden mutlak sapma)

Tabu Listesi: Döngülerden kaçınmak için ziyaret edilmemesi gereken yerel optimumların listesi

Kenar/Uç Çözümler: Mevcut çözüm yerel bir optimum olduğunda farklı bölgeleri keşfetmek için kullanılacak çözümlerin listesi

Uzun Süreli Hafıza: Program çalışma süresini kısaltmak için tüm çözümleri ve amaç değerlerini saklar

Sonlandırma Koşulları: "Maksimum iterasyon sayısı" na ulaşıldığında, en iyi çözüm "maksimum çözüm iterasyon sayısı" kadar aynı kalınca, keşfedilecek uygulanabilir çözümler olmayınca (daha fazla uç çözüm yoktur)

Tablo 1. Tabu Arama Algoritmasının Adım Adım Uygulanması

İterasyon	1	2	...	5	...	10	...	20	...	28
En İyi Çözüm İterasyonu	1	1		1		6		2		10
En İyi Amaç Değeri	3134.12	738.61		325.29		325.29		142.59		142.59
En İyi Çözüm	BQ: 15, WIQ: 0, RBQ: 10, RIQ: 5	BQ: 15, WIQ: 2, RBQ: 10, RIQ: 5		BQ: 17, WIQ: 2, RBQ: 10, RIQ: 9		BQ: 17, WIQ: 2, RBQ: 10, RIQ: 9		BQ: 25, WIQ: 2, RBQ: 14, RIQ: 11		BQ: 25, WIQ: 2, RBQ: 14, RIQ: 11
Mevcut Amaç Değeri	738.61	509.53		325.29		295.59		142.59		240.41
Mevcut Çözüm	BQ: 15, WIQ: 2, RBQ: 10, RIQ: 5	BQ: 15, WIQ: 2, RBQ: 10, RIQ: 7		BQ: 17, WIQ: 4, RBQ: 10, RIQ: 9		BQ: 19, WIQ: 8, RBQ: 12, RIQ: 11		BQ: 25, WIQ: 6, RBQ: 14, RIQ: 11		BQ: 27, WIQ: 2, RBQ: 12, RIQ: 11
Tabu Listesi	[[15, 2, 10, 5]]	[[15, 2, 10, 5], [15, 2, 10, 7]]		[[15, 2, 10, 5], [15, 2, 10, 7], [17, 2, 10, 7], [17, 2, 10, 9]]		[[15, 2, 10, 5], [15, 2, 10, 7], [17, 2, 10, 7], [17, 2, 10, 9], [17, 4, 10, 9], [17, 6, 10, 9], [17, 8, 10, 9], [19, 8, 12, 9], [19, 8, 12, 11]]		[[17, 8, 10, 9], [19, 8, 12, 9], [19, 8, 12, 11], [19, 6, 12, 11], [19, 10, 12, 11], [19, 2, 12, 11], [21, 2, 14, 11], [23, 2, 14, 11], [25, 2, 14, 11], [25, 4, 14, 11]]		[[25, 2, 14, 11], [25, 4, 14, 11], [25, 6, 14, 11], [25, 8, 14, 11], [25, 10, 14, 11], [25, 10, 12, 11], [25, 8, 12, 11], [25, 6, 12, 11], [25, 4, 12, 11], [25, 2, 12, 11]]

Tabu Arama Algoritması Adımları

Adım 1: Rastgele bir başlangıç çözümü (kısıtlara uygun) ile başlayın ve simülasyondan objektif değeri elde edin. Başlangıç çözümünü geçerli çözüm olarak ayarlayın ve başlangıç çözümünün amaç değerini geçerli amaç değeri olarak alın.

Adım 2: Sonlandırma koşulları yerine getirilirse, yani iterasyon sayısı, en iyi çözüm iterasyon sayısı ve uç çözümlerinin kullanılabilirliği, ardından mevcut çözümün komşularını alın. Yoksa, durun.

Adım 3: Mevcut çözüm için en az 1 komşu varsa, komşu değerlerin objektif değerlerini simülasyonla değerlendirerek en iyi objektif değere sahip komşuyu bulun. En iyi komşuların objektif değeri mevcut objektif değerden yüksekse, en iyi komşuyu mevcut çözüm ve en iyi komşunun objektif değerini mevcut objektif değer olarak ayarlayın. Ardından, tabu listesini güncelleyin. Mevcut objektif değer en iyi komşu objektif değerinden yüksekse, uç çözümler listesine en iyi komşuyu ekleyin. En iyi uç çözümü geçerli çözüm olarak ayarlayın. Ardından, tabu listesini güncelleyin.

Adım 4: Mevcut çözüm için komşu yoksa, uç çözümler listesini kontrol edin. Uç çözüm listesinde en az 1 çözüm varsa, en iyi uç çözümü mevcut çözüm olarak ayarlayın. Ardından, tabu listesini güncelleyin. Mevcut çözümün komşusu olmadığında uç çözüm listesi boşsa, durdurun

Step 5: Tabu listesini güncelledikten sonra mevcut objektif değer en iyi hedeften yüksek mi kontrol edin. Evet ise: mevcut çözümü en iyi çözüm ve mevcut objektif değeri en iyi objektif değer olarak ayarlayın; en iyi çözümün iterasyon sayacını ayarlayın $b = 0$, iterasyon sayacını artırın $i = i + 1$, 2. Adıma geçin. Hayır ise: en iyi çözümün iterasyon sayacını artırın, $b = b + 1$, iterasyon sayacını artırın, $i = i + 1$, 2. Adıma geçin.

İşte tabu listesi güncelleme adımları:

Adım 1: Tabu listesini kontrol edin tabu listesinde mevcut çözüm varsa, son'a gidin. Aksi takdirde, tabu listesi uzunluğunu kontrol edin, maksimum tabu listesi uzunluğuna ulaşmamışsa, geçerli çözümü tabu listesine ekleyin.

Adım 2: Tabu listesi uzunluğu maksimum tabu listesi uzunluğuna ulaştıysa; tabu listesinde bir çözüm varsa, en iyi objektif değerden daha kötü objektif değere sahip mi kontrol edin, bu çözümü tabu listesinden kaldırın, aksi takdirde tabu listesindeki en eski öğeyi kaldırın. Sonunda, mevcut çözümü tabu listesine ekleyin.

Deney Tasarımı

Tabu Arama algoritması, makalede daha önce de belirtildiği gibi, algoritmanın performansı üzerinde sabit bir etkiye sahip dört parametreye sahiptir. Yani, komşuların mesafesini ifade eden adım boyutu (A), algoritmanın maksimum yineleme sayısı (B), en iyi çözümün maksimum yineleme sayısı (C) ve tabu listesinin uzunluğu (D). Bu parametrelerin simülasyon modeliyle neden-sonuç ilişkilerini analiz etmek için bir dizi deney tasarladık ve gerçekleştirdik.

Algoritma parametrelerinin en avantajlı değerlerine karar verirken amacımız, simülasyon çalışma süresinin hedef son tarihlerden sapmasını en aza indirerek problem tanımımızla aynıdır. Bu nedenle, yanıt

değişkenini dakika cinsinden sapma olarak tanımladık. A, B, C ve D ile gösterilen algoritmanın parametreleri deneylerde kullanılacak faktörleri belirler. Belirlenen faktörler için en iyi seviyeleri elde etmek amacıyla, yanıt değişkeninin değerini her faktör için farklı seviyelere göre değerlendirdik. Değerlendirmemize göre, yanıt değişkeni üzerinde en önemli etkiye sahip olan faktör, A ile gösterilen adım büyüklüğüydü. Bu nedenle, minimum uzunluk tamsayı aralıklarına sahiptir. Faktörler ve bunlara karşılık gelen düzeyler Tablo II.'de görülebilir. D.C. Montgomery'ye göre, faktöriyel tasarımlar ikiden fazla faktöre sahip deneyler için en verimli tasarım türüdür [2]. İlk yaklaşımımız, en ayrıntılı sonuçları elde etmek için tam bir faktöriyel tasarım kullanmaktı. Ancak zaman ve kaynak sınırlarımız nedeniyle yaklaşımımızı değiştirdik ve kesirli faktöriyel deney tasarımı kullanmaya karar verdik. Tasarım için belirlenen faktörlerin ve seviyelerin birleşimi 150 farklı deneye yol açar. Her deney için bir yanıt değişkeni değeri elde edildi ve faktörlerin en iyi seviyeleri aşağıdaki gibi bulundu.

Tablo 2. Faktöriyel Tasarımın Faktörler ve Düzeyleri

FAKTÖRLER	DÜZEYLER				
	1	2	3	4	5
Adım Boyutu (A)	1	2	3	4	5
Maksimum Yineleme Sayısı (B)	10	30	50		
En İyi Çözümün Maksimum Yineleme Sayısı (C)	5	10	15	20	25
Tabu Liste Uzunluğu (D)	5	10			

Tablo 3. En İyi Tabu Arama Algoritması Parametreleri

En İyi Tabu Arama Algoritması Parametreleri (Deney Tasarımı)	A=2, B=30, C=10, D=10
--	-----------------------

Improvement

Tablo 4. Hedelenen Teslim Tarihi Hedefi İyileştirilmesi

Hedef Son Tarihten Mevcut Sapma	303.88 dk.
İyileştirme Sonrası Hedef Son Tarihten Sapma	142.99 dk.

2 Haftalık bir süre içinde incelenen model için teslim tarihinden itibaren 303.88 dakikalık sapma 142.59 dakikaya düşürüldü. Bu, yaklaşık% 46'lık bir oranı gösterir.

IV. SONUÇ

Benzetim modelinde gerekli girdi alanları oluşturularak farklı politikalar modele entegre edilerek ana politikalar oluşturulmuştur. Bunun sonucunda benzetim modeli içerisinde istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak farklı politikaların çıktıları ve dikiş hatlarının performansı gözlemlenmiştir. İncelenen dikiş hattı için en iyi performansı sağlayan politika parametrelerinin değerlerini bulmak için benzetim tabanlı eniyileme algoritmaları araştırılmış ve geliştirilmiştir. Eniyileme algoritmasının doğruluğu ve performansı, önce örnek veriler, daha sonra da büyük boyutlu gerçek veriler kullanılarak istatistiksel analiz yöntemleriyle test edilmiştir.

Son aşamada, geliştirilen çözüm yönteminin rahatlıkla kullanılabilmesi için kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Herhangi bir ürün siparişinin gerekli parametreleri kullanıcı tarafından KDS'ye girildiğinde benzetim modeli oluşturularak ve analiz edilerek otomatik olarak oluşturulacak ve analiz edilecek ve bu analiz sonucunda dikkat edilmesi gereken önemli noktalar görsel raporlar ile kullanıcıya sunulacaktır. Belirtilen noktalar arasında: Üretim anında oluşabilecek darboğazların belirlenmesi (Sinyal-1), hedeflenen üretim sayısından daha fazla ürün üreten operasyonların belirlenmesi (Sinyal-2) ve bu sorunların giderilmesi için gerekli kararların alınması (Sinyal-3) veya ihtiyaç duyulan birimlerin bilgilendirilmesi (Sinyal-4) gösterilebilir. Microsoft Office Excel VBA platformu bu amaçla (KDS) kullanılacaktır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma “2209-B- Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Çevik, S. (2003). Tabu search with fully sequential procedure for simulation optimization (Doctoral dissertation, Bilkent University).
- [2] Design and Analysis of Experiments, 8th Edition (D. C. Montgomery) - Chapter 5



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Çelik Endüstrisinde Stok Kesme Problemi

**Ege EFEKAN, Damla ARTAN, Deniz MERMERCİ, Egemen SERTPOYRAZ, Pelin
TEZCAN, Aysu KARLI**

**Akademik Danışmanlar
Dr. Mustafa Arslan Örnek
Ege Duran**

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

Paslanmaz çelik dünya genelinde en yaygın kullanılan ve en çok işlenen metal türüdür. Çelik, metalik demir, karbon, manganez, silikon, fosfor, kükürt ve diğer birçok elementin bileşimi, alaşımı ve karışımından oluşan bir malzemedir. Dünyadaki metal üretiminin yaklaşık %95'i demirdir ve demirin karbon ile alaşımları en çok kullanılan mühendislik malzemeleridir. Bunun temel nedeni, demirin kristal yapısının sıcaklığa bağlı olarak değişen allotropik bir metal olması; Ayrıca, demir-karbon alaşımlarına ısı işlem ve / veya alaşımlıma ile çok farklı özellikler verilebilir.

Paslanmaz çelik üretimi ilk olarak 1900'lü yıllarda İngiltere ve Almanya'da başlamıştır. En az %10 krom ve diğer alaşım elementleri içeren bir malzemedir. Paslanmaz özelliği, çelikteki kromun hava ile temas halinde oksidasyonu ve ince, katı bir krom oksit tabakası oluşmasıyla sağlanır. Paslanmaz çelik üzerindeki bu krom oksit tabakası, örneğin bir çakı ile çıkarılsa bile, krom havanın oksijeni ile birleşerek yeni bir krom oksit tabakası oluşturur ve kendini yeniler. Böylece paslanmaz çelik kendini yenileyen bir malzemedir.

Özmetsan Metal Sanayi A.Ş., 1956'da Mehmet Özer tarafından Çankaya/ İzmir'de kurulmuştur.



Şekil 1. Farklı Çaplardaki Paslanmaz Çelik

Bornova 4.Sanayi sitesinde 6000m2 üzerinde mutfak eşyaları, lavabolar, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, kimya ve petrokimya sanayi, gıda sanayi, otomotiv sanayi, eşanjör ve kazan imalatında kullanılan paslanmaz çelik bar ve çelik saçların oluşturulması ve şekillendirilmesi üzerine çalışmaktadır. 25 çalışanı bulunan firmanın 10'u beyaz yaka 15'i mavi yaka olarak çalışmaktadır. Özmetsan Metal Sanayi A.Ş., paslanmaz kare, paslanmaz köşebent, paslanmaz bar, paslanmaz profil, paslanmaz saç kesim yapmaktadır. Özmetsan'ın şu an için satışlarının çoğunluğu yerel pazara olmasına rağmen 2022'nin son çeyreğinde paslanmaz çelik ürünlerini ihrac etmek için çalışmalarına başlamıştır. İhracat çalışmaları ve görüşmeleri halen devam etmekte olup ihracata Bulgaristan, Gürcistan ve Cezayir'den dış pazara dahil olmak istemektedirler. Özmetsan'ın gelecek planı Avrupa pazarına güçlü girmektir ve şirketin üst yönetimi de referansın önemini farkındadır. Bu sebepten dolayı önümüzdeki senelerde kapasitesinin yarısını ihracata ayırmıştır. Yönetim diğer yandan küresel risk ve tehditleri farkında olup yerel pazarda yerini kaybetmek istememektedir. Özmetsan'ın en büyük müşterisi Ege Endüstri'dir ancak, Fiat Türkiye ve Karsan Özmetsan'ın müşteri portföyüne eklemek istediği şirketler arasındadır.

Şirket, 3 metre, 4 metre ve 6 metre olmak üzere 3 farklı standart genişlikte barlara ve 304 ve 316 kalitelere sahiptir. Birincil 304 kalite paslanmaz çelik tipi, 400 ° C'ye kadar yüksek oksidasyon sağlar. Bu nedenle, mekanik direnç ve sürtünme mukavemeti daha yüksektir. 316 kalitesi 600 ° C'ye kadar olan sıcaklıklara dayanıklıdır. Otomatik kopma ve büzülme mukavemeti uygundur. Molibden içeriğinden dolayı oksidasyona ve asitlere karşı dayanıklıdır. L ve Ti gibi farklı özelliklere sahip 316 kalite alt tipleri vardır. L kalite, 316 kalite paslanmaz çeliğin düşük karbonlu versiyonudur. Ti kalitesi, 316 kalite paslanmaz çeliğin titanyum versiyonudur. Yüksek sıcaklık ve oksidasyon direncine sahiptir. Mevcut durumda firma müşteri özel istek üretimini kabul etmemekle birlikte vizyon sahibi yönetim ihracata büyük önem vermektedir bu nedenle bu talepleri kabul etmeye hazırdır.

II. PROBLEM TANIMI

Çalışmamızın temel konusu Tek Boyutlu Stok Kesme Problemidir. Tek Boyutlu Stok Kesme Problemi üretim endüstrisinde takviye çelik bar ve inşaat demiri için kullanılmıştır. Tek boyutlu stok kesme problemi

zor bir problem olmasına rağmen, dal ve sınır (branch and bound) yöntemiyle sütun oluşturma tekniğini kullanarak talepleri ve kapasitelenmiş planlama hedeflerini içeren matematiksel modeldir.

Özmetan Metal Sanayi A.Ş. şirketinde yaptığımız çalışma, iki makine arasındaki kesimden kaynaklı toplam kaybı, stok sayısını en aza indirmeyi hedefleyen bir sistem oluşturmak ve bu sistemi üretim planlamasına daha iyi entegre eden bir üretim planı bulmayı amaçlamaktadır. İlk olarak, her dönemin talebini karşılayan, soruna özgü bir ilk çözüm yöntemi sunulur.

Bu çalışmada Tek Boyutlu Stok Kesme Problemi, talepler ve geniş planlama hedefleri ile malzemelerin optimal kesim paternlerinin belirlenmesinde kullanılan bir optimizasyon problemidir.

Özmetan Metal Sanayi A.Ş. araçlar, nesnelere, ekipman parçaları ve yapılar oluşturmak için metallerin biçimlendirilmesini ve şekillendirilmesini içerir. Sipariş üzerine üretim esasına göre çalışır. Üretim süreçlerinin bir bölümünde çelik barlar farklı genişliklerde parçalara ayrılmaktadır. Parçaların adet ve genişlikleri siparişlerde belirtilir ve bu parçalar farklı müşterilerin gereksinimlerine göre değişiklik gösterebilir. Bu nedenle firma farklı genişlik ve çaplarda metal bar (hammadde) kullanmaktadır.

Eldeki metal barların siparişleri ve genişlikleri göz önüne alındığında, israfı en aza indirmek için verimli bir kesim planı geliştirmek gerekir. Daha önceki siparişlerde kesilen metal barların kalıntıları da bekleyen siparişler için uygunsuz eldeki hammadde olarak kabul edilmelidir.

Problem bir veya iki boyutlu olabilir. Yatay ve dikey kesimler sıralı bir boyut oluşturuyorsa problem iki boyutludur. Öte yandan, sıralanan tüm boyutlar genişliği boyunca kesildiği için sorun tek boyutludur. Tek boyutlu bir stok kesme problemi, standart genişlikteki barların çeşitli sıralı genişliklerde nasıl kesileceğini belirlemektir. Talep edilen her sipariş için gerekli bar sayısının minimum olması hedeflenir. Belirli bir standart genişlik için, barları sıralı genişliklerde kesmeye "kesme modeli" denir.

Diğer şeylerin yanı sıra, çelik gibi malzemeler büyük genişlikte barlarda yapıldığında kesme stoku sorunları ortaya çıkar. Bu barlar daha küçük genişlikteki barlara bölünmelidir. Barların firesiz kesilmesi her zaman mümkün değildir. Trim kaybı, bu fireler için kullanılan terimdir.

Çaplar bağımsız olduğu için her çap için farklı bir veri seti oluşturularak modelimizi ele alacağız.

Setler

I: sipariş kümesi

K: bar türü kümesi

J_k : k tipi bardaki kesme paternleri kümesi

İndisler

i: sipariş endeksi (1.../|I|)

k: bar türü endeksi (1.../|K|)

j: k tipi bardaki kesme paterni endeksi $j \in J_k$ $J_k = \{1, 2, \dots, |K_{kesme\ paterni\ } J_k|\}$

Parametreler

a_{ikj} : i sipariş türünün k bar türüne ait j kesme paterni sayısı

d_i : i siparişinin talep sayısı

b_k : k bar türünün sayısı

w_i : i siparişinin talep edilen genişliği

L_k : k bar tipinin stok uzunluğu

Karar Değişkenleri

x_{kj} : k bar tipine ait j paternin kesildiği bar sayısı

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Projenin çözümü için kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. Bunun sonucunda çalışılan probleme benzer iki farklı model tespit edilmiştir. Ancak, çalışılan problemde, bar (bar) boylarının birbirinden farklı boyutlara sahip olmasından dolayı işlem süreleri makinelere göre farklılık göstermektedir.

Kavramsal Model

Minimize

“Farklı bar tiplerinde farklı paternler kullanarak kesilen barlardan ortaya çıkan toplam israf” (1)

Kısıtlar;

“Farklı genişlikteki bar sayısı talebi karşılar” (2)

“Kullanılan bar sayısının mevcut bar sayısına eşit veya daha az olması garanti edilir” (3)

“Her karar değişkeni olumlu olmalıdır.” (4)

Model, birden fazla bar genişliğine sahip olduğumuz varsayılarak formüle edilmiştir.

Matematiksel Model

Minimize

$$\sum_{k=1}^K L_k \sum_{j=1}^{J_k} x_{kj}$$

Koşulu ile;

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_k} a_{ikj} * x_{kj} \geq d_i \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{j=1}^{J_k} x_{kj} \leq b_k \quad \forall k \in K$$

$$x_{kj} \geq 0 \quad \forall j \in J_k, \forall k \in K$$

Amaç fonksiyonu (1), toplam bar sayısının en aza indirilmesi gereken patern kullanarak toplam bar kesim sayısını belirtir. Kısıt (2), bu paterndeki her bar türü için paternin, sipariş türünün, ürününün ve her bar türü için paternin talebe eşit veya daha büyük olduğunu denetler. Kısıt (3), kullanılan kalıp sayısına karşılık gelen bar türü sayısının, sahip olduğumuz bar türü sayısından az mı yoksa ona eşit mi olduğunu denetler. Bu kısıt ile kullanılan bar sayısının düşük olmasını sağlamak israfı en aza indirir. Son olarak, kısıt kümesi (4) parametreleri pozitif tamsayılar olarak tanımlar.

Sezgisel model Keskin F. tarafından yazılan makaleden revize edilmiştir [2]. Model, iki makine arasındaki israfı ve stoku en aza indiren ve üretim planlamasına daha iyi entegre eden bir üretim planı bulmayı amaçlamaktadır. İlk olarak, her dönemin talebini karşılayan probleme özel bir başlangıç çözüm yöntemi sunulur.

Problemin NP-zor yapısına bağlı olarak, matematiksel modelin çözüm süresi problem boyutu büyüdükçe artış göstermektedir. Sonuç olarak, talep miktarı arttıkça problemin çözülmesi zorlaşmakta ve kullanılan yöntem daha yüksek talep miktarı için verimsiz ve yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, daha büyük problemlerin çözümü için sezgisel yöntem önerilmiştir.

j: Şirkette bulunan stok miktarı, $\forall j \in J$

i: Müşteri talebi, $\forall i \in I$

Adım 1- Stoklar uzunluklarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanır.

Adım 2-Müşteri talepleri uzunluklarına göre büyükten küçüğe sıralanır.

Adım 3 -J stokunun ilk alternatif boyundan başlayarak tüm alternatif boyları için aşağıdaki adımlar uygulanır.

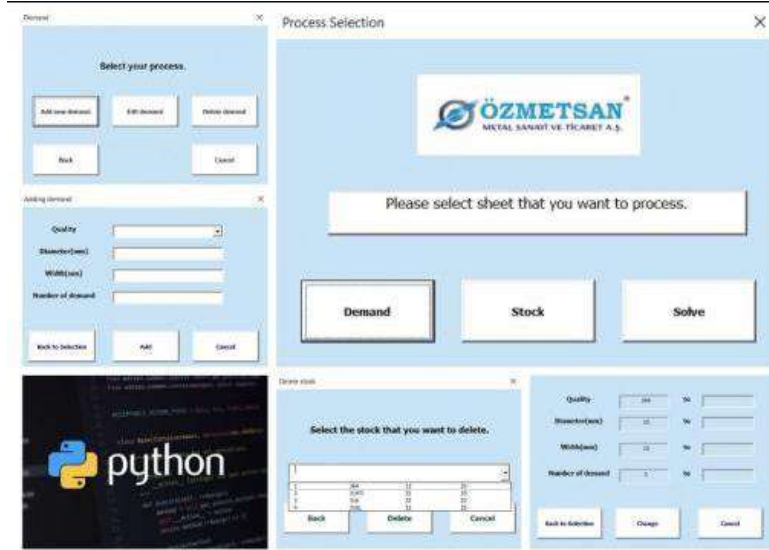
Adım 4- J stokundan, i müşteri talebinden kesim yapmaya başlanır. I talebinin ilgili stok uzunluğundan kesilebilecek adet ile i talebinin adet sayısı karşılaştırılarak minimum olanı seçilir.

Adım 5-J stokundan kalan hesaplanır. Eğer kalan, sıradaki en büyük müşteri talebinden büyükse parça listesindeki diğer parçalar için (m_i) sırası ile kesime devam edilir. Stoktan kalan miktar herhangi bir i talebinden küçük ise step 5 sonlanır.

Adım 6-Bir sonraki j stokuna geçilir.

Karar Destek Sistemi

Bu problem için hem optimizasyon hem de sezgisel olarak önerilen çözüm yöntemlerini, kullanıcı dostu olacak şekilde bir Karar Destek Sisteminde birleştirdik. Karar Destek Sistemi (KDS), Excel-VBA kullanılarak oluşturulmuştur. Programa girildiğinde açılan ekranda kullanıcının şirket bilgilerini görüntüleyebileceği butonlar bulunmaktadır. Sürece başlamak için ekranda bulunan ara yüzden şifresi girilmelidir. Giriş yapıldığında ilk sayfada çıkan butonlar talep, stok ve çözüm olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bahsedilen talep ve stok süreçleri de üçe ayrılmaktadır. Kullanıcı bu ara yüzlerde gelen siparişlere göre talep ekleyebilmekte, talebin belirli kriterlerini düzenleyebilmekte ve mevcut talebi sistemden silebilmektedir. Aynı zamanda bu süreçleri stok için de aynı şekilde uygulayabilmektedir. Belirtilen süreçlerde çıkan sonuçları PDF olarak kaydedebilmekte, e-posta olarak iletebilmekte ve mevcut sonuçları yazdırabilmektedir. Son olarak kullanıcı, oluşturduğu talep ve stokların son halini Python uygulaması üzerinden çözümlenip sonuçlarına mevcut Excel'de ayrı bir sayfada görebilmektedir.



