YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Sistem Tasarımı Proje Özetleri

2019-2020

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

SİSTEM TASARIMI
PROJE ÖZETLERİ
2019-2020

Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

Hazırlayan:

Araştırma Görevlisi Damla Yüksel

İZMİR 2020

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ

2019-2020

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner

ISBN 978-975-6339-80-0

İzmir, Ağustos 2020

Önsöz

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

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

Hem öğrencilerimize hem de proje ortağımız şirket ve kurumlara büyük değer kattığını düşündüğümüz bu süreç kapsamında, 2019-2020 akademik yılında bölgemizdeki saygın şirketlerde on üç proje hayata geçirilmiştir. Bu projelerden altı tanesi *TÜBİTAK 2209 B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı* kapsamında desteklenmeye layık görülmüştür. Böylelikle son altı yılda, TÜBİTAK desteği alan mezuniyet projesi sayısı ise 26'ya ulaşmıştır.

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

Sistem Tasarımı Proje Özetleri 2019-2020 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

Ağustos 2020

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

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

Sistem Analizi ve Tasarımı Komitesi:
Dr. Öğretim Üyesi Adalet Öner
Araştırma Görevlisi Damla Yüksel

İçindekiler

Önsöz iii
Boru Üretim Sürecinin İyileştirilmesi 1
Dyo-Çiğli'de Üretim Çizelgeleme 7
Paralel Makina Çizelgeleme Problemi 13
İnci GS Yuasa Şirketi'nde Akü Üretimi İçin Paralel İşgücü Atama Problemi 19
Çok Modelli Çoklu Hat Dengeleme Süreci Eniyileme Problemi 25
Hibrit Akış Tipi Atölyede Müşteri Siparişlerinin Çizelgelemesi 31
Bütünleşik Sevkiyat ve Paketleme Problemi Modelleme Uygulaması 37
Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi 43
Diziye Bağlı Kurulum Zamanlarına Sahip Tek Makine İş Çizelgelemesi 49
Boya Endüstrisindeki Hammaddeler İçin Envanter Yönetimi 55
Çok Taraflı ve Çok Modelli Soğutucu Montaj Hattı Dengeleme 60
IoT Tabanlı Alt Yapılar İçin Alıcıların Konum Optimizasyonu 66
Personel Servis Sistemleri Analizi 72
Değerlendirme ve Sonuçlar 78
Proje Uygulama Planı 79
Proje Ekipleri 86

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

BORU ÜRETİM SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Aysu Aslaner, Aysu Gürokur, Enes Turan, Karya Varol,

Melisa Menemenlioğlu, Ömer Faruk Çorum, Yağmur Aydoğan

Akademik Danışmanlar

Dr Öğr. Üyesi Erdinç Öner, Araş. Gör. Nazlı Karataş Aygün

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Tesis yerleşim sorunu, üretim sistemlerinin verimliliğini etkileyen önemli bir konudur. Doğru bir tesis yerleşim düzeni tasarlamak, malzeme aktarımının verimliliğini ve kat edilen mesafenin azaltılmasını sağlar. Bu projede, Bosch Termoteknik fabrikasında boru çeşitlerinin üretimine göre yeni bir tesis yerleşim planı yapılması hedeflenmiştir. Planlama kapsamında yarı mamul envanter alanlarının yerleri ve miktarları ile birlikte, boru üretiminde kullanılan makinelerin yerleri de ele alınmıştır. Tesisin üretim tipi, ayrık (discrete) ve küme (batch) üretim sistemlerinin bir birleşimidir. Tesiste çok sayıda boru çeşidi vardır, ancak düşük miktarlarda üretilmektedir. Makinelerde boru kalıplarının çeşitli tipleri vardır böylece kalıbın değiştirilmesi ile aynı makinede birçok türde boru üretilebilir. Yapılan literatür taraması sonucu, problemin modellenmesinde, genellikle tesis yerleşim sorunlarının çözümünde kullanılan, Karma Tam sayılı Modelleme (MIP) yöntemi kullanılmıştır. Matematiksel modelde, kısıtlar, varsayımlar ve nesnel işlevler formüle edilmiştir. Amaç malzeme taşıma süresini en aza indirmektir. Modelin çalışması için gerekli olan girdi, malzeme veya yarı mamul akış matrisidir. Bu matris ile herhangi bir boru çeşidinin işleminin tamamlanabilmesi için işlem gördüğü makineler ve bekletildiği yarı mamul envanter alanları tespit edilebilmektedir. OPL CPLEX STUDIO 12.10 [1] sürüm optimizasyon programı kullanılarak çözülen matematiksel modelde, akış miktarının fazla olduğu makinelerin ve yarı mamul envanter alanlarının, tesis planında birbirine yakın konumlanması sağlanmaktadır. Projenin bir diğer amacı ise, yarı mamul stok sayısını düşünerek stok alanlarının optimal olarak belirlenmesidir. Projenin sonunda, vardiya bazlı günlük üretim planı incelenerek yarı mamul envanter alanlarında bulunması gereken stok miktarını ve kasa düzenlerini sunan kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) sunulmuştur.

II. PROBLEM TANIMI

Dünyanın en büyük otomotiv parçaları tedarikçisi olan Bosch bir elektronik ve mühendislik şirketidir ve ilk olarak 1886 yılında Stuttgart'ta kurulmuştur. Günümüzde Bosch Grubunun, otomotiv teknolojileri, endüstriyel teknolojiler, dayanıklı tüketim malları ve inşaat teknolojileri sektörlerinde olmak üzere 270 ilgili şirketi vardır ve 50'den fazla ülkede faaliyet göstermektedir. 1910 yılında Bosch Grubu, Türkiye'deki temsilciliklerle çalışmaya başlamıştır. 1972 yılında Bursa'da ilk fabrika kurulmuştur. Bosch, Türkiye'de "Mobilite Çözümleri", "Enerji ve Bina Teknolojisi", "Endüstriyel Teknoloji" ve "Tüketim Maddeleri" alanlarında faaliyet gösteren beş farklı şirkete sahiptir. Bosch Termoteknik, Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almaktadır. Bosch Termoteknik, enerji tasarruflu ısıtma sistemleri ve sıcak su çözümlerinde Avrupa'nın lider tedarikçisidir. Duvar tipi ısıtma cihazları, duvar tipi ve yer tipi kazanlar, ısı pompaları ve havalandırma, klima ve ticari ürünler dahil olmak üzere altı küresel iş hattını kapsar. Dünyanın en büyük ısıtma cihazı tesisine sahip ve ısıtma alanında lider üretici olan Bosch Termoteknik, 1050'den fazla çalışanıyla birlikte, dünyadaki en büyük kombi üretim kapasitesine sahiptir. Fabrika 41 ülkeye ihracat yapmaktadır.

Bosch Termoteknik Manisa Fabrikası'nda iki fabrika vardır ve her fabrika farklı girdi ve çıktılara sahiptir. Kombinin alt malzemeleri Fabrika 2'deki üretim hattında üretilmektedir. Bu alt malzemeler forkliftler ile Fabrika 2'den Fabrika 1'e taşınır ve kombinin diğer tedarik edilen bileşenleri ile birlikte Fabrika 1'deki ön montaj ve montaj hatlarında monte edilir. Her iki fabrikada da çalışanlar, hat boyunca malzeme akışlarını sağlarken forklift, trolley gibi taşıma arabaları kullanırlar.

Bu proje Fabrika 2'de gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında sürdürülen çalışmalar, alt malzemelerden biri olan boru tipleri esas alınarak yapılmıştır. Boru üretim süreçleri bükme, kesme, uç şekillendirme, kaynak, delme ve ezme, yıkama ve göz kontroldür. Tüm işlemlerde her tür borunun işlenmesi gerekmez. Örneğin, boru 1 delme işleminden geçtiğinde, boru 2 bu işlemden geçmez.

Proje kapsamında, Fabrika 2 hatlarında tespit edilen semptomlardan ilki düzgün tanımlanmamış yarı mamul envanter alanlarının bulunmasıdır. Buna ek olarak, hatlara beslenen yarı mamul envanter alanlarının sayısı belirli değildir. Üretim planı günlük ve haftalık olarak planlanmaktadır. Gün boyunca farklı boru modelleri üretilmektedir. Bunun nedeni, ürün çeşitliliğinin fazla olmasıdır. Üretim aşamaları ve çevrim süreleri boru tipine göre değişmektedir, bu nedenle günlük olarak ihtiyaç duyulan yarı mamul envanter miktarını tahmin etmek zordur. Yarı mamul envanter alanında doğru miktarlarda çalışma olmadığından, boru üretimi sırasında stok işçi tarafından yenilenmelidir. Makineler ve yarı mamul envanter alanları arasındaki uzun mesafe, yüksek malzeme taşıma süresine neden olur. Tespit edilen bir diğer semptom, birbiriyle ilişkili makinelerin optimum düzende olmamasıdır.

Bu semptomlar doğrultusunda problemin ilk kısmında, makinelerin optimum düzeni elde edilmiştir. Makineler arasındaki mesafe fabrikanın isteği doğrultusunda düzenlenmiş ve yarı mamul stok alanları için optimum konumlar belirlenmiştir.

Problemin ikinci kısmında, makine ve yarı mamul stok alanlarının konumlarının belirlenmesi için sezgisel bir yaklaşım ele alınmıştır. Yarı mamul stok alanlarının miktarları ve gerekli kasa sayısı, vardiya bazlı günlük üretim planı göz önüne alınarak hesaplanmış ve kullanıcı dostu bir KDS ile sunulmuştur.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Problemin ilk kısmının çözümü için, boru çeşitliliğinin fazla olması sebebiyle, ABC analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda boru çeşitleri A, B ve C kategorilerine ayrılmıştır. A kategorisi öğelerinin sayısı azdır, ancak büyük miktarda kullanım gösterirler. Yapılan ABC analizine göre, A kategorisinde yer alan boru çeşitlerinin akış matrisi çıkarılmıştır. Fabrikada kullanılan mevcut düzen üzerinden bazı varsayımlarda bulunulmuş ve bunlar, akış matrisi ile birlikte matematiksel modelin çalıştırılması için kullanılmıştır.

Matematiksel model ile tesis düzen optimizasyon problemi için, MIP kullanılarak makinelerin en uygun yerleşim yerleri bulunmaktadır.

İndisler

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

Parametreler

- n: toplam makine sayısı
- n_f: sabit makine sayısı
- f_{ij}: makine i ve j arasındaki akış, $i \neq j$
- c_{ij}: makine i ve j arasındaki taşıma maliyeti
- h: tesisin yatay uzunluğu
- v: tesisin dikey uzunluğu
- $l_{i,}$: i makinesinin x eksenindeki uzunluğu
- w_i: i makinesinin y eksenindeki uzunluğu
- c_F^x: sabit i makinesinin x eksen koordinatı
- c_F^y: sabit i makinesinin x eksen koordinatı

Karar Değişkenleri

- x_i,y_i: i makinesinin ağırlık merkezinin x ve y koordinatları
- d_{ij}^x: i ve j makineleri arasındaki x koordinat uzaklığı, $i \neq j$
- d_{ij}^y: i ve j makineleri arasındaki y koordinat uzaklığı, $i \neq j$
- d_{ij}: i and j makineleri arasındaki doğrusal uzaklık $i \neq j$
- z_{ij}^L, z_{ij}^R, z_{ij}^A,
  z_{ij}^B: $\begin{cases} 1, eğer\ i\ makinesi, j\ makinesinin\ soluna(L), sağına(R), üzerine(A), altına(B) konumlanırsa \\ 0, aksi\ halde \end{cases}$, $i \neq j$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min Z} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} c_{ij} * f_{ij} * dij \quad (1)$$

Kısıtlar

$$d_{ij}^x \geq x_i - x_j, \quad \forall\, i, j \quad (2)$$
$$d_{ij}^x \geq x_j - x_i, \quad \forall\, i, j \quad (3)$$
$$d_{ij}^y \geq y_i - y_j, \quad \forall\, i, j \quad (4)$$
$$d_{ij}^y \geq y_j - y_i, \quad \forall\, i, j \quad (5)$$
$$d_{ij} \geq d_{ij}^x + d_{ij}^y \quad (6)$$
$$0 \leq x_i - x_j \leq h \quad (7)$$
$$0 \leq y_i - y_j \leq v \quad (8)$$
$$x_i \geq (0.5) * l_i, \quad \forall_i \quad i = 1,\ldots,n \quad (9)$$
$$y_i \geq (0.5) * w_i \quad ,\forall_i \quad i = 1,\ldots,n \quad (10)$$

$h \geq x_i + (0.5)^* l_i, \quad \forall_i \quad i = 1,\ldots,n$ (11)

$v \geq y_i + (0.5)^* w_i \quad \forall_i \quad i = 1,\ldots,n$ (12)

$(x_i - x_j) \geq (0.5)^* (l_i + l_j) - h^*(1 - z_{ij}^R)$ (13)

$-(x_i - x_j) \geq (0.5)^* (l_i + l_j) - h^*(1 - z_{ij}^L)$ (14)

$(y_j - y_i) \geq (0.5)^* (w_i + w_j) - v^*(1 - z_{ij}^B)$ (15)

$-(y_j - y_i) \geq (0.5)^* (w_i + w_j) - v^*(1 - z_{ij}^A)$ (16)

$z_{ij}^L + z_{ij}^R + z_{ij}^A + z_{ij}^B \geq 1$ (17)

$x_i \geq 0, \; y_i \geq 0$ (18)

$d_{ij}^x \geq 0, \; d_{ij}^y \geq 0$ (19)

$z_{ij}^L, z_{ij}^R, z_{ij}^A, z_{ij}^B = 0$ or 1 (20)

Bu modelde, amaç fonksiyonu (1) malzeme akışının toplam mesafesini en aza indirmektir. Kısıtlar (2), (3) ve (4), (5) x-ekseni ve y-ekseni üzerindeki iki makinenin merkez noktaları arasındaki doğrusal mesafeleri sağlar. Kısıt (6), makineler arasındaki toplam doğrusal mesafeyi göstermektedir. Kısıt (7) ve (8), x ekseni ve y ekseni koordinatlarının fabrika sınırları içinde kalmasını sağlar. Kısıt (9) ve (10) her bir makinenin tesisin alt sınırları içinde yer almasını gerektirirken, kısıt (11) ve (12) her bir makinenin tesisin üst sınırı içinde yer almasını gerektirir. Kısıt (13) ve (14) makinelerin x ekseninde üst üste binmesini engeller, kısıt (15) ve (16) makinelerin y ekseninde üst üste binmesini önler. Kısıt (17) dört kısıttan herhangi birini aktif kalmaya zorlar. Son olarak, kısıt (18), (19) ve (20) ikili ve negatif olmayan karar değişkenlerini tanımlar.