DECISION SUPPORT SYSTEM

Şekil 2. Karar Destek Sisteminin Ara Yüzü

Tablo 1. Örnek Çözüm Sonuçları

ÖRNEK	BAR SAYISI	TALEP SAYISI	ÇALIŞMA SÜRESİ	FİRE	
				SEZGİSEL	EL İLE ÇÖZÜM
1	3	5	0.53 sn	0 cm	46 cm
2	3	3	0.44 sn	0 cm	25 cm
3	2	3	0.39 sn	0 cm	54 cm

Modelimizin çalışma zamanını karşılaştırmak için üç farklı örnek oluşturduk. Bu örneklerin sonucu olarak, bir sabit değişken içeren iki örnekte de çalışma süresi değişir. Çalışma süresinin sabit olmayan parametreyle doğru orantılı olarak değiştiğini gözlemliyoruz. Bir önceki dönemde paternleri elle ürettik. Ancak, bu işlem

çok zaman aldı ve verimli değildi. Bu nedenle, şu anda elle değil, sezgisel yöntemle paternler üretiyoruz. Tablo1’de fire miktarındaki farkı görebilirsiniz.

IV. SONUÇ

Özmetsan Metal Sanayi A.Ş. ile ortak olarak yürüttüğümüz bitirme projesinde Özmetsan’ ın haftalık sipariş periyodunda aldığı müşteri taleplerini kesme makinelerinde, makinelerin yarattığı fire miktarını en aza indirecek şekilde kesim paternleri oluşturduk. 6 aylık proje aşamamızda iki temel konu üzerinde durduk. Geniş bir makale araştırma sürecinden sonra ikinci aşama olan sezgisel algoritmamızı geliştirdik Sezgisel algoritmamız matematiksel modelimizin yüksek adetli siparişlerde daha hızlı sonuç vermesi için paternleri üretiyor ve modelimiz optimum sonucu verecek paternleri seçerek fire oranını buluyor. Son olarak kullanıcıların bu projeyi rahatça kullanabilmesi ve projenin sahaya kolaylıkla taşınması için bir Karar Destek Sistemi oluşturduk. Excel VBA arayüzü kullanılarak kullanışlı ve kolay anlaşılabilir bir sistem tasarladık.

REFERANSLAR

- [1] Tanır D., Uğurlu O., Güler A., Nuriyev U., *One-dimensional cutting stock problem with divisible items*, A Case Study in Steel Industry. syf. 474 (2019)
- [2] Keskin F. *One-dimensional cutting stock problem*, syf. 186-189 (2015).
- [3] Adakçı S. *Cutting Stock Problem in Aluminium Industry* syf. 51-52 (2010).



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Çok Aşamalı Envanter Yönetimi ile Ulaşım Planlaması

Beste BANDİOĞLU, Deniz Simge ORİYAŞIN, Canan ÖZSÜMBÜL, Mert İŞBİLEN, İsmail Egemen AKPINAR, Remzi Sertan ALTINKAYA, Mücahit Taha KAYA

Akademik Danışmanlar

Dr. Ayhan Özgür Toy
Araştırma Görevlisi Simge Güçlükol Ergin

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

Bu çalışmada, Opet Fuchs şirketi tarafından kurulacak olan mikro depoların stoklarında bulunması gereken ürün çeşidi ve ürün miktarının belirlenmesine karar verilmektedir. Literatürde bulunan araştırmalar incelendiğinde problemin (S,s) envanter politikasına uygun olduğu görülmüştür ve çalışmalara bu yönde devam edilmiştir. İzmir’de bulunan ana depoya aynı anda gelen siparişleri farklı kapasitelerdeki ve şehirlerdeki mikro depolara minimum teslimat süresi ve minimum araç sayısı ile göndermek amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda şirket tarafından verilen kısıtlar göz önünde bulundurulmuş ve proje 3 aşamada incelenmiştir.

İlk olarak 2 kriterli ABC analizi yapılarak en çok talep gören ürünler bölgelere göre belirlenmiştir. İkinci aşamada belirlenen ürünlerin mikro depolara yerleştirilmesini gözlemek için Arena simülasyon programı kullanılarak birim bazında ve palet bazında 2 farklı dinamik simülasyon modeli oluşturulmuştur. Tekrar sipariş noktasının değişimine göre hizmet seviyesi gözlemlenmesi amacıyla süreç analizi kullanılarak bir deney tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre tekrar sipariş noktası belirlenmiştir. Son olarak şirket tarafından verilen bilgilere göre mikro depolara iki kriterli ABC analizine göre seçilen ürünler 3 farklı çeşit araç ile taşınacaktır. Kullanılacak araç sayısını en aza indirmek amacıyla matematiksel bir model oluşturulmuş ve elde bulunan verilerle model OPL CPLEX STUDIO optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Projenin sonucunda fabrikanın kullanımı için MS Excel-VBA ara yüzü ile kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi geliştirilmiştir.

II. PROBLEM TANIMI

Opet Fuchs şirketi 2002 yılında Koç Holding bünyesinde kurulmuştur. Opet Fuchs şirketinin üretim tesisi ve ana deposu İzmir Aliağa’da bulunmaktadır. 55.000 metrekare alan üzerine kurulu olan şirketin yıllık üretim kapasitesi 60.000 tondur. Şirket ana ürün olarak endüstriyel ve otomotiv madeni yağ üretmektedir. Aynı zamanda birçok ülkeye ihracat yapmaktadır. Opet Fuchs Türkiye’nin ikinci en büyük yakıt dağıtım şirkettir [2], [3].

Karmaşık tedarik zincirleri ve üretim süreçleri olan şirketler için stok fazlalığı ve kıtlığı risklerini dengelemek için doğru bir envanter yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Proje, uygun bir envanter yönetim politikası belirlenerek yürütülmüştür. Opet Fuchs şirketi e-ticaret sistemine geçiş yapmakla birlikte İzmir ana deposu dışında 5 farklı bölgede mikro depolar açmayı hedeflemektedir. Mikro depoların konumlarının müşterilere yakın olması ve bu mikro depolardan müşterilere en kısa sürede teslimat yapılması hedef alınmıştır. Kurulacak olan mikro depolar belirli bir kapasiteye sahip olup, mikro depolardaki ürünler palet bazında depolanacaktır. Her bölgedeki mikro depo kapasitesi birbirinden farklıdır. Mikro depolara İzmir ana depodan sevkiyat yapacak 3 farklı çeşit araç bulunmaktadır ve bu araçlar da farklı kapasitelere sahip olmakla birlikte palet bazında yükleme gerçekleşecektir. 1 palet üzerinde yalnızca tek çeşit ürün bulunmalıdır. Problemimizde, herhangi bir maliyet ve gelir bilgisi bulunmamaktadır. Bu kısıtlar doğrultusunda literatürden elde edilen bilgilere göre, ilk olarak mikro depolarda bulunması gereken ürünler bölge bazında 2 kriterli ABC analizi ile belirlenmiştir. Bu kriterler yıllık talep sıklığı ve yıllık talep miktarı olarak belirlendi. İkinci aşama olarak, belirlenen ürünlerden mikro depolarda ne kadar bulunması gerektiği, ürünlerin talep oranlarına göre hesaplanmıştır. Son olarak, talep verileri incelendiğinde deterministik olmadığı, ayrıca hedef ve kısıtların da lineer olmadığı görülmüştür. Bu yüzden simülasyon optimizasyonuna başvurulmuştur. Simülasyon aracılığı ile İzmir ana depodan ne zaman sipariş verilmesi gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca ürünlerin mikro depolara sevk edilebilmesi için ulaşım planlamasına ihtiyaç duyulmuştur. Böylece ürünlerin mikro depolara giderken yolda geçirdiği zamanları minimum seviyede tutarak ürünlerin mikro depolara ve mikro depolardan da müşterilere zamanında teslim edilmesi amaçlanmaktadır.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Envanter kontrolü problemleri, yönelem araştırmasının en önemli problemlerinden biri olmakla birlikte her şirket için uygun tek bir yöntem ve çözüm metodu yoktur. Bu projede, şirkette 1400’den fazla

çeşitli ürün üretilmesinden dolayı, her bir depoda hangi üründen ne kadar bulundurulmasına karar verilmesi çeşitli envanter analizleri yapmak faydalı görülmüştür. Raporumuzun ilerleyen kısımlarında kullanılan yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

ABC Analizi

Bu çalışmada her bir depoda hangi üründen stokta tutulması gerektiğine karar verilmesi açısından ABC Analizi yapılmıştır. Her bir mikro deponun sınırlı kapasitesi olması nedeniyle ve herhangi bir maliyet bilgisi olmamasından dolayı çok kriterli ABC Analizi yaparken ürünler yıllık talep miktarlarına ve yıllık talep sıklığı kriterlerine göre sınıflandırılmıştır. Talep miktarı ve talep sıklığı yüksek seviyede olan ürünler (A), orta seviyede olanlar (B) ve düşük seviyede olanlar (C) sınıfı ürünler olarak üç gruba ayrılmıştır.

Depoda bulunması gereken miktarların üzerinde talep miktarı ve talep sıklığının ayrı ayrı etkisi olması nedeniyle iki kriterli ABC Analizi uygulanmıştır. ABC Analizinde Kriterler ürünlerin yıllık talep miktarı ve talep sıklığı olarak belirlenmiştir. İki kriterli ABC analizinde 4 farklı senaryo vardır.

Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
	AA;BA;AB ;CA;AC-- >A	AA-->A	
	BB;CB;BC- ->B	BA;AB;BB- ->B	AA-->A AB;BA;BB
AA;AB;BA-->A AC;BB;CA-->B BC;CB;CC-->C	CA;CB;CC ;BC;AC-- >C	CA;CB;CC ;BC;AC-- >C	;CB;CA;A C;BC-->B CC-->C

Şekil 1. İki Kriterli ABC Analizi Senaryoları

Şekil 1 de görülen tablodaki senaryolara göre ürünler sınıflandırılmış olup mikro depolarda bulunması gereken ürünler belirlenmiştir. Tablodaki ilk harf yıllık talep miktarına göre, ikinci harf ise talep sıklığına göre yapılan ABC analizinin sonucunu göstermektedir. İlk olarak yıllık talep oranı (TO) bulurken aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$TO_i = \frac{D_i}{\sum_i^n D_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

TO_i = i ürününün yıllık talep oranı, D_i = i ürününün yıllık talep miktarı, n= ürün çeşidi sayısı.

Yıllık talep oranı büyükten küçüğe sıralanmıştır ve yıllık talep oranlarının kümülatif toplamı %80'e kadar olan ürünler (A) sınıfı, %80-%95 arasında olan ürünler (B) ve diğer ürünler (C) sınıfı olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. İkinci aşama olarak talep sıklığı oranı (TS) bulurken aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$TS_i = \frac{S_i}{\sum_i^n S_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

TS_i = i ürününün yıllık talep sıklığı oranı, S_i = i ürününün yıllık talep sıklığı, n= ürün çeşidi sayısı.

Talep sıklığı oranları büyükten küçüğe sıralanmıştır ve talep sıklığı oranlarının kümülatif toplamı %80'e kadar olan ürünler (A) sınıfı, %80-%95 arasında olan ürünler (B) ve diğer ürünler (C) sınıfı olmak üzere üç gruba ayrılmıştır.

Bunun sonucunda 2 kriterli ABC analizi senaryolarından 1. Senaryoya göre A grubunda olan ürünler belirlenmiştir. Ürün çeşidi sayısı fazla ve mikro depoların kapasiteleri sınırlı olduğu için A sınıfı ürünleri ay bazında tekrar inceleyerek her ay için talep edilen palet miktarlarını (TPM) hesaplanmıştır.

$$TPM_{ij} = \frac{D_{ij}}{P_i}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, 12 \quad (3)$$

TPM_{ij} = i ürününün j ayındaki palet sayısı, D_{ij} = i ürününün j ayındaki talep miktarı, P_i = i ürününün palet üstü miktarı, n = ürün çeşidi sayısı.

Bu hesaplar sonucunda ürünler için bazı aylarda talep edilen palet miktarının bir paletten az olduğu gözlemlenmiştir. Bir paletten az talep edilen ürünler ve art arda iki ay ya da toplamda 3 aydan fazla süre talep edilmeyen ürünler elenmiştir. Bu sayede yıl boyunca en çok ve en sık talep edilen ürünler belirlenmiştir. Belirlenen ürünler kendi içinde talep miktarlarına göre oranlanmıştır ve bu oranlar kullanılarak depo kapasitelerine ürün miktarlı ve çeşitleri atanmıştır. Bu oranlama ve dağıtma işlemi yapılırken aşağıdaki formülasyonlar kullanılmıştır.

$$PO_i = \frac{\sum_j^{12} TPM_{ij}}{\sum_i^n \sum_j^{12} TPM_{ij}} * K, i = 1,2, \dots, n, j = 1,2, \dots, 12 \quad (4)$$

PO_i = i ürününün depoda bulunması gereken palet miktarı, TPM_{ij} = i ürününün j ayındaki palet sayısı, K = depo kapasitesi, n = ürün çeşidi sayısı.

Hesaplamalar sonucunda depoda bulunması gereken palet miktarlarının küsuratlı değerler olduğunu gözlemlenmiştir. Depolara yalnızca tam palet gönderebilme kısıtı olduğu için, bulunan değerler kendisine en yakın tamsayıya yuvarlanmıştır.

$PO_i = a, b$ olsun,

$$\text{Eğer } PO_i = \begin{cases} b \geq 0,5, & a + 1 \\ b < 0,5, & a \end{cases} \quad (5)$$

a = i ürününün depoda bulunması gereken palet miktarının tam palet sayısı,

b = i ürününün depoda bulunması gereken palet miktarının ondalık sayısı.

Yapılan analiz sonucunda projeye en uygun olan senaryonun, birinci senaryo olduğuna karar verilmiştir ve birinci senaryo kullanılmıştır.

Simülasyon Modeli

İki kriterli ABC analizi ile belirlenen ürünlerin mikro depolara yerleştirilmesini gözlemlemek için Arena Simülasyon programı kullanılmıştır. Birim bazında ve palet bazında 2 farklı dinamik simülasyon modeli oluşturulmuştur. Birim bazlı simülasyon modelinde, ürünlerin stok pozisyonu yeniden sipariş noktasının altına düştüğünde maksimum stok miktarını tamamlayacak kadar ürün gönderilmesi hedeflenmiştir. Palet bazlı simülasyon modelinde talebi tahmin etmenin zorluğu ve taleplerin homojen bir dağılıma sahip olmaması nedeniyle 1 palet talep gelene kadar geçen sürenin dağılımını bularak yeniden sipariş noktası araçların minimum kapasitesi olarak değerlendirilmiştir. Simülasyon modeli sayesinde yeniden sipariş noktaları belirlenmiştir. Sonuç olarak, tekrar sipariş noktasının değişimine göre hizmet seviyesi gözlemlenmesi için süreç analizi kullanılarak bir deney tasarlanmıştır.

Matematiksel Model

Bu projede ürünlerin İzmir ana depodan 5 farklı mikro depoya sevk edilmesi için bir ulaşım planına ihtiyaç duyulmuştur. İzmir ana depoya aynı anda gelen siparişleri sınırlı sayıda, belirli kapasitedeki araçlar ile farklı kapasitelerdeki mikro depolara göndermek için ulaşım planı tasarlanmıştır. Maksimum teslim süresini ve araç sayısını en aza indirerek, en az teslim süresi ve en az araç ile sevkiyat yapmak amaçlanmıştır.

İndeksler:

i : araç ($i = 1,2 \dots 20$)

j : mikro depo ($j = 1,2 \dots 5$)

Parametreler:

C_i : i aracının kapasitesi

L_{ij} : j mikro deposuna giden i aracının tedarik süresi

R : toplam araç sayısı

Q_j : her bir mikro depo j için sipariş miktarı

Karar Değişkenleri:

$$X_{ij}: \begin{cases} 1, & i \text{ aracı } j \text{ mikro deposuna atandı ise} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

t_{ij} : araç i için mikro depo j 'ye teslimat sayısı

W : maksimum tedarik süresi

$$\text{Minimize } W \quad (6)$$

s. t.

$$\sum_i t_{ij} * C_i \geq Q_j \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \leq R \quad (8)$$

$$MX_{ij} \geq t_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

$$X_{ij} \leq t_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$W \geq (2 * t_{ij} - 1) * L_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (13)$$

$$W, t_{ij} \geq 0 \quad (14)$$

Matematiksel modelde belirtilen amaç fonksiyonu maksimum teslim süresini en aza indirmeyi sağlamaktadır. (7) numaralı kısıt ile sipariş miktarlarının karşılanması için toplam araç miktarlarının kapasitelerine bağlı olarak yaptıkları tur sayısını kısıtlamak hedeflenmiştir. Mikro depolara gidecek olan araç miktarının toplam araç miktarından fazla olamaması (8) numaralı kısıt ile sağlanmaktadır. Mikro depolara giden araç sayısı ve giden aracın tur sayısının 0 olma durumları (9) ve (10) numaralı kısıtlarla belirlenmiştir. (11) numaralı kısıda göre tur sayısına göre araçların yolda geçen süreleri maksimum yolda geçen süreden fazla olmamalıdır. Her aracın sadece bir mikro depoya gidebileceğini varsayılmıştır ve (12) numaralı kısıtla sağlanmaktadır. Kısıt (13) ve (14) karar değişkenlerinin alabileceği değer aralığını belirtmek için kullanılan işaret kısıtlarıdır. Bu model CPLEX Optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Hangi tip araçtan kaç tane kullanıldığında ve araçlar kaç tur yaptığında maksimum yolda geçen sürenin minimum olacağı görülmüştür.

Karar Destek Sistemi

Oluşturulan karar destek sistemi çözüm yöntemlerinin bütünü içermektedir. Excel VBA kullanılarak karar destek sistemi oluşturulmuştur. Her kullanıcıya ait bir kullanıcı adı ve şifre ile sisteme giriş yapılmaktadır (Şekil 2). Giriş yaptıktan sonra dört farklı ara yüz bulunmaktadır (Şekil 3). İlk olarak ABC analizi gösterilmektedir. Karar destek sisteminde ABC analizini entegre ederek ürünlerin hangi sınıfa ait olduğunu, hangi ürünlerin seçildiğini ve seçilen üründen ne kadar olması gerektiği gösterilmektedir. Simülasyon için kullanıcıya iki farklı 2 seçenek gösterilmektedir. Bunlar, palet bazlı simülasyon ve birim bazlı simülasyondur. Minimum tedarik süresini bulmak için kullanıcı "Transportation Plan" seçeneğini seçmektedir. Kullanıcıdan hangi araç tipinden kaç tane olduğunu ve bu araçların tedarik sürelerini girmesi istenmektedir. Ayrıca kullanıcı mikro depoların kapasitelerini görebilmektedir. Son olarak "Sales" seçeneği için kullanıcı istediği bölgede, istediği ürünün tüm bilgilerini görmektedir.



Şekil 2. KDS Giriş Arayüzü



Şekil 3. KDS Seçenek Ara Yüzü

IV. SONUÇ

Bu projede e-ticarete geçilmesiyle birlikte yeni kurulacak olan mikro depolar için envanter yönetim sistemi oluşturulmuştur. İzmir ana depodan, mikro depolara hangi üründen kaç adet gönderileceğini belirlemek ve buna uygun olarak bir teslimat planı oluşturmak iki ana hedefimizdir. Bu sayede mikro depoların stok seviyelerinin doğru kullanımı ile müşterilerin taleplerinin eksiksiz ve zamanında karşılanması hedeflenmiştir. Öncelikle şirketin sağlamış olduğu verilerin detaylı bir analizi yapılmıştır. Ardından 2 kriterli ABC analizi kullanılarak mikro depolara gönderilecek olan ürünlerin seçimi yapılmıştır. Seçilen bu ürünlerin miktarlarını belirlemek için talep oranlarına göre hesaplamalar yapıp ürünlerin miktarları her bölge için bulunmuştur. Ardından mikro depolardaki stok seviyesinin kontrol etmek amacıyla Arena Simülasyon yazılımı ile sistem modellenmiştir. Şirketin sahip olduğu sistem ile uygun olan envanter yönetim politikası olan S,s politikası belirlenerek detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatürdeki matematiksel modeller incelenip şirketin sistemine uygun matematiksel model oluşturulmuştur [1]. Bu problemde elimizde herhangi bir maliyet ve gelir bilgisi bulunmadığı için modelimizde teslimat süresini minimize edecek şekilde ulaşım planlaması yapılarak 3 tip araçtan hangilerinin kaç tane kullanılması gerektiği bulunmuştur. Projeye uygun olarak bir Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur.

REFERANSLAR

- [1] Banu, S. (2017). Multi-criteria Warehouse Space Allocation Problem. Journal of Polytechnic., 613-621.
- [2] Opet Fuchs. (2022). Retrieved from <https://www.opetfuchs.com.tr/>
- [3] Opet Fuchs. (2020). Retrieved from <https://www.opetfuchs.com.tr/hakkimizda/sirket-tarihce>



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Elektrik Ekipman İş Çizelgeleme Problemi

**Aybüke Aldemir, Batuhan Pancarcı, Buse Eylül Oral, Helin Şahin, İbrahim Onur Çakır,
Zülfinaz Şahbaz**

**Akademik Danışmanlar
Dr. Adalet Öner
Araştırma Görevlisi Gamze Erdem**

Izmir, 2022

I. GİRİŞ

Endüstriyel tesislerde üretim planlama ve iş çizelgeleme faaliyetleri firmaların verimliliği açısından önemli rol oynamaktadır. Bu süreçler etkin yönetilmezse üretimde azalma, siparişlerde gecikme gibi sorunlarla karşılaşılır. Projenin yürütüldüğü TP Elektrik Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş., devre kesiciler, anahtar kutuları, buatlar, fiş ve prizler gibi sanayi tipi elektrik ekipmanları üreten bir firmadır. Bu proje, TP Elektrik'in üretim sürecindeki paralel plastik enjeksiyon makinelerinin sıra bağımlı hazırlık sürelerini dikkate alarak iş çizelgenmesi problemini ele almaktadır.

TP Elektrik 1989 yılında Kemalpaşa, İzmir'de kurulmuştur. Firmanın 40.000 m²'lik alan içerisinde 12.000 m²'lik kapalı üretim alanı bulunmaktadır. Fabrikada 42'si beyaz yakalı, 83'ü mavi yakalı olmak üzere toplam 125 kişi çalışmaktadır. 32 yıllık tecrübesi ile şu anda sektöründe lider firmalardan biridir. Firma, yerel pazarın lider üreticisi olmanın yanı sıra 50'den fazla ülkeye ihracat yaparak bir dünya markası olma yolunda adımlar atmaktadır. 20'den fazla ağır sanayi sektörüne 4.000'den fazla çeşit ürün tedarik etmektedir ve yıllık üretim kapasitesi yaklaşık 5 milyon adettir. Fabrikanın yıllık geliri 10 milyon \$ olup, bunun %40'ı ihracattır.

Bu projede makine uygunluğu, iş öncelikleri, hazırlık zamanları ve termin tarihleri göz önünde bulundurularak siparişlerin ağırlıklı gecikmeleri minimize edilecek şekilde çizelgeleme yapılması için bir program oluşturulması hedeflenmiştir. Çözüm için gerekli görülen ve oluşturulan algoritmalar için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu sayede, matematiksel model için gerekli olan parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlar oluşturulmuş ve problem çözümüne uygun amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Matematiksel model oyuncak verilerle LINGO 19.0 Optimizasyon Yazılımı'nda doğrulanmış ve yüksek boyutlu verilerle kısa sürede çözüme ulaşamadığı fark edilmiştir. Makul sürede sonuca ulaşabilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Problemdeki amaç ağırlıklı gecikmeyi minimize etmek olduğundan dolayı ilk olarak En Erken Teslim Tarihi (EDD) Kuralı uygulanmıştır. Sonuçlar yetersiz olduğundan, bu kural geliştirilerek Modifiye EDD Algoritması oluşturulmuştur. Sonuçlar her ne kadar Klasik EDD Kuralı'na göre iyi çıkmış olsa da daha iyi bir sonuca ulaşabileceği düşünülerek Modifiye EDD Algoritması'ndan gelen sonucu girdi olarak kullanan iyileştirici HENOB A Algoritması geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile yüksek boyutlu verilerle daha kısa sürede sonuçlara ulaşılmış ve Modifiye EDD Algoritması sonucunda elde edilen çizelgenin üstüne uygulanan HENOB A Algoritması optimal veya optimele en yakın sonucu sağlamıştır.

II. PROBLEM TANIMI

TP Elektrik, bir süredir üretim planlama süreçleriyle ilgili sorunlarla karşı karşıyadır. İşler firma tarafından yüksek, orta ve düşük öncelikli olacak şekilde sınıflandırılmakta, işlerin son termin tarihleriyle incelik seviyelerine bakılarak üretim planlaması oluşturulmaktadır. Planlama anlık olarak yapılmakta ve Planlama Departmanı tarafından sürekli olarak güncellenmektedir. Halihazırda şirkette çizelgeleme işlemi, planlama mühendislerinin bilgi ve tecrübesine dayalı olarak Microsoft Excel Programı'nda manuel yapılmaktadır. Çizelgeleme için bir sistemin olmaması nedeniyle teslimat gecikmeleri meydana gelmektedir.

Literatürde bu problem ile ilgili çalışmalar detaylıca incelendikten ve mevcut sistem analiz edildikten sonra, problemin, işlerin gecikmelerini ve öncelik seviyelerini göz önünde bulunduran sıraya bağlı hazırlık sürelerine sahip paralel makine çizelgelemesi olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak problemi etkileyen bazı faktörler vardır ve bunlar kısıtları oluşturmaktadır. Kısıtlardan ilki hazırlık süreleridir. Bir işten diğerine geçerken kalıp değişikliği olursa ortalama 45 dakika hazırlık süresi gerekmektedir. Bu süre önceden hazırlanmış bir kalıbı alıp takmaya aittir. Öte yandan, bir iş için kullanılan kalıbın başka bir iş için tekrar kullanılması durumunda versiyon değişikliği gerekmektedir. Versiyon değişikliği gereken durumlarda bu kalıp üretilecek ürüne uyarlanmak üzere kalıphaneye gönderilmektedir. Kalıpların versiyon değişiklikleri için ortalama 5 saat, sıralı işler arasında renk değişimi varsa ortalama 30 dakika gerekmektedir. Bununla birlikte, standart problem tanımına ek olarak bazı gereksinimler de vardır. Bunlardan ilki, her makinede her işin işlenmemesidir. İkinci olarak, makineler ve çalışan işçi sayısı arasında bir denge olması gerekmektedir. Çalışabilecek maksimum makine sayısı, enjeksiyon bölümünde çalışan işçi sayısını geçmemelidir.

Üçüncüsü ise, işlerin hazır olma zamanları olduğundan dolayı her işe istenildiğinde başlanamamaktadır. Son olarak, işlerin öncelik seviyeleri göz önünde bulundurulmalıdır. Proje kapsamı, TP Elektrik'in üretim sisteminde paralel olarak çalışan plastik enjeksiyon makinelerinde iş çizelgesi olarak belirlenmiştir. Fabrikanın enjeksiyon kısmında toplam 37 adet makine bulunmaktadır. Arıza durumları hariç tüm makinelerde üretim yapılmaktadır. Ayrıca toplam 880 adet kalıp bulunmaktadır. TP Elektrik ile yürütülen bu projenin temel amacı, enjeksiyon makinelerinde sıraya bağlı hazırlık süreleri ve işlerin öncelik seviyeleri dikkate alınarak toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indiren etkin ve sistematik bir çizelgeleme modeli ve sezgisel algoritma geliştirmektir.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Yapılan detaylı literatür taraması sonucunda, bu projede çalışılan probleme benzer bir model bulunmuştur. Matematiksel model, Heady & Zhu [8] tarafından Karma Tamsayı Programlama (MIP) yaklaşımından esinlenilerek formüle edilmiştir.

İndisler:

i, j = İşlerin indisi, i işi j işinden sonra gelir

k = Makinelerin indeksi

Kümeler:

N = İşlerin kümesi $i, j = \{1, 2, \dots, |N|\}$

M = Makinelerin kümesi $k = \{1, 2, \dots, |M|\}$

Parametreler:

P_i = i işinin işlem süresi

d_i = i işinin termin zamanı

w_i = i işinin öncelik ağırlığı

r_i = i işinin işleme başlayabileceği en erken zaman

F_{ik} = i işinin k makinesinde işlenip işlenmeyeceğini gösteren teknolojik parametre

S_{ij} = Kalıp ve, veya renk değişiklikleri dikkate alınarak i ve j işleri arasındaki toplam hazırlık süresi

L = Enjeksiyon makinelerinde çalışan işçi sayısı

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i \text{ işinden hemen sonra } j \text{ işi} \\ & k \text{ makinesinde işleniyorsa} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

$$Z_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i \text{ işi } k \text{ makinesine atandıysa} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

$$Y_k = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } k \text{ maninesi kullanılıyorsa} \\ 0 & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

C_i = i işinin tamamlanma süresi

T_i = i işinin gecikme süresi

E_i = i işinin erken bitme süresi

ST_i = i işinin başlangıç zamanı

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} \sum_{i \in N} w_i T_i \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$C_i - T_i + E_i = d_i \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^M Z_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j=1, i \neq j}^N X_{ijk} \leq Z_{ik} \quad \forall i \in N, \forall k \in M \quad (4)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ijk} = Z_{jk} \quad \forall j \in N, \forall k \in M \quad (5)$$

$$C_i - C_j - B(X_{jik}) \geq P_i + S_{ji} - B \quad \forall k \in N, \quad \forall i, j \in N, j \neq k \quad (6)$$

$$\sum_{k \in M} Y_k \leq L \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} X_{ijk} \leq B * Y_k \quad \forall k \in M \quad (8)$$

$$ST_i = C_i - P_i \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$ST_i \geq r_i \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$Z_{jk} \leq F_{jk} \quad \forall j \in N, \forall k \in M \quad (11)$$

İşaret Kısıtları:

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in M, \forall i, j \in N, i \neq j \quad (12)$$

$$Z_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall k \in M, \forall i, j \quad (13)$$

$$Y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in M \quad (14)$$

$$C_i \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (15)$$

$$T_i \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (16)$$

$$E_i \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (17)$$

$$ST_i \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (18)$$

Bu modelde amaç fonksiyonu (1), sistemin ağırlıklı gecikmesinin minimizasyonunu temsil etmektedir. Kısıt (2), bir işin tamamlanma zamanı ile termin tarihi arasındaki farkın, işin erken mi yoksa geç mi olduğunu gösterir. Kısıt (3), herhangi bir işin sadece tek bir makine tarafından işlenebileceğini garanti eder. Kısıt (4), bir makineye bir iş atandığında hemen öncesinde başka bir iş gelmesi gerektiğini ifade eder. Benzer şekilde, kısıt (5), bir makineye bir iş atandıktan hemen sonra en fazla bir iş tarafından takip edileceğini doğrular. Kısıt (6), bir makinedeki sıradaki gerçek bir işin tamamlanma süresinin, o işin işlem süresinin, o iş ile önceki iş arasındaki hazırlık süresinin ve önceki işin bitirme süresinin toplamından daha fazla veya eşit olacağını söyler. Kısıt (7), kullanılabilir maksimum makine sayısının mevcut işçi sayısını aşamayacağını belirtir. Kısıt (8) k makinesinin kullanılıp kullanılmayacağına karar verir. Kısıt (9), bir işin başlama zamanının, bu işin tamamlanma zamanı ile işlem zamanı arasındaki farka eşit olduğunu belirtir. Kısıt (10), bir işin en erken başlama zamanından önce işlemeye başlayamayacağını ifade eder. Kısıt (11) bir işin, üzerinde işlenebileceği makinelerden yalnızca birine atanabileceğini gösterir. Son olarak, kısıt (12) - (18), tüm karar değişkenleri için işaret kısıtlamalarını temsil eder.

Matematiksel modeli test etmek amacıyla 20 farklı oyuncak problem oluşturulmuş ve LINGO 19.0 Optimizasyon Yazılımı'nda çözdürülmüştür. Toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlayan paralel makine çizelgeleme probleminin sıraya bağlı hazırlık süreleri, makine uygunluğu ve iş öncelikleri gibi gereksinimleri de dikkate almasından dolayı problemin boyutu büyüdükçe matematiksel model ile kısa sürede çözülmesi zorlaşmıştır. Sonuç olarak, problem NP-zor olarak bulunmuştur. Bu sebeple, daha kısa sürede makul çözümlere ulaşmak için yapıcı ve iyileştirici algoritmalarla oluşan sezgisel çözüm yöntemleri geliştirilmiştir.

İlk olarak, yapıcı algoritmalar oluşturulmuştur. İlk çözümlere ulaşmak için En Erken Teslim Tarihi Kuralı (EDD) uygulanmıştır. Klasik EDD algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 0. Tüm makinelerin uygun zamanlarını 0'a ayarla ve tüm işlerin verilen hazır olma sürelerini ayarla.

Adım 1. Tüm işleri termin tarihlerine göre artan şekilde sırala.

Adım 2. Sıralanan iş listesinden ilk işi al ve ardından en erken uygun zamana sahip makineye ata.

Adım 3. Makinenin uygun olduğu zamanı güncelle ve atanan işi listeden kaldır.

Adım 4. İş listesini kontrol et. İş listesi boşsa, sonlandır. Aksi takdirde, Adım 2'ye git.

İkinci olarak, termin tarihleri, işlerin hazır olma süreleri ve işlerin ağırlıkları dikkate alınarak Modifiye EDD algoritması oluşturulmuştur. Bu parametreler kullanılarak yeni bir metrik “ μ ” oluşturulmuştur. Bu sefer işler, aşağıdaki hesaplamadan elde edilen sonuçların artan sırasına göre çizelgenmektedir ve Modifiye EDD algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir.

$$\mu_j = \frac{(d_j + r_j)}{w_j}$$

Adım 0. Tüm makinelerin uygun zamanlarını 0'a ayarla ve tüm işlerin verilen hazır olma sürelerini ayarla.

Adım 1. Her iş için μ_j hesapla.

Adım 2. Tüm işleri μ_j sonuçlarına göre artan düzende sırala.

Adım 3. Sıralanan iş listesinden ilk işi al ve ardından en erken uygun zamana sahip makineye ata.

Adım 4. Makinenin uygun olduğu zamanı güncelle ve atanan işi listeden kaldır.

Adım 5. İş listesini kontrol et. İş listesi boşsa, sonlandır. Aksi takdirde, Adım 3'e git.

Son olarak HENOBA adı verilen bir iyileştirme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmanın temel amacı Modifiye EDD Algoritması tarafından üretilen çizelgeler üzerinde iyileştirmeler yaparak en iyi çözüme ulaşmak olduğundan dolayı çözümlenmeye Modifiye EDD Algoritması'ndan uygun sonuçların elde edilmesiyle başlamaktadır. Tarafımızca geliştirilen HENOBA Algoritması'nın akışı şu şekilde ilerlemektedir:

Öncelikle algoritma, Modifiye EDD Algoritması çözümünden elde edilen herhangi bir makinedeki ilk işlerin herhangi bir hazır olma süresi olup olmadığını kontrol eder. Varsa, geciken işler tespit edilir ve listelenir. Ardından, her geciken işin hazır olma sürelerinin ve işlem sürelerinin toplamını hesaplar. Bulunan sonuç, ilk işlerin hazır olma süresine eşit veya bundan küçükse, hazır olma süreleri kontrol edilir ve o iş için uygun hazır olma süresi yerine geciken işler yeniden çizelgenir. Her ardışık iş arasındaki boş geçen süreleri değerlendirmek amacıyla, her ardışık iş arasındaki boş zaman hesaplanır. Her bir geciken işin hazır olma süresinin ve işlem süresinin toplamından elde edilen sonuç, ilk işlerin hazır olma süresinden büyükse, algoritma çizelgede herhangi bir değişiklik yapmadan doğrudan her bir sıralı iş arasındaki boş zamanın hesaplandığı adıma gider. Bundan sonra, geciken işler tekrar tespit edilir ve yeniden çizelgeleme yapılmak üzere listelenir. Güncellenen geciken işler listesinden minimum işlem süresine sahip iş seçilir ve minimum boş zaman bulunur. Seçilen işin işlem süresi, minimum boş zamandan az veya buna eşitse, iş, boş zamanın olduğu yere yeniden çizelgenir. Bu adımdan sonra, toplam ağırlıklı gecikme, yeni çizelgeye göre tekrar hesaplanır. Toplam ağırlıklı gecikme öncekinden daha kötüyse, son yapılan çizelgeleme iptal edilir ve o iş geciken iş listesinden kaldırılır. Daha sonra geciken işler tespit edilir, tekrar listelenir ve sonraki adımlar yeniden gerçekleştirilir. Öte taraftan, toplam ağırlıklı gecikme daha iyi bulunursa, algoritma geriye kalan gecikmiş işlerin olup olmadığını kontrol eder. Eğer geriye gecikmiş iş kalmamışsa algoritma sonlandırılır. Aksi takdirde, geriye kalan gecikmiş işler tespit edilir, listelenir ve devamında gelen adımlar tekrarlanır. Ayrıca, seçilen işin minimum boş zamandan daha uzun bir işlem süresi olması durumunda, minimum boş zamandan daha fazla boş zamanın olup olmadığını kontrol edilir. Birden fazla varsa minimumu seçilir, eğer sadece bir tane varsa o, direkt minimum olarak seçilir. Ardından seçilen işin işlem süresi ile tekrar karşılaştırılır ve önceden belirtilen adımlar ile algoritma devam eder. Aksi durumda algoritma sonlandırılır. Ayrıca, tüm algoritmanın ilk adımına dönülürse, Modifiye EDD Algoritması'ndan elde edilen çözümde bütün makinelerdeki ilk işlerin herhangi bir hazır olma süresi tespit edilmemişse, algoritma doğrudan sıralı işlerin arasında boş zamanın hesaplandığı adıma atlar ve algoritmanın geri kalanı daha önce belirtildiği gibi gerçekleştirilir.

Tablo 1. Sezgisel Algoritmaların Optimal Sonuçtan Sapma Miktarı

#	Optimal Sonuç	Klasik EDD	% Sapma	Modifiye EDD	% Sapma	Modifiye EDD + HENOBA	% Sapma
1	2055	4045	97%	2955	44%	2572	25%
2	31073	61979	88%	40793	31%	33543	8%
3	32660	63047	93%	44086	35%	35926	10%
4	33400	63127	89%	45121	35%	36870	10%
5	67700	129696	92%	91159	35%	73906	9%
6	53665	95426	78%	72067	34%	58848	10%
7	33832	61566	82%	45439	34%	37292	10%
8	6134	7762	106%	8435	38%	6715	9%
9	31073	58512	88%	40793	31%	33543	8%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	8170	13640	67%	11282	38%	9212	13%
		Ort. % Sapma	87%	Ort. % Sapma	36%	Ort. % Sapma	11%

Tablo 1’deki sonuçlar yorumlandığında, Klasik EDD’nin 20 oyuncak problem sonunda ortalama %87 ile optimal sonuçtan en büyük sapma miktarını verdiği gözlemlenmiştir. Öte yandan, Modifiye EDD ile %36’lık bir sapma gözlemlenirken, Modifiye EDD ve HENOBA algoritmalarının kombinasyonu ile %11’lik bir sapma sağlanmıştır. Önerilen yapıcı algoritmanın (Modifiye EDD) ve iyileştirme algoritmasının (HENOBA) kombinasyonu ile, LINGO Optimizasyon Yazılımı tarafından elde edilen optimal sonuca çok yakın bir değer bulunmuştur.

En iyi çözümü veren matematiksel model ve geliştirilen sezgisel algoritmalar, MS Excel Programı yardımıyla Planlama Departmanı için büyük kolaylık sağlayacak kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) içine gömülmüştür. KDS ile fabrika tarafından üretilen tüm ürün bilgileri veri tabanında tutulmuş olup bu bilgilerin güncellemesi yapılabilmektedir. Ayrıca, siparişler için ürün kodu, miktar, öncelik, işin hazır olma tarihi ve termin tarihi gibi bilgiler kullanıcıdan alınıp, bu veriler doğrultusunda kullanıcı tarafından tercih edilen çeşitli yöntemlerle çizelgeler oluşturulmaktadır. Çizelgeler Gantt Şemaları sayesinde kolaylıkla anlaşılır hale gelmektedir.

IV. SONUÇ

Fabrikada sistematik bir çizelgeleme yöntemi olmamasından dolayı, ürünlerin teslim tarihlerinde gecikmeler yaşanmaktadır. Projenin sonunda, üretim planlama bölümünde kullanılmak üzere kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturularak, önceden yapılan manuel çizelgelemeler sonucunda oluşan işlerin teslim tarihlerindeki gecikmelerini en aza indirmek amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda yapılan ilk çalışmada, detaylı bir literatür taraması yapılmış ve amaç fonksiyonunun ağırlıklı gecikmeyi en aza indirgeyen matematiksel model, LINGO 19.0 Optimizasyon Yazılımı’nda çalıştırılmış fakat büyük boyutlardaki problemler için uzun saatler boyunca çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple önerilen ilk sezgisel yöntem olan En Erken Teslim Tarihi (EDD) Kuralı uygulanmıştır. Bu yöntemin de yetersiz kaldığı görülmüş ve yöntem geliştirilerek Modifiye EDD Algoritması’na dönüştürülmüştür. Son olarak, yapıcı algoritma olarak adlandırılan HENOBA Algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma, Modifiye EDD Algoritması’ndan elde edilen uygun çözümleri kullanarak en iyi sonuca ulaşmaktadır.

Matematiksel model, Klasik EDD, Modifiye EDD ve HENOBA algoritmaları kullanışlı bir Karar Destek Sistemi’ne (KDS) entegre edilmiştir. KDS sonuç çıktısında hangi işin hangi makinede yapıldığının görülebileceği Gantt Şeması sunulmuştur. Bunların sonucunda halihazırda kullanılan manuel planlamadan kaynaklanan teslim tarihlerinde yaşanan gecikmeler en aza indirilmiştir. Oluşturulan kullanıcı dostu Karar Destek Sistemi kolay entegrasyonu sayesinde benzer problemlere sahip farklı fabrikalarda kullanımına uygundur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma “2209-B - Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

Desteklerinden dolayı akademik danışmanımız Dr. Öğr. Üyesi Adalet ÖNER ve Araş. Gör. Gamze ERDEM'e ve şirketin proje danışmanı Çağlar ÇAKIR'a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- [1] (2021) Tp Elektrik Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş. website [Online]. Available: <http://www.tpelectric.com.tr/>
- [2] Hassin, R., & Shani, M. (2005). Machine scheduling with earliness, tardiness and non-execution penalties. *Computers & Operations Research*, 32(3), 683-705. doi:10.1016/j.cor.2003.08.012
- [3] Ho, J. C., & Chang, Y. (1991). Heuristics for minimizing mean tardiness form parallel machines. *Naval Research Logistics*, 38, 367-381.
- [4] Kim, J., Song, S., & Jeong, B. (2019). Minimising total tardiness for the identical parallel machine scheduling problem with splitting jobs and sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1628-1643.
- [5] Lee, Y. H., & Pinedo, M. (1997). Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 100(3), 464-474.
- [6] Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. (3rd ed.). New York, NY: Prentice Hall. doi:10.1007/978-0-387-78935-4
- [7] Radhakrishnan, S., & Ventura, J.A. (2000). Simulated annealing for parallel machine scheduling with earliness-tardiness penalties and sequence-dependent set-up times. *International Journal of Production Research*, 38(10), 2233-2252.
- [8] Zhu, Z., & Heady, R.B. (2000). Minimizing the sum of earliness/tardiness in multi-machine scheduling: a mixed integer programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 38(2), 297-305. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(00)00048-6).



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Çoklu Üretim Hatları için Yetkinlik Bazlı İnsan Kaynağı Çizelgeleme Karar Destek Sistemi

Ziya Arsan, Bilge Bayrak, Selin Kader, Bilge Özen, Mert Turan Sarıca, Batuhan Türkan

Akademik Danışmanlar
Dr. Levent Kandiller
Ege Duran

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

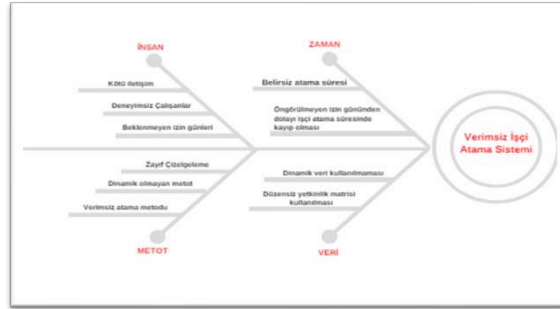
Günümüzde işgücü ataması ile organizasyonların verimliliğini arttırmak büyük önem taşımaktadır. Bu rapor yenilikçi ve zamandan tasarruf sağlayan bir yaklaşım ile çoklu üretim hatlarında işgücü ataması problemine çözüm sunmaktadır. Manisa Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima San. ve Tic. fabrikasında yedi adet üretim hattı ve bir adet ön montaj hattı bulunmaktadır. Manisa Organize Sanayi Parkı'nın ikinci bölümünde yer alan fabrika, 109.000 m² açık, 22.000 m² kapalı alana sahiptir. Ayrıca yaklaşık 1000 çalışanı bulunan Manisa Fabrikası, 744 çeşitte 7 milyondan fazla cihaz üretmektedir.

Bu rapor, bu da dahil olmak üzere yedi bölümden oluşur ve problem tanımı bir sonraki bölümde açıklanmıştır. Bölüm 3'te literatürdeki ilgili yaklaşımlara göz atılmıştır. Bölüm 4'de matematiksel model formülasyonu açıklanmıştır. Bölüm 5 ve 6 çözüm metodolojilerini ve hesaplama sonuçlarını açıklamaktadır. Son bölüm ise çalışmamızın özetini ve gelecekteki araştırma yönleri içermektedir.

II. PROBLEM TANIMI

Bosch Termoteknoloji, yüksek teknolojili ısıtma ürünlerinin lider üreticisidir. Çalışma saatleri üç vardiya olup, her vardiyada 455 işçi ve 239 operasyon bulunmaktadır. Fabrikadaki üretim hatları şu şekildedir; Ön Montaj, TTTL, Yalın 1, Yalın 2, Yalın 3, Yalın 4, Yalın 5 ve son olarak, Yalın 6. Hatların genel kalite seviyelerini en üst düzeye çıkarmak için montaj hattı dengelemesi ve ana üretim programı yerine işçi atamalarına odaklanıyoruz.

Vardiya amiri, günlük atama programını manuel olarak belirler. Bu atama süreci zaman açısından verimli değildir. Sorunun olası nedenleri kişi, zaman, yöntem, veri olarak kategorize edilebilir ve alt kategoriler Şekil 1'de balık kılıçlığı diyagramında verilmiştir.



Şekil 1. Kılçık Diyagramı

Proje, hangi çalışanın hangi operasyona atanması gerektiğini belirlemek için bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır. Hatların kalite oranlarını dengeleyerek, çalışanların niteliklerine göre operasyonlara atanmasını hedeflenmiştir. Temel Performans Göstergelerimiz (KPI), Genel Kalite Düzeyi, Hat Başına Ortalama Kalite ve Atama Hesaplama Süresidir.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Problemin tanımını ve yaklaşımını imalat sisteminin yöneticileriyle beraber tasarlayıp geliştirirken, öncelikle bir ürünün kalite seviyesini belirleyen ana etmenin, malzeme ve yöntemlerin standart olması ve hat dengelerinin önceden yapılmış olması varsayımı altında, atanmış operatörlerin ilgili operasyonu hangi kalite seviyesi ile gerçekleştirdiği olduğuna karar verdik. Bir hattaki operasyonların bağımlı olduğunu öngörerek, bir hatta üretilen ürünün kalite seviyesinin, o hattaki operasyonların en düşük kalite seviyesi değil, operasyonların yüzde kalite seviyelerinin çarpımı olarak ifade etmenin daha doğru olduğuna ortaklaşa karar verdik. Bu durumun ise ilgili hat dengeleme veya işçi atama problemlerine ait akademik makalelerde pek işlenmemiş olması nedeniyle özgün bir modelleme gereksinimi yarattığını değerlendirdik. Klasik atama probleminde kullanılan 0/1 değişkenleri ile ifade ettiğimizde (x_{ij} değişkeni j işine i işçisinin atanmasını temsil etmektedir), işçilerin yetkinlik değerlerini de q_{ij} yüzde değerleri ile ifade ettiğimizde, en çoklanmak

istenen amaç fonksiyonu doğrusal olmamaktadır. $\Pi_j(\sum_i q_{ij} x_{ij})$. Bir operasyonun (j) kalite seviyesini (atama kısıtlarının olduğunu varsayarak) $\sum_i q_{ij} x_{ij}$ şeklinde ifade edebileceğimiz gibi; herhangi bir değerın sıfırınca üssünün bir, birinci üssünün kendisi olduğu özelliğini kullanarak aşağıdaki şekilde de ifade edebiliriz:

$\prod_i q_{ij}^{x_{ij}}$. Atama kısıtları altında ($\sum_i x_{ij}=1$) her iki fonksiyon da aynı değeri vermektedir. Logaritmanın büyüklükleri koruması özelliği $a \leq b \leftrightarrow \log a \leq \log b$ ile $\max \Pi_j(\sum_i q_{ij} x_{ij}) = \max \Pi_j(\prod_i q_{ij}^{x_{ij}})$ ve

$\max \Pi_j(\prod_i q_{ij}^{x_{ij}})$ denkleğinin $\max \log (\prod_j (\prod_i q_{ij}^{x_{ij}}) = \sum_{ij} (\log q_{ij}) x_{ij}$ şeklinde ifade ederek amaç fonksiyonunu doğrusallaştırmak mümkündür. Literatürde var olan uygulamalardan farklı olarak matematiksel modelimizdeki doğrusal olmayan amaç fonksiyonumuzu bu şekilde doğrusallaştırdık ve karar değışkenini üstel hale getirerek, yenilikçi bir yaklaşım örneğı sergiledik.

Joker işçiler %90'ın üzerinde kalifikasyon değeriine sahip tecrübeli çalışanlardır. Toplam tutulan joker işçi sayısı yönetimin kararıdır. Yönetim, her hattın ortalama kalite seviyesinin en az bir eşik değeri olması gerektiğini belirtir.

Setler ve İndisler

i : işçiler ($1 \dots |W|$)

l : hatlar ($1 \dots |L|$)

j : istasyonlar ($1 \dots |O_L|$)

Parametreler

q_{ij} : quality performance of a worker i in station j

$a_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer işçi tüm istasyonlarda en az \% 90 seviyede çalışabiliyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

K : toplam joker işçi sayısı

T : her hat için asgari kalite seviyesi

Karar Değışkenleri

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer işçi } i \text{ } j \text{ .operasyon için görevlendirilmişse} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

$y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer işçi } i \text{ joker olarak seçmişse} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

Model

$$\text{Enbüyük } z = \sum_{i \in W} \sum_{l \in L} \sum_{j \in O_l} \log(q_{ij}) X_{ij} \quad (1)$$

Öyle ki:

$$\sum_{l \in L} \sum_{j \in O_l} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in W \quad (2)$$

$$\sum_{i \in W} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in O_l, \quad \forall l \in L \quad (3)$$

$$y_i + \sum_{l \in L} \sum_{j \in O_l} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in W \quad (4)$$

$$y_i \leq a_i \quad \forall i \in W \quad (5)$$

$$\sum_{i \in W} y_i = K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in O_l} \log(q_{ij}) X_{ij} \geq |O_l| \log(T) \quad \forall l \in L \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \text{ and } y_i \in \{0,1\} \quad (8)$$

Kısıt (1), genel işgücü verimliliğini en üst düzeye çıkarır. Kısıt (2), her çalışanın en fazla bir operasyona atanması gerektiğini garanti ederken Kısıt (3), atanmış bir çalışanın olması gerektiğini düzenler. Kısıt (4), bir işçinin ya joker işçi ya da düzenli işçi olduğunu belirtirken, Kısıt (5), joker işçi olmanın gerekliliğini ve Kısıt (6), joker işçi sayısını belirlemektedir. Kısıt (7), çizgilerin kalite düzeylerini dengelemek için kullanılır, her kısıtlama, her bir çizginin geometrik ortalama kalite düzeyinin en az T olmasını sağlar.