Model, CPLEX STUDIO 12.10[1] optimizasyon programı ile çalıştırılmıştır. Üç veri seti için simülasyon modelinin sonuçları manuel olarak kontrol edilmiş ve tüm veri setleri için, sabit makineler verilen koordinatlarına göre konumlandırılmıştır. Makineler belirlenen alan sınırları içine yerleştirilmiştir. Makinelerin üst üste binmesi gözlenmemiştir. Sonuçlar dikkate alındığında, tüm kısıtların sağlandığı ve yüksek akış sayılarına sahip makinelerin hedefte belirtildiği gibi birbirine yakın olarak atandığı görülmüştür. Tüm sonuçlar incelendiğinde, modelin doğruluğu belirlenmiştir.

Oyuncak veriler ile doğrulanan model, gerçek verilerin büyük olması nedeniyle matematiksel model ile optimal çözüme ulaşamamıştır. Tesisin yerleşim planının oluşturulmasında kullanılan akış matrisi için, 2020 yılına ait güncel veriler kullanılmıştır. Bu veriler, bir yılda üretilen boru çeşitlerini, üretim miktarlarını ve rotaları içermektedir. Bu nedenle, problemi gerçek verilerle çözmek ve alternatif bir çözüm yöntemi olarak en uygun çözümü sağlamak için sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntem, tesis yerleşim problemini ele almak için yeni bir metodoloji ve matematiksel formülasyon önermektedir. Yöntemin amacı malzeme akış mesafesini en aza indirmektir. Buna göre, amaç fonksiyonu makineler arasındaki yolculuk sayısının mesafelerle çarpılmasıyla belirlenmiştir. Bu yöntemde yinelemeli (iterative) bir çözüm yöntemi kullanılmış hem hücreler hem de makinelerle hesaplama yapılmıştır. Başka bir deyişle, geliştirilen algoritma hem hücreleri en uygun yerlere yerleştirmiş hem de makinelerin, hücrelerin içine en uygun şekilde atanmasını sağlamıştır. Bu algoritmanın temel mantığı aynı amaç fonksiyona sahip iki ayrı döngü oluşturmaktır, birincisi hücreleri yerleştirmek ve ikincisi makineleri hücrelere yerleştirmektir.

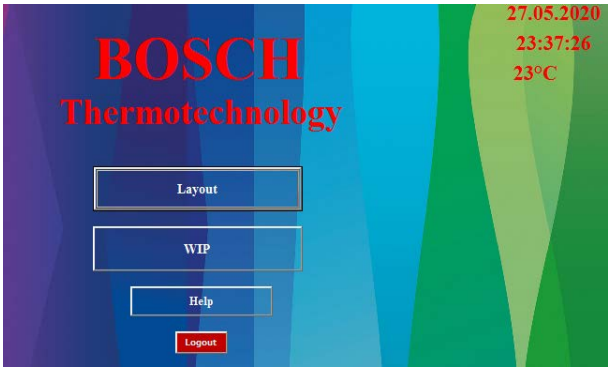
Geliştirilen metodun ana aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Matematiksel modelde kullanılan indeksler ve parametreler kodda tanımlanır.
2. Fabrika tarafından sabit tutulması istenen sabit hücreler sabit konumlarına yerleştirilir.
3. Kısıtlar kontrol edilir. X ve Y eksenindeki hücrelerin merkezleri arasındaki doğrusal uzaklıkları belirlemek için mesafe kısıtlamaları verilir. Sınır kısıtları, hücrelerin X ve Y ekseni koordinatlarının fabrika sınırları içinde kalmasını sağlar. Hücrelerin çakışmama kısıtları, hücrelerin X ve Y ekseninde birbirleriyle çakışmasını önler.
4. Birbirleri arasında daha fazla akışı olan hücreler minimum mesafelerle daha yakın yerleşir.
5. Makinenin yerleşimi için parametreler güncellenir.
6. Model tekrar çalıştırılır ve hücrelerin yerleri sabitlenir.
7. Fabrika tarafından sabit tutulması istenen sabit makineler sabit konumlarına yerleştirilir.
8. Kısıtlar kontrol edilir. X ve Y eksenindeki makinelerin merkezleri arasındaki doğrusal mesafeleri belirlemek için mesafe kısıtlamaları verilir. Sınır kısıtlamaları, makinelerin X ve Y eksen koordinatlarının fabrikada ve ayrıca hücre sınırlarında kalmasını sağlar. Hücrelerin çakışmama kısıtları, makinelerin X ve Y ekseninde birbirleriyle çakışmasını önler.
9. Makineler akışlarına göre, birbirleri arasındaki mesafe en az olacak şekilde hücrelere yerleştirilir.

Problem, yarı mamul envanter alanlarının konumlarını göz önünde bulundurarak tesis yerleşim düzeninde bir iyileştirme problemi olarak tanımlanmaktadır. Projenin çıktılarından biri de yarı mamul envanter alanlarının, fabrika içindeki en uygun konumlarının belirlenmesidir. Bu nedenle problemin ikinci kısmında, yarı mamul envanter alanlarının sayısı, bunların boyutları ve ayrıca bu alanlarda tutulması gereken yarı mamul envanter miktarlar hesaplanmıştır.

Her ay üretilecek boru türleri ve miktarları çok çeşitlilik gösterdiğinden, bir aylık süreç için vardiya esaslı günlük üretim planı, yarı mamul envanterlerinde çalışmak üzere ele alınmıştır. Örnek olarak seçilen bir ay için üretilecek tüm boru tiplerine ilişkin veriler, envanter alanlarındaki işin büyüklüğünü ve miktarını belirlemek için analiz edilmiştir. Analizler sonucunda yarı mamul envanter alanlarının sayısı belirlenmiş ve en çok boru çeşidini barındıran yarı mamul envanter alanı kendi içinde alanlara ayrılmıştır. Fabrikanın kullandığı sistem, boru tiplerinin karışmasına ve hatta kaybolmasına neden olmaktaydı. Yapılan çalışmalar ve geliştirilen KDS, bu sorunların önüne geçmeyi amaçlamıştır. Yarı mamul envanter alanlarının büyüklüğü ve miktarı, kasa boyutlarına ve her vardiyada tutulacak kasa miktarlarına göre belirlenmiştir. Üretilecek her boru tipi için hangi alanda hangi kasanın tutulması gerektiği belirlenmiştir. Aynı zamanda kasa tipi, kasalardaki boru miktarı ve saklanacak kasa sayısı hesaplanmıştır. Bu nedenle, her yarı mamul envanter alanının büyüklüğü, 1 aylık süre içerisinde bir vardiyada tutulması gereken maksimum kasa miktarına göre belirlenmiştir.

Yapılan analizler, veri yapılarına göre geliştirilip, çözüm ise OPL CPLEX 12.10[1] yazılımı ile elde edilmiştir. Mevcut modeli geliştirilen sezgisel yaklaşımda, makineler arası akış seviyelerine bağlı olarak belirlenmiş hücreler şirketten alınan bilgiye göre belirlenmiştir. Oluşturulan kod sayesinde ilk önce hücreler daha sonra makineler konumlandırılmıştır. OPL CPLEX 12.10[1] ile çalıştırılan kodun eski ve yeni amaç fonksiyonu değerleri toplam malzeme akışı üzerinden hesaplanarak karşılaştırıldığında %38,1 iyileşme olduğu ve malzeme taşıma süresinin doğru orantılı olarak azaldığı görülmüştür. Malzeme taşıma süresinin azalması, malzeme taşıma maliyetinin azalmasını ve iş gücünde büyük ölçüde verimlilik artışını sağlar. Optimum şekilde belirlenmiş makine konumları üretim sürecini hızlandırır. Hızlandırılan süreç ile üretimde boşa harcanan zaman azalır. Kayıpların azalmasıyla enerji verimi elde edilir bu da çevre dostu üretime destek sağlamaktadır. Daha sonra bu çözüm, MS Excel [6]'de Visual Basic Application (VBA) kullanılarak kullanıcı dostu bir KDS'ye aktarılmıştır. KDS hem yerleşim planlaması hem de yarı mamul envanter alanları için esnek ve dinamik olarak tasarlanmıştır. KDS ile, üretim planına göre yıllık olarak bir tesis yerleşim planı tasarlanabilecek ve çalışanlar, sistemdeki yarı mamul envanter miktarlarını görebileceklerdir.



Şekil 1.KDS Ana Sayfası

KDS, yarı mamul envanter alanlarındaki boru miktarı, boru çeşidi ve kapladıkları alanların görüntülenmesi gibi çalışmaları kontrol etmek için kullanılır. Yarı mamul envanter alanlarındaki çalışmalar günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak kontrol edilebilir. KDS kullanılarak, yarı mamul envanter alanlarında işe dahil edilecek boru miktarı ve tipi belirlenebilir. Kullanıcı, üretim planına göre değişmesi gereken boru tiplerinin yarı mamul envanter alanlarının hangisinde tutulması gerektiğini belirleyebilecektir. Buna ek olarak, kullanıcı, kasa tiplerini göz önünde bulundurarak yarı mamul envanter alanlarında kaç kasa tutulması gerektiğine ve boru tiplerine göre kaç borunun tutulması gerektiğine ilişkin bilgilere erişebilir.

IV. SONUÇ

Bu proje, Bosch Termoteknik fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Ana problem, Fabrika 2'de boru üretimi için kullanılan makine yerlerinin doğru olmaması olarak ele alınmıştır. Şirketin talebi üzerine amaç, birbirleri arasında çok fazla akış olan makineler arasındaki mesafeyi en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Buna göre amaç fonksiyonu, makineler arası toplam akışı en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Literatür taraması sonucunda, MIP ile matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin ilk olarak oyuncak veri seti ile deneme amaçlı çözülmüş ardından gerçek veriler ile OPL CPLEX 12.10[1] optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Oyuncak veri seti sonuçlarına göre modelin doğru olup olmadığına karar verilmiştir. Ancak, gerçek veriler ile bir çözüme ulaşılamamış ve problemi gerçek verilerle çözmek için alternatif bir çözüm yöntemi olarak sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Hem hücrelerin yerlerini hem de makineleri en uygun şekilde yerleştirebilen bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmanın temel mantığı, aynı objektif fonksiyona sahip iki ayrı döngü oluşturmaktır, birincisi hücreleri yerleştirmek ve ikincisi makineleri, oluşturulmuş olan hücrelerin içine yerleştirmektir. Sezgisel yöntemle geliştirilen modelin doğrulamaları yapılmış ve doğruluğu kanıtlanmıştır.

Projenin bir diğer amacı, yarı mamul stok sayısını düşünerek stok alanlarının optimal olarak belirlenmesidir. Buna göre, yarı mamul stok alanlarının sayısı, kapladığı alan ve yarı mamul stok alanlarında tutulacak boru miktarlarının sayısı hesaplanmalıdır. Yarı mamul stok alanlarının büyüklüğü ve miktarı, her vardiyada kaç adet boru üretileceğine bakılarak ve kaç adet kasa kullanılması gerektiği göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Aynı zamanda kasa tipi, kasalardaki boru miktarı ve saklanacak kasa sayısı hesaplanmıştır. Bu nedenle, yarı mamul envanter alanlarının büyüklüğü, 1 aylık süre içerisinde bir vardiyada tutulması gereken maksimum kasa miktarına göre belirlenmiştir.

Analiz veri yapılarına göre geliştirilmiş ve çözüm OPL CPLEX 12.10[1] 'te elde edilmiştir. Daha sonra bu çözüm MS EXCEL [6]' de kullanıcı dostu bir KDS'de uygulanmıştır. KDS, yarı mamul stok alanlarının kontrol edilmesi için geliştirilmiştir. Ayrıca, yıllık üretim planına bağlı olarak, üretim alanındaki yerleşim değişikliklerine de ulaşılabilmektedir. Yarı mamul stok alanı, günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak kontrol edilebilmektedir. Kullanıcı, üretim planındaki değişime bağlı olarak, hangi boru tipinin hangi yarı mamul stok alanında tutulması gerektiğini belirleyebilecektir. Buna ek olarak, kullanıcı, yarı mamul stok alanında boru tipine bağlı olarak kaç adet boru ve kaç adet kasa tutulması gerektiğine KDS kullanarak ulaşabilmektedir.