Çoklu üretim hatları için yetkinliğe dayalı işgücü planlaması üzerinde çalıştık. Amaç, genel işgücü verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için yeni bir yaklaşım geliştirmektir. OPL CPLEX ile sorunumuzu çözdük. Ardından, model yapay olarak oluşturulan temsili küçük verileri ve orijinal gerçek veriler kullanılarak doğrulanır. Şirket, lisans kısıtlamaları nedeniyle CPLEX'i kullanamadığından, matematiksel model, şirkete bir çözücü seçeneği sağlamak için Pulp kitaplığı kullanılarak Python kullanılmıştır.

Satırlar arasındaki kalite dengesini kontrol eden kısıtlama kümesini (7) göz ardı edersek, formülasyon klasik bir atama problemi haline gelir. Daha sonra Python'da numpy, openpyxl, time ve xlswriter kütüphanelerini ve modüllerini kullanarak klasik bir Macar algoritması uyguladık.

Bu üç çözüm yönteminin (CPLEX, Python, Macar) performansını test etmek için küçük, orta ve büyük olmak üzere üç setten on örnek oluşturduk. Çözüm zamanı karşılaştırmaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Karşılaştırma: Cplex vs. Python vs. Macar Algoritması

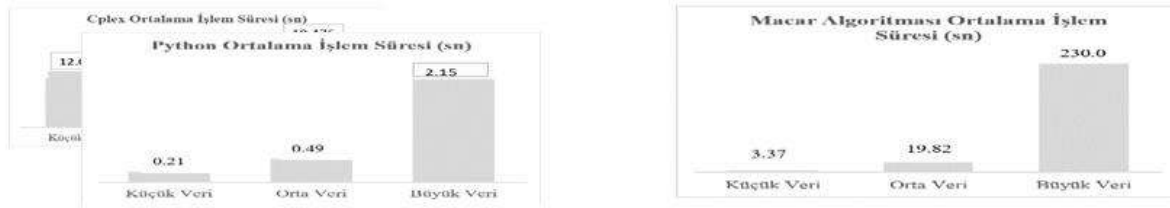
	İşlem Süresi (sn)		
	Cplex	Python	Macar Algoritması
K1	11.49	0.2007	3.77
K2	10.90	0.2288	3.64
K3	11.69	0.2067	4.22
K4	18.00	0.2074	3.15
K5	12.00	0.2077	3.62
K6	13.93	0.2046	3.02
K7	8.98	0.2042	2.75
K8	12.52	0.2045	2.89
K9	13.24	0.2059	3.13
K10	10.48	0.2098	3.08
O1	11.19	0.4940	26.35
O2	11.03	0.4945	33.75
O3	11.00	0.4855	17.10
O4	11.04	0.4855	20.07
O5	11.21	0.4714	11.56
O6	13.03	0.5390	10.95
O7	10.65	0.4720	21.39
O8	11.60	0.5153	20.84
O9	13.32	0.4940	17.46
O10	12.51	0.4886	18.72
B1	18.91	2.1456	2542
B2	17.70	2.1330	2843
B3	19.95	2.1348	1833
B4	18.68	2.1587	2215
B5	18.93	2.2225	2310
B6	18.69	2.1152	1985
B7	18.17	2.1543	1940
B8	16.90	2.1716	2450
B9	16.48	2.1399	2115
B10	17.10	2.1388	2767

Görünüşe göre en hızlı algoritma diğerlerinden daha iyi performans gösteriyor. Ortalama çözüm süreleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Ortalama Çözüm Zamanları (Cplex, Python, Macar)

Şekil 3'te ise işçi havuzundaki joker işçi sayısını azaltırsak, bir kısmının operasyonlara atanması nedeniyle genel kalite seviyelerindeki artış gösterilmiştir.



Şekil 3. Joker İşçi Sayısına Bağlı Duyarlılık Analizi

Ayrıca, satırların kalite değerlerini dengelemek için bir seçenek sunduk ve her veri boyutunun bir örneği için farklı denge tutmalarının genel kalite yüzdesi değerleri üzerindeki etkisini analiz ettik ve Tablo 2'de görebileceğiniz gibi, denge eşiği değeri artarsa toplam kalite yüzdesi değerleri azalır.

Ayrıca, denge eşik değerini arttırsak, çizgilerin kalite değerlerini dengeleme süreci zorlaşır ve sonuç olarak problem çözümsüz olabilir.

Tablo 2. Denge Eşiklerine Dayalı Her Veri Boyutu Örneği için Toplam Kalite Yüzdesi Değerlerindeki F

	Küçük Boyutlu Veri	Orta Boyutlu Veri	Büyük Boyutlu Veri
Dengelemeden Önce	86.60%	83.70%	83.77%
%30 Denge ile	86.60%	83.52%	83.77%
%40 Denge ile	86.60%	83.52%	83.77%
%50 Denge ile	86.60%	83.52%	83.77%
%60 Denge ile	86.60%	83.52%	83.76%
%70 Denge ile	86.59%	83.52%	83.76%
%80 Denge ile	86.59%	83.52%	83.71%
%90 Denge ile	Çözümsüz	Çözümsüz	Çözümsüz

Şirkete olan katkımızı göstermek için çözümlerimizi şirketin çözümleriyle karşılaştırdık. Örnek olarak, LEAN 3 hattı için iki çözüm, iki çözüm (mavi bizimki, sarı şirketinki) Tablo 3'te gösterilmektedir. Modelimiz geometrik ortalama %96 verirken, şirketin çözümü yalnızca 80'dir.

Tablo 3. Günlük vardiya için bir hat için gerçek hayat verileri: İki çözüm

	Yalın 3														
	120220	120221	123200	123201	123202	123203	123204	123205	123206	123207	123208	123210	123211	123212	123213
İşçi 1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.25	0.95	0.07	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 2	0.11	0.11	0.11	0.08	0.11	0.88	0.97	0.71	0.70	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 3	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.90	0.75	0.11
İşçi 4	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.67	0.91	0.83	0.11
İşçi 5	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.96	0.90	0.90
İşçi 6	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.54	0.90
İşçi 7	0.11	0.11	0.92	0.83	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 8	0.11	0.11	0.90	0.94	0.81	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 9	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.40	0.11	0.91	0.83	0.75	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 10	0.11	0.11	0.90	0.98	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 11	0.11	0.11	0.66	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.90	0.97	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.92	0.82	0.90	0.11
İşçi 13	0.11	0.24	0.11	0.69	0.94	0.97	0.11	0.11	0.11	0.97	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 14	0.94	0.98	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.97	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 15	0.91	0.90	0.57	0.77	0.79	0.90	0.98	0.93	0.96	0.92	0.89	0.89	0.94	0.11	0.11
İşçi 16	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.90	0.99	0.11	0.11	0.11
İşçi 17	0.83	0.11	0.11	0.11	0.94	0.11	0.95	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 18	0.11	0.11	0.11	0.11	0.78	0.11	0.11	0.11	0.96	0.89	0.93	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 19	0.11	0.11	0.11	0.11	0.71	0.96	0.94	0.80	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 20	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.93	0.57	0.57	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 21	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.97	0.79	0.33	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 22	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 23	0.11	0.11	0.94	0.94	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
İşçi 24	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.92	0.98	0.97
İşçi 25	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.96
İşçi 26	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.87	0.89	0.11	0.11	0.11	0.11

Amaç, işçi takası yaparak daha iyi bir görev elde etmektir. İşçilerin eski kalite değerine bölünmesinden sonraki yeni kalite değeri 1'den büyükse, iki işçinin değiştirilmesi olumludur, aksi halde olumsuzdur. İyileştirme algoritması, hızlandırmak için önce Excel VBA'da ve Python'da kodlanmıştır. Tablo 4'de açgözlü algoritmasının performansını görmek için en iyi çözüm ile olan yüzdellik farkı görülebilir.

Karar Destek Sistemi

Karar verme süreçlerini desteklemek ve kullanıcılara bilgi sunmak için kullanıcı dostu bir karar destek sistemi (KDS) geliştirdik. Şekiller 4, 5 ve 6'dan izleyebileceğiniz gibi, KDS'miz için kullanıcı arayüzü gösterilmektedir ve kullanıcılar bir örnek görebilir. Cplex, Excel, Macar yöntemi ve ağızlı algoritma tarafından sağlanan çözümleri görmek için dört farklı seçenek arasından bir çözücü seçebilir.

Tablo 4. Ağızlı Algoritma İyileştirme Performansı

	Ortalama Kalite Yüzdeleri Değeri		
	CPLEX Çözümü	Greedy Çözümü	Percentage Gap
K1	77.42%	76.38%	1.34%
K2	75.5%	74.68%	1.09%
K3	70.25%	69.8%	0.64%
K4	89.03%	88.94%	0.10%
K5	69.19%	68.76%	0.62%
K6	85.22%	84.79%	0.50%
K7	63.87%	62.77%	1.72%
K8	64.84%	63.86%	1.51%
K9	53.87%	52.9%	1.80%
K10	73.68%	72.62%	1.44%
O1	61.76%	60.81%	1.54%
O2	77.93%	76.94%	1.27%
O3	75.48%	74.42%	1.40%
O4	55.84%	54.91%	1.67%
O5	59.24%	58.72%	0.88%
O6	82.45%	81.69%	0.92%
O7	56.07%	55.88%	0.34%
O8	54.48%	53.76%	1.32%
O9	52.61%	51.78%	1.58%
O10	53.05%	52.89%	0.30%
B1	85.29%	84.92%	0.43%
B2	84.36%	83.7%	0.78%
B3	83.61%	82.72%	1.06%
B4	83.1%	82.54%	0.67%
B5	87.73%	86.73%	1.14%
B6	85.23%	84.89%	0.40%
B7	84.48%	83.62%	1.02%
B8	87.23%	86.73%	0.57%
B9	74.86%	73.9%	1.28%
B10	94.57%	93.78%	0.84%



Şekil 4. KDS Giriş Ekranı



Şekil 5. KDS'de Bir Örnek



Şekil 6. KDS'deki Çözücü Seçenekleri

IV.SONUÇ

Ele alınan problem, bir işgücü zamanlama sorunudur. Yenilikçi bir yaklaşım kullanarak fazla mesaiyi azaltmak ve kaliteyi artırmak için matematiksel bir modele ihtiyaç vardır. Bir hattaki işlemler bir ürünün montajına bağlı olduğundan, karar değişkenini üstelleştirerek hedef fonksiyonumuzu doğrusallaştırmak gerekir. Matematiksel model formülasyonunu tamamladıktan sonra sonuçlar, işgücü verimliliğini en üst düzeye çıkaran IBM ILOG CPLEX tarafından elde edilir. 7 hat, 239 operasyon ve 455 işçi için işçi niteliklerinin orijinal verilerine sahibiz. Matematiksel modeli ve kodu gerçek verilere başarıyla entegre ettik ve modelimizi doğruladık. Ayrıca, anında çözüm sağlamak amacıyla Excel VBA ve Macar algoritmasında Python'da NumPy, openpyxl, time ve xlswriter olan kütüphaneleri ve modülleri kullanarak açgözlü algoritma iyileştirme yöntemi uyguladık ve sonuç olarak dört farklı çözümlü karar destek sistemini geliştirdik. Sonuç olarak, 26 işçi ve 15 istasyondan oluşan bir hattın gerçek verileri kullanılarak kalite performans oranı %16 artırılmış ve hesaplama süresi %42 azaltılmıştır.

REFERANS

- [1] Alsheddy, A., & Tsang, E. P. (2011). Empowerment scheduling for a field workforce. *Journal of Scheduling*, 14(6), 639–654. <https://doi.org/10.1007/s10951-011-0232-2> (4)
- [2] Firat, M., & Hurkens, C. A. (2011). An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 15(3), 363–380. <https://doi.org/10.1007/s10951-011-0245-x>
- [3] Kuhn, H. W. (2005). The Hungarian method for the assignment problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 52(1), 7-21.
- [4] Limbong, T., Simarmata, J., Fauzi, A., Siagian, P., Tarigan, P., Katolik, U., & Medan, D. (2018, July). Optimization of Employee Assignment in Content Management System Making With Hungarian Method. In *Proceedings of the Joint Workshop KO2PI and the 1st International Conference on Advance & Scientific Innovation* (pp. 84-91).
- [5] Miralles, C., García-Sabater, J. P., Andrés, C., & Cardos, M. (2007). Advantages of assembly lines in sheltered work centres for disabled. A case study. *International Journal of Production Economics*, 110(1-2), 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.023>
- [6] Pan, Q. K., Wang, L., & Zhao, B. H. (2008). An improved iterated greedy algorithm for the no-wait flow shop scheduling problem with makespan criterion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(7), 778-786.
- [7] Ruiz, R., & Stützle, T. (2007). A simple and effective iterated greedy algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. *European journal of operational research*, 177(3), 2033-2049.
- [8] Ulusam Seçkiner, S., Gökçen, H., & Kurt, M. (2007). An integer programming model for hierarchical workforce scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 694–699. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.030>
- [9] Valls, V., Pérez, Á., & Quintanilla, S. (2009). Skilled workforce scheduling in service centres. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 791–804. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.008>
- [10] Vilà, M., & Pereira, J. (2014). A branch-and-bound algorithm for assembly line worker assignment and Balancing Problems. *Computers & Operations Research*, 44, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.10.016>



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Valf Üretim Sektöründe Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

**Eda Badak, Ege Cömert, Ezgi Sena Yılmaz, Gamze Esmâ Bektaş, Hasan Şenol,
Kaan Özcüreci**

Akademik Danışmanlar
Dr. Önder Bulut
Araştırma Görevlisi Melis Tan Taçoğlu

Izmir, 2022

I. GİRİŞ

VALF Sanayii A.Ş. E.C.A. markası ile ilk üretime 1957 yılında E.C.A Pres Döküm Sanayii içinde başladı. 1960'lı yılların sonu itibarıyla E.C.A. valfleri tüm Türkiye'ye yayılmış ve marka, sektörün lideri olmuştur. ELGİNKAN Topluluğu, ortaya çıkan hızlı talep artışına hızlı cevap verebilmek için 1970 yılında VALF Sanayii AŞ'yi kurmuştur. Şirket, ısıtma sistemi valfleri, yangın valfleri, soğutucu sistem valfleri, sıhhi tesisat valfleri, doğalgaz valfleri, fırın-ocak-gaz valfleri, tüp valfleri, emniyet valfleri, su basınç düşürücüler, yerden ısıtma sistemleri olmak üzere on iki farklı ana ürün çeşidi üretmektedir. Ağ dağıtımı ve bağlantı parçaları da dahil olmak üzere birçok çeşit ürün bulunmaktadır. Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde 4.380 m²'lik arsa üzerinde 1970'te inşa edilen fabrikada ilk üretim, yirmi sekiz kişilik kadroyla yapılmıştı. Bugün ise VALF Sanayii A.Ş. bünyesinde 545 kişi çalışıyor ve 25.100 m²'lik tesiste yaklaşık beş bin çeşit su ve gaz armatürlerinin imalatı yapıyor.

Şirketin mevcut durumda bilimsel temelli bir üretim çizelgeleme sistemine sahip olmaması, termin sürelerine göre gecikmelerin yaşanmasına, farklı işlemleri yapan makinelerde bekleme sürelerinin ve ara stok seviyesinin istenilenden yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu üretim çizelgeleme problemini diğerlerinden farklı kılan belirli özellikler gözlemlenmiştir. Bunlar; farklı rotalara sahip olan işler, bölünebilir işler, bazı operasyonlarda paralel makineler olması ve sıraya bağlı ayar sürelerinin olmasıdır. Şirketin ocak-fırın-gaz valflerinin üretim sistemi baz alınarak bir matematiksel model yazılmıştır. Bu matematiksel model, deneme verilerinden oluşturulan problemler için Python programı ile çözülmüştür. Problemin yapısı, hesaplama karmaşıklık düzeyinden dolayı NP-zor olarak belirlenmiştir. Bu nedenle problemin çözümü için kural tabanlı ve meta sezgisel yöntemler üzerinde literatür araştırmaları yapılmış ve problemin çözümü için Genetik Algoritma kullanılmıştır. En Erken Teslim Zamanlı İşler (EDD) ve En Geç Teslim Zamanlı İşler (TDD) kuralları kullanılarak Genetik Algoritma yöntemi uygulanmıştır. Bu meta sezgisel algoritma kullanılarak, firmanın kullanabileceği kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur ve şirket verileri ile KDS kullanılarak doğrulaması yapılmıştır. Ayrıca KDS esnek bir yapıda tasarlandığı için yalnızca valf sektöründe değil, farklı sektörlerde uygulanabilir yapıdadır.

II. ROBLEM TANIMI

Şirket tarafından kullanılan mevcut üretim takip sistemi, bilimsel tabanlı bir yaklaşım kullanılmamaktadır. İş emirlerinin atanmasındaki planlama sürecinde herhangi bir optimizasyon yöntemi kullanılmamaktadır, sadece deneyime dayalı olarak yapılmaktadır ve kullanıcının tamamlaması yarım gün sürmektedir. Çok fazla efor ve zaman harcadığı için firmanın kullandığı çizelgeleme planlama yöntemi firmanın ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Üretim iki ayrı tesiste gerçekleşmektedir; dolayısıyla bu tesisler arasındaki taşıma süresi ile işlem süresinin uzunluğu artmaktadır. Pres atölyesinin operasyonları şirketin şube tesisinde yapılırken, transfer atölyesinin operasyonları merkezi tesiste gerçekleşmektedir. Ayrıca, dış kaynaklı operasyonlar için şirket dışında çeşitli ürünler işlenmektedir. Buna bağlı olarak yarı mamul stokları şişmekte, makinelerin bekleme süreleri artmakta ve nihayetinde müşteri talepleri zamanında karşılanamamaktadır. Bu projede incelenen üretim hatlarının birçok özel durumu bir arada barındırmasından dolayı, klasik çözüm yöntemlerine farklı bakış açıları getirerek problem çözülmeye çalışılmıştır. Bu amaçla üretim atölyelerinin detayları gözlemlenerek sorunlar saptanmış ve atölye üretim sisteminin genel dinamiği belirlenmiştir. Bu faktörler ele alındığında Parçalı Esnek Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı ise geliştirdiğimiz kullanıcı dostu bir KDS ile erken ve geç bitirme sürelerine bağlı maliyetleri en alt seviyeye indirmektir. Böylece, ara stok miktarını ve makinelerin bekleme sürelerini minimize etmeyi, kayıpları istenilen koşulların altında en aza indirmeyi ve dogmatikliği ortadan kaldırmak hedeflenmektedir. Dolaylı olarak malzeme planlaması, işgücü planlaması ve kapasite planlaması gibi durumlar da çözüme kavuşturulmuş olacaktır. Son olarak kurulacak olan sistemin esnekliği sayesinde sektör bazlı bir problem çözümü değil, diğer sektörlerde de uygulanabilecek bir çözüm yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Firmadaki Parçalı Esnek Atölye Tipi Üretim Çizelgeleme Problemi uygulamasındaki pilot çalışma için gaz vanaları ürün grubu ve bu grubun üretim hatlarından Pres Atölyesi ve Transfer Atölyesi'nin seçilmesi firma ile yapılan toplantılarda kararlaştırılmıştır. Firmanın gaz vanaları ürün grubunda yer alan ve toplam

kırk altı çeşit olan fırın musluk gövdeleri, emniyetli ve emniyetsiz vanalar olmak üzere iki ürün grubuna ayrılmaktadır. Bu ürün gruplarının her ikisi de pres atölyesinde çubuk kesme, dövme, çapak kesme ve kumlama operasyonlarının tamamı ile işlenir. Bazı ürün çeşitleri için bazı operasyonlarda alternatif olarak kullanılacak paralel özdeş olmayan makineler bulunmaktadır. Pres atölyesinde işlemler tamamlandıktan sonra parçalar bir sonraki aşama için transfer atölyesinden geçmektedir. Burada özdeş olmayan altı adet paralel çalışma tezgahının bulunduğu transfer tezgahlarında işlem görürler. Bu işlemde sonra emniyetli ürün grupları dış operasyon için ana firmaya aktarılır. Transfer işlemi günde bir kez gerçekleştirilir ve parçalar firmaya döndükten sonra bir kısmı operatörler tarafından çapakları alınır ve daha sonra üç paralel özdeş olmayan Gozio makinesinde işlenir. Emniyetsiz ürün çeşitlerinin bir kısmı Gozio makinelerinde işlenirken, çoğunluğu montaj hattına geçmeden önce yalnızca transfer tezgahlarında işlenir.

Bu projenin amacı, tüm işlerin erken ve geç olmasıyla ilişkili toplam ağırlıklı maliyetleri en aza indirmektir. Vaat edilen teslim süresinden önce tamamlanan işler stok tutma maliyetlerine sebep olurken, geciken işler müşteri memnuniyetsizliği, itibar kaybı ve zaman kaybindan kaynaklanan işçilik maliyetleri gibi maliyetlere sebep olur. Bu maliyetler, matematiksel model altında ceza katsayıları ile temsil edilir, böylece kullanıcı bu katsayıları ilgi alanlarına göre değişiklik yaparak firma için en uygun çözüme planını oluşturabilmesi çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Valf İmalat Şirketi'nin parçalı esnek bir atölye ortamında sıraya bağlı kurulum süreleriyle gerçek hayattaki bir çözüme problemi çözmek için, öncelikle bir matematiksel model geliştirilmiştir. Karmaşık tam sayılı doğrusal programlama modeli IBM ILOG CPLEX 22.1.0 sürümü kullanılarak çözülmüştür. Problem doğası bakımından NP-Zor olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle sezgisel bir algoritma olan Genetik Algoritma çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır ve Python programı aracılığıyla çözülmüştür.

Bu çalışmada, bir üretim sistemi için detaylı bir çözüme modeli geliştirilmiştir. Firmadaki istasyonların bazılarında paralel makineler bulunmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarının sonucunda literatürde problem Parçalı Enek Atölye Tipi Problemi olarak tanımlanmaktadır.

Büyük veri setleri ile modelimizin çalışma süresinin en uygun değerini elde etmek çok uzun sürdüğünden, çözüm metodolojileri ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması yapılarak yeni bir model oluşturulmuştur. Modelde, şirketin kendine özgü üretim sistemine uygun olarak farklı varsayımlar, kısıtlar ve amaç fonksiyonu sunulmuştur. Şirketin beyanı neticesinde, modelin amaç fonksiyonu toplam erken bitirme ve geç bitirme maliyetlerinin ve sistemimizin özelliği olarak sıraya bağlı kurulum sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Çözüm yöntemi olarak, yinelemeli yerel arama (ILS) ile Genetik Algoritma (GA) uygulanmıştır. Bu meta sezgisel algoritma kökenini Darwin'in doğal seçim teorisinden almaktadır. Genetik Algoritma, çok daha makul çalışma süresinde çözümler elde etmeyi mümkün kılarken, yinelemeli yerel arama, en uygun çözüme yakın sonuçları verir.

Doğal seleksiyon, çevreye en uygun ve adapte olan bireyin hayatta kalma olasılığının en yüksek olduğu ve ayrıca en uygun olanın hayatta kalması ilkesini takip etmektedir, bu nedenle algoritmamızda hangisinin optimal değere sahip olduğunu belirlemek için bireylere uygunluk değerleri verilmiştir. Algoritma, seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi biyolojik operatörlere dayanmaktadır. Algoritmanın ilk adımı, başlangıç popülasyonunu olası çözümlerle doldurmaktır.

Başlangıç Popülasyon'u bir dizi kurala göre oluşturulmaktadır. Bunlardan biri Yerelleştirme Yaklaşımıdır ve hem operasyon sürelerine hem de her makineye atanan işlerin operasyon sürelerinin toplamına dayanmaktadır. Bu yaklaşımın işlemi, her operasyon için en kısa işlem süresine sahip makineyi bularak, o operasyonun işlem süresini, o makinedeki diğer işlemlerin her birine operasyon sürelerini ekleyerek yapılmaktadır. Bir makineye atanan operasyonların sırasını belirlemek için atama kuralları tanımlanmıştır. İlk kural, operasyon matrisinde global minimum aranmaktadır. Bu kural ile işlem süresi en kısa olan operasyon önce başlamaktadır. Daha sonra makineye bağlı olarak, o makinenin diğer mevcut operasyonlarına işlem süresi eklenerek güncellenmektedir. İkinci kuralda ise rastgele seçim yapılmaktadır. Popülasyonun %10'u Kural 1 ile, geri kalan % 90' ı ise Kural 2 ile oluşturulmuştur.

Genetik Algoritma genlerden oluşmaktadır ve kromozomlar (bireyler) genlerden oluşur. İki kromozom dizisi bir araya gelerek modelde tek bir çözümü temsil etmektedir. Bu kromozom dizileri, işlem dizisi ve makine dizisidir. Çözümlerin amaç değerine bağlı olarak popülasyondaki kromozomların uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Daha sonra, seçim operatörü kullanılarak popülasyonda bulunan birey çiftleri, çaprazlama ve mutasyon operatörleri için ebeveyn olarak seçilmektedir. Sıra ve uygunluk tabanlı Rulet Tekerleği olmak üzere iki çeşit seçim yöntemi kullanılmaktadır. Daha sonra seçilen kromozomlar, yavrular oluşturmak için sırasıyla çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmaktadır. Son olarak popülasyona yeni nesiller eklenir ve popülasyondan bireylerin uygunluk değerlerine göre yeni nesil oluşturulmaktadır. Bu algoritma, sonlandırma kriterleri karşılanana kadar devam etmektedir.

Kromozom dizisi gösterimi iki şekilde yapılmaktadır. Operasyon Dizisi, iş numaralarını içerir. Dizide bir iş numarası yeniden her görüldüğünde, iş bir sonraki operasyonuna geçmektedir. Bu nedenle dizi, operasyon sayıları kadar iş numaralarını içermektedir. Makine Dizisi, makine numaralarını içermektedir. Her işin, operasyonlarının atanmış makineleri için kromozom üzerinde ayrılmış konumları vardır. Genler, o genin işlenebilen alternatif makinelere bağlı olarak makine numaralarını almaktadır. Her iki dizinin uzunluğu, tüm işlerin toplam operasyon sayısıdır.

Matematiksel modelimizin amaç fonksiyonuna bağlı olarak kromozomların uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri, fitlik derecesi (FitVal) olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra, kromozomların fitlik derecesi kullanılarak seçime devam edilir. İlk seçim yöntemi, Fitlik Derecesi Temelli Rulet Tekerleğidir. Daha önce de belirtildiği üzere fitlik derecesine bağlı olarak kromozomların seçilme olasılıkları vardır. Kromozom seçim olasılığı $p = FitVal_i / \sum_{i=1}^j FitVal_i$ ile hesaplanır ve k indeksi popülasyonun büyüklüğü tanımlar. Diğer seçim yöntemi ise Merit Tabanlı Rulet Tekerleği seçimidir. Bu yöntemde kromozomların fitlik derecesine bağlı olarak kromozomlara sıralar atanmaktadır. En yüksek fitlik derecesine sahip kromozom en yüksek değere sahiptir ve orantılı olarak bu sıralanan kromozomların olasılıkları vardır. Bu nedenle, en yüksek değerdeki kromozomun diğerlerine göre seçilme olasılığı daha fazladır.

Popülasyondan kromozomlar seçildikten sonra, çaprazlama için ebeveyn olan tüm kromozom çiftlerine sabit çaprazlama oranı atanmaktadır. Bir çift için rastgele oluşturulan 0 ile 1 arasında bir sayı atanmaktadır. Çaprazlama oranından düşürse, o çift çaprazlama operatörü tarafından kullanılmaktadır. Çaprazlama için operasyon dizisi ve makine dizisi için kullanılan 2 farklı yöntem vardır. İşletim sistemi dizisi için Öncelik Operasyon Geçişi (POX) kullanılmaktadır. Bu geçişte, ebeveyn 1 ve 2 olan iki farklı sistem dizisi iki iş grubuna sahiptir. Bu dizilerdeki işler, iş kümeleri arasında rastgele bölünmektedir. İş seti 1'e atanan işler ebeveyn 1'den seçilir ve yavru 1'deki kesin pozisyona taşınmaktadır. Bir sonraki pozisyonlar ebeveyn 2'den genler kullanılarak kalan işlerle doldurulur.

Kesin işlem yavrular için yapılır, ancak bu sefer ebeveyn 2 kullanılarak birinci işin pozisyonu değiştirilir ve ebeveyn 1'i kullanılarak boş genler doldurulur. Makine dizisi için Çapraz Nokta Çaprazlama yöntemi kullanılmaktadır. Alt diziden iki ebeveyn seçilmektedir. Daha sonra alt diziden, genlerin pozisyonlarını değiştirmeden yavru 1'e taşınmaktadır. Daha sonra birinci nesildeki boş genler birinci ebeveyn'den gelen genlerle doldurulmaktadır. Aynı şey zıt ebeveynlerle ikinci nesil için de yapılmaktadır. Bu çaprazlama yöntemi, operasyon alternatif makineleri farklılık gösterdiğinden önemlidir, bu nedenle farklı konumlardaki genlere atanabilecek yalnızca belirli sayıda kullanılabilir makine numarası vardır.

Çaprazlama operatöründe olduğu gibi tüm çiftlere sabit bir mutasyon oranı atanır. 0'dan 1'e kadar olan rastgele sayıya bağlı olarak, bu çiftler mutasyona uğrar. Bu kısımda rastgele sayının mutasyon oranından düşük olması gerekmektedir. Yine mutasyon yöntemleri için Operasyon Dizisi ve Makine Dizisi olarak iki adet bulunmaktadır. Evirme Mutasyonu, Operasyon Dizisi için kullanılır. Dize üzerinde iki adet rastgele konum seçilerek ebeveyn 1'den bir alt dizi seçilir sonrasında alt dizi ters çevrilir ve orijinal konumuna yerleştirilir. Alternatif Makine Mutasyonu, Makine Dizisi için kullanılır. Bu mutasyonda dizideki rastgele genler seçilir. Seçilen genlere bağlı olarak genler, o işin operasyon geni için kullanılabilir alternatif bir makine ile değiştirilir.

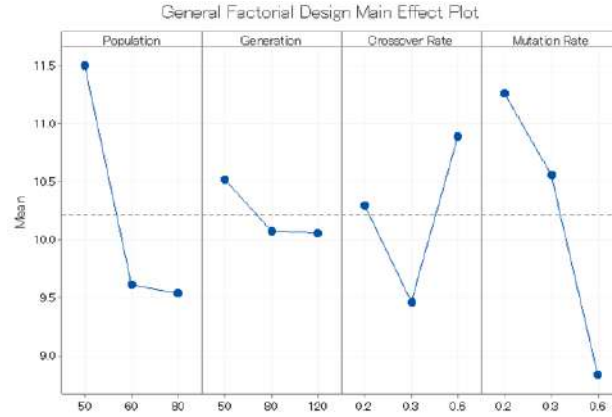
Önceki bölümlerden elde edilen yavrular (çaprazlama ve mutasyon operatörleri) popülasyona eklenir. Fitlik Derecesi Temelli Rulet Tekerleği seçim yöntemi kullanılarak, önceki popülasyondan yavruları içeren yeni bir nesil oluşturulur. Yeni neslin büyüklüğü ilk popülasyonla aynıdır.

Algoritmanın bazı parametreleri Deney Tasarımı kullanılarak belirlenmektedir. Deneyimiz için Genel Faktöriyel Tasarım'ı seçilmiştir. Azzouz, A., Ennigrou, M. ve Said, L. B. (2020) tarafından yapılan çalışmalara dayanarak, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, nesil sayısı ve popülasyon büyüklüğü olmak üzere dört faktörümüz ve bu faktörlerin üç seviyesi Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Deney Tasarımı, Faktörleri ve Seviyeleri

	C. Rate	M. Rate	Pop. Size	Gen. No.
Level 1 (High)	0.6	0.6	80	120
Level 2 (Medium)	0.3	0.3	60	80
Level 3 (Low)	0.2	0.2	50	50

Bu deneyin beş kez çalıştırılmasından sonra MINITAB'dan elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Deney Tasarımı Sonuçları

Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve nesil sayısının p-değerleri sırasıyla 0.011, 0.142 ve 0.004'tür. Bu değerler $\alpha = 0.15$ olduğunda elde edilmiştir ve nesil sayısının p-değeri, alfadan büyük olduğu için sonuca önemsiz bir etkisi olmaktadır. Ana etki grafiğinden, artan popülasyon büyüklüğü ve mutasyon oranının bize daha iyi sonuçlar verdiği için çaprazlama oranını 0.3'te sabitlemenin daha uygun sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

İndisler, Kümeler ve Parametreler

- j İş indeksi
- k Operasyon indeksi
- m Makine indeksi
- J İşlerin seti, $j \in J$
- J' Sahte/kukla (dummy) iş 0 dahil olan iş seti, $j' \in J'$
- K_j j işi için sıralı işlem seti, $k', k \in K_j$
- L_{jk} j işi için k operasyonunda makine seti, $m \in L_{jk}$
- p_{jkm} k operasyonun m makinesinde j işinin işlem süresi
- $S_{jj'm}$ j' işinden j işine kadar m makinesinde sıraya bağlı makine kurulum süresi
- d_j j işini tamamlamak için bitiş zamanı
- e_{jkm} $\begin{cases} 1; & j \text{ işinin } k \text{ operasyonu } m \text{ makinesinde işlenebiliyorsa} \\ 0; & \text{işlenemiyorsa} \end{cases}$
- A_m m makinesinin müsait olmama süresi
- w_j j işi için bir birim erken bitirme ağırlığı

w'_j j işi için bir birim geç bitirme ağırlığı
 M Çok büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

x_{jkm} j işinin k operasyonun m makinesinde işlenip işlenemediğini belirten ikili karar değişkeni
 $y_{jkj'k'm}$ j işinin k operasyonu j' işinin k' operasyonunun hemen öncesinden gelip gelmediğini belirten ikili karar değişkeni.
 t_{jk} j işinin k 'nıncı operasyonunda işlemi başlatma süresi
 c_{jk} j işinin k 'nıncı operasyonunda işlemi bitirme süresi
 C_j j işinin tamamlanma süresi
 E_j j işinin erken tamamlanma süresi, ($E_j = \text{Max}\{0, d_j - C_j\}$)
 T_j j işinin geç tamamlanma süresi, ($T_j = \text{Max}\{0, C_j - d_j\}$)

Matematiksel Model

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} w_j E_j + w'_j T_j \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{m \in L_{jk}} x_{jkm} = 1 \quad \forall (j \in J, k \in K_j) \quad (2)$$

$$\sum_{j' \in J'} \sum_{k' \in K_{j'}} y_{j'k'jkm} = x_{jkm} \quad \forall (j \in J, k \in K_j, m \in L_{jk}) \quad (3)$$

$$c_{jk} \geq t_{jk} + x_{jkm} p_{jkm} \quad \forall (j \in J, k \in K_j, m \in L_{jk}, \forall j' \in J', k' \in K_{j'}) \quad (4)$$

$$t_{j'k'} \geq t_{jk} + p_{jkm} + S_{jj'm} - M(1 - y_{jkj'k'm}) \quad \forall (j \in J, j' \in J', k, k' \in K_j, m \in L_{jk}) \quad (5)$$

$$t_{j(k+1)} \geq c_{jk} + S_{jj'km} - M(1 - y_{j'k'j(k+1)m}) \quad \forall (j \in J, j' \in J', k, k' \in K_j, m \in L_{jk}) \quad (6)$$

$$t_{1k'} \geq A_m + t_{0k} - M(1 - y_{0k1k'm}) \quad \forall (j \in J, k \in K_j, m \in L_{jk}) \quad (7)$$

$$e_{jkm} \geq x_{jkm} \quad \forall (j \in J, k \in K_j, m \in L_{jk}) \quad (8)$$

$$E_j - T_j = d_j - C_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$y_{jkjkm} = 0 \quad \forall (k \in K_j, m \in L_{jk}) \quad (10)$$

$$E_j \geq 0, T_j \geq 0, C_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (11)$$

Matematiksel modelde kullanılan kısıtların açıklamaları sırası ile belirtilmiştir. Kısıt (1) Amaç fonksiyonu, tüm işlerin toplam ağırlıklı erken ve geç maliyetlerini en aza indirir. Kısıt (2), ilgili operasyonlarında yalnızca bir makine tarafından işlenecek tüm işleri atar. Kısıt (3), m makinesinde her zaman bir önceki işin olmasını sağlar. Kısıt (4), her işin belirli bir işlem sırasını izlemesini zorunlu kılar. Kısıt (5) ve (6), sıraya bağlı kurulum sürelerinin dikkate alınmasını sağlar. Kısıt (7), hala bir makineyi devam ettiren bir süreç olması durumunda bir kullanılabilirlik kısıtlaması. Kısıt (8), her işlemin alternatif makinelerden sadece birinde gerçekleştirilebilmesini sağlar. Kısıt (9), bir işin erken bitirilmesi durumunda, bitiş tarihinden tamamlanma süresinin çıkarılmasıyla hesaplanmasını, aksi takdirde (geç tamamlama) bitiş tarihinin tamamlanma zamanından çıkarılmasıyla gecikmesinin hesaplanmasını sağlar. Kısıt (10) aynı işlerin birbirinden önce gelmesini engeller. Kısıt (11), tüm değişkenlerin negatif olmamasını sağlar. Kısıt (12) ikili karar değişkenlerini tanımlar.

IV. SONUÇ

Modelimizin doğrulanması için veri seti üretilmiştir. Veriler, beş ve on iş emri içeren iki durum için oluşturulmuştur. İlk durumda, maksimum işlem sayısı beştir ve her işlem için maksimum makine sayısı üçtür. Öncelikle rastgele 0'lar ve 1'ler üretilerek, her bir işin hangi işlemlerde geçilebileceği belirlenmiştir.

Örneğin, 1 numaralı iş, beş operasyonun tamamında işlem görmelidir, oysaki 3 numaralı iş yalnızca 1, 2 ve 5 numaralı operasyonlarda işlem görmelidir. Bundan sonra, bir ile üç arasında rastgele sayı üreticisi kullanılarak her operasyon için kaç makine kullanılabileceğini belirlenmiştir. Bu verilerden, tüm işler için işlem süreleri oluşturulur. 1 numaralı iş için üç yüz elli ile yedi yüz elli arasında rastgele oluşturulmuş işlem süreleri vardır. Bu değerlerin zaman birimi saniye bazındadır ve her makine için kurulum sürelerini içermektedir.

Tablo 2’de belirtilen veriler sırası ile teslim tarihlerini, her bir erken iş için birim ceza ağırlığını (w) ve her bir geç iş için birim ceza ağırlığını (w') göstermektedir. Çalışmada, teslim tarihleri için üç farklı veri seti oluşturulmuştur ve Tablo IV örnek bir veri setini göstermektedir.

Tablo 2. Deneysel Veri Seti Örneği

Deneysel 1			Deneysel 2		
Teslim Tarihleri	w	w'	Teslim Tarihleri	w	w'
1921	0.5	0.5	3742	0.5	0.5
1666	0.5	0.5	4727	0.5	0.5
1999	0.5	0.5	3701	0.5	0.5
1755	0.5	0.5	3821	0.5	0.5
1855	0.5	0.5	4231	0.5	0.5

Problem NP-Zor olduğu için veri boyutunun artması durumunda çözüm süresinin hızla arttığını gözlemleyebilmek adına farklı boyutlarda veri setleri üretilmiştir. İlk veri seti, 5 iş, 5 operasyon ve 3 makineden oluşmakta iken ikincisi veri seti ise 10 iş, 8 işlem ve 5 makineden oluşmaktadır.

Bu raporda Valf Sanayii A.Ş. hakkında genel bir bilgi verilmektedir. Mikro sistem analizi yapıldıktan sonra firmanın çalışma ortamı, sistemi ve yöntemleri daha iyi anlaşılmış ve bu projenin üstlendiği problemler tespit edilmiştir. Fabrikadaki üretim sistemi farklı miktarlarda birbiriyle özdeş olmayan paralel makineler içeren operasyonlara sahip Parçalı Esnek Atölye Tipi üretim sistemidir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak bir matematiksel model tasarlanmıştır. Amaç fonksiyonu olarak toplam erken ve gecikme maliyetlerinin minimizasyonu ile bir matematiksel model tasarlanmıştır. Modeli tasarladıktan sonra, OPL-CPLEX sonuçlarını karşılaştırmak için bazı veri örnekleri ürettik. Daha sonra, uygulanabilir çözümleri daha hızlı elde etmek için bir genetik algoritma kullanılarak sezgisel bir model oluşturulmuştur. Sezgisel model ile matematiksel model, oluşturulan aynı veri setlerinde çözülmüştür ve çözüm süreleri ile sonuçlar karşılanmıştır. Algoritma sonuçları ile matematiksel modelin sonuçları yakın çıkmıştır, bu durumda sezgisel modelimizin doğrulaması yapılmıştır. Doğrulama sürecinden sonra, firmanın çizelgelemesini oluşturmak için sezgisel model firma tarafından verilen veriler ile çalıştırılmıştır. Sezgisel modelimizin sonuçlarını, firmanın sonuçları ile karşılaştırdığımızda %77,2 iyileşme oranı elde edilmiştir. Bu çalışma, erken veya geç biten işlerden kaynaklanan maliyetleri önemli ölçüde azaltabilir, öte yandan bu proje, mevcut tüm makineler gibi çizelgeleme sırasında mevcut tüm kaynakları kullanarak maliyeti de artırabilir. Bu durumu firmanın değerlendirmesi amacı ile firmanın senaryolar oluşturarak istedikleri gibi çizelgeler oluşturabilecekleri bir Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma “2209-B - Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Şeda, M. (2007). Mathematical models of flow shop and job shop scheduling problems. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences*, 4(4), 241-246.
- [2] Özgüven, C., Özbakır, L., & Yavuz, Y. (2010). Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling*, 34(6), 1539-1548.
- [3] Munoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J., & Alvaréz, M. (2019). Improving effectiveness of parallel machine scheduling with earliness and tardiness costs: A case study. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10(3), 375-392.
- [4] Vallada, E., & Ruiz, R. (2011). A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 211(3), 612-622.



YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIM ÖZETİ

Proje Bazlı Üretim Sistemi için Esnek Tesis Yerleşim Tasarımı

Elif Ceyhan, Elif Şener, Yaren Özkan, Gül Zozan Çetin, Hilal Toptanış, Sevim Özge Aykut

Akademik Danışmanlar
Dr. Erdiñç Öner
Selen Burçak Akkaya

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

Tesis yerleşim problemi, alanları belirli olan bölümleri tesis alanı içerisinde optimum şekilde yerleştirme ile ilgilenmektedir. Bu yerleşim sayesinde işletme maliyetlerinde büyük oranda düşüş, malzeme aktarımının kolaylığı ve kat edilen mesafenin azaltılması sağlanabilmektedir. Son yıllarda stratejik planlamada uygun alan kullanımı değişiklikleri işletmeler için kritik hale gelmiştir. Bir fabrikanın yerleşim tasarımı, en değerli varlığı olarak kabul edilir. Özellikle proje bazlı bir fabrikanın dinamik bir tesis yerleşimine sahip olması ve gelen her projeyi uygun yerlere konumlandırması kritik öneme sahiptir. Birçok işletme, uzun süredir devam eden üretim hatlarını yeni bir ürün hattı lehine bırakıyor. Buna ayak uydurabilmek için hızlı bir değişim döngüsüne ve esnek yerleşim planına sahip olmak hayati önem taşır. Üretim alanının yerleşim düzeninin uygun şekilde düzenlenmesi, şirketin arzu edilen üretim hedefi ve başarısı için kritik öneme sahiptir. Tesisin yerleşimi şu derecelere göre belirlenir: üretilmesi gereken ürün, üretim sahasındaki depolardan gelen parçalar ve zemin maliyetlerindeki değişiklikler. Ayrıca bölümlerin yerleşimleri belirlenirken iş sağlığı ve güvenliği, malzeme ve ürün akışı, ergonomi, alan kullanımı, esneklik ve tesis tasarımı konularındaki darboğazlar dikkate alınmaktadır. Bu projede hücresele üretim yapılan Athapack firması için esnek tesis yerleşim planı yapılması hedeflenmiştir.

Athapack dikey ve yatay tip paketleme makineleri, otomatik kolileme makineleri, otomatik kutulama çözümleri, robotik çözümler, otomatik paketleme makineleri, çok kefeli ve lineer teraziler, volumetrik ve vidalı dolun üniteleri, gıda işleme makineleri, konveyörler ve özel projeler üretmektedir. Athapack fabrika sahasında üretimde olan 8 departman ve 20 hücreye sahiptir. Bu departmanlar talaşlı imalat, montaj ve üretim alanı, yarı mamul depolama, hammadde depolama, işleme yarı mamul depolama, sarf malzeme depolama, elektronik bileşen depolama ve şasi depolama bölümleridir. Tesiste hücresele üretim yapılmaktadır ve bu yüzden de alan yeteri kadar düzenli kullanılmamaktadır. Yapılan literatür taraması sonucu, gerçekleştirilen problemin matematiksel modellenmesinde, genellikle tesis yerleşim sorunlarının çözümünde optimal sonucu bulmak için kullanılan Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama yöntemi ve bu yöntemin uygulanabileceği OPL CPLEX STUDIO optimizasyon programı kullanılmıştır. Gelen proje talepleri doğrultusunda en düşük taşıma maliyetlerini hesaplayarak ilgili alanları tahsis etmek temel amaçtır. Matematiksel modelde, kısıtlar, varsayımlar ve nesnel işlevler formüle edilmiştir. Bir fabrika yerleşiminde ekipman ve makineleri planlarken, en önemli şey her zaman iç nakliye en aza indirmek ve düşük maliyetli bir hesaplama ile maliyeti mümkün olduğunca yeterli alandan düşük tutmaktır. Ayrıca oluşturulabilecek düzenin esnekliğini de karşılamalıdır. Gelecekte, sağlık ve güvenlik risklerini azaltması gerekmektedir. Tesis, bölmelerin tesislere yerleştirilmesi sorununun en iyi şekilde yerine getirilmesini amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, modeli geliştirmek üzere sezgisel yöntemler ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Excel VBA kullanılarak projeler ve hücrelerin verileri oluşturulmuştur. Excel VBA üzerindeki bu verileri Python programı üzerinden ilerleyerek, uygun hücreye uygun atamanın yapılması sağlanmıştır. Python üzerinden yazılan model doğrultusunda Branch and Bound Algoritması kullanılarak problem sezgisel yöntemler ile geliştirilmiştir. Buradaki amacımız gelen projelerin en yakın mesafedeki ve boş olan alana alınıp üretimin bekleme olmadan uygun taşıma sistemi karar verilerek devam etmesidir. Projenin sonunda, uygun fabrika tesis yerleşim planını ve uygun taşıma sistemi ile uygun hücre atamasını gerçekleştiren bir sistemi kullanıcılara sunan, kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) sunulmuştur.

II. PROBLEM TANIMI

Problem, minimum malzeme taşıma maliyeti ile sonuçlanan proje lokasyonlarının belirlenmesidir. Projenin amacı, esnek ve dinamik bir tesis düzeni geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda tesis detaylı olarak gözlemlenerek bazı tespitler yapılmıştır, bu tespitler doğrultusunda kısıtlar belirlenerek üretim alanı genişletilmiştir. Projede departmanlar arası departmanlar arası tur sayısı ve departmanlar arası hareket maliyetinin verildiğini varsayılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde malzeme taşıma ünitesi maliyetleri ve departmanlar arası tur sayısı dikkate alınarak gelen projelerin üretim alanı içerisindeki uygun hücrelere atanması problemi ele alınmıştır. Fabrikaya gelen her projenin hangi hücreye düşük maliyetli

malzeme taşıma ünitesi ile atanacağını belirlenmesi amacıyla proje yürütülmüştür. Sonuç olarak, ana problem iki alt probleme ayrılarak eş zamanlı olarak incelenmiştir.

Birinci alt problem projelerin uygun hücrelere atanması ile ilgilidir. Firmanın verdiği bilgilere göre projelerde öncelik yoktur. Bu dikkate alınarak projeler varış zamanına göre hücrelere atanacaktır. İkinci alt problem ise bir önceki alt problemde tanımlanan hücrelere atanması maliyeti düşük olan malzeme taşıma biriminin seçimidir. Firmada vinç ve forklift olmak üzere iki farklı malzeme taşıma birimi mevcuttur ve bu taşıma birimleri arasından seçim yapılmaktadır. Böylelikle seçilen hücrelere uygun taşıma tiplerine de karar verilecektir. Son olarak, karar destek sistemi dinamik bir tesis düzeni gösterir.

Bu projedeki girdiler: Gelen projeler, departmanlar arası mesafeler, malzeme taşıma birimleri (vinç, forklift), proje süreleri, malzeme taşıma birim maliyeti ve malzeme akışıdır. Bu girdiler için çıktılar: Hücre ataması, departmanların konumu, minimum taşıma maliyeti, uygun malzeme taşıyıcısının seçiminin yapılmasıdır. Üretim planı yıllık olarak planlanmaktadır. Yılda yaklaşık 25 makina üretilmektedir. Bunun nedeni, ürün çeşitliliğinin fazla olması ve hücresel üretim yapılmasıdır. Tespit edilen semptom, birbirleriyle ilişkili departmanların optimum düzende olmamasıdır. Yeni tesis planı yakınlık ilişkilerine göre düzenlenmiştir. Bununla birlikte üretim alanındaki üretilen makineler arasındaki uzak mesafe, yüksek malzeme taşıma süresine neden olur. Üretilen makine üretim alanındaki en yakın ve ilk boş hücreye atanır ve uygun taşıma tipi ile üretime başlar.

Sonuç olarak, problem çözüldüğünde firma daha düşük maliyetle taşıma yapmış olacaktır. Uygun hücrelere atanan projeler ile daha düzenli bir dinamik tesis yerleşim planı elde edilmiş olacaktır. Zamandan ve maliyetten tasarruf gibi faydaları bulunmaktadır.

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Öncelikle problem için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Gerekli literatür taraması yapıldıktan sonra optimal sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak model belirli sayıda departmandan sonra çözüm sağlamadığından farklı çözümler araştırılmıştır. Son olarak Dal ve Sınır Algoritması yardımıyla problem için en uygun sonuç bulunmuştur.

Yerleşim problemini çözmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Şirketin alan kullanımını en üst düzeye çıkarılması gerekmektedir. Literatür taraması sonucunda bu çalışma, her bir departmanın merkez koordinatlarını ve makineler arasındaki mesafeleri karar değişkenleri olarak modelleyen ve malzeme akış mesafesini en aza indirmeyi amaçlayan bir tesis yerleşim problemine odaklanmaktadır. Bu model için bir Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli (MILP) oluşturulmuştur. Çalışmanın ilk bölümünde fabrikanın tesis yerleşim planında yer alan departmanların optimal konumda olması hedeflenmiştir. Departmanların malzeme akışı altındaki konumları bir oyuncak veri seti kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise üretim ve montaj alanında üretilen paketleme makineleri 13 adet bazında gruplandırılarak doğrulanmıştır. OPL CPLEX 12.10 Optimizasyon Stüdyosu kullanılarak mevcut verilerle çalıştırılmış ve modelin doğruluğu kanıtlanmıştır.