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 düzenlenebilir ve çalışanlar, ihtiyaçları olan yarı mamul stok miktarlarına sistem üzerinden erişebilir. KDS, dinamik ve esnek bir yapıda tasarlanmış, yarı mamul stok alanları ve diğer üretim alanları için uygulanabilirdir. Tesis yerleşim düzeni tasarlanırken, şirketin talebi üzerine bazı makineler sabit bırakılmış ve hücre içi makineler yine bu talep doğrultusunda belirlenmiştir ancak konumları geliştirilen model sayesinde atanmıştır. Projenin devam etmesi ve geliştirilmek istenmesi durumunda, bu kısıtlamaların ortadan kalkması ve sıfırdan bir tesis tasarımının yapılması mümkündür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma "2209-B Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı" kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir. Boru Üretim Sürecinin İyileştirilmesi çalışmasına katkılarından dolayı akademik danışmanlarımız Erdinç Öner ve Nazlı Karataş Aygün'e ve şirket danışmanı Betül Ada'ya teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

[1] Studio, IBM ILOG CPLEX Optimization. "OPL Language User's Manual Version 12 Relase 8." 2018.
[2] Bosch Global (2018). Retrieved from https://www.bosch.com/our-company/our-history/
[3] Bosch Thermotechnology (2018). Retrieved from https://www.bosch-thermotechnology.com/corporate/en/company/history.html
[4] Manisa TT (2017). Retrieved from https://www.bosch-thermotechnology.com/tr/residental/knowledge/bosch-termoteknoloj/bosch -tt-turkey/
[5] Y. Kumar, A. Lilhare, A. Sahu, B. Lal and Y. Khaperde. "ABC Analysis for Inventory Management-Case Study of Sponge Iron Plant". *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol*, *4*, 32-36,2016.
[6] Microsoft Corporation EXCEL [software program]. (2018). Retrieved from https://www.microsoft.com/tr-tr/

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

DYO-ÇİĞLİ'DE ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Değer Demir, Ecem Ademoğlu, Gülce Gülen, Kerem Can Deliktaş,

Mert Yandımata, Saadet Gül, Serdar Can Ertem

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut, Araş. Gör. Sinem Özkan

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Bu proje, DYO Boya A.Ş.'nin üretim sistemindeki paralel makinelerin çizelgelenmesi problemini ele almaktadır. Sıraya bağlı hazırlık sürelerinin bağımsız paralel makinelerde sipariş parçalama ile birbirine göre farklı önceliğe sahip işlerin çizelgelenmesi amaçlanmıştır.

Planlanmış işlerin gecikmesi ve makine arızaları gibi problemler dikkate alınarak, aynı yapıyı koruyacak yeniden çizelgelemeye izin veren bir program oluşturulması hedeflenmiştir.

Şirket ve proje ekibi tarafından problem tanımı, kapsamı ve varsayımlar üzerinde bir fikir birliğine varılmıştır. Üretim sistemi ile ilgili gerekli bilgi ve veriler toplanarak uygulanacak çözüm yöntemini belirlemek için kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlar tanımlanmış ve bir matematiksel model oluşturulmuştur.

Oluşturulan matematiksel modelin doğrulanması OPL CPLEX yazılımı ile yapılmış ve yüksek boyutlu problemler için çözümü hızlı 2 farklı alternatif sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Öncelikle çizelgeleme problemlerinde iyi sonuç vermesi sebebiyle Genetik Algoritma tercih edilerek probleme uyarlanmış, daha sonra ise çözüm süresini daha da kısaltmak amacıyla proje ekibi tarafından Kural Bazlı bir algoritma geliştirilmiştir. Oluşturulan çözüm yöntemleri birbirleri ve optimal sonuçlarla karşılaştırılmış ve farklı veri boyutlarındaki performansları ölçülmüştür. Ayrıca, şirketten gelen verilerle yapılan istatistiksel analiz sonucunda sistemin rassal bir doğası olduğu tespit edilmiş, bu rassallığın amaç fonksiyonuna olan etkisini gözlemleyebilmek amacıyla matematiksel model ve geliştirilen çözüm yöntemlerinin sonuçlarını girdi olarak alan bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Son olarak, önerilen çözüm yöntemleriyle ve simülasyon modeli ile bütünleşmiş çalışan kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

II. PROBLEM TANIMI

Projenin yürütüldüğü DYO Boyanın temelleri 92 yıl önce İzmir'de atıldı. 1997 yılında Atatürk Org. San. Bölgesi'nde boya üretim tesisi kuruldu ve 40'tan fazla ülkeyi ihraç ederek önemli bir başarı elde etmektedir. Yaşar Boya Grubu altında farklı markalarda 1.200 ürün, 3.500 paket ve 60.000 farklı renk sunuyor. Her yıl yeni müşteriler ve pazarlarla satış ve pazar payını artıran Dyo Boya 2017 yılında bir önceki yıla göre % 19,5 oranında artışla 923.7 milyon TL satış yaparak 156.929 ton üretim gerçekleştirdi. [1]

DYO Boya'nın İzmir Çiğli tesisinde nihai ürünü (toz boya) üretmek için üç ana operasyon bulunmaktadır: Premiks, Ekstrüzyon, Son öğütme. Üretim 4 hattan oluşur. Tüm ürünler her hatta üretilemez ve ürün sırası kurulum sürelerine göre üretilmelidir. Siparişlerin zamanında üretilebilmesi ve hat kapasitelerinin daha etkin kullanılması için farklı hatlarda üretilecek miktarın bölünmesine izin verilmektedir. Ürünler arasında öncelikli ilişki de vardır. Üretim sırasında makinenin arızalanması durumunda, yeniden çizelgelemeye ihtiyaç vardır. Bu şekilde, o makinedeki işlerin başka makinelere aktarılması ile aksamalar önlenir. Yapılan istatistiksel analizler sonucu işlerin tamamlanma sürelerine en büyük etkinin kurulum (ürünler arasında yapılan temizleme işlemi) süreleri olduğu gözlemlenmiştir. Şirketten alınan 2019 yılına ait verilerde uzun süreli temizlik işlemlerinin sıklığının ve harcanan toplam temizleme süresinin, doğru bir çizelge ile önemli ölçüde azaltılabileceği açıktır.

Şirket, ürünlerin ağırlıklarını da göz önüne alınarak minimum sürede üretimin tamamlanmasını istemektedir. Bu nedenle problemin amaç fonksiyonu, ağırlıklı tamamlanma zamanının enküçüklemesi olarak belirlenmiştir.

III. MODEL GELİŞTİRME VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, belirli kısıtlar dâhilinde toplam ağırlıklı tamamlanma süresini enküçükleyecek bir çizelge oluşturulması amaçlanmıştır. En iyi sonucu elde etmek için, mevcut kısıtları da içeren ve makine arıza durumlarında yeniden çizelgelemeye izin veren bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan model, karmaşık tamsayılı doğrulama problemi olması dolayısıyla çözüm süresi yüksektir. Buna çözüm olarak 2 farklı sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Proje grubu tarafından oluşturulan ve yüksek boyutlu veriler ile bile çok hızlı çözüm veren kural bazlı algoritma ve literatürde sıklıkla karşılaşılan ve çizelgeleme problemlerinde iyi sonuçlar veren Genetik Algoritma. Bununla birlikte matematiksel modelin ve algoritmaların ürettiği çizelgelerin performansını rassal ortamda test eden bir benzetim modeli geliştirilmiştir.

Kümeler	Tanım
M	Tüm makinelerin kümesi
J	Tüm işlerin kümesi (Ayrıca pozisyon indislerini de kapsar.)
J_m	m makinesi üzerinde işlenebilecek işler kümesi, öyle ki $m \in M, J_m \subset J$
D	termin tarihi olan işler kümesi, öyle ki $D \subset J$
R_m	m makinesinde önceki çizelgeden kalan işler kümesi, öyle ki $R \subset J$

İndisler	Tanım
m	makine indisi
j, j'	iş indisleri
p	Pozisyon (sıra) indisi

Parametreler	Tanım
$\|J\|$	toplam iş sayısı
w_j	j işinin ağırlığı (öncelik yönünden)
α	termin tarihi olan işler için maksimum kabul edilebilir gecikme oranı
p_{mj}	j işinin bir biriminin m makinesindeki işlem süresi
Q_j	j işinin üretim emrindeki miktarı
d_j	j işinin termin tarihi
$ST_{mjj'}$	m makinesindeki p ve p + 1 pozisyonları arasında j işinden j' işine kurulum süresi

Parametreler	Tanım
QT_j	j işi için kalite kontrol süresi
T	yeniden çizelgeleme için gereken eşik süresi
L	çok büyük bir sayı
Δ	çok küçük bir pozitif sayı
RT_m	m makinesinin tamir edilme süresi

$$f_m = \begin{cases} 1, \text{eğer m makinesinde arıza varsa} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Temel Karar Değişkenleri

$$X_{mpj} = \begin{cases} 1, \text{j işi m makinesinde p pozisyonunda çizelgelenmişse} \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases}$$

SR_{mpj}: j işinin m makinesinin p pozisyonundaki sipariş parçalama oranı

Yardımcı Karar Değişkenleri

$$Y_{mpjj'} = \begin{cases} 1, \text{j ve j'işleri m makinesinde sırasıyla p ve p + 1 pozisyonlarında işlenirse} \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$U_j = \begin{cases} 1, \text{eğer j işi gecikmişse} \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases}$$

PT_{mp}: m makinesinin p pozisyonunda yapılan işin işlem süresi

CT_{mp}: m makinesinin p pozisyonunda yapılan işin tamamlanma zamanı

C_j: j işinin tamamlanma zamanı

Amaç Fonksiyonu

enküçük $Z = \sum_{\forall j \in j} w_j . C_j$

Atama Kısıtları

$$\sum_{\forall j \in J} X_{mpj} \leq 1 \qquad \forall m \in M, \forall p \in J \qquad (1)$$

$$\sum_{\forall p \in J} X_{mpj} \leq 1 \qquad \forall m \in M, \forall j \in J \qquad (2)$$

$$\sum_{\forall m \in J} \sum_{\forall p \in J} X_{mpj} \geq 1 \qquad \forall j \in J \qquad (3)$$

$$\sum_{\forall j \in J} X_{m(p+1)j} \leq \sum_{\forall j \in J} X_{mpj} \qquad \forall m \in M, \forall p \in J \qquad (4)$$

Sipariş Parçalama Kısıtları

$$(X_{mpj} - 1) + \Delta \leq SR_{mpj} \leq X_{mpj} \qquad \forall m \in M, \forall p \in J, \forall j \in J \qquad (5)$$

$$PT_{mp} = \sum_{\forall j \in J} P_{mj} . Q_j . SR_{mpj} + QT_j . X_{mpj} \qquad \forall m \in M, \forall p \in J \qquad (6)$$

$$\sum_{\forall m \in J} \sum_{\forall p \in J} SR_{mpj} = 1 \qquad \forall j \in J \qquad (7)$$

Kısıtlama kümesi (1), (2), (3) ve (4) tüm işlerin; en az bir makineye hiçbir pozisyonu boş geçmeden ve her makinenin maksimum bir pozisyonuna olacak şekilde atanmasını sağlar. Kısıtlama kümesi (5), (6) ve (7) her işin farklı makinelere parçalanma oranlarının toplamını 1 yapacak şekilde, bu parçalanma oranlarını atama kısıtları ve işlenme süreleriyle ilişkilendirir.

Kurulum ve Tamamlanma Süresi Kısıtları

$$2.Y_{mpjj'} \geq X_{mpj} - X_{m(p+1)j'} \qquad \forall m \in M, \forall p \in J/\{|J|\}, \forall j \in J, \forall j' \in J \mid j' \neq j \qquad (8)$$

$$X_{mpj} - X_{m(p+1)j'} \leq 1 + Y_{m(p+1)jj'} \qquad \forall m \in M, \forall p \in J/\{|J|\}, \forall j \in J, \forall j' \in J \mid j' \neq j \qquad (9)$$

$$CT_{m1} \geq ES_m + PT_{m1} \qquad \forall m \in M \qquad (10)$$

$$ES_m \geq f_m \times RT_m + (1 - f_m). \min\left\{T, max\{ C_j \}\right\} \qquad \forall m \in M, \forall j \in R \qquad (*)$$

$$CT_{m(p+1)} \geq CT_{mp} + PT_{m(p+1)} + \sum_{\forall j \in J} \sum_{\substack{\forall j' \in J \\ j' \neq \{j\}}} \left(Y_{mpjj'} \times ST_{mjj'}\right) \qquad \forall m \in M,, \forall p \in J /\{|J|\} \qquad (11)$$

$$C_j \geq CT_{mp} + L \times \left(X_{mpj} - 1\right) \qquad \forall m \in M, \forall p \in J, \forall j \in J \qquad (12)$$

Parçalanma oranlarının toplamını 1 yapacak şekilde, bu parçalanma oranlarını atama kısıtları ve işlenme süreleriyle ilişkilendirir.

Gecikme Kısıtları

$$-L \times \left(1 - U_j\right) + \Delta \leq C_j - d_j \leq L.U_j \qquad \forall j \in D \qquad (13)$$

$$\frac{\sum_{\forall j \in D} U_j}{|D|} \leq \alpha \qquad (14)$$

İşaret Kısıtları

$SR_{mpj} \in [0,1]$ $\quad \forall m \in M, \forall p \in J, \forall j \in J$ (15)

$X_{mpj} \in \{0,1\}$ $\quad \forall m \in M, \forall p \in J, \forall j \in J$ (16)

$Y_{mpjj'} \in \{0,1\}$ $\quad \forall m \in M, \forall p \in J/\{|J|\}, \forall, j \in J, \forall j' \in J \mid j' \neq j$ (17)

$U_j \in \{0,1\}$ $\quad \forall j \in D$ (18)

$PT_{mp} \geq 0$ $\quad \forall m \in M, \forall p \in J$ (19)

$CT_{mp} \geq 0$ $\quad \forall m \in M, \forall p \in J$ (20)

$C_j \geq 0$ $\quad \forall j \in J$ (21)

Pinedo [2], sıraya bağlı kurulum süresi ile ilgili problemlerin NP-Zor olduğunu belirtmiştir. İş ve makine sayısı arttıkça sorun karmaşıklığı artmıştır ve bu durum çözüme ulaşmayı zorlaştırmıştır. Bu nedenle 3 Fazlı Kural Bazlı Algoritma literatürden de faydalanarak [3] tasarlanmıştır. Bu algoritmanın sadece en yakındaki iyi sonuçlara odaklanması sebebiyle, çizelgeleme problemleri için iyi çalışan Genetik Algoritma tasarlanmıştır [4]-[5]-[6]. Bu iki sezgisel yöntemle ilgili ayrıntılar aşağıda verilmiştir.