İndeksler:

- i, j : departmanların indeksi (1,...,n)

Parametreler:

- D: departmanların toplam sayısı
- SD: sabit departmanların sayısı
- FD: değişebilen departmanların sayısı
- MF_{ij} : i ve j departmanları arasındaki malzeme akışı sayısı, $i \neq j$
- MC_{ij} : i departmanından j ye malzeme taşıma maliyeti
- HL: tesisin yatay uzunluğu
- VL: tesisin dikey uzunluğu
- LD_i^x : i departmanının x eksenindeki uzunluğu
- wD_i^y : i departmanının y eksenindeki genişliği
- Cf_i^x : sabit departmanların x eksenindeki merkez koordinatları

- Cf_i^y : sabit departmanların y eksenindeki merkez koordinatları

Karar Değişkenleri:

- C_i^x : departmanların x eksenindeki merkez koordinatları
- C_i^y : departmanların y eksenindeki merkez koordinatları
- dD_{ij}^x : i departmanından j departmanına olan x eksenindeki mesafe, $i \neq j$
- dD_{ij}^y : i departmanından j departmanına olan y eksenindeki mesafe, $i \neq j$
- rD_{ij} : i ve j departmanları arasındaki toplam doğrusal mesafe, $i \neq j$
- $Z_{ij}^l, Z_{ij}^r, Z_{ij}^b, Z_{ij}^a$: {1, i departmanı j departmanının solunda, sağında, yukarısında, aşağısında 0, değilse, $i \neq j$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimizasyon } Z = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n MC_{ij} * MF_{ij} * rD_{ij} \quad (1)$$

Öyle ki,

$$dD_{ij}^x \geq C_i^x - C_j^x \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$dD_{ij}^x \geq C_j^x - C_i^x \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$dD_{ij}^y \geq C_i^y - C_j^y \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$dD_{ij}^y \geq C_j^y - C_i^y \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$rD_{ij} \geq dD_{ij}^x + dD_{ij}^y \quad (6)$$

$$0 \leq C_i^x - C_j^x \leq HL \quad (7)$$

$$0 \leq C_i^y - C_j^y \leq VL \quad (8)$$

$$C_i^x \geq (0.5) * LD_i^x \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$C_i^y \geq (0.5) * wD_i^y \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$HL \geq C_i^x + (0.5) * LD_i^x \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$VL \geq C_i^y + (0.5) * wD_i^y \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$(C_i^x - C_j^x) \geq (0.5) * (LD_i^x + LD_j^x) - HL * (1 - Z_{ij}^r) \quad (13)$$

$$-(C_i^x - C_j^x) \geq (0.5) * (LD_i^x + LD_j^x) - HL * (1 - Z_{ij}^l) \quad (14)$$

$$(C_j^y - C_i^y) \geq (0.5) * (wD_i^y + wD_j^y) - VL * (1 - Z_{ij}^b) \quad (15)$$

$$-(C_j^y - C_i^y) \geq (0.5) * (wD_i^y + wD_j^y) - VL * (1 - Z_{ij}^a) \quad (16)$$

$$Z_{ij}^l + Z_{ij}^a + Z_{ij}^r + Z_{ij}^b \geq 1 \quad (17)$$

$$C_i^x = C_i^x \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$C_i^y = C_i^y$$

$$C_i^x \geq 0 \quad (18)$$

$$C_i^y \geq 0$$

$$dD_{ij}^x \geq 0$$

$$dD_{ij}^y \geq 0$$

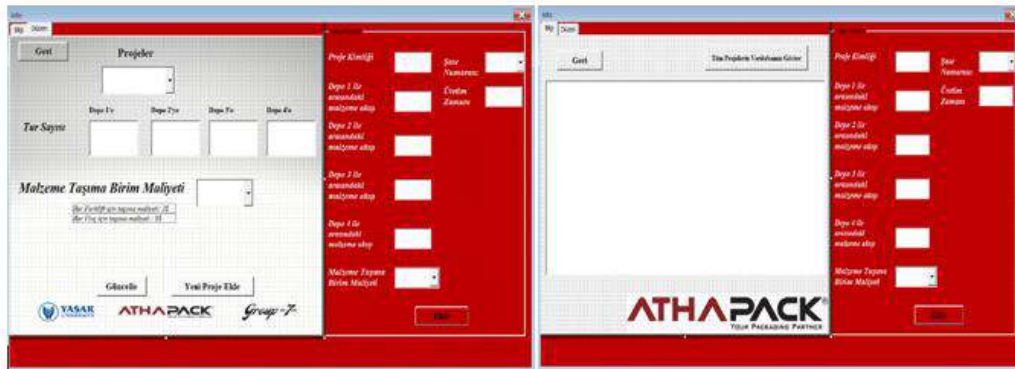
$$Z_{ij}^l, Z_{ij}^a, Z_{ij}^r, Z_{ij}^b : 0 \text{ ya da } 1$$

Amaç fonksiyonu (1), departmanlar arasındaki malzeme akışı ve taşıma maliyetinin toplam mesafesini en aza indirmektir. Kısıtlar (2), (3) ve (4), (5), x eksenini ve y eksenini üzerindeki departmanların ağırlık merkezi arasındaki doğrusal mesafeleri gösterir. Kısıt (6), her bir departman arasındaki toplam doğrusal mesafeyi verir. Kısıtlar (7) ve (8) her bölümün merkezinin tesisin yatay ve dikey uzunluğunu geçmemesini sağlar. Kısıtlar (9) ve (10) her bir bölümün tesisin alt sınırı içinde yer almasını sağlarken (11) ve (12) kısıtları her bir bölümün tesisin üst sınırı içinde yer almasını sağlar. Kısıt (13) ve (14), bölümlerin x eksenini üzerinde çakışmasını önler. Kısıt (15) ve (16), bölümlerin y eksenini üzerinde çakışmasını önler. Departmanlar diğer departmanların aşağısında, sağında ve solunda olmalıdır ve tüm departmanlar arasında iş sağlığı ve güvenliği kuralına göre 2 metre mesafe tanımlanmıştır. Kısıt (17), dört kısıtlamadan herhangi birini aktif tutmak için zorlar. Son olarak, kısıt (18) tüm parametreler ve karar değişkenleri sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olmasını sağlar.

Excel kullanarak bir liste (veri tabanı) oluşturuldu ve üretim alanındaki 20 hücreye 11 projenin yerleştirileceğini varsayıldı. Daha sonra üretimin depolara olan tur sayıları, stokların hücreye uzaklığı, projelerin başlama-bitiş zamanları ve birim malzeme taşıma maliyetleri belirlendi. Böylece departmanlar arası yolculuk sayısı, birim taşıma maliyeti ve hücrelerden stoklara olan mesafe çarpılarak bir matris oluşturuldu. Daha sonra ürünlerin şase tipleri, malzeme taşıma maliyetleri, ilgili maliyetler ve süreleri ayrı bir sayfada belirlendi, atanan projelerin ilerleme süreleri yüzde olarak hesaplandı. Bu sistem, kullanıcı dostu karar destek sisteminde dolu olan hücrenin yerine atanacak projenin zamanını belirlemektedir. Problemin optimal çözümünü bulmak için Dal ve Sınır Algoritması geliştirilmiştir. Optimum sonucu bulmaya dayanan bu algoritma, bulunandan daha iyi bir çözüm varsa aramaya devam etmektedir. Değilse, algoritma orada duracak ve çözümü bulacak şekilde kurgulanmıştır. Bu algoritma araması, en uygun alt kümeyi seçmek için adaylar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Python'da, problemimizi daha hızlı hale getirmek ve olası tüm kombinasyonları aramak için Dal ve Sınır Algoritması kullanarak çözüm yöntemimizi geliştirdik. Bu nedenle, her düğüm için en iyi çözüm hesaplanmakta ve düğümü keşfetmeden önce limiti mevcut en iyi çözümle karşılaştırılmaktadır. Projenin çözüm yaklaşımı için, her bir hücre için Python kullanılarak her projenin taşıma maliyetlerini Excel üzerinde göstermek için 3 farklı şasi tipine ait 11 projenin 20 üretim alanı hücresine ataması gerçekleştirildi. Sistemi çalıştırdığımızda kullanılacak malzeme taşıma ünitesinin maliyetini de proje bazında gösteriyor. Bu nedenle üretim alanına gelen projeye göre; şase tipi, minimum malzeme taşıma maliyeti, optimum mesafe ve sonuç atanmaktadır.

Bu bölümde Excel ve Python programından elde edilen sonuçlar ile geliştirilen sistemin doğrulaması yapılacaktır. Doğrulama kısmında da bahsettiğimiz gibi modelimiz örnek proje atama problemine göre çözdükten sonra doğrulanmıştır. Şirket politikası gereği bazı maliyet verileri elde edemediğimiz için gerçek verilerle karşılaştırılamamıştır. Ancak daha sonra her proje için minimum taşıma maliyetini dikkate alarak Python programı kullanılmış ve ilgili hücrelere doğru atamalar yapılmıştır. Görüldüğü gibi, departmanlar arası sefer sayımızın aynı anda 4 envanter alanımızın tamamından geldiğini ve her envanterin 1. envanterden 4. envantere gittiğini varsayarak gelen ürünler şase tiplerine göre sınıflandırılmıştır. Envanterde oluşturulan tüm ürünler toplanarak ilgili ürün ile birleştirilmekte ve hücreye taşınmaktadır.

Excel Visual Basic Uygulaması yardımıyla dinamik tesis yerleşim planlamasını desteklemek için bir karar destek sistemi (KDS) oluşturulmuştur. Sistem, kullanıcının istediği zaman projeleri güncellemesine izin verir. Ayrıca tüm projeler için süre ve hangi hücrelere atandıkları sistem tarafından görüntülenecektir. Yeni gelen projeler sisteme eklenebilir. Sistem önce kullanıcıdan giriş bilgilerini ister ve doğru girildiğinde kullanıcıyı yerleşimin oluşturulacağı sayfaya yönlendirir. Ardından sistem sizden şirketin planladığı yıllık üretim planı dosyasını yüklemenizi isteyecektir. Yüklenen dosya proje sayısı, şasi tipi, hücre numarası, malzeme taşıma maliyeti ve üretim süresi hakkında bilgiler içerir. Dosya yüklendikten sonra, sistem tarafından en uygun düzen bulunur ve ekranda görüntülenir. Kullanıcı isterse en uygun düzeni mevcut düzen ile karşılaştırabilir. Ayrıca sistemde iki görüntüleme seçeneği daha bulunuyor; Bunlar yardım ve bilgi ara yüzüdür. Yardım ara yüzü, karar destek sistemi için bir kılavuz içerir.



Şekil 1. Karar Destek Sistemi Ekranı

IV. SONUÇ

Projenin sonunda firmanın taşıma maliyetini minimuma indiren ve uygun hücre atamasını yapan bir sistem oluşturulmuştur. Projeden önce, yapılan hücresel üretimden kaynaklı düzensiz bir üretim alanı mevcuttur. Departmanlar arası mesafe ve üretim alanındaki projelerin atamaları göz önünde bulundurulmadan üretim yapılmaktaydı. Yapılan bu çalışma sonunda, taşıma birimini belirleyen ve üretim alanının optimal şekilde kullanılmasını sağlayan kullanışlı bir karar destek sistemi sunulmuştur. Problemin çözümü için matematiksel model tabanlı bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Gerçek verilerden yola çıkılarak oluşturulan bir tesis yerleşim probleminin çözümü yapılmış, malzeme taşıma birimi maliyeti en aza indirilerek başarılı bir yerleşim planı elde edilmiştir. Problemimizi çözerken, yapılan literatür araştırmaları sonucu sezgisel yöntemlerle büyük boyutlu problemlerin çözümüne gidilmiş ve gerekli çalışmalar yapılmıştır. Bu süreç sezgisel bir yöntemle geliştirilmiştir. Atama işlemini optimal hale getirmek için Dal ve Sınır Algoritması uygulanmıştır. Daha sonra maliyetler Excel üzerinden hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplama sonucunda seçilen hücre için en uygun malzeme taşıma ünitesine karar verildi ve yerleşim düzeni geliştirildi. Sonrasında ise Excel Visual Basic Applications arayüzü ile oluşturulmuş kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Yapılan analizler sonucu çözüm yönteminin mantıklı ve mevcut sistemden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda kullanılmak üzere, kullanıcı dostu bir KDS geliştirilmiştir ve fabrikanın kullanımına sunulmuştur. Yıllık üretim planına göre, üretim alanındaki yerleşim planı yıllık olarak dinamik bir şekilde düzenlenebilir ve çalışanlar uygun taşıma sistemini ve uygun hücreye atamaları sistem üzerinden görebilir. KDS, dinamik ve esnek bir yapıda tasarlanmıştır. Projenin devam etmesi ve geliştirilmek istenmesi durumunda, kısıtlamaların ortadan kalkması ile yeni bir tesis tasarımının yapılması mümkündür. Aynı zamanda, projelerin başlangıç ve bitiş zamanı dikkate alınarak matematiksel model çözülebilir ve hücrelerin boyutları projeye veya şaseye bağlı olarak değişebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma “2209-B - Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

REFERANSLAR

- [1] M. Altinkilinc (2004). *Simulation-based layout planning of a production plant.: a literature review doi:10.1109/WSC.2004.1371432*
- [2] U. Smutkupt, and S Wimonkasame. “Plant Layout Design with Simulation”, *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, vol. II, 2009.
- [3] A.Almeidaa and J. Cunhab. “The Implementation of An Activity-Based Costing (ABC) System in A Manufacturing Company” vol. 13, pp.932-939, 2017.
- [4] G. Aydın Keskin and C. Ozkan. “Multiple Criteria ABC Analysis with FCM Clustering” *Hindawi Publishing Corporation Journal of Industrial Engineering*, pp.7, 2013.
- [5] B.K. Kaku, G. L. Thompson and I. Baybars. “A heuristic method for the multi-story layout problem”, *European Journal of Operational Research*, vol.37, pp.384-397, Dec.
- [6] Y. Zhao and S.W. Wallace. “A Heuristic for The Single-Product Capacitated Facility Layout Problem with Random Demand”, *Euro Journal on Transportation and Logistics*, vol.4, pp.379-398, September 2015.
- [7] A. Taghavi and A. Murat. “A Heuristic Procedure for The Integrated Facility Layout Design and Flow Assignment Problem”, *Computers & Industrial Engineering*, pages.55-63, August 2011, vol.61.
- [8] G. Diehr. ” Evaluation of a Branch and Bound Algorithm for Clustering”, *SIAM Journal on Scientific Computing*, vol.6.
- [9] D. J. Hand. ” Branch and Bound in Statistical Data Analysis”, *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, vol.30, pp.1-13.
- [10] N. Thakoor and J. Gao. “Branch-and-Bound for Model Selection and Its Computational Complexity”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol.23, pp.655 – 668, September 2010.



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Mineral Yağ Üretim Sektöründe Envanter Yönetimi

Alp Çınar Şahin, Ceren Bölük, Elif Par, Erdem Ulu, Göksu Kuş, İlayda Ülkü

Akademik Danışmanlar

**Dr. Oktay Karabağ
Araştırma Görevlisi Gamze Erdem**

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

Opet Fuchs Madeni Yağ San. ve Tic. A.Ş., çeşitli madeni yağların ve oto bakım ürünlerinin üretim, satış ve satış sonrası hizmetlerini yürüten bir sanayi kuruluşudur. Opet Fuchs; Volvo, VW, Mercedes Benz, Ford gibi dünyaca ünlü otomobil üreticileri tarafından onaylanmış ürünler üretmektedir. Opet Fuchs'un alanında uzman 200'den fazla çalışanı vardır. Şirket üretim noktası olarak İzmir Aliağa'da bulunan tesisi kullanmaktadır. Bu tesiste yaklaşık 2000 farklı ürün üretmektedir.

Firmaların piyasadaki yerlerini koruyabilmeleri ve devamlılıklarını sağlayabilmeleri için yapmaları gereken en önemli şeylerden biri maliyet ve satış dengesini doğru ayarlamalarıdır. Sürekli değişen ve artan müşteri taleplerinin olduğu rekabetçi piyasa ortamında firmalar için devamlılık sağlamak doğru bir strateji kurmaya dayanmaktadır. Kurulacak olan bu stratejinin temeli ise firmalar için büyük bir maliyet kalemi olan envanter kontrol sistemine dayandırılmalıdır.

Envanter yönetimi hem hammadeleri hem de tamamlanmış ürünleri metodik olarak elde etme, depolama ve satma yöntemidir. İş açısından stok yönetimi, doğru stokun, doğru seviyelerde, doğru yerde, doğru zamanda ve doğru maliyet ve fiyata sahip olunmasını ifade eder. Herhangi bir firmada envanterin önemi küçümsenemez, bu nedenle envanter yönetimi operasyonel verimlilik ve uzun ömür için faydalıdır. Başarılı envanter yönetimi, daha az maliyet, daha iyi nakit akışı ve memnun müşteriler anlamına gelir.

Nesnel ya da öznel bir yöntem kullanmaksızın geçmişte ve günümüzde en küçük işletmeden en büyük işletmeye kadar envanter yönetim sistemi büyük bir öneme sahiptir. Envanter yönetimi ne zaman ve ne kadar hammadde sipariş edilmesi gerektiği, satış noktasında hangi düzeyde güvenlik stokunun tutulması gerektiği veya envanter yönetiminin hangi politikalar kullanılarak yapılacağı gibi soruları yanıtlanmaktadır. Aynı zamanda envanter yönetimi, tedarik zincirinin ve şirketin finansal durumunu etkileyen çok önemli bir faktördür. Her işletme, sürekli olarak optimum envanter miktarının olmasını amaçlar. Bunun sebebi fazla veya eksik envanter durumunda oluşacak sorunları en aza indirmeyi hedeflemesidir. Örneğin fazla envanter tutulması, elde tutma maliyeti gibi harcamaların artmasına yol açarken, talepten az envanter bulunması ise elde bulundurmama maliyetlerine hem de müşteri kayıplarına neden olabilir. Müşteri kayıplarının sebebi, müşterilerin ürünü istedikleri zamanda alamadıklarında başka satıcılar aramaya başlamalarıdır.

Opet FUCHS şu andaki sisteminde analitik bir stok yönetim sistemi kullanmamaktadır. Çalışanların tecrübesine ve sahadan elde edilen verilere göre tutmaları gereken stok seviyesini öznel yöntemlerle belirlerler. Öznel yöntemler envanter yönetimi için yeterli olmamaktadır ve bu nedenle Opet FUCHS tarafımızdan envanter yönetimi için karar destek sistemi içeren bir proje talep etmiştir. Bu kapsamda yaptığımız çalışma, etkin ve verimli planlama için gerekli karar destek sistemini oluşturmayı amaçlayan nesnel bir envanter yönetimi projesidir. Projenin amacı toplam maliyetleri minimum düzeyde tutacak şekilde envanter yönetim sistemi geliştirmektir. Toplam maliyetleri minimize etmek doğru bir analitik talep tahmin sistemi olmadan mümkün değildir. Bu nedenle envanter yönetimi sistemine ek olarak analitik bir talep tahmin yöntemi kullanılmıştır. Projede, iki farklı envanter yöntemi modeli kullanılmıştır. Bu modellerden yalnızca birinde ilgili talep tahmin yöntemine ihtiyaç duyulmuştur.

II. PROBLEM TANIMI

Opet FUCHS, madeni yağ pazarında geniş ürün yelpazesine sahiptir. Ürün çeşitliliğinin geniş olmasından kaynaklı yaklaşık 6000 civarı ürün bulunmaktadır ve şirket talep tahminlerini analitik bir metoda dayandırmamaktadır. Bu durum talep tahminlerinde büyük sapmalara yol açmaktadır. Talep tahminlerinde oluşan büyük miktarlardaki sapmalar çoğunlukla elde fazla envanter bulunmasına neden olmaktadır. Şirketin yaptığı talep tahminleri ve müşterinin gerçek talep değeri ile arasında fazla farklılık olması ve envanterin kontrol altında olmaması durumları çoğu zaman fazladan maliyetlere böylece de şirketin finansal kaynaklarının yok yere harcanmasına neden olmaktadır.

Bu proje, mevcut üretim planlama sistemini geliştirmeyi hedefleyen analitik bir envanter yönetim geliştirmeyi hedeflemiştir. Bu hedef doğrultusunda, bir talep tahmin yöntemi geliştirmeyi de amaçlamıştır. Projede kullanılan analitik envanter yönetim modelleri, toplam envanter maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflerken, oluşabilecek elde bulundurma ve elde bulundurmama maliyetlerini de dengelemeyi ve azaltmayı amaçlamıştır. Toplam maliyet bu projede kullanılan ana performans

ölçütüdür. Fakat toplam maliyeti en aza indirirken müşterinin memnuniyetini sağlamak da çok önemlidir. Müşteri memnuniyeti ise müşteri talepleri tamamen karşılanarak sağlanabilir. Bu yüzden doğru talep tahmini yapmak projenin doğru ilerleyebilmesi için çok önemlidir. Bu proje iki aşamadan oluşacaktır. İlk olarak talep tahminleri geçmiş yıllardaki satış verilerini kullanarak objektif bir yöntem ile oluşturulacaktır. İkinci aşamasında ise, oluşturulan bu talep tahmin değerleri kullanılarak bir envanter yönetim sistemi geliştirilecektir. Bu projenin çıktıları önerdiğimiz envanter yönetim sistemleri ve talep tahmin yöntemleri olacaktır.

III. LİTERATÜR TARAMASI

Envanter, bir şirketin stokunda bulunan tüm bitmiş ürünlere ve bu ürünlerin nihai durumuna ulaşmak için kullanılacak hammadde ve yarı mamullere verilen isimdir (Waters, 2003). Firmanın üretim planlamasına göre ihtiyaç duyulan hammadde ve yarı mamul miktarları belirlenerek sipariş verilir veya üretilir sonrasında stokta tutulur ve ardından satışa hazır ürünler stoklara alınır. Bu sürecin tamamına envanter yönetimi denir. Stoku verimli tutmak ve stok kontrolünü etkili bir şekilde yapmak tüm üreticiler için önemlidir.

Nahmias (2007) doğru stok kontrolü için talebin iyi tahmin edilmesini gerektiğini belirtmiştir. Literatürde bunun için farklı yöntemler vardır. Tahmin yöntemleri nicel ve nitel tahmin yöntemleri olarak iki farklı grup altında toplanabilir. Nitel yöntemler çoğunlukla subjektiftir. Bu yöntemlere örnek olarak, yöneticilerin görüşleri, ilgili departman çalışanlarının kararları, anketler ve Delphi tekniği verilebilir. Nicel yöntemler ise daha çok matematiksel formülasyonlara ve hesaplamalara dayanır. Bu nedenle objektif olarak adlandırılabilirler. Bu metotlara örnek olarak, ARIMA modelleri, üstel yumuşatma yöntemleri, regresyon analizi vb. verilebilir.

Üstel yumuşatma yöntemleri hem kullanım kolaylığı hem de sonuçlarının rahatlıkla uygulanabilmesi nedeniyle, pratikte ve birçok akademik çalışmada sıklıkla kullanılmaktadır. Üstel yumuşatma yöntemleri, Basit üstel yumuşatma, Holt üstel yumuşatma ve Winter üstel yumuşatma yöntemleri olarak üçe ayrılır. Üstel yumuşatma ilk olarak 1950'lerin sonlarında Holt tarafından ortaya konulmuştur (Holt 1957). Holt'un ortaya koyduğu bu yöntem mevsimsel dalgalanma içeren serileri takip edememektedir. Winters (1960) bu sorunu ele alarak Holt'un ortaya koyduğu metodu geliştirmeyi başarmıştır. Winters (1960) geliştirdiği bu yeni yöntemle birlikte tek bir takvimde görünen mevsimlik etkilerini ele alabilmiştir. Karabağ ve Fadiloğlu (2021) ise birden fazla takvim sebebiyle ortaya çıkabilecek mevsimsellik etkilerini ele alabilen bir üstel yumuşatma metodu geliştirmiştir. Daha sonrasında, bu metodu Gregoryen ve Hicri takvim sebebiyle ortaya çıkan mevsimsel etkileri içeren bir veri setinde denemişlerdir.

Envanter yönetimini etkili bir şekilde gerçekleştirmek sadece iyi bir talep tahminine değil aynı zamanda müşterilerin değişen taleplerine hemen yanıt verebilecek seviyede stok tutmaya ve bu stokun yaratacağı elde tutma maliyeti ve teslim sürelerine de bağlıdır (Waters 2003, Axsäter 2010). Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da talep türüdür. Stok kontrol modellerini talep türü açısından incelediğimizde, deterministik ve rassal talep olmak üzere iki alt kategoriye ayrıldığını görüyoruz. Talep rassal olduğunda kullanılacak envanter kontrol modellerinden biri (R, s, S) yöntemidir. Bu stok yönetim modelindeki amaç, periyot başına düşen toplam beklenen maliyeti minimum yapmaktır. Bu stok yönetim modeli, (s, S) ve (R, S) sistemlerinin bir birleşimidir ve (R, s, S) yöntemi üç kontrol parametresine sahiptir (Axsäter 2010, Silver vd. 2016). Bunlar R, s ve S'dir. Bu modelde, stok pozisyonu her R birim zamanında kontrol edilir, ancak ikmal yapılıp yapılmayacağına önceden belirlenmiş bir sipariş noktasına bakılarak karar verilir. Stok pozisyonu sipariş noktası olan s biriminin altında ise en yüksek stok pozisyonu olan S birimine kadar sipariş verilir. Stok pozisyonu s biriminin üzerindeyse sipariş verilmez.

IV. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

İlk aşamada, geçmiş satış verileri kullanılarak talep tahmin değerleri hesaplandı. Bunun için literatürde bulunan ve sıklıkla kullanılan objektif yöntemlerden biri olan üstel yumuşatma metotlarından yararlanıldı. Bu noktada, üstel yumuşatma metotlarından ikisi kullanıldı ve sonuçları kıyaslandı. En iyi talep tahmin değerlerini veren üstel yumuşatma yönteminin tahminleri, envanter yönetim politikasında kullanılmak üzere seçildi. Her ürün için en iyi tahmin değerlerini verecek yöntem farklı olabileceğinden,

bu işlem her bir ürün için tek tek gerçekleştirildi. Yapılan analizlerde genel olarak en iyi metodun Holt-Winter üstel yumuşatma yöntemi olduğu görülmüştür. Bu yönetme ilişkin formülasyon aşağıda verilmiştir.

Parametreler:

D_t : Geçmiş Satış Değerleri	S_t : t Dönemindeki Düzey Tahmini/T Dönemindeki Serinin Mevcut Düzeyi
t : Sezonun Dönemi	
N : Satış Dönemi Değerleri	G_t : t Dönemindeki Trend Tahmini/Serinin t Dönemindeki Mevcut Trendi
α : Düzeltme Katsayısı	
F_t : t Dönemindeki Tahmin Değeri	β : Trend için Düzeltme Katsayısı
	c_t : Mevsimsellik Bileşeninin Tahmini

$$S_t = \alpha \frac{D_t}{c_{t-N}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + G_{t-1}) \quad (1)$$

$$G_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)G_{t-1} \quad (2)$$

$$c_t = \gamma \frac{D_t}{S_t} + (1 - \gamma)c_{t-N} \quad (3)$$

$$F_t = (S_t + G_t)c_{t-N} \quad (4)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5)$$

$$0 \leq \beta \leq 1 \quad (6)$$

$$0 \leq \gamma \leq 1 \quad (7)$$

Daha sonra, her bir ürün için bir yılı kapsayacak şekilde aylık olarak hesaplanan tahmin değerleri kullanılarak problemin yapısına uygun analitik bir envanter yönetim modeli geliştirildi. Bu model kullanılarak, her ürün için uygun zaman aralığında optimal sonuçlar elde edildi. Geliştirdiğimiz bu model, stok tutma maliyetini düşürmeye ve elde bulundurmama durumunu önlemeye çalışırken aslında toplam envanter maliyetini en küçükmeye çalışır. Karar değişkeni olarak ise her periyotta sipariş edilmesi gereken ürün sayısını kullanmaktadır. Bu modelde, sipariş edilen ürün sayısı bulunurken projenin ilk aşamasında bulunan talep tahmini değerleri kullanılıyor. Daha sonrasında, bunu elde kalan envanter miktarını hesaplamada kullanıyoruz. Elde bulundurmama durumu, müşterinin siparişini alamaması durumunda şirketin itibarını etkileyerek ilgili müşteriyi kaybetmesine yol açmaktadır. Bu durumdan kaçınmak, yani negatif stok sahibi olmamak için, geliştirdiğimiz modelde elde bulundurma maliyeti çok yüksek bir değere ayarlanmıştır. Matematiksel modelde kullanılan diğer parametreler, değişkenler, modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları, yapılan bazı varsayımlar ile aşağıda verilmiştir.

Kısıtlar ve varsayımlar:

- Sistem çok ürünlü bir yapıya sahiptir,
- Tedarikçi tarafından sunulan fiyatın sabit kaldığı sınırlı bir planlama dönemi için uygulanır,
- Depoda bulunan yedek parçaların raf ömrü dikkate alınmaz,
- Sipariş adedinin birim ürün fiyatına etkisi yoktur,
- Sipariş tutarının tamamı tek seferde teslim edilir,
- Maliyet parametreleri ürünlere özeldir,
- Her ürünün temin süresi bir periyodu aşmayacak şekildedir.

Kümeler ve indeksler:

N : Ürün seti

i : ürün dizini $i=\{0,1,2.../N\}$

T : Aylar kümesi

t : zaman indeksi $i=\{0,1,2.../T\}$

Parametreler:

D_{it} =i ürününün t zamanındaki tahmin değerleri
 c_i =i ürününün değişken maliyeti
 h_i =i ürününün stok tutma maliyeti
 b_i =i ürününün elde bulundurmama maliyeti
 M = büyük sayı

Karar değişkenleri:

A_{it} = t ayında tedarikçiden sipariş ettiğimiz i ürününün sayısı
 I_{it} = i ürününün t ayının stok miktarı
 $B_{it} = \begin{cases} 1, & \text{sipariş t zamanında müşteri talebini karşılayamazsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$
 IE_{it} = i ürününün t ayının negatif stok miktarı
 IA_{it} = i ürününün t ayının pozitif stok miktarı

$$\text{Min} \quad \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (c_i * A_{it}) + (b_i * B_{it} * (-1 * IE_{it})) + (h_i * (1 - B_{it}) * IA_{it}) \quad (1)$$

subject to;

$$A_{it} \leq M \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (2)$$

$$I_{it} = I_{it-1} + A_{it} - D_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3)$$

$$I_{it} = IA_{it} + IE_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (4)$$

$$IE_{it} \leq 0 \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (5)$$

$$D_{it}, A_{it}, IA_{it} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (6)$$

$$B_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (7)$$

Değişken sipariş maliyetleri, elde tutma maliyeti veya elde bulundurmama maliyetini içeren amaç fonksiyonu (1) numaralı denklemde ifade edilmiştir. Kısıt (2), i ürünü için t ayında tedarikçiden sipariş ettiğimiz ürün sayısını bulmamızı sağlar. Kısıt (3), envanter bilanço denklemidir. i ürününden t ayında sahip olduğumuz envanter, önceki aydan kalan envanter ve bu ay tedarikçiden gelecek olan sipariş miktarı ile i ürünü için t ayı için öngördüğümüz talep tahmin değerleri çıkarılarak hesaplanmaktadır. Kısıt (4), stok seviyesinin pozitif ve negatif değerleri arasındaki ilişkiyi açıklar. Kısıt (5), negatif stok miktarının her zaman sıfırdan küçük olması gerektiğini gösterir. Kısıt (6), tedarikçiden sipariş ettiğimiz miktarın, tahmin değerlerinin ve pozitif stok miktarının sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olması gerektiğini sağlar. Kısıt (7), müşteri talebini karşılayıp karşılamadığımızı gösteren değişkenin ikili bir değişken olduğunu ifade etmektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında literatürde sıklıkla kullanılan envanter modellerinden biri olan (R, s, S) politikası uygulanmıştır. Literatürde bulunan bir envanter politikasının seçilip kullanılma nedeni matematiksel modelimizin yakalayamadığı bir durum olmasına karşılık hazırlanmış bir önlem niteliğindedir. Geliştirdiğimiz metoda kıyasla, herhangi bir ürün için eğer bu politika ile daha düşük maliyetli bir sonuç elde edebilirsek bu politikanın verdiği sonuçları kullanacağız. Bu politika için kullanılan denklem ve parametreler aşağıda bulunmaktadır.

Kümeler ve İndeksler:

N : Ürün seti

i : Ürün dizini $i=\{0,1,2...|N|\}$

T : Aylar kümesi

t : Zaman indeksi $i=\{0,1,2...|T|\}$

Parametreler:

k_i = i ürününün istenen hizmet düzeyi için güvenlik faktörü

σ_{d_i} = i ürününün talebinin standart sapması

R_i = i ürününün gözlem süresi

$L_i = i$ ürününün beklenen teslim süresi

$S_{it} = i$ ürününün t zamanındaki maksimum sipariş noktası

$s_{it} = i$ ürününün t zamanında yeniden sipariş noktası

$SS_i = i$ ürününün güvenlik stoğu

$ED_{it} = i$ ürününün t zamanındaki talep tahmin değerleri

$c_i = i$ ürününün değişken maliyeti

$h_i = i$ ürününün elde bulundurma maliyeti

$t =$ ay sayısı

$H_{it} = \begin{cases} 1, i \text{ ürününün sipariş miktarı } t \text{ zamanında karşılanırsa,} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$

$TC_i = i$ ürününün bir yıldaki toplam maliyeti

$$s_{it} = L * ED_{it} + SS_i \quad (1)$$

$$SS_i = k_i * \sigma_{d_i} * \sqrt{R_i + L_i} \quad (2)$$

$$S_{it} = (R_i + L_i) * ED_{it} + k_i * \sigma_{d_i} * \sqrt{R_i + L_i} \quad (3)$$

$$TC_i = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (c_i * ED_{it} + 500 * h_i * (1 - H_{it}) * (ED_{it} - S_{it}) + H_{it} * h_i * (S_{it} - ED_{it})) \quad (4)$$

(1), (2) ve (3) denklemlerinin değerleri bulunduktan sonra maliyet minimizasyonu yapabilmek için bir denklem oluşturduk. Bu denklemde, (4) numaralı eşitlikte verilmiştir. İlgili denklem değişken maliyet, elde bulundurma maliyeti ve elde bulundurmama maliyetlerini içermektedir. Sipariş miktarı tutarının karşılanamaması, maksimum sipariş noktasının gelen sipariş miktarından küçük olduğu anlamına gelir, H_{it} sıfıra eşittir. Gelen sipariş miktarı karşılanırsa, bu maksimum sipariş noktasının gelen sipariş miktarından büyük olduğu anlamına gelir, H_{it} bire eşit olur.

V. SONUÇ

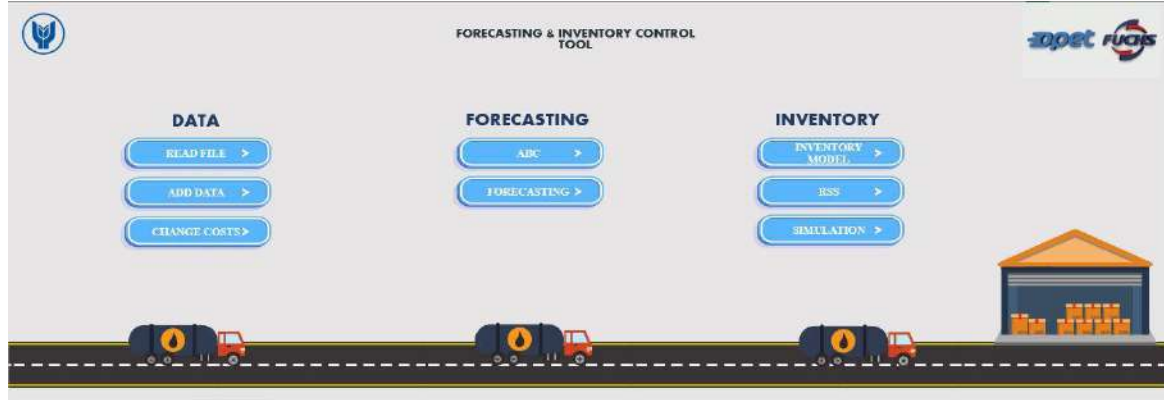
Bu projede, Opet FUCHS'un toplam envanter maliyetini olabildiğince düşürmek amaçlanmıştır. İlk olarak talep tahminindeki sapmaları azaltacak bir sistem geliştirilmiştir. Daha sonra bulunan tahmin değerlerini kullanabilecek bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu matematiksel model, IBM ILOG CPLEX ile çözülebilmektedir. Ek olarak, literatürde bulunan envanter modellerinden (R,s,S) politikası aynı ürünler için uygulanmış ve en iyi sonucu bulmak amaçlanmıştır. Şirketin, aynı çıktıları elde edebilmesi için kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu karar destek sistemi, şirketin hiçbir programa ihtiyaç duymadan ilgili sonuçları alabilmesini sağlamaktadır.

Özetlemek gerekirse, problemimiz için formüle ettiğimiz bu matematiksel model Opet FUCHS'tan alınan gerçek veri setleriyle test edilmiştir. Elde edilen sonuçların tutarlı olduğu şirketteki uzmanlar tarafından da onaylanmıştır. FUCHS'un en çok kullandığı ürünlerden birine bu modeller uygulandığında, toplam envanter maliyetini envanter modelimizin 22 milyon, (R,s,S) politikasının 27 milyon lira olarak hesapladığımızı görüyoruz. Şirketin belirlenen ürün için harcadığı toplam maliyet değeri ise 36 milyon liradır.

Daha önce de belirttiğimiz üzere, geliştirdiğimiz envanter modeli IBM ILOG CPLEX ile ilgili sonuçları bulabilmektedir. Fakat Opet FUCHS herhangi bir programa ihtiyaç duymadan karar destek sistemini çalıştırmak istediği için karar destek sistemimizi bu durumu göz önüne alarak geliştirdik. Ancak şirketin ilave bir programa ihtiyaç duymadan karar destek sistemini kullanabilmesi açısından karar destek sistemi yalnızca MS Excel kullanılarak oluşturulmuştur. KDS'nin ana ekranları ve sistemin test edilmesinin sonucunda ulaşılan örnek sonuç raporunun bir kısmı Şekil 1, 2 ve 3'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Ana Ekranı



Şekil 2. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Ana Ekranı

Month	On-Hand Inventory	Order Amount	Cost
January	76881	42.620,27	433.021,97
February	54225	492.144,27	5.000.185,74
March	32775	211.830,34	2.152.196,25
April	12318	181.705,01	1.846.122,91
May	0	0,01	0,10
June	0	253.411,94	2.574.665,34
July	0	222.570,57	2.261.316,98
August	0	177.380,23	1.802.183,14
September	0	198.890,65	2.020.729,01
October	0	149.614,38	1.520.082,11
November	0	111.644,57	1.134.308,60
December	0	178.188,83	1.810.398,52
Total Cost			22.555.210,86

Şekil 3. Karar Destek Sistemi Envanter Yönetimi Sonuç Ekranı

REFERANSLAR

- [1] Waters, D., & Waters, D. (2003). *Inventory Control and Management*. Wiley.
- [2] Nahmias, S., Castellanos, A. T., Murrieta Murrieta, J. E., Hernández, F. G., Nudiug, B., Juaárez, R. A., & Milanés, J. Y. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*. McGraw-Hill Interamericana.
- [3] Holt, C. C. (1957). *Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages*. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015>
- [4] Brown, R. G., (1959). *Statistical forecasting for inventory control*. McGraw/Hill.
- [5] Winters, P. R. (1960). Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324>
- [6] Hoff, J.C., (1983), *A Practical Guide to Box-Jenkins Forecasting*, Belmont, CA: Wadsworth Inc.
- [7] Brito, G. R. A., Villaverde, A. R., Quan, A. L., & Pérez, M. E. R. (2021). Comparison between SARIMA and Holt–Winters models for forecasting monthly streamflow in the western region of Cuba. *SN Applied Sciences*.
- [8] Olgun, S. (2009). Tedarik zinciri yönetiminde talep tahmini yöntemleri ve yapay zeka tabanlı bir talep tahmini modelinin uygulanması.
- [9] Axsäter, S. (2010). *Inventory Control*. Springer Publishing.
- [10] Silver, E. R., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2016). *Inventory and Production Management in Supply Chains, Fourth Edition*. Taylor & Francis.
- [11] Gonzalez, J. J., & Tullous, R. (2004). *Optimal lot size decisions using the Wagner-Whitin model with backorders: A spreadsheet version*.
- [12] Karabağ, O. & Fadiloğlu, M.M. (2021). Augmented Winter's method for forecasting under asynchronous seasonalities. *Journal of Management Analytics*



**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Endüstriyel Valfler için Talep Tahmini ve Envanter Kontrol Sistemi

Deniz Fırat, Ataberk İnan, Artun Miran, Efe Erol, Ercan Çetinkaya, Işıl Polat

Akademik Danışmanlar

**Dr.Efthimia Staiou
Araştırma Görevlisi Mert Paldrak**

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

Talep tahmini, bir şirket için uzun ve kısa dönemde stratejik kararlar almak açısından çok önemli bir faktördür. Birçok firmanın yatırım başarısı talep miktarının karşılanıp karşılanmaması ile ilgilidir. Talep tahmin sisteminin doğruluğu şirketteki tüm plan ve aktiviteleri belirleyen önemli bir etkidir. Tahmin yapmak, finansal planlama, üretim ve pazarlama için gerekli olup şirketin gelecekteki yol haritasını belirleyen kritik unsurlardan biridir. Envanter kontrol sistemi ise, ürünlerin üretiminin başlangıcından depolarda tutulması ve buradan satış kanallarına kadar geçen tüm sürecin takip edilmesi ile oluşan bir sistemdir. Bu sistemin temel amacı ise ürünlerin doğru zamanda yeterli miktarda doğru yerde olmasını sağlamaktır. Envanter kontrol sistemi için talep tahminlemenin doğru sistemde çalışması çok önemlidir. Bu iki sistemin birbirlerine uyumlu ve sistematik çalışması sonucunda şirketler kar oranlarını ve verimliliklerini arttıracaklardır.

Bizler de bu projede, Valf Sanayii A.Ş. için ürünlerin mevsimselliğine ve davranışsal yapılarına uygun gerçekçi sonuçlar verebilecek bir tahminleme sistemi ve buna bağlı envanter kontrol sistemi geliştirmeyi, ayrıca kullanıcı dostu bir ara yüz ile karar destek sistemi oluşturmayı ve bu sistem sonucu verimliliği arttırmayı amaçladık.

II. PROBLEM TANIMI

Yukarıda da bahsedildiği gibi talep tahmini ve envanter kontrol sistemi, şirketlerin gelecekteki aksiyonlarını etkileyen önemli kararlar vermelerinde etken faktördür. Bu projedeki esas problemimiz ise, şirketin kullandığı talep tahmini yönteminin ürünlerin sezonsallığına ve davranışsal yapılarına uygun olmaması ve bu yöntemlerle hesaplanan talep tahminlerine göre oluşturulan envanter kontrol sisteminin şirketi tatmin etmemesidir. Problemin şirket üzerinde yarattığı etkiler ise, maliyetlerin yüksek olması, stok yetersizliği durumunun yaşanması, siparişlerin gecikmesi, envanter takibinin doğru yapılmaması olarak gösterilebilir. Bu sorunlar aynı zamanda uzun vadede şirketin prestijini olumsuz etkileyebileceği gibi, müşteri ilişkilerini de negatif yönde etkileyecektir. Aynı zamanda maliyetlerin yüksek olması, finansal problemlere sebep olmaktadır. Ek olarak, şirketin kullanışlı bir sistematığının olmaması envanter kontrolündeki aksaklıkları da beraberinde getirdiği için süreçler uzamakta ve planlanan zamanlamada envanterler doğru alanda yer almamaktadır.

III. MODEL ve ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Talep tahmini sistemindeki ve envanter kontrol sistemindeki problem çözme çalışmaları, makro ve mikro sistem analizleri yaparak firmayı ve süreçleri inceleyerek başlamıştır. Bu analizlere bakarak sistemdeki geliştirmeleri iki aşamada incelenmiştir.

İlk adım olarak bir talep tahmin sistemi geliştirilmiştir. Bu aşamada, şirkette kullanılan geleneksel ağırlıklı ortalama yönteminin ürünlerin davranışlarına uygun olmadığı saptanmıştır. Literatür taraması ve araştırmalar sonucunda modern tahmin yöntemleri olan SARIMA ve Holt Winters' yöntemlerinin ürün gruplarına ve ürünlerin mevsimsel davranışlarına uygun olabileceği belirlenmiştir. Bu yöntemler için oluşturulan matematiksel modele dayalı olarak CPLEX Optimization Studio üzerinden kodlanan tahmin tekniklerinin sonuçları karşılaştırıldığında, Holt Winters modeli ile %18,15, SARIMA tekniği ile ise %4,66 oranında iyileştirme görülmüştür. Bu sonuçlara göre geliştirilen talep tahmin yöntemlerinin, firmanın kullandığı ağırlıklı ortalama tekniğine göre çok daha iyileştirilmiş sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Ayrıca Holt Winters yönteminde iyileşme oranı daha yüksek olduğu için bu teknikte hata oranı minimum seviyededir.

İkinci adım olarak, geliştirilmiş tahmin sisteminden elde edilen sonuçlar kullanılarak maliyeti minimize etmek, verimliliği artırmak ve yeni bir stok kontrol sistemi tasarlamak için yeni bir çözüm metodolojisi oluşturulmuştur. Çözüm adımları ise öncelikle talep tahmini kısmından talep değerleri alınmıştır. İkinci olarak, talebi karşılamak için toplam sabit ve değişken sipariş maliyeti ve elde tutma maliyeti dikkate alınarak MIP modelinin oluşturulması, matematiksel modelin CPLEX ile kodlanması ve çözülmesi, (CPLEX ve Benders' Decomposition ile birleştirilmiş B&B kullanarak) problemi daha makul bir hesaplama süresinde çözmek için sezgisel tekniğin oluşturulması ve son olarak, önerilen modelin doğrulanması ve onaylanmasıdır.

Envanter Kontrol Sistemi için Matematiksel Model

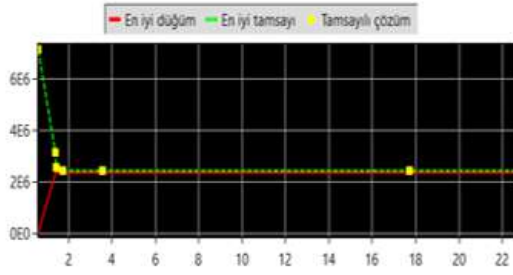
<u>Sets</u>	<u>Indices</u>	<u>Parameters</u>
I : set of item batches	i : index of item batches $i \in \{1, 2, \dots, 20\}$	B_{ik} : the minimum batch of item i ordered from supplier k .
J : set of months	j : index of time based on months $j = \{1, 2, \dots, 12\}$	F_{ik} : the fixed cost of ordering product i from supplier k .
K : set of suppliers	k : index of suppliers, $k = \{1, 2, \dots, 8\}$	C_{ik} : the cost of buying one unit of item i from supplier k .
Mathematical Model		H_i : the total holding cost of item i for keeping in inventory for one month.
$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} B_{ik} C_{ik} X_{ijk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} F_{ik} W_{ijk} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} H_i I_{ij}$		D_{ij} : the demand of item i in month j .
Constraints		SC_{ik} : the maximum amount of item i ordered from supplier k .
$I_{ij} = I_{i(j-1)} + \sum_{k \in K} B_{ik} X_{ijk} - D_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (1)$		WC : warehouse capacity in terms of capital.
$B_{ik} X_{ijk} \leq SC_{ik} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (2)$		Decision Variables
$X_{ijk} \leq M * W_{ijk} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3)$		X_{ijk} : the number of batches of item i ordered in month j from supplier k .
$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} B_{ik} C_{ik} X_{ijk} \leq WC \quad \forall j \in J \quad (4)$		$W_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{if item } i \text{ is supplied in month } j \text{ from supplier } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
$X_{ijk} \geq 0 \text{ integer}, \quad W_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad I_{ij} \geq 0 \text{ integer} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (5)$		I_{ij} : the inventory level of item i in month j

Stok kontrol sistemi için matematiksel modelde amaç fonksiyonu, toplam sipariş değişken maliyeti, toplam sipariş sabit maliyeti ve kalemlerin toplam elde tutma maliyeti nedeniyle oluşan toplam maliyeti en aza indirir. Kısıtlar (1), talep ve verilen toplam siparişleri dikkate alarak birbirini izleyen iki aylık stok seviyeleri arasındaki ilişkiyi sağlar. Kısıt (2), sipariş miktarının tedarikçinin aylık üretim kapasitesini aşmamasını sağlar. Kısıtlar (3), sabit maliyetin yalnızca bir sipariş gerçekleştiğinde ortaya çıkmasını sağlar. Kısıtlar (4), şirketin bütçesinin her ay aşılmamasını sağlar. Kısıtlar (5) bir bütün olarak tüm karar değişkenlerinin alanını verir. Problemimizde 12 aylık talep değerlerine sahip 20 ürün ve 8 tedarikçimiz bulunmaktadır. Boyutundan dolayı problem NP-hard olarak kabul edilir.

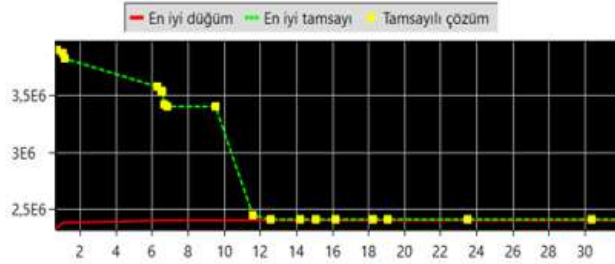
Matematiksel Problemi çözmek için IBM CPLEX Yazılımını kullanılmıştır. Ayrıca CPLEX'te iki metodoloji kullanılmıştır. Tamsayı değişkenleri içeren problemler için, Branch & Bound yaklaşımı kullanıldı. Optimizasyon algoritması, arama ağacı olarak adlandırılan ilgili doğrusal programlama alt problemlerinin bir hiyerarşisini korur. CPLEX algoritması, Benders Decomposition algoritması ile birleştirilmiştir. Bu çözüm yönteminde de Benders Decomposition'ın otomatik versiyonu kullanılmıştır.

Branch & Bound Tekniği, ayrık ve birleşimsel optimizasyon problemleri için açık bir numaralandırma tekniğidir. Algoritma, aday çözümlerin sistematik bir sayımı ile bir durum uzayı araştırması yürütür. Algoritma dalları (aday çözümler kümesi) araştırır ve tahmin edilen üst ve alt sınırları kontrol ederek en uygun çözümü bulur. Problemin boyutu arttığında, B&B gibi geleneksel çözüm metodolojileri kısa bir hesaplamada optimal çözüme ulaşamaz. Bu durumda, optimal sonuçlara ulaşmak için Benders Ayrıştırma yöntemini uyguladık. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak, bölme prosedürü problemi parçalara ayırır ve MIP gibi NP-hard problemleri çözmek için Benders Ayrıştırma tekniği uygulanabilir. Her iki model de uzun süre çalıştığında Branch ve Bound'un daha fazla yinelenmeye sahip olduğunu ve optimal çözüme önemli ölçüde daha yakın olduğu görülmektedir.

Problemde 12 aylık talep değerlerine sahip 20 ürün ve 8 tedarikçi bulunmaktadır. Boyutundan dolayı problem NP-hard olarak kabul edilir.



MIP solved by Benders Decomposition



MIP solved by Branch & Bound

Şekil 1. Benders Decomposition vs B&B Sonuçları

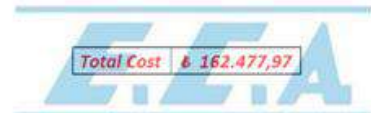
Yukarıdaki görsellerde görüldüğü gibi, Benders Ayrıştırma algoritması kullanılarak bulunan çözümler optimal çözüme 2 saniyede yakınsar, B&B algoritması kullanılarak bulunan çözümler ise 12 saniyede yakınsar.

Ayrıca sezgisel model olarak VBA formülasyonu yardımıyla Silver Meal metodu ile yapılan tahminlere dayalı olarak seçilen ürünün firma stoğuna ne kadar mal olacağını tahmin etmesine yardımcı olacağından, bu yöntemin amacı müşterinin ihtiyacını karşılayacak üretim miktarlarını belirlemektir. Operasyonları minimum maliyetle öncelikle firma ve tarafımızca ortaklaşa belirlenen ürün 20 bileşenden oluşmaktadır. Tedarikçilerin elde tutma maliyeti, sabit maliyet, sipariş maliyeti ve kapasiteleri ile her tedarikçinin ürünü sevk etmesi için kamyon maliyeti her bileşen için farklıdır. Bu nedenle, kullanıcının bir ürünün stok üzerindeki maliyet etkisini bulmak için 20 farklı kısa işlem yapması gerekir. Kullanıcı önce öngörülen talepleri belirlenen hücrelere girmeli, ardından ürünün elde tutma maliyeti, sabit maliyet, sipariş maliyeti ve tedarikçi bilgilerini girmelidir. Son olarak, özet sayfasında toplam maliyet hesaplanır ve kullanıcı, o ürünün envanteri üzerindeki etkisini kolayca tahmin edebilir.