A. 3 Fazlı Kural Bazlı Algoritma

Faz 1: Atama

Adım 1. Atanacak işi belirlemek için tüm işler ve bu işlerin işlenebileceği tüm makineler için bir tamamlanma zamanını, termin zamanlarını ve işlerin ağırlıklarını içeren bir skor değeri hesapla.

score(m, j) =(tamamlanma zamanı)/(işin termin zamanı ve önceliğine göre ağırlığı)

Adım 2. Minimum skor değerini veren (m, j) vektöründeki j işini m makinesine ata. Atanmayan iş kaldıysa Adım 1'e dön.

Faz 2: Sipariş Parçalama

Seçilen işin pozisyonu=Makinenin son pozisyonu-makinedeki parçalanmış iş sayısı

Tüm makinelerin son pozisyonlarındaki işlerden ilk pozisyondakilere kadar her iş parçalanmaya çalışılır.

Adım 1. Makinelerin son pozisyonundaki işlerin tamamlanma zamanlarını hesapla, en büyük olan işi seç.

1.1 Eğer birden fazla makinedeki tamamlanma zamanı, maksimum tamamlanma zamanına eşitse o makinelerdeki seçilen pozisyonların olduğu işler arasında en büyük işleme süresi olan işi parçalanacak iş olarak belirle.

1.2 Eğer tek bir makine varsa, o makinedeki seçilen pozisyondaki işi parçalanacak iş olarak belirle.

Adım 2. Parçalanacak işin işlenebileceği makinelere bak (atandığı makine hariç).

2.1 Eğer hiçbir makinede işlenemiyorsa, Faz 2'den çık, Faz 3'e git.

2.2 Öyle değilse, seçilen pozisyonundaki işin tamamlanma zamanı en küçük olan makinenin sonraki pozisyonuna o işi ekle ve iki makinedeki işlenme sürelerini eşitleyecek şekilde kümülatif olarak parçala.

Adım 3. Her kümülatif parçalamadan sonra amaç fonksiyonu değerini hesapla ve herhangi bir makinede parçalanmamış iş varsa bu fazdaki Adım 1'e geri dön.

Faz 3: Yeniden İşleme

Adım 1. Tüm amaç fonksiyonlarının minimumunu "Mevcut Amaç Fonksiyonu" olarak belirle.

Adım 2. Tüm atama ve parçalanmaları sıfırlayarak Faz 1'in başına git ve amaç fonksiyonu değeri "Mevcut Amaç Fonksiyonu" değerine eşit oluncaya kadar tüm işlemleri tekrarla.

B. Genetik Algoritma

Genetik Algoritmanın genel adımlarını aşağıda bulunmaktadır.

1.Adım: İlk Popülasyonu oluşturma

Süreç "popülasyon" olarak adlandırılan bir grup bireyle başlar. Her birey başka bir çözümü temsil eder. Birey, "gen" olarak bilinen bir dizi parametre ile karakterize edilir. Bu algoritmada, her gen bir işi temsil eder ve her kromozom bir makineye atanan işlerin sırasını temsil eder. Bir kromozom, o makineye atanan iş sayısı kadar gen içerir. Nüfus, farklı permütasyonlara sahip birçok kişinin üretimi ile oluşur.

2. Adım: Uygunluk fonksiyonu, bireyin diğer bireylerle rekabet etme yeteneği belirler. Bireyin üreme için seçilme olasılığı, uygunluk puanına bağlıdır. $Uygunluk\ fonksiyonu(m,j) = CT_{L_m} + \mathrm{P}_{mj}Q_j + QT_j + ST_{L_m j}$ ile hesaplanabilir. Bu hesaplama tamamlandığında, her bir kromozom için bir "toplam ağırlıklı tamamlanma süresi" değeri elde edilir.

İşleri parçalamak için her kromozomun boyutu iki katına çıkar. Kromozomun yeni eklenen kısmı, birinci kısımdaki işlerin rastgele değiştirilmiş sırasıdır.

3.Adım: Seçim, bu aşamada, en uygun bireyler seçilir ve genlerini bir sonraki kuşağa geçirmelerine izin verilir. Burada bireyler Turnuva (Tournament) Yöntemi ile sıralanır ve en iyi kişiler seçilir. Yüksek uygunluğa sahip bireylerin üreme için seçilme şansı daha yüksektir.

4.Aşama: Çaprazlama, genetik algoritmada en önemli aşamadır. "PMX", yani kısmen eşlenmiş geçiş, algoritmanın daha iyi çalışmasını sağlamak için kullanıldı.

5. Aşama: Mutasyon, Rasgele gen geçilerek araya ekleme (insertion) işlemi yapılır.

Kalite, kurulum ve duruş sürelerindeki yüksek varyansın sonuçları önemli ölçüde etkileyeceği düşünüldüğünden, bu oluşturulan tüm modellerin ve algoritmaların sonuçlarını girdi olarak kullanan bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu model ile sistemin gerçek doğasına daha yakın bir program elde edilmesi hedeflenmektedir.

Matematiksel model ve 2 farklı sezgisel algoritma yöntemi, makine, iş, termin tarihli iş sayılarının ve işlenilebilirliğin değiştirildiği farklı senaryolarda çözdürülmüş ve bazı senaryoların çözüm çıktıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. Optimal Sonuç ve Sezgisel Yöntemlerin Karşılaştırmaları

	Amaç Fonksiyonu Değeri				Çalışma süresi (sn)				En iyi çözüme yakınlık		
Örnek	OPL	Genetik Alg.	Kural Bazlı Alg. 1	Kural Bazlı Alg. 2	OPL	Genetik Alg.	Kural Bazlı Alg. 1	Kural Bazlı Alg. 2	Genetik Alg.	Kural Bazlı Alg. 1	Kural Bazlı Alg. 2
1	2313	2330	2333	2333	49	10,1	0,41	0,6	99%	99%	99%
2	2522	2522	2644	2522	50	8,7	0,38	0,7	100%	95%	100%
3	2316	2422	2548	2427	52	9,1	0,46	0,14	96%	91%	95%
4	1320	1320	1367	1367	93	7,3	0,47	0,6	100%	97%	97%
5	2506	2567	2582	2582	462,4	6	0,68	0,45	98%	97%	97%
								Ort.	98%	95%	96%

Sonuçlar yorumlandığında, genetik algoritmanın ve Kural Bazlı algoritmanın eniyi çözüme yakınlık yüzdeleri hesaplanmıştır. Kural Bazlı algoritma 2 farklı skor hesaplamasına göre kodlanmış ve işlerin atandıktan sonraki kurulum sürelerini de göz önünde bulunduran algoritmanın (Kural Bazlı Alg. 2) daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Oluşturulan senaryolardaki veriler, OPL CPLEX'in çözebildiği boyuttadır. Bu boyutlarda Genetik Algoritma ve Kural Bazlı Algoritma en uygun çözüme yakınlık yüzdesi sırasıyla %98 ve %96'tir. Bir işin farklı makinelerdeki işlenilebilirliğinin, makine, iş ve termin tarihli iş sayısının arttırıldığında programın çalışma sürelerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Kural bazlı algoritmanın en yakındaki iyi sonuca odaklanarak ilerlemesi sebebiyle yüksek boyuta sahip verilerde eniyi sonuçtan sapabileceği öngörülmektedir. Bu sebeple, algoritmaların yüksek veri boyutlarında, kendi aralarında performans kıyaslaması yapılmıştır. Yüksek sayılı işler için oluşturulan senaryolarda Genetik Algoritma, Kural Bazlı algoritmaya göre ortalama %8 daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Başka bir yönden, Kural Bazlı algoritmanın çözüm performansı genetik algoritmaya göre düşük olmasına rağmen, Genetik algoritmanın çalışma süresi 1650 saniyelere çıkarken Kural Bazlı algoritma çok daha kısa sürede sonuç vererek 1 saniyenin altında bir sürede çözmektedir.

Oluşturulan algoritmaların şirketin haftalık planıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca şirkette gerçekleşmiş olan ve algoritmaların oluşturduğu plandaki rassallığı gözlemlemek için benzetim modeli çalıştırılmış ve tüm sonuçlar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 2. Algoritmaların gerçek verilerle çalıştırılması ve sistemdeki rasallığın gözlemlenmesi

	Belirli (Deterministik) Model Çözümü	**Belirli Model İyileştirme**	Sistemin Rassalığını İçeren Çözüm
DYO Haftalık Plan	33591,87		44361,36
Kural Bazlı Alg.	24466,61	**27,17%**	40187,43
Genetik Alg.	20199,0	**39,87%**	30536,77

Haftalık planda Kural Bazlı ile **%27,17**, Genetik Algoritma ile **%39,87** iyileştirme gözlemlenmiştir.

Oluşturulan tüm algoritmalar ve eniyi çözümü veren matematiksel model şirketin de rahatça kullanabileceği MS Excel tabanlı Karar Destek Sistemi (KDS) içine gömülmüştür.

KDS, şirketin talepleri üzerine tasarlanmış olup, çizelgeleme işlemi yanında geçmiş planlarında hafızada bulundurma, çıkan sonuçları raporlama ve oluşturulan çizelgenin rassal performansını test eden benzetim modelini çalıştırma gibi farklı fonksiyonları kullanıcıya sunmaktadır.

IV. SONUÇ

Bu projede, Toz boya Tesisi için Çiğli DYO Boya firmasının makro ve mikro sistem analizi yapılmış ve işlerin çizelgelenmesinde bazı iyileştirmeler yapılabilmesi için üretim sistemi gözlenmiştir. Üretim sistemi 3 aşamadan oluşur: ön karıştırma, ekstrüzyon ve son öğütme.

Bazı gözlemlerden sonra projenin yapılmasına neden olan semptomlar belirlenmiştir. Çizelgenin sezgisel olarak ve matematiksel bir temel olmaksızın yapıldığı belirlenmiştir. İşler temizleme (kurulum) sürelerine bağlı olarak atanmaktadır. Yıllık verilerde kurulum sürelerinin gerekenden daha uzun olduğu saptanmıştır. Sistemdeki bir diğer sorun, üretim sisteminde durmalara neden olan yüksek arıza sıklığıdır. Makine arızaları ve kurulum sürelerindeki bu değişkenlik, sistemin stokastik bir yapıda incelenmesi gerektiğini kanıtlamıştır.

Bu gözlemler sonucunda, sorunun paralel bir makine çizelgeleme problemi olduğu belirlenmiş ve gözlemler sonucu yapılan varsayımlar dâhilinde çizelgeyi kolaylaştıracak bir Karar Destek Sistemi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu nedenle, paralel makine çizelgeleme probleminde temel modeller geliştirmek için literatür taraması yapılmıştır. Şirketin onayı ile sorunun amaç fonksiyonu toplam ağırlıklı tamamlanma süresinin en aza indirilmesi olarak belirlenmiştir ve bir matematisel model oluşturulmuştur.

Matematiksel model, sipariş bölünmesine izin veren ve işlerin en az bir yüzdesini termine kadar tamamlamayı amaçlayan deterministik bir karışık tamsayı doğrusal programlama (MIDP) modelidir. Matematiksel model oyuncak verileriyle çözülmüştür, ancak problemin veri sayısı arttığında, programın çok uzun çalışma sürelerine ulaştığı sonucuna varılmıştır. Çözüm olarak 2 farklı sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritmalardan ilki, 3 fazdan oluşan Kural Bazlı algoritma ve Genetik Algoritma'dır. İki algoritma da farklı senaryolarda çalıştırılmış ve performansları ölçülmüştür. Ayrıca algoritmalar ve çözüm yöntemlerinden elde edilen çizelgeler, sistemin rassal performansını gözlemlemek için benzetim modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Tüm bu model ve algoritma çözümleri, şirketin kendi planlama sistemlerine uygun olarak tasarlanmış ve kullanıcı dostu bir Karar Destek Sisteminin içine gömülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu proje "TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı" kapsamında desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı akademik danışmanımız Dr. Öğr. Üyesi Önder BULUT ve Araş. Gör. Sinem ÖZKAN'a ve şirketin proje danışmanları Bilgehan BOSTAN, Mehmet Akif YILMAZ, Muhammed Emin ÇENGELCİ and Ulaş Erel DEMİR'e teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

[1](2018) Dyo Boya A.Ş website [Online] Available http://www.dyo.com.tr/UserFiles/DYOBY-FR-2018-12.pdf

[2]Pinedo, M. L. *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems.* (3th ed.). New York, NY: Prentice Hall 2008

[3] M. F. Yeo, E. O. Agyei (1998): "Optimising engineering problems using genetic algorithms", Engineering Computations, 15(2), 268-280.

[4] Z.X. Guo, W.K.Wong,S.Y.S.Leung, J.T.Fan, S.F.Chan, "Genetic optimization of order scheduling with multiple uncertainties", Expert Systems with Applications, 35, 1788-1801, 2008.

[5] P. Borovska, "Solving the Travelling Salesman Problem in Parallel by Genetic Algorithm on Multicomputer Cluster", International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'06, University of Veliko Tarnovo, Bulgaria,15-16 June 2006

[6]Yalaoui, F.; Chu, C. An efficient heuristic approach for parallel machine scheduling with job splitting and sequence-dependent setup times. IIE Trans. 2003, 35, 183–190. [CrossRef]

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

PARALEL MAKİNA ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Akdeniz Coşkun, Aytaç Ali Aslaner, Berk Bulut

Ece Özboyaci, Görkem Gülbent, Nil Ergün, Nur İlayda Tülemiş

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Gör. Efthymia Staiou, Araş. Gör. Mert Paldrak

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Türkiye'nin ilk plastik rezervuar üreticisi olan Visam Plastik A.Ş., 1964 yılında aile şirketi olarak kurulmuştur. Tamamını kendi geliştirdiği modelleri ile imal ettiği tüm ürünlerinde o ürünün Türkiye koşullarına uygunluğunu ön planda tutmaktadır. 2000 yılında tamamı kendi fabrikasında üretilen ve montajı yapılan gömme rezervuar ürününün imalatına başlayan şirket, piyasaya ilk olarak Norm120 modeli ile çıkmış ve gerek yurt içinde gerekse yurt dışında tüm müşterilerinden büyük beğeni toplamıştır. Visam Plastik A.Ş., gömme rezervuar haricinde; plastik rezervuarlar, rezervuar iç takımları, flotörler, klozet kapakları, yer sifonları, paslanmaz çelik süzgeçli yer sifonları, banyo sifonları, paslanmaz çelik duş süzgeçleri, gömme rezervuar kumanda panelleri ve havalandırma panjurları üretimini de gerçekleştirmektedir [1].

Visam Plastik A.Ş., İzmir Pınarbaşı'nda 25.340 m^2'lik açık alan ve 18.000 m^2'lik kapalı alan olmak üzere toplam 43.340 m^2'lik alanda faaliyet göstermektedir. Fabrikada 31'i beyaz yakalı, 113'ü mavi yakalı olmak üzere toplam 144 kişi çalışmaktadır. Fabrikada toplam 19 plastik enjeksiyon makinesi ve 3 adet duroplast enjeksiyon makinesi bulunmaktadır. Bu makineler sayesinde 600 farklı ürün üretilebilmektedir. Fabrikanın yıllık üretim kapasitesi yaklaşık olarak 869.000 adettir.

Firmadaki mevcut üretim planlama sürecinin yeniden yapılandırılması ve üretim esnasında oluşan zaman kayıplarının en aza indirgenmesi amacıyla yeni bir sistem oluşturulmuştur. Visam Plastik A.Ş. ile yürütülen bu projenin esas amacı; siparişlerin toplam üretim süresini en aza indirgemektir. Projenin ilk adımında paralel makine çizelgeleme problemi için literatür taramaları yapılmış ve problem için çözüm yöntemleri oluşturulurken beş ana kısıt dikkate alınmıştır. Bu kısıtlar; sıra bağımlı hazırlık süreleri, makine kalıp uygunlukları, ortak kalıp kullanan işler, renk değişimleri ve işler arasındaki öncelik ilişkileridir. Yapılan literatür taramalarına ve dikkate alınan bu beş kısıtı karşılayacak bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0 yardımı ile kodlanmış ve örnek veri ile çözülmüştür. Problemin örnek veri ile çözümlenmesi haftalık iş rutini içerisinde fazla zaman alacağı için, problemi daha kısa sürede çözebilecek bir sezgisel metot oluşturulmuştur. Projenin sonunda elde edilen çözüm yönteminin kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi (KDS) aracılığıyla, haftalık çizelgeyi verimli ve hızlı bir şekilde oluşturması amaçlanmıştır.

II. PROBLEM TANIMI

Plastik enjeksiyon sektöründe faaliyet göstermekte olan Visam Plastik A.Ş. mevcut ürün gruplarının üretimi ve teslimatında bazı sorunlar yaşamaktadır. Bu sorunların ana sebebi üretim planlamasının yapılması aşamasında sistematik bir yaklaşımın olmamasıdır. Mevcut durumda, gelen siparişler baz alınarak anlık ve kısa vadeli planlar hazırlanmaktadır. Şirket, ekonomik getirilerini göz önünde bulundurarak siparişleri önem sırasına koymakta ve üretimi buna göre planlamaktadır. Bu anlayıştan kaynaklı olarak, bazı siparişlerin üretiminde oluşan duraklamalar, siparişlerin tesliminde gecikmelere neden olmaktadır. Müşterilerle yapılan sözleşmelere bağlı olarak, bu gecikmelerden dolayı bazen ceza maliyetleri oluşabilmektedir.

Halihazırda, üretim planlama departmanı mevcut durumu kontrol etmek için NETSIS yazılımını fabrikaya entegre etme aşamasındadır. Ayrıca, departman üretim parametrelerini kontrol edip geliştirmeler yapabilmek için MAS sistemini üretim hatlarına entegre etmeye çalışmaktadır. Bu yazılımlar tamamen entegre oluncaya kadar operatörler bu süreçten sorumlu olacaklardır. Bu nedenle üretim hatlarında beklenmedik gecikmeler, kalite ve verimlilik kayıpları meydana gelecektir. Bunun yanında, operatörler sistematik bir üretim planının olmaması nedeniyle birden fazla makineden sorumlu olabilmekte ve bu durum mevcut işgücünün verimli bir şekilde kullanılamamasına sebep olmaktadır.

Bununla birlikte, siparişlerin üretimi sırasında bir ürünün üretiminden diğerine geçilirken mevcut makinede kalıp değişimi gerekmektedir ve bu işlem uzun zaman alabilmektedir. İşlerin üretilmesi sürecinde optimal bir çizelgeleme olmadığından, kalıp değişimlerine bağlı olarak meydana gelen hazırlık süreleri çok yüksektir. Plastik enjeksiyon sektörünün getirdiği bir dezavantaj olarak, kalıpların makinelerden sökülme ve makinelere takılma süreleri farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklar planlama ve çizelgeleme sürecini daha karmaşık hale getirir. Ayrıca, bazı ürünlerde müşterilerin isteğine göre renk seçenekleri mevcuttur. Her siparişte farklılık gösterebilen bu durum

sebebiyle, şirket bu ürünleri stok olarak tutamaz. Dolayısıyla bu durum, ürünlerin tesliminde gecikmelere neden olabilmektedir.

Bahsedilen semptomlara ek olarak, bazı yarı mamüller öncelik ilişkilerine sahiptir. Bu yarı mamül ürünlerden birinin üretiminin tamamlanması için, öncelik ilişkisine sahip olduğu diğer ürünün üretiminin tamamlanmış olması gerekmektedir. Çözüm metodunun geliştirilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, her ürünü üretebilecek sadece bir adet ve bir çeşit kalıp olmasıdır. Bununla birlikte, bazı kalıplar farklı ürünler için ortak kalıp olarak kullanılabilir. Bu durumun ana nedeni, bir ürünün farklı renklerinin farklı ürünler olarak ele alınmasıdır. Bu kalıplardan sadece birer adet bulunduğu için, planlama ve çizelgeleme aşamalarında, bu işlerin aynı anda atanmamaları önemlidir.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Projenin çözümünde yararlanmak üzere öncelikle kapsamlı bir teknik yazın taraması yapılmıştır. Bu taramanın sonucunda problem ile benzerlik gösteren 3 farklı matematiksel model tespit edilmiştir [2], [3], [4]. Bu modellerin yazarları problemin üç önemli kısıt üzerinde durmuşlardır. Bu kısıtlar; sıra bağımlı hazırlık süreleri, makine-kalıp uygunluk kısıtı ve ortak kullanılan kalıplar ile ilgili kısıtlardır. Problem için matematiksel model geliştirilirken bu benzerliklerden faydalanılmıştır. Problem tanımı bölümünde ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, bu çalışma paralel makine çizelgeleme problemine bir çözüm bulmaya odaklanmaktadır. Bu bağlamda, önerilen matematiksel model ilk çözüm alternatifi olarak IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0 ile kodlanmıştır. Modeli test etmek için örnek bir problem oluşturulmuştur. İlerleyen bölümde örnek problem ve ilk çözüm alternatifi hakkında daha ayrıntılı bilgi verilecektir. Hazırlanan matematiksel model ve ilgili kısıtlar aşağıda açıklanmıştır:

<u>Kümeler:</u>

N = işlerin kümesi i, j = {1,2, … |N|}
L = makinelerin kümesi l = {1,2, … |L|}
W = kalıpların kümesi w = {1,2, … |W|}
G_w= *w* kalıbı ile işlenebilen işler kümesi
T = Ortak kalıp kümesi

<u>Parametreler:</u>

P_j = *j* işinin işlem süresi
E_{ij} = Kalıp değişiklikleri ve renk değişimi dikkate alınarak *i* işi ile *j* işi arasındaki toplam hazırlık süresi
M = Büyük bir sayı
G_w = *w* kalıbı ile işlenebilen işler kümesi
T = Ortak kalıp seti

$F_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer j işi l makinesinde işlenebiliyorsa} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer i işi, j işinin öncelikli işi ise} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

<u>Karar Değişkenleri:</u>

C_j = *j* işinin tamamlanma zamanı
C_{max} = Çizelgedeki son işin tamamlanma süresi
s_j = *j* işinin başlangıç zamanı

$X_{jil} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer l makinesindeki i işi, j işinden hemen sonra ise} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

$Y_{wji} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer i işi ve j işi, w kalıbına atandıysa} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

$Z_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer j işi, l makinesinde işleniyorsa} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu:

$$Min\ Z = C_{max} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$s_j + \sum_{l \epsilon L} (P_j) * Z_{jl} = C_j \qquad \forall j \in N \quad (2)$$

$$s_j \geq s_i + P_i + (E_{ij} * X_{ijl}) - M * (1 - X_{ijl}) \qquad \forall j, i \in N, \forall l \in L, j < i \quad (3)$$

$$s_i \geq s_j + P_j + (E_{ji} * X_{jil}) - M * (1 - X_{jil}) \qquad \forall j, i \in N, \forall l \in L, j < i \quad (4)$$

$$Z_{jl} + Z_{il} \geq 2 * (X_{jil} + X_{ijl}) \qquad \forall j, i \in N, \forall l \in L, j < i \quad (5)$$

$$C_{max} \geq C_j \qquad \forall j \in N \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L} Z_{jl} = 1 \qquad \forall j \in N \quad (7)$$

$$F_{jl} \geq Z_{jl} \qquad \forall j \in N, \forall l \in L \quad (8)$$

$$s_i \geq s_j + \sum_{l \epsilon L} (P_j + E_{ji}) * Z_{Jl} \qquad \forall j, i \in N, A_{ij} = 1 \quad (9)$$

$$C_j \leq s_i + M * Y_{wij} \qquad \forall j, i \in G_w, \forall w \in T, i \neq j \quad (10)$$

$$C_j \geq s_i + M * (1 - Y_{wij}) \qquad \forall j, i \in G_w, \forall w \in T, i \neq j \quad (11)$$

İşaret Kısıtlamaları:

$$X_{jil} \in \{0,1\} \qquad \forall j, i \in N, \forall l \in L \quad (12)$$

$$Y_{wji} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in G_w, \forall w \in T \quad (13)$$

$$Z_{jl} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in N, \forall l \in L \quad (14)$$

$$C_j \geq 0 \qquad \forall j \in N \quad (15)$$

$$s_j \geq 0 \qquad \forall j \in N \quad (16)$$

$$C_{max} \geq 0 \qquad \forall j \in N \quad (17)$$

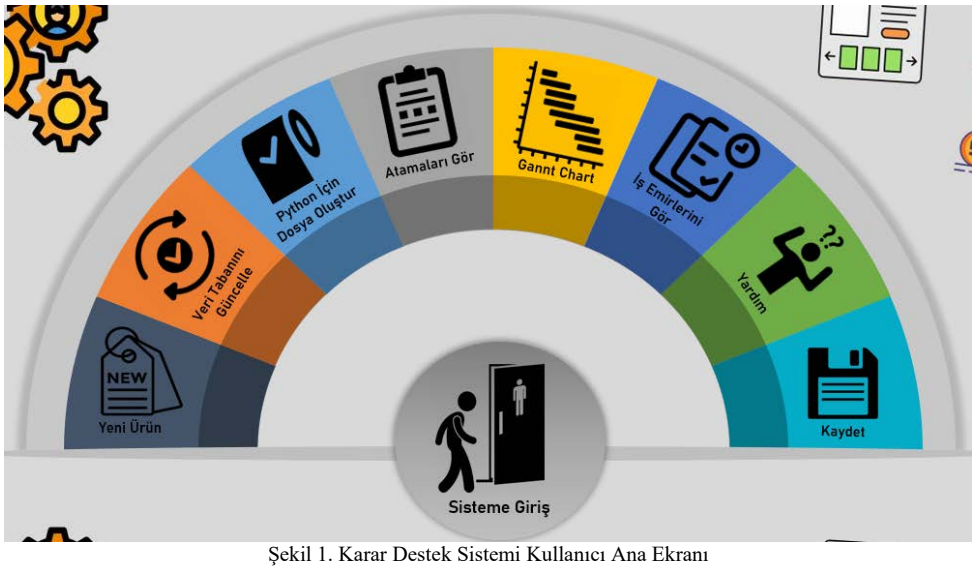
Amaç fonksiyonu (1), tüm işlerin minimum tamamlanma süresini hesaplar. Kısıt (2), herhangi bir işin tamamlanma süresini hesaplar. Kısıt (3), (4) ve (5) iki işin aynı makineye atanması durumunda bu işlerin aynı anda işlenmemelerini sağlayan ayırıcı kısıtlardır. Kısıt (3), *i* işinin *l* makinesinde *j* işinden önce planlanması durumunda, *j* işinin başlangıç zamanının *i* işinin tamamlanma süresinden büyük ve ona eşit olmasını garanti eder. Kısıt (4), Kısıt (3)'ün tamamlayıcısıdır. Kısıt (5), *i* ve *j* işlerinin *l* makinesine çizelgelenmesi durumunda her iki işin de bu makineye atanmış olması gerektiğini garanti eder. Kısıt (6), herhangi bir işin tamamlanma süresinin son işin tamamlanma süresine eşit ya da ondan daha küçük olmasını sağlar. Kısıt (7), her işin sadece ve mutlaka bir makineye atanmasını sağlar. Kısıt (8), her işin sadece teknik olarak uygun olduğu makineye atanmasını garanti eder. Kısıt (9), aralarında öncelik ilişkisi bulunan işlerden, önce üretilmesi gereken işin tamamlanma zamanının diğer işin başlangıç zamanından daha küçük olmasını sağlar. Kısıt (10) ve (11), ortak kalıp kullanan işlerin çakışmamasını garanti eder. Kısıt (12), (13), (14), (15), (16) ve (17), karar değişkenlerinin alabileceği değer aralığını belirtmek için kullanılan işaret kısıtlarıdır.

İlk yaklaşım geliştirilirken, bu yaklaşım ile sonuca ulaşmanın çok zaman aldığı ve daha büyük verilerle çalıştırıldığında bazı sorunlara neden olabileceği gözlenmiştir. Bu nedenle, ikinci alternatif olarak sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca, siparişleri gruplandırmak ve gerekli girdi verilerini hazırlamak için bir hazırlık aşaması oluşturulmuştur. Siparişleri içerdikleri ürün türlerine göre gruplandırarak, gereksiz hazırlık sürelerinin bir kısmının ortadan kalkması sağlanmıştır. Böylece henüz hazırlık aşaması olmasına rağmen tüm işlerin toplam tamamlanma süresi azaltılmıştır. Ayrıca, gruplandırma işleminin Karar Destek Sistemi (KDS) yardımı ile yapılması sağlanarak kullanıcaya kolaylık sağlanmıştır. KDS, sistemde tanımlanan siparişler için ilgili ürün ağaçlarını kontrol eder ve toplamda her bir iş için kaç birim üretilmesi gerektiğini hesaplar. Bir sipariş önceden planlanmış bir hafta içinde gelirse, bu yeni sipariş bir sonraki planlama dönemine ertelenir. Tüm siparişler KDS'ye eklendiğinde girdi verilerini içeren bir Excel dosyası, sezgisel yaklaşım uygulanırken kullanılmak üzere "Matrisleri Al" ve "Python için Veriler" modülleri kullanılarak oluşturulacaktır. Bu hazırlık aşaması gerçekleştirildikten sonra her iki yaklaşım da uygulanabilir.

Sezgisel yaklaşım, Python ve Excel VBA yazılımlarının beraber kullanılması ile geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, işlerin atamalarını değiştirerek farklı kombinasyonlar oluşturmaya dayanır. İşler uygun makinelere atanırken "Best-fit" algoritması kullanılmıştır [6]. İş kümesi, her Best-fit döngüsünün başlangıcında bir kart destesi gibi rastgele karıştırılır. Bu aşamada, iş-makine atamaları değişebilir. Elde edilen karma kümede işler sırayla atanır. Bu atamalar gerçekleştirilirken makine uygunluk matrisi baz alınır. Her iş üretilebileceği makineye atanır. İşin atanabileceği makineler arasında daima minimum tamamlama zamanına sahip makine tercih edilir. Tüm işler atandıktan sonra atanan işler, makinelerin kendi içlerinde, "Swap" fonksiyonu yardımıyla birbirleriyle yer değiştirilir [5]. Yeni çizelgeler elde edildiğinde, nihai çizelgelerin maksimum tamamlanma süreleri sistemin en iyi değeri ile karşılaştırılır. Çizelgede yapılan iyileştirmeler sonucunda, mevcut çizelgenin tamamlanma süresi sistemin en iyi değerinden daha küçük ise, mevcut çizelgenin tamamlanma süresi sistemin yeni en iyi değeri olarak atanır. Bu süreç içinde, algoritma kullanıcı tarafından belirlenen sayı kadar döngüye girerek arama yapar. Son olarak, Excel yardımı ile oluşturulmuş algortima tarafından kontrol edilmek üzere mevcut en iyi çizelgenin çıktı verileri oluşturulur.

Python algoritmasının çıktısı bir Excel dosyası olarak oluşturulduğunda, öncelik ve ortak kalıp kısıtlarına göre KDS aracılığıyla kontrol edilir ve çizelge son haline getirilir. Öncelik ilişkisi olan veya aynı kalıbı kullanan iki iş arasında bir çakışma varsa, bu işlerden birine ekstra zaman eklenerek işleme başlama zamanı kaydırılır. Böylece, nihai çizelgedeki çakışmalar engellenmiş olur. Son olarak kullanıcı, haftalık üretim planını Gantt şemaları, iş emirleri dosyası ve makine tabanlı çizelgeleme raporlarıyla görebilir.

Proje için geliştirilmiş olan sezgisel yaklaşım ve matematiksel modelin performansını, geçerliliğini ve doğruluğunu kontrol etmek amacı ile bazı test prosedürleri uygulanmıştır. İki yöntem için de, kodlamanın istenilen şekilde ve kısıtların tamamıyla verimli çalıştığını test edebilmek adına Python ve Excel VBA yazılımları üzerinde her bir kısıt için "Debugging" aracı kullanılarak metodların adımsal takibi yapılmıştır. Ek olarak, fabrikadan alınan haftalık sipariş verisi baz alınarak Karar Destek Sistemi yardımı ile örnek bir veri seti yaratılmıştır. Toplamda 75 iş içeren bu veri seti ile iki çözüm yöntemi de kullanılarak çizelgeler oluşturulmuştur. İki çizelgenin de iş-makine uygunluğu, öncelik ilişkileri, ortak kalıp kısıtı ve diğer kısıtları tamamen sağladığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, matematiksel model kullanılarak oluşturulan çizelgenin tamamlanma süresi 4759.34 dakika, sezgisel yaklaşım kullanılarak oluşturulan çizelgenin tamamlanma süresi 5098.1 dakika olarak bulunmuştur. Doğruluğu gözlemlenen bu iki çözüm yöntemi arasından sezgisel yaklaşım yöntemi daha iyi performans göstermiş ve bu yöntemle çözüme daha hızlı ulaşılmıştır. Çizelgeler arasındaki 338.76 dakikalık farkın, iki yöntemin sonuca ulaşma süreleri göz önünde bulundurulduğunda, göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğuna karar verilmiştir. Oluşturulan verimli ve kullanımı kolay çizelgeleme sistemi, sisteme dair bütün gerekli açıklamalar ile birlikte fabrikaya sunulmuştur. KDS'nin ana ekranı ve sistemin test edilmesinin sonucunda ulaşılan örnek sonuç raporunun bir kısmı Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Karar Destek Sistemi Kullanıcı Ana Ekranı

Ürün Kodu	Ürün İsmi	Makine	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı
150-578	SLİM 80 BASKI PARÇASI	GÜÇLÜ	3177,6	3377,3
150-579	SLİM 80 KÖPRÜ	BORA	3078,0	3263,6
150-650	SLİM 80 GÖVDE	KARTAL	260,1	1167,2
150-651	SLİM 80 KAPAK	GÜÇLÜ	2292,2	2862,5
150-652	SLİM 80 GÖVDE GERGİSİ	FATİH	0	302,2
150-653	SLİM 80 MEME KAFESİ	TAYFUN	678,1	1159,3
150-654	SLİM 80 BÜYÜK FANUS	YILDIRIM	371,9	627,6
150-655	SLİM 80 KÜÇÜK FANUS	İMBAT	489,0	626,3
150-656	SLİM 80 FANUS RONDELASI	İMBAT	10,0	275,8
150-657	SLİM 80 KAVAL	ATILGAN	0	243,4
150-660	SLİM 80 ÇENGEL	ÇAĞLAR	540,0	641,6
150-661	SLİM 80 KAVAL ÜSTÜ	YİĞİT	620,3	725,5
150-662	SLİM 80 ÇALPARA	YİĞİT	520,4	620,3
150-663	SLİM 80 İKİT DUBA	BORA	0	261,6
150-664	SLİM 80 İKİT AYAR MERDİVENİ	ACAR	0	115,2
150-665	SLİM 80 TEMİZ SU DİRSEĞİ	HAMLE	0	478,2
150-668	SLİM 80 BRANŞMAN DİRSEĞİ	ÇAĞLAR	299,5	469,2
150-669	SLİM 80 MUSLUK FLANŞI	ATİK	157,1	568,8
160-522	GÖMME REZERVUAR TEMİZ SU DİRSEK BORUSU	YILDIRIM	627,6	855,5
170-506	GÖMME REZ. BUTON KUMANDA VİDASI	BAŞARAN	111,2	218,1
170-509	GR ÇERÇEVE VİDA SOMUNU	ACAR	2121,8	2852,4
170-510	ASMA KLOZET PLASTİK KELEPÇE (BEYAZ)	ÇAĞLAR	2521,5	3066,5
170-513	GR KÜÇÜK PENCERE KAPAĞI	CESUR	116,0	764,3
170-517	GR PENCERE KILIFI KAPAĞI	ŞİMŞEK	0	360,6
170-518	GR PENCERE KILIFI	YILDIRIM	855,5	2519,5
170-519	GR KONSOL KİLİDİ	ÇAĞLAR	0	180,4
170-523	PİS SU DİRSEK TAPASI	YAVUZ	605,8	797,6
170-524	GÖMME REZERVUAR TEMİZ SU DİRSEK TAPASI	TAYFUN	1249,5	1375,2

Şekil 2. Örnek Sonuç Raporu

IV. SONUÇ

Mevcut üretim planlama ve çizelgeleme aktivitelerinde sistematik bir yaklaşım kullanılmayan şirkette, gelen yurtiçi ve yurtdışı siparişlerin teslim zamanları ile ilgili problemler yaşanmaktadır ve bu sebeple ceza maliyetleri oluşmaktadır. Projenin genel amacı; son işin tamamlanma zamanını enküçükleyerek, ürünlerin teslimat zamanlarını geciktirmeden, ödenen ceza maliyetlerini azaltarak fabrikaya kazanç sağlamaktır. Projenin ilk adımında, işlem sırasına bağlı hazırlık süreleri, makine uygunluk kısıtları, renk çeşitliliği, ortak kalıplar ve işler arasındaki öncelik ilişkileri gibi beş ana kısıtın olduğu ve son işin tamamlanma zamanının en aza indirgendiği makine çizelgeleme problemi için literatür taramaları yapılmış, probleme benzerlik gösteren çalışmalar seçilerek yeni bir matematiksel model ve sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Oluşturulan matematiksel model IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0 yardımıyla kodlanılarak, örnek bir girdi seti ile çalıştırılmıştır. Bunun yanında, geliştirilen matematiksel modelin gerçek hayat verileri ile daha hızlı sonuç verebilmesi için sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiş ve Python programlama dilinde kodlanmıştır. Python yardımıyla oluşturulan çizelge, Excel üzerinde öncelik ilişkileri ve ortak kalıp kısıtı kontrol edildikten sonra, haftalık üretim planının son halini kullanıcı ile Gantt Şemaları, iş emirleri dosyası ve makine bazında kullanıcı arayüzleri ile paylaşır. Geliştirilen Karar Destek Sistemi, üretim planlama ve çizelgeleme sorunu yaşayan diğer kurumlara da uygunluk sağlayabileceği için, çözüm yöntemleri, şirket bazlı değil problem bazlı hale getirilerek çok amaçlılık sağlanmıştır.

Geliştirilen çözüm yöntemlerinin iyileştirilebilmesi amacıyla şirketlerin satın alabileceği SAP bazlı programlar Karar Destek Sistemi ile entegre edilerek daha kapsamlı bir üretim planı ve çizelgelemesi sağlanabilir. Sezgisel yaklaşımın geliştirilmesi aşamasında kullanılan, atanacak işlerin sırasının rastgele karılması yöntemi yerine meta sezgisel yöntemler kullanılarak, daha da gelişmiş bir sistem oluşturulabilir. Ek olarak, siparişlerin teslim tarihlerinin şirket tarafından tutulması ve çizelgeleme yapılırken bu tarihleri göz önünde bulundurarak bir çözüm yöntemi geliştirilmesi ile iyileştirilmiş sonuçlara ulaşılabilir.

REFERANSLAR

[1] (2018), The ISPR2018, website [Online]. Available: http://www.visam.com.tr

[2] Akyol E., Saraç T., "Paralel Makina Çizelgeleme Problemi için bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli: Ortak Kaynak Kullanımı", GU J Sci, Part C, 5(3): 109-126, 2017.

[3] Saraç T., Sipahioğlu A., "Plastik Enjeksiyon Makinalarının Çizelgelenmesi Problemi", MMO Endüstri Mühendisliği Dergisi, Volume:20, Issue: 2, 2-14, 2009.

[4] Öztürk Cemalettin & Arslan M. Ornek, "Operational extended model formulations for Advanced Planning and Scheduling systems", Izmir University of Economics, Dept. of Industrial Engineering, Applied Mathematical Modelling, Volume 38, Issue 1, Pages 181-195, 2014.

[5] Chen Chun-Lung & Chen Chuen-Lung, "Hybrid metaheuristics for unrelated parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 43, Article number: 161, August 2008.

[6] Ramadan Saleem Z., Gürsel A. Süer, "A Dual Fitness Function Genetic Algorithm: Application on Deterministic Identical Machine Scheduling ", Worl Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Indstrial and Manufacturing Engineering, Vol:7, No:1, 2013.

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

İNCİ GS YUASA ŞİRKETİ'NDE AKÜ ÜRETİMİ İÇİN PARALEL İŞGÜCÜ ATAMA PROBLEMİ

Aslıhan Erdoğan, Ayşenur Talı, Berfu Kırcalı, Buket Günal, Ecem Nazlı Dedecengiz, Serra Nur Çolakoğlu, Yağmur Irmak

Akademik Danışmanlar

Doç.Dr. Banu Yetkin Ekren, Araş.Gör. Damla Yüksel

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

İnci Akü San. ve Tic. A.Ş., 1984 yılında Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde İnci Holding'in ortaklarından biri olan Cevdet İnci tarafından kurulmuştur. 1984 yılındaki kuruluşunun hemen ardından 1985 yılında araç üreticileri ile ilk çalışmalarına başladı. İnci Akü, Japonya menşeili GS Yuasa ile birleştirerek 2015 yılı itibarıyla İnci GS Yuasa Akü Sanayi ve Ticaret A.Ş. unvanıyla faaliyetlerine devam etmektedir. İnci GS Yuasa firmasının Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde Starter-1, Starter-2 ve Endüstriyel olmak üzere 3 tesisi bulunmaktadır. Ayrıca, bitirme projesi üzerinde çalıştığımız Starter-2 tesisinin devreye alınmasıyla Türkiye'nin en büyük akü üreticilerinden biri haline gelmiştir. Starter-2 tesisinde İnci Akü ve Yuasa Akü olmak üzere iki farklı marka için akü üretmektedir [1].

Vizyonu; müşterileri, çalışma arkadaşları, iş ortakları, tedarikçileri ve çevre için en güvenilen enerji depolama şirketi olmaktır. İlkeleri; mücadele ruhu, karar verme, takım çalışması ve mükemmelliktir [2].

Bu projede bir akü firmasında üretim sahasındaki darboğazlar tespit edilerek akünün çevrim süresinin en aza indirilmesi, sistem analizi yapmak ve çeşitli senaryoları uygulamak amacıyla mevcut sistemi Arena Simülasyon Programında modelleyerek iş istasyonları arasında iş gücünü dinamik dağıtan bir çalışma yapılmıştır. Yaptığımız proje sonucunda, işçilerin boş zamanının minimize edilmesi, darboğaz nedeniyle oluşan üretim aksamalarının ortadan kaldırılması, işlere paralel işçi atama kavramının üretime entegre edilmesi, sipariş gecikmelerinin ve maliyet artışının azalması, fazla vardiyaların ortadan kalkması gibi yenilikler gerçekleştirerek üretilen akü miktarını arttırmayı hedefliyoruz. Proje kapsamında, iş paralelliği yaklaşımı benimsenerek, mevcut üretime yönelik bazı varsayımlar ve kısıtlamalar ile gerçek fabrika verilerini kullanan ve çeşitli akü tiplerinin üretimi için uygulanabilecek bir benzetim modeli üzerinde çalışılmıştır [3].

Proje kapsamında bulunan semptomlar aşağıdaki gibidir;

- Üretim sahasında makine kaynaklı gecikmeler nedeniyle ortaya çıkan darboğazların giderilmesi gerekmektedir.
- Bazı istasyonlardaki işçilerin boş zamanlarının oluşmasıyla meydana gelen işgücünün verimsiz kullanılmasının önüne geçilmesi için planlama yapılması gerekmektedir.
- İşgücünün verimsiz kullanılması, üretim oranın düşmesine neden olmaktadır. Yapılacak işgücü kullanım optimizasyonuyla birlikte bu problemin giderilmesi gerekmektedir.

II. PROBLEM TANIMI

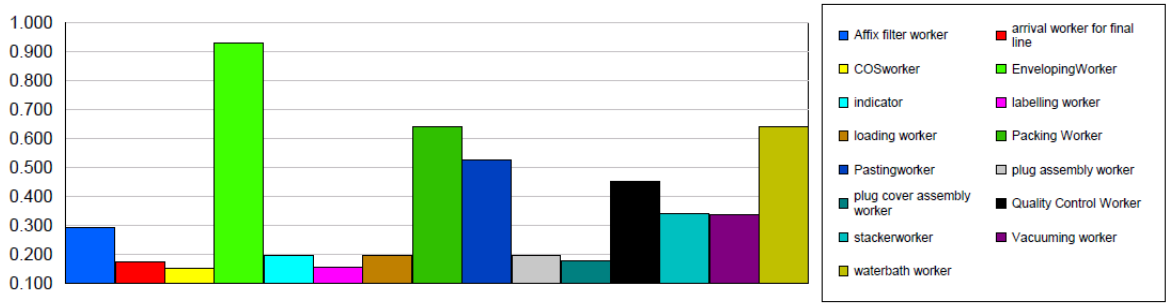
Starter-2 tesisi bir montaj hattı ve bir final hattından oluşmaktadır. Montaj hattında 8 işçi ve final hattında 12 işçi olmak üzere toplam 20 işçi bulunmaktadır. Şirket, İnci Akü ve Yuasa Akü marka adı altında 2 tip akü üretmektedir. İnci GS Yuasa fabrikasında belirli bir operasyon sırası vardır. Ürün türlerine göre, iş istasyonlarındaki işlem süreleri ve ürünlerin iş istasyonlarındaki sırası değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, farklı ürün türleri için farklı iş istasyonlarında darboğazlar meydana gelmektedir. Bu durum üretimde gecikmelere neden olmaktadır. Bu gecikmeler, işçileri zorunlu fazla mesai yapmak zorunda bırakmaktadır ve bu da maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca, işçilerin düşük işgücü gereksinimleri olan bazı istasyonlarda boş kalma durumları oluşabilmektedir. Bu durum işgücü verimliliğini azaltmaktadır. Tüm bu durumlar dikkate alındığında, şirket işgücünü maksimum düzeyde kullanmak ve bir akünün üretim süresini en aza indirmek istemektedir. Bunların yanı sıra, boş kalma süresi oluşan işçiler, üretimi olumsuz etkilemeyecek şekilde bir başka işçiye yardımcı olabilmektedirler. Bu durum, aynı işleme birden fazla işçinin atandığı iş paralelliği olarak düşünülebilmektedir.

Projemizde, yukarıda belirtilen problemlerin çözülmesi adına, bir akünün çevrim süresinin en aza indirilmesi göz önünde bulundurularak iş istasyonları arasında işgücü atayan bir en iyileme çalışması yapılmıştır.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

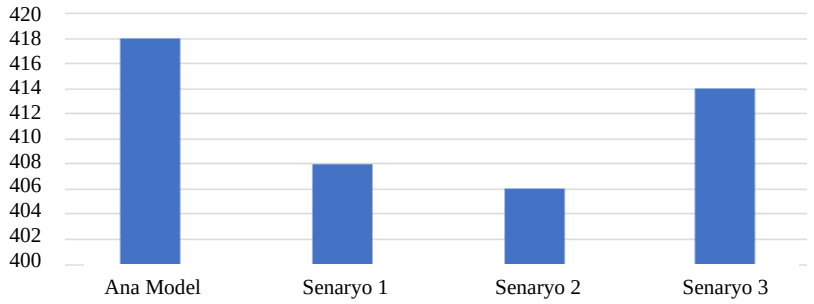
Güncel sistemde mevcut olan problemin incelemesi yapılıp, proje yürüttüğümüz firmanın istekleri ve ihtiyaçları göz önünde bulundurularak iş gücü kullanımını arttırmak ve çevrim süresini düşürmek amacıyla çeşitli çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Üretim sahasındaki bazı operasyonların birden fazla işçi tarafından aynı anda ve birbirlerini etkilemeksizin yapılabileceği gözlemlenmiştir. Bu nedenle paralel görev ataması yapılmasının uygun olacağı tespit edilmiştir. Yapılan tespitler doğrultusunda paralel görev atamayı amaçlayan ve çevrim süresini minimize eden bir matematiksel model geliştirilmiştir [4]. Bu matematiksel modelin uygunluğunu değerlendirmek için örnek bir problem verilerini kullanarak, IBM CPLEX ILOG OPL ile çözülmüştür [5].

Projenin ikinci kısmında geliştirilen matematiksel model, mevcut sistem ile entegre edilmeye çalışılmıştır. Ancak, sistemin dinamikliği, gerçek zamanlı darboğazların belirlenme ihtiyacı, kuyrukta bekleyen işlerin takip gereksinimi nedeniyle, oluşturulan matematiksel model darboğazları tespit etmekte ve dinamik işçi atamada yetersiz kalmıştır. Bu nedenle, problemin benzetim modeli ile modellenerek işçilerin yerlerinin dinamik olarak değişmesine izin veren politikaların geliştirilmesi öngörülmüştür. Modelde, bir vardiyada tek tip ürün üretilmektedir. Bir operasyona birden fazla işçi atanabilmektedir. Otomasyon makineleri ve farklı binalardaki montaj hattından final hattına sağlanan malzeme ve ürün akışında harcanan zamanlar göz ardı edilmiştir. Kürleme ve Waterbath operasyonlarının bekleme süreleri simülasyon modeline dahil edilmemiştir. Benzetim modelinde geliştirilen modelde, darboğazlar gözlemlenmiş ve Şekil 1'deki gösterildiği gibi rapor edilmiştir.



Şekil 1. Operasyonlardaki Darboğazlar

Mevcut sistemin iyileştirilmesi amacıyla, benzetim modelinde, kuyruk uzunlukları dikkate alınarak üç farklı senaryo geliştirilmiştir. İlk senaryoda, bir ürünün üretimi boyunca geçtiği üç farklı üretim hattının her birinin kendi içinde dinamik olarak işçi değişimi gözlemlenmiştir. İşçi değişimine izin verilmesi için iki kural mevcuttur. Birinci kural; eğer operasyonun kuyruk uzunluğu on ürün parçasından fazla ise, o üretim hattındaki boşta kalan işçi, kuyruk uzunluğu fazla olan operasyona yardıma gitmelidir. İkinci kural; yardıma giden işçinin asıl operasyonunun kuyruğunda ürün bekliyor ise, kendi operasyonuna geri dönmektedir. Böylece üretimde aksaklık yaşanmamaktadır. İkinci senaryoda, üretim hatlarında gözlemlenen yalnızca darboğazlar ve boş zamanı fazla olan operasyonlar arasında dinamik olarak işçi değişimi yapılmaktadır. Gözlemler sonucunda darboğaz oluşan operasyonlar zarflama ve paketleme operasyonlarıdır. İlk senaryoda belirtilen kurallar ikinci senaryo için de geçerlidir. Üçüncü senaryoda montaj ve plaka hattı bir bütün olarak düşünülüp kendi aralarında ve final hattının kendi içinde dinamik olarak işçi değişimine izin verilir. Birinci senaryodaki kurallar, bu senaryo için de geçerlidir. Belirtildiği üzere, dinamik olarak işçi değişimine izin veren üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoların arasından en iyi senaryoyu belirlemek için, her sistemin ortalama çevrim süresi baz alınarak, istatistiksel karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere, yapılan karşılaştırma sonucunda en iyi senaryonun ikinci senaryo olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 2. Ortalama Çevrim Süreleri

Karar destek sistemi ve kullanıcı ara yüzü, projemizin ana çıktısıdır. Şirket sorunlarına çözüm bulma sürecinde yapılan modellerin şirket tarafından kolayca uygulanabilmesi için MS Excel ve Arena benzetim yazılımı kullanılarak kullanıcı için iki farklı ara yüz oluşturulmuştur. Oluşturulan ara yüzler, fabrikadaki üretimden sorumlu çalışanlar tarafından kolaylıkla kullanılabilecektir. İlk olarak, benzetim modelinde, ana model ve üç farklı senaryo modelleri kendi içlerinde aynı ara yüze sahiplerdir. Bu ara yüzler birbirini etkilememektedir. Arena simülasyon yazılımında oluşturulan Şekil 3'te gösterilen ana modele ait ara yüzde ve Şekil 4, 5, 6'da gösterilen senaryolara ait ara yüzlerde kullanıcının belirlediği ürün tipi için operasyonlardaki çalışan işçi sayısı, bir aküde bulunması gereken plaka sayısı, vardiya sayısı, modelin kendini tekrarlama sayısı, her operasyon için üretim zamanını manuel olarak girmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, bir bataryanın ürün tipi içindeki plaka sayısına göre değişmektedir. Eğer kullanıcı sisteme yeni bir ürün tipi girmek isterse belirttiği markaya ait bataryanın plaka sayısını değiştirebilir. Kullanıcı verileri ara yüze girdikten sonra model otomatik olarak çalışmaktadır. Modelden çıkan sonuçları otomatik olarak ilgili modelin kendi CSV dosyasına kaydetmektedir. Makro içeren ortak MS Excel dosyası ile CSV dosyaları arasında bir köprü oluşturulmuştur. Macro içeren MS Excel dosyasında ana modelin ve üç farklı senaryonun çıktılarını analiz etmek için VBA ara yüzü hazırlanmıştır. Kullanıcı bu ara yüze ulaşmak için giriş sayfasındaki "Welcome Page" butonuna basmalıdır. Giriş sayfasında Şekil 7'deki ara yüz açılacaktır. Kullanıcı öncelikle kendi kişisel bilgilerini (Ad-Soyad) ve günün tarihini girmelidir. Ara yüzün sağ tarafında her bir senaryo için iki farklı çıktı seçeneği ("Resource Utilization" ve "Queueing Waiting Times") bulunmaktadır. Kullanıcı, seçtiği senaryoya ait olan düğmelere bastığında, ara yüzde Şekil 8 ve 9'da görüldüğü gibi açılan mesaj kutusunda detaylı bir şekilde çıktıları görmesine izin verilir. Bu mesaj kutuları ait olduğu modelin ürün tipini, ortalama çevrim süresini, vardiya sayısını ve ilgili çıktının bilgisini kullanıcıya sunar. Kullanıcı, çıktıları görsel olarak karşılaştırmak için ara yüzün sol tarafında bulunan grafik seçeneklerini kullanır. Şekil 4'da görüldüğü üzere kullanıcı üç farklı çıktıyı grafiksel olarak karşılaştırabilir. Bu sayede kolaylıkla en iyi senaryoyu belirleyebilir.

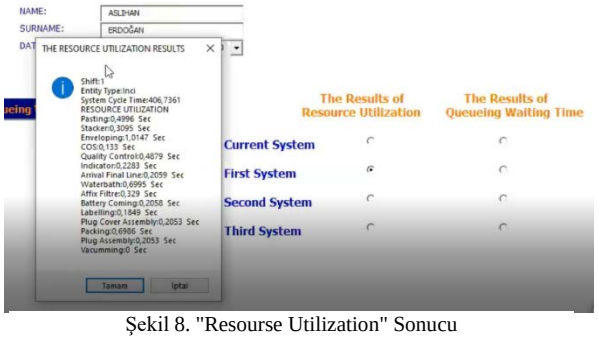
Şekil 3. Arena Simülasyonunda Ana Model Arayüzü

Şekil 4. Arena Simülasyonunda İkinci Senaryonun Arayüzü

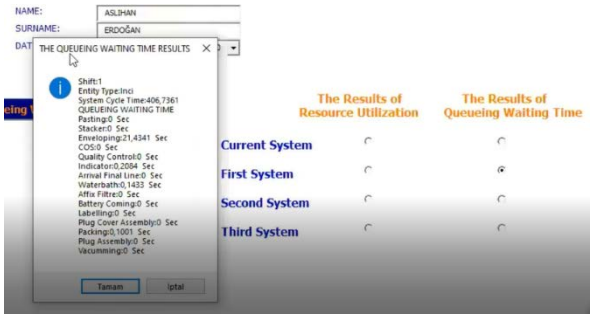
Şekil 5. Arena Simülasyonunda Birinci Senaryonun Arayüzü

Şekil 6. Arena Simülasyonunda Üçüncü Senaryonun Arayüzü

Şekil 7. Excel VBA'da Ana Model Arayüzü



Şekil 8. "Resourse Utilization" Sonucu



Şekil 9. "Queueing Waiting Times" Sonucu

IV. SONUÇ

Projemizin ilk aşamasında matematiksel model geliştirilmiş ve ikinci aşamasında ise mevcut üretim sisteminin benzetim modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan benzetim modelinde darboğazlar belirlenmiştir ve işçiler darboğazlara göre dinamik olarak operasyonlara atanmıştır. Bu atama için kuyruk uzunluğuna bağlı senaryo tabanlı değişim senaryoları geliştirilmiştir. Bu senaryoların çıktıları, benzetim programı ve MS Excel VBA programı arasında veri akışı sağlanarak kullanıcıya sunulmuştur. Oluşturulan senaryolardan alınan çıktılar doğrultusunda en iyi sonuç veren senaryonun bulunması hedeflenmiştir. Geliştirilen senaryolardan en iyi sonucu verdiği gözlenen senaryo ile hedeflenen çevrim süresinin minimize edilmesi gerçekleşmiştir. Sonuç olarak bu proje ile iş gücü kullanımının verimliliği arttırılmış olup, çevrim süresi azaltılmıştır.

V. TEŞEKKÜR

Bu proje, “2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı” kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir.

REFERANSLAR

[1] Vikipedi, 2020, İnci GS Yuasa Akü
[2] Parallel Workforce Assignment Problem for Battery Production in Inci GS Yuasa Company, 2019, Yaşar University Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering IE 4910 System Analysis Report
[3] Hermann at al. (1996), Heuristic for Unrelated Machine Scheduling with Precedence Constraints, European Journal of Operational Research.
[4] Hakan Altunay, Hüseyin Cenk Özmutlu & Seda Özmutlu, Paralel Görev Atamalı Montaj Hattı Dengeleme Problemi için Yeni Bir Matematiksel Model Önerisi, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, 2017.
[5] Halil & Erdal, 2014, A Priority Rule Based Production Scheduling Module and Faborg-Sim Simulation Tool, Gazi University Journal of Science.

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

ÇOK MODELLİ ÇOKLU HAT DENGELEME SÜRECİ ENİYİLEME PROBLEMİ

Ahmet Gülseven, Beste Çağlayanırmak, Doğukan Başgöl, Evren Demir,

Muharrem Eren Tekin, Meltem Kırbaş, Onur Orhan

Akademik Danışmanlar

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

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Bu çalışma, küresel bir kombi imalat şirketi olan Bosch Termoteknik'te üretimi yapılan birden fazla model için çoklu hat dengelemesinin uygulanmasını amaçlamaktadır. Şirket, farklı tiplerde kombiler ve yedek parçalar üretmektedir. Şirket tarafından şu anda yapılan hat dengeleme işlemi, gözlem ve tecrübeye dayalı olduğu için bilimsel ve sistematik açıdan yetersiz olabilmekte; zaman, kapasite kayıplarına ve maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeplerle toplam maliyette önemli kayıplar yaşanabilmektedir. Aynı zamanda, gözleme dayalı olarak yapılan dengeleme işlemi, doğru çevrim sürenin hesaplanamamasına ve ciddi iş gücü kaybına yol açmaktadır. Şirketin talebi doğrultusunda, daha hızlı ve daha kolay şekilde gerçekleştirilen, yüksek verimliliğe ulaşan, iş gücü kaybını mümkün olduğunca aza indirgeyen bir hat dengeleme işlemi amaçlanmış, bu doğrultuda dengeleme işleminin bütün modeller için bütün hatlarda aynı anda dengelenmesine karar verilmiş, matematiksel model kurulmuş ve işlemin kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi hazırlanmıştır. Yapılan çalışma yönetilirken, planlanan aşamaların neleri içereceğine ve ne zaman yapılacağına karar verilmiş, ardından olası riskler ve çözüm önerileri analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, öncelikle literatür taraması yapılmış, benzer çalışmalar incelenmiş ve planlanan çalışmaya benzer bir çalışma bulunamaması nedeniyle bu çalışmanın akademik açıdan da ulusal bir katkı sağlaması hedeflenmiştir. Diğer çalışmalara ek olarak literatüre asıl katkı sağlanan konu, birden fazla hattın birlikte dengelenmesidir. Üzerine çalışılan problemin çözümü olarak, sadece ilgili şirkete değil, benzer üretim yapılan bütün firmalara kolayca uyarlanabilir genel bir çözüm planlanmıştır. Bu da yapılan çalışmanın bu açıdan yenilikçi bir çalışma olmasını sağlamış ve çalışmaya geniş bir uygulama alanı yaratmıştır.

II. PROBLEM TANIMI

Bu çalışma, Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima Tic. San. A.Ş. ile iş birliği içinde yapılmaktadır. Bosch'un çalışmamızın yapıldığı Manisa fabrikasında her yıl 900.000'den fazla ürün üretilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, üretimin çoğunluğunun sağlandığı üç hattın, birden çok modelle aynı anda hat dengelemesini yapan bir çözüm yöntemi oluşturmaktır. Bahsedilen üç hat, Bosch Manisa fabrikasındaki üretimin %70'ini oluşturmaktadır. Bu üç hattan ikisi aynı karakteristiğe sahiptir fakat diğeri daha fazla sayıda iş istasyonu ve daha fazla sayıda son test istasyonu gibi bazı farklılıklara sahiptir. Hat dengelemesi yapılırken hedef, üç hattın ağırlıklı hat verimliliklerinin ençoklanmasıdır. Ağırlıklı hat verimliliği ile kastedilmekte olan, modellerin talep edilen ürün miktarlarının da göz önünde bulundurulduğu bir verimlilik hesaplamasıdır.

Şirketin talebi, hat dengeleme prosedürleri sırasında oluşan zaman ve para kaybının en aza indirildiği, talebe bağlı ağırlıklı hat verimliliklerini en yüksek seviyede tutarken hat kapasitelerinin en iyi şekilde kullanıldığı, daha bilimsel, sistematik ve tutarlı hat dengelemesi yapılmasına ve farklı senaryoların incelenebilmesine olanak sağlayan bir Karar Destek Sistemi oluşturulmasıdır. Şirketin bu sistemi istemesinin nedeni, şu an şirkette yapılan hat dengeleme işleminin 20 saat gibi uzun bir sürede gerçekleşmesi, dengeleme işlemi gözleme ve tecrübeye dayalı yapıldığından en iyi olası sonucun bulunamaması, dengelemeyi yapması gereken kişinin hata yapması durumunda bütün işlemin yeniden yapılması gerekmesi ve dolayısıyla oluşan iş gücü kaybıdır. Bu tip hatalı dengelemeler hatların verimliliğini azaltmakta ve gerçek kapasitelerinin altında çalışmalarına sebep olmaktadır. Bu sebeplerle toplam maliyette büyük farklar doğabilmektedir. Ayrıca hatlar aslında olabilecek olan kapasitelerinden daha aşağıda çalıştıkları için şirket planlamacıları potansiyel verimlilik fırsatlarını gözlemleyememektedirler. Dolayısıyla çok modelli çoklu hat dengeleme, seri üretim yapılan şirketlerde sıklıkla karşılaşılan, akademik olarak çözülmesi zorlu bir problemdir.

Karar Destek Sisteminin yapılmasının temel amacı daha hızlı, sistematik ve tutarlı dengelemeler yaparak, elle yapılan hat dengelemelerinde oluşabilecek hataları engellemek, süreç içinde harcanan para ve zaman kaybının önüne geçmek ve kapasitelerin daha iyi kullanıldığı hatlar elde edip olası bütün sonuçları inceleme imkanına sahip olmaktır.

Bu çalışmada kullanılan veriler, Bosch Manisa fabrikasında belirtilen üç ana üretim hattının verileridir. Var olan talepler model bazında karşılanırken, hatların ağırlıklı verimliliklerinin ihtimal dahilindeki en yüksek seviyeye çıkmasına olanak sağlayan, hata payını ve maliyetleri en aza indirgeyen ve farklı senaryoların incelenmesine olanak sağlayan bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Farklı senaryoların incelenmesi ile kastedilen yöntem, ilgili mühendisin yıllık talep ve hatta dengelenen

modellerin üretim miktarları gibi değişkenleri değiştirerek gerçek hayatta gözlemlenmesi olanaksız durumları gözlemleyip, üretim planlamasına önemli katkıda bulunabileceği durumları analiz edebilmesini sağlamaktır.

Literatür taraması yapılırken, genel hat dengeleme problemlerine bakıldığında, hat dengelemelerin amaçlarının minimum çevrim süresi, minimum istasyon sayısı ve maksimum verimlilik olduğu görülmüştür. Problemimiz de birden çok hattın maksimum verimliliğine odaklandığı için literatür taraması öncelikle verimlilik üzerine yapılan çalışmalar hakkında yapılmıştır. Fakat verimlilik maksimizasyonu hakkında literatürde problemimiz için yeterli sayıda çalışma yoktur. Onun için tasarlayacağımız sistemi geliştirmek adına, minimum çevrim süresine ve minimum istasyon sayısına odaklanan makalelerden de faydalanılmıştır.

Literatürdeki hat dengeleme üzerine yapılan en erken çalışmalar, minimum çevrim süresi ve minimum istasyon sayısına odaklanmaktadır. Bu amaçla, D. Sparling ve J. MiltenBurg [1] minimum çevrim süresi için operasyonları her istasyonda deneyen bir algoritma tasarlamıştır. Ajenblit ve Wainwright [2] minimum istasyon sayısını bulmak için bir genetik algoritma tasarlamış, Bukchin ve Rabinowitch [3] ise dallanma ve sınırlandırma yöntemi kullanarak aynı hedefe odaklanmıştır. Gokcen ve Agpak [4] ve Levitin ve arkadaşları [5] ise aynı anda hem minimum istasyon sayısına hem de minimum çevrim süresine ulaşmak için hedef programlama yöntemini kullanmıştır.

Problemimizle ortak amaca sahip olmasından dolayı, verimlilik maksimizasyonunu amaçlayan çalışmalar da taranmıştır. Fakat bu konuda az sayıda çalışma bulunmaktadır. En eski çalışma, Chakravarty [6] tarafından yapılmıştır. Eryuruk ve arkadaşları [7] pozisyon ağırlığı metodu kullanarak hat dengelemeyi maksimize etmeye odaklanmıştır. Ozcan ve Toklu [8] bir sezgisel yöntem tasarlamış ve hem minimum çevrim süresine hem de maksimum verimliliğe odaklanan bir çalışma yapmıştır. Al-zubaidy ve Alrazaq [9] ise pozisyon ağırlığı metoduyla maksimum verimlilik üzerine çalışmıştır. Bu çalışma, problemimize özellikleri açısından en çok benzeyen probleme sahip olduğu ve sonucunda bulunan verimlilik gayet yüksek ve kabul edilebilir olduğu için, çözüm yöntemi tasarlanırken en çok yararlanılan çalışma olmuştur.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Proje için çözüm modeli oluşturulurken, öncelikle literatür taramalarının da yardımıyla tek hat birden çok model üzerine hat dengelemesi yapan bir matematiksel model kurgulanmıştır. Ençoklamak istediğimiz asıl konu hatların en yüksek verimlilikte üretim yapması olduğu için, model bu amaca göre hazırlanmıştır. Hazırlanan bu matematiksel modele fabrikada üretilen iki modelin gerçek verileri entegre edilmiş ve bu doğrultuda matematiksel model çalıştırılmıştır. İki model için elle de bir dengeleme yapılmış ve sonuçlar, matematiksel modelin