Period	Demand	Average Cost Up To	Production Quantity	Inventory
1	80	580,00	222	202
2	70	274,02	0	132
3	89	201,79	0	88
4	23	181,60	0	70
5	53	159,91	0	28
6	24	147,53	0	0
7	90	100,00	222	132
8	21	257,48	0	143
9	27	485,41	0	84
10	35	157,88	0	49
11	24	130,40	0	25
12	25	130,92	0	0

Supplier	Cost	Capacity
Supplier 1	\$ 6,92	65
Supplier 5	\$ 6,92	75
Supplier 6	\$ 2,92	45
Supplier 7	\$ 2,92	45
Supplier 8	\$ 0,92	95
Supplier 9	\$ 6,64	80
Supplier 3	\$ 6,64	80
Supplier 4	\$ 6,64	80

Holding Cost Per unit Per Period (h)	\$0,75
Fixed Cost Per Order (K)	\$600,00
Ordering Cost Per Order	\$ 6.148,41
Total Cost	\$ 6.906,07



P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	TOTAL
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

Şekil 2. Sezgisel Yöntemin Hesaplanması

Son olarak, DSS'nin tahmin kısmı için hem Python hem de VBA kullanılmıştır. Kullanıcı, VBA ile oluşturulan kullanıcı formunu kullanarak geçmiş talep verileri, tahmin dönemi ve tahmin metodolojisi aralığını seçer. Ardından gerekli veriler kabuk komutu ve bir txt dosyası aracılığıyla python koduna gönderilir.

Python kodu, tahmini belirler ve modelin köklü ortalama kare hatasını gösterir. Daha sonra talep, ürün ağacı kullanılarak bir matrise dönüştürülür.



Şekil 3. Karar Destek Sistemi Arayüzü

Tablo 1. Karar Destek Sistemi Excel Dönüşüm Tablosu

Forecast Date	1.9.2020	1.10.2020	1.11.2020	1.12.2020	1.1.2021	1.2.2021	1.3.2021	1.4.2021	1.5.2021	1.6.2021	1.7.2021	1.8.2021	1.9.2021
Forecast Amount	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.9.2020	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.10.2020	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.11.2020	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.12.2020	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.1.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.2.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.3.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.4.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.5.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.6.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.7.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.8.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	
1.9.2021	30923.400	22870.200	30308.874	32471.270	28979.52	22993.500	27658.02	18829.73	18161.25	20568.4	28108.4	23824.1	

Talep veri sayfasına yazılır ve kullanıcı, stok kontrol maliyetini belirleyen parametreleri kontrol etmesini ister. Tüm hazırlıklardan sonra en iyileme yazılımı çalıştırılır ve kullanıcıya çözüm sunulur.

IV. SONUÇ

Bu projede Yaşar üniversitesi Endüstri mühendisliği lisans eğitim sürecimizde öğrendiğimiz bilgi birikimlerimizi, mühendis bakış açısı ve analitik düşünme yapımız ile harmanlayarak problemi, bilimsel problem çözme aşamalarına başvurarak grup çalışması halinde çözdük ve sürekli gelişmeye yönelik çalışmalarda bulunduk. Öncelikle ilk dönem elimizde bulunan verileri kullanarak talep tahmin sistemini iyileştirebilmek için ARIMA, SARIMA ve Holt Winters tekniklerini kullanıldı. Projenin devamında amaçlanan ise envanter kontrol sistemini eklemek maliyeti minimize etmek ve son olarak firma için bir karar destek sistemi tasarlamaktı. CPLEX algoritması kullanılarak kodlama yapıldıktan sonra destekleyici yöntemler olarak Branch & Bound ve Benders' Decomposition kullanıldı. Sezgisel yöntem olarak ise Silver Meal uygulandı. Bu yöntemlerle sistemdeki iyileştirmeler hesaplandı. Son olarak bu iki aşamanın entegre edildiği bir karar destek modeli tasarlandı ve firmaya sunuldu.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma “2209-B - Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

REFERANSLAR

- [1]Amarjeet Kaur, M Sasikumar, Shika Nema, Sanjay Pawar (2013) International Journal of Inventive Engineering and Science (IJIES) Exponential smoothing, double expo smoothing, SMA, Winters methods
- [2]A. M. Geoffrion.(1972) Generalized Benders decomposition.
- [3]Anderson, T.W (1984) An introduction to multivariate statistical analysis(Forecasting formulating)

- [4] Armstrong, J.S. (2001) Selecting Forecasting Methods Quantitative Methods (Judgmental Methods, naive methods)
- [5] Farhan Mohammad Khan (2020) Journal of Safety Science and Resilience ARIMA, SARIMA
- [6] G. Codato and M. Fischetti (2006) Combinatorial Benders' cuts for mixed-integer linear programming.
- [7] Hatchett, R.B., B. W. Brosen and K. B. Anderson (2009) Optimal Length of Moving Average to Forecast Futures Basis Moving Average
- [8] Koehler, Anne (2001) International Journal of Forecasting ARIMA, Seasonality
- [9] Olde Keizer MCA, Teunter RH, Veldman J. (2011) Joint condition-based maintenance and inventory optimization for systems with multiple components European Journal of Operational Research
- [10] Song DP, Dong JX, Xu J. (2014) Integrated inventory management and supplier base reduction in a supply chain with multiple uncertainties European Journal of Operational Research
- [11] Wang Y, Zhao J, Cheng Z, Yang Z. (2015) Integrated decision on spare parts ordering and equipment maintenance under condition-based maintenance strategy spare parts ordering and equipment maintenance under condition-based maintenance strategy
- [12] You M, Xiao Y, Zhang S, Zhou S, Yang P, Pan X. (2019) Modeling the capacitated multi-level lot-sizing problem under time-varying environments and a fix-and-optimize solution approach



**YAŞAR
ÜNİVERSİTESİ**

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

Konfeksiyon Üretiminde Yetkinlik Bazlı İşçi Ataması ile Montaj Hattı ve İşçi Yüğü Dengeleme

**Benay Dişbudak, Burçak Sena Koçak, Emre Demirhisar, Oğuzhan Aydın, Yiğit Efe
Bilir, Yusuf Durğay**

Akademik Danışmanlar

**Dr. Mahmut Ali Gökçe
Selen Burçak Akkaya**

İzmir, 2022

I. GİRİŞ

Hazır giyim sektörü, modadaki hızlı değişim nedeniyle en hızlı büyüyen sektörlerin başında gelmektedir. Buna bağlı olarak müşteri ihtiyaç ve beklentileri her geçen gün artmaktadır, bu nedenle hazır giyim fabrikalarının müşteri isteklerine cevap verebilmek için üretim hızını iyileştirmesi, verimliliği artırması ve kaliteyi daha iyi hale getirmesi gerekmektedir. Bu nedenle, toplam maliyet ve verimliliği etkileyen montaj hattındaki çalışmalar, hazır giyim fabrikalarında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, bir hazır giyim sektörü dikim atölyesinde yetkinlik bazlı işçi ataması ile montaj hattı ve iş yükü dengeleme eş zamanlı olarak incelenmiştir. TYH Tekstil Işıkkent fabrikasındaki problem geliştirilen yeni bir matematiksel modelle çözülmüştür. Operasyon atamaları ve eş zamanlı işçi atamaları belirli sayıda istasyon, operasyon ve işçiye göre yapılır. Standart operasyon süreleri, operasyona atanan işçi sayısına veya çalışanın yetkinliğine göre farklılık göstermez. Çalışanın her makine tipindeki yetkinlik puanı, çalışanın bir operasyona atanmasını belirleyen önemli bir faktördür. Atamalar, toplam yetkinlik puanı verilen sınırı aşacak şekilde yapılır. Bu çalışma, belirli bir çevrim süresi sınırı ile montaj hattındaki işçiler arasındaki iş yükü farklılıklarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Matematiksel model, Google OR-Tools kullanılarak Python'da kodlanmış ve gerçek hayattaki problemler için doğrulanmıştır. Önerilen matematiksel model ve çözüm yöntemi hazır giyim endüstrisinin yanı sıra birçok sektöre de uyarlanabilir, çünkü birçok sektörde hala iş gücüne bağlı çalışılmaktadır.

II. PROBLEM TANIMI

2000 yılında kurulan TYH Tekstil, 4000'in üzerinde çalışanı ve yılda 20 milyonun üzerinde parça üretim kapasitesi ile Türkiye'nin en büyük hazır giyim üreticilerinden biridir [1]. İzlenebilirlik, dikkatli değerlendirme ve geliştirme ile hazır giyim sektöründe en kaliteli ürünleri üretmeyi hedeflemektedir. TYH Tekstil, ortaklar için çok çeşitli üstün kaliteli ürünler sunmaktadır; Tommy Hilfiger, Calvin Klein, Ralph Lauren, Gant, Emporio Armani, Massimo Dutti, Superdry. Şirket yılda 16 ila 18 milyon ürün satıyor [1]. Şirketin İstanbul ve İzmir'de iki merkezi, Sivas, Ordu, Kırklareli, Edirne ve Manisa'da sekiz üretim tesisi bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Kırklareli ve Manisa'da iki lojistik merkez bulunmaktadır. Ayrıca şirketin ABD, İngiltere ve Hollanda'da bölge ofisleri bulunmaktadır. Işıkkent fabrikası, üretim kapasitesi ve ihracata elverişliliği ile şirketin en büyük fabrikalarından biridir. Bu tesiste 6 üretim hattı ve 122 işçi bulunmaktadır. Fabrikanın bu losyonda kurulmasının nedeni Işık Kent'te atölyelerin olmasıdır. Ayrıca tesis İzmir limanına ve havalimanına yakındır. Bu nedenle diğer ülkelere mal gönderme kolaylığı sağlar.

TYH Tekstil, üretim için sürekli olarak yeni modeller almaktadır. Üretim parti büyüklükleri küçüktür ve iş yoğunlukla manuel'dir. Ayrıca, işgücü dinamiktir, bu da çalışanların ve yetkinliklerinin zaman içinde değişebileceği anlamına gelir. Bu nedenle, bu montaj hattı dengeleme ve işçi atama problemi mühendisler tarafından sıklıkla çözülmelidir. İşçilerin operasyonlardaki yetkinliğine göre işçi- operasyon atamaları yapılmalıdır. Belirli bir operasyonda daha yüksek makine bilgisine sahip işçiler daha az miktarda hatalı ürün yaratır. Ayrıca, operasyon standart süreleri bilinmekte ve firmadan girdi olarak alınmaktadır. Montaj hattı dengelemesi ve iş yükü dengelemesi bu operasyon standart sürelerine göre yapılmaktadır.

Mevcut sistemde, problemin gözlemlenen bazı belirtileri şu şekilde özetlenebilir:

- İş istasyonları ve işçiler arasında eşit olmayan iş yükü dağılımları.
- İşçi-operasyon atamasında uzun hesaplama süresi.
- Daha uzun çevrim süresi.
- Daha yüksek hata oranları

III. MODEL VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Çevrim süresi kısıtları ve operasyonlar arasındaki öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak, işçiler arasındaki iş yükü farklılıklarını en aza indirmek amacıyla matematiksel model oluşturulmuştur. Daha uzun çevrim süresi şirketin çözmek istediği konulardan biri olduğundan, modele çevrim süresi kısıtı ve öncelik kısıtı eklenmiştir. Çalışanları yetkinlik puanlarına göre atamak hata oranlarını düşürür,

çünkü daha yüksek puanın çalışanın daha az hatalı ürün ürettiği anlamına geldiği varsayılır. Geliştirilen matematiksel model, Google OR-Tools kullanılarak Python'da kodlanmıştır ve problemin çözülmesi otuz dakikadan az sürmektedir.

Problem çözümünde oluşturulan matematiksel modelde aşağıda belirtilen varsayımlar göz önüne alınmıştır;

- Operasyon farklı istasyonlara bölünemez.
- Operasyonun standart süresi o operasyona atanan işçi sayısına bağlı olarak değişmez.
- Makine bilgisi skoru yüksek olan işçi daha az kusurlu ürün üretir. (Makine bilgisi skoru ile işçinin ürettiği ürünün kalitesi doğru orantılıdır).
- Operasyon süreleri deterministiktir ve önceden bilinir.
- Montaj hattında tek bir ürün modeli üretilir.
- Öncelik ilişkileri önceden bilinir.
- Montaj hattında herhangi bir arıza meydana gelmediği varsayılmıştır.
- Bir üründe her operasyon yalnızca bir kez gerçekleştirilir.
- Her işçi en çok iki operasyona atanabilir.

Tablo 1. Makine Bilgisi Skor Dönüşümü

Puan Dönüşüm Tablosu	
Makine Bilgisi Puanı	Yetkinlik Puanı
0	0
1 – 24	1
25 – 49	2
50 – 74	3
75 - 100	4

Problemi çözmeye başlamadan önce yaptığımız bir diğer varsayım; makine bilgisi puanını yetkinlik skoruna dönüştürmektir. Dönüşüm tablosu farklı makine bilgisi puanına sahip olan işçileri belli bir aralık içerisinde kategorize etmeyi sağlar. Ayrıca, eğer bir işçinin makine bilgisi puanı 0'a eşit ise bu işçi bu makine türündeki operasyonlara atanamaz.

Belirlenen problem tanımı ve yapılan literatür taraması sonucunda kapsamlı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

İndisler

i: İşçi indisi (1 ... *I*)

j, m, n: Operasyon indisi (1 ... *J*)

k: İstasyon indisi (1 ... *K*)

Kümeler

H: Bitişik öncül operasyon ikilileri kümesi ($(m, n) \in H$, eğer *m* operasyonu, *n*'nin bitişik öncülü ise

S_j: *j* operasyonuna atanabilecek işçiler kümesi

Parametreler

I: Toplam işçi sayısı

J: Toplam operasyon sayısı

K: Toplam istasyon sayısı

p_{ij} : *i* işçisinin *j* operasyonundaki yetkinlik skoru [0, 4]

α : Atama verimliliği katsayısı

L: Minimum saatlik hedef üretim adedi (adet/saat)

U: Maksimum saatlik izin verilen üretim adedi (adet/saat)

t_j : *j* operasyonunun standart süresi

h: Bir operasyona atanabilecek maksimum işçi sayısı

MaxC: İzin verilen maksimum çevrim süresi

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & i \text{ işçisi } j \text{ operasyonuna ve } k \text{ istasyonuna atandıysa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = i \text{ işçisinin } j \text{ operasyonunda ve } k \text{ istasyonunda bir saatte harcadığı sürenin oranı } [0, 1.1]$$

$$\text{MaxD} = \text{Maksimum işçi yükü } [0, 1.1]$$

$$\text{MinD} = \text{Minimum işçi yükü } [0, 1.1]$$

$$o_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ operasyonu } k \text{ istasyonuna atandıysa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$C = \text{Çevrim süresi}$$

Yukarıdaki tanımlara dayanarak problemin karışık tam sayılı doğrusal programlama formülasyonu aşağıdaki gibidir;

Matematiksel Model

$$\text{Minimize } (\text{MaxD} - \text{MinD}) \quad (1)$$

Öyle ki;

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J y_{ijk} \leq \text{MaxD} \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J y_{ijk} \geq \text{MinD} \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_j} x_{ijk} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_j} x_{ijk} \leq 2 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{ijk} \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I x_{ijk} \leq 2 \quad \forall j \in J \quad (7)$$

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

$$\sum_{k=1}^K o_{jk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J o_{jk} \geq 1 \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$x_{ijk} \leq o_{jk} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J o_{jk} * t_j \leq C \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$C \leq \text{MaxC} \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K k * o_{nk} \geq \sum_{k=1}^K k * o_{mk} \quad (m, n) \in H \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J y_{ijk} \leq 1.1 \quad \forall i \in I \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J y_{ijk} \geq 0.6 \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ijk} * p_{ij} \geq I * 4 * \alpha \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I y_{ijk} * \left(\frac{3600}{t_j} \right) \geq L \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I y_{ijk} * \left(\frac{3600}{t_j} \right) \leq U \quad \forall j \in J \quad (19)$$

$$x_{ijk} \leq y_{ijk} * M \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (20)$$

$$y_{ijk} \leq x_{ijk} * M \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (21)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (22)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (23)$$

$$o_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (24)$$

Modelin amaç fonksiyonu (1) işçiler arası iş yükü farkını minimize etmektir. Kısıt (2) ve (3) en yoğun işçinin ve en az yoğun işçinin iş yüklerinin hesaplanmasını sağlar. Kısıt (4) ve (5) her işçinin en az bir operasyon ve bir istasyona, en fazla ise iki operasyon ve iki istasyona atanmasını garanti eder. Kısıt (6) ve (7) her operasyonun en az bir işçi ve bir istasyona, en fazla ise h kadar işçi ve h kadar istasyona atanabileceğini ifade eder. Kısıt (8) her işçinin herhangi bir operasyona birden fazla istasyonda atanamayacağını belirtir. Kısıt (9) her operasyonun yalnızca bir istasyona atanmasını garanti eder. Kısıt (10) her istasyona en az bir operasyonun atanması gerektiğini belirtir. Kısıt (11) karar değişkenlerini birbirine bağlar. Kısıt (12) çevrim süresinin hesaplanmasını sağlar. Kısıt (13) çevrim süresinin, izin verilen maksimum değeri geçemeyeceğini ifade eder. Kısıt (14) operasyonların öncelik ilişkilerini ifade eder. Kısıt (15) ve (16) her işçinin en az 60%, en fazla ise 110% oranında iş yükü ile yüklenebileceğini garanti eder. Kısıt (17) toplam makine bilgisi puanının belirlenen limitin altına düşmemesini sağlar. Kısıt (18) ve (19) her operasyonun minimum ve maksimum saatlik üretim adetleri arasında yapılmasını garanti eder. Kısıt (20) ve (21) karar değişkenlerini birbirine bağlar. Kısıt (22), (23) ve (24) karar değişkenlerinin tanım kümesini belirtir.

Bu çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar 12 farklı senaryo halinde Tablo 2’de sunulmuştur;

Tablo 1. Farklı Senaryolar için Sonuçlar

Senaryo	Atama Verimliliği (%)	Maksimum İşçi Sayısı	Maksimum İş Yükü (%)	Minimum İş Yükü (%)	İş Yükü Farkı (%)	Çevrim Süresi (sn.)	Hat Verimliliği (%)	Çalışma Süresi (sn.)
1	60	3	99,08	99,08	0,00	89	85	35
2		4	99,51	99,51	0,00	89	86	8
3		5	99,61	99,61	0,00	89	86	7
4	64	3	100,39	100,39	0,00	90	85	8
5		4	99,10	99,10	0,00	90	85	10
6		5	100,41	100,41	0,00	89	86	8
7	68	3	100,11	100,11	0,00	90	85	8
8		4	100,35	100,35	0,00	89	86	8
9		5	100,05	100,05	0,00	89	86	8
10	72	3	107,59	97,00	10,59	90	85	87
11		4	107,59	97,00	10,59	89	86	84
12		5	107,59	97,00	10,59	90	85	106

Tablo 2, gerçek hayat verilerine dayanan 12 farklı senaryoyu göstermektedir. Montaj hattında 28 işçi, 30 operasyon ve 8 istasyon bulunmaktadır. Tüm senaryolar için izin verilen maksimum çevrim süresi, en dengeli istasyon sürelerini sağlayan 90 saniye olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise; çevrim süresi limiti belirlenirken problemin çözümünü mümkün kılan en düşük değer dikkate alınması ve

daha yüksek bir limit belirlendiğinde istasyon süreleri arasında bir dengesizlik olduğunun fark edilmesidir. Ayrıca, istasyon sayısı sabit tutulurken atama verimliliği katsayısı ve bir operasyona atanan maksimum işçi sayısı değiştirilmiştir. Atama verimlilik katsayısı %60, %64 ve %68 olduğunda işçiler arasında iş yükü farkının olmadığı görülmektedir. Öte yandan, %72 olması durumunda, işçiler arasında %10,59 iş yükü farkı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca atama verimliliği arttığında işçiler daha yetkin oldukları operasyonlara atanırlar. Dolayısıyla operasyonlardaki hata sayısı azalır.

Hat ve iş yükü dengelemesinin eş zamanlı ve hızlı bir şekilde yapılabilmesine olanak tanıyacak Excel Visual Basic Application (VBA) tabanlı, kullanıcı dostu bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Kullanıcı, model, işçi ve operasyon verilerindeki değişiklikleri sistemden kolaylıkla yapabilmektedir. Ayrıca, gerekli parametreler girildiğinde optimizasyon programı problemin çözümünü sağlar ve KDS sonuçları grafik haline getirip, tablolar aracılığıyla raporlar.

IV. SONUÇ

Bu projede TYH Tekstil firmasında yetkinlik bazlı işçi ataması ile montaj hattı ve iş yükü dengelemesi yapılmaktadır. Şirketin çalışılan gerçek hayat problemi için matematiksel bir model ve kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Firmadaki mevcut montaj hatları detaylı olarak incelenmiş ve projenin geliştirilmesine yönelik sorunlar tespit edilmiştir. Önceki sistem, işçiler ve iş istasyonları arasında dengesiz bir iş yükü dağılımına sahipti ve işçi atamalarının hesaplama süresi uzundu. Ayrıca, montaj hattının çevrim süresi daha uzundu ve daha yüksek hata oranları vardı. Bu problemi çözmek için önerdiğimiz matematiksel model işçiler arasındaki iş yükü farkını en aza indirmektedir. Dahası, çevrim süresinin ve operasyonlardaki hata oranlarının azaltılmasını ve de işçi atamalarının daha hızlı bir şekilde yapılmasını hedeflemektedir. Bildiğimiz kadarıyla; önerilen yöntem, literatürde hem iş yükü dengeleme hem de montaj hattı dengeleme ile yetkinlik bazlı işçi atamasını birleştiren ilk yöntemdir. Ayrıca matematiksel model ilk olarak IBM CPLEX OPL'de kodlanmıştır. Ancak daha sonra problemin Python'da Google OR-Tools kullanılarak kodlanması ve çözülmesine karar verilmiştir. Bunun nedeni, Google OR-Tools'un optimizasyon için açık kaynaklı bir yazılım paketi olması ve IBM CPLEX OPL ve GUROBI gibi lisans gerektiren optimizasyon programlarına kıyasla çok daha kolay bir şekilde şirket tesislerinde uygulanabilecek olmasıdır.

Problemin doğrulanması, firmadan alınan gerçek hayat verileri kullanılarak hazırlanmış ve parametre değerlerinin değiştirildiği on iki farklı senaryoda sunulmuştur.

Problemleri hızlı bir şekilde çözmek, sonuçları görmek, problem girdilerini kolayca eklemek ve düzenlemek için Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur. Geliştirilen KDS, kullanıcının yeni modeller eklemesine, mevcut modelleri düzenlemesine veya silmesine, çözüm aracını yürütmesine ve atama sonuçlarını, montaj hattı bilgilerini ve model bilgilerini gösteren raporları görüntülemesine olanak tanır.

Matematiksel model gelecekte birden fazla montaj hattı ve ürün modeli için aynı anda hat dengelemeye izin verecek şekilde geliştirilebilir. Bu geliştirme uygulanırsa, daha büyük veri seti kullanılacak olması nedeniyle programın çalışma süresinin daha uzun olacağı açıktır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma “2209-B - Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

REFERANSLAR

[1] TYH TEKSTİL. (2022, Mart, 16). <http://www.tyh.com.tr/> tarihinde URL'den erişim.

Değerlendirme ve Sonuçlar

2021-2022 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 çözümlenme 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 oluşturulması.
- 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, geçerliliği ("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 tercihi 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	Hazır Giyim Sektörü Dikim Hatları İçin Benzetim Tabanlı Analiz ve Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr) Berk Kaya (berk.kaya@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Işıl Aydı Can Elhan Zilan Gerilakan Burak Özdeş Zeynep Rala Zeynep Hazal Soyan Sanemnaz Yurteri
Proje İsmi	Çelik Endüstrisinde Stok Kesme Problemi
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek (arslan.ornek@yasar.edu.tr) Ege Duran (ege.duran@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Ege Efehan Damla Artan Deniz Mermerci Pelin Tezcan Egemen Sertpoyraz Aysu Karlı
Proje İsmi	Çok Aşamalı Envanter Yönetimi ve Ulaşım Planlaması
Akademik Danışmanlar	Doç. Dr. Ayhan Özgür Toy (ozgur.toy@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Simge Güçlükol Ergin (simge.guclukol@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Beste Bandioğlu Deniz Simge Oriyaşın Canan Özsümbül Mert İşbilen İsmail Egemen Akpınar Remzi Sertan Altınkaya Mücahit Taha Kaya

Proje İsmi	Elektrikli Ekipman Üretiminde İş Çizelgeleme Problemi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner (adalet.oner@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Gamze Erdem (gamze.erdem@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Aybüke Aldemir Batuhan Pancarcı Buse Eylül Oral Helin Şahin İbrahim Onur Çakır

	Zülfünaz Şahbaz
Proje İsmi	Çoklu Üretim Hatları için Yetkinlik Bazlı İnsan Kaynağı Çizelgeleme Karar Destek Sistemi
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Levent Kandiller (levant.kandiller@yasar.edu.tr) Ege Duran (ege.duran@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Ziya Arsan Bilge Bayrak Mert Turan Sarıca Selin Kader Batuhan Türkan Bilge Özen
Proje İsmi	Valf Üretim Sektöründe Çizelgeleme Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Melis Tan Taçoğlu (melis.tacoglu@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Eda Badak Ege Cömert Ezgi Sena Yılmaz Gamze Esmâ Bektaş Hasan Şenol Kaan Özcüreci

Proje İsmi	Proje Bazlı Üretim Sistemi için Esnek Tesis Yerleşim Tasarımı
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr) Selen Burçak Akkaya (selen.akkaya@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Elif Ceyhan Elif Şener Yaren Özkan Gül Zozan Çetin Hilal Toptanış Sevim Özge Aykut
Proje İsmi	Mineral Yağ Üretim Sektöründe Envanter Yönetimi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Oktay Karabağ (oktay.karabag@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Gamze Erdem (gamze.erdem@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Alp Çınar Şahin Ceren Bölük Elif Par Erdem Ulu Göksu Kuş

	İlayda Ülkü
Proje İsmi	Endüstriyel Valfler için Talep Tahmini ve Envanter Kontrol Sistemi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Efthimia Staiou (effi.staiou@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Deniz Fırat Efe Erol Ataberk İnan Artun Erdoğan Miran Ercan Çetinkaya Işıl Nur Polat

Proje İsmi	Konfeksiyon Üretiminde Yetkinlik Bazlı İşçi Ataması ile Montaj Hattı ve İşçi Yükü Dengeleme
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe (ali.gokce@yasar.edu.tr) Selen Burçak Akkaya (selen.akkaya@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Benay Dışbudak Burçak Sena Koçak Yiğit Efe Bilir Emre Demirhisar Oğuzhan Aydın Yusuf Durğay



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



BOSCH



VALF SANAYİİ A.Ş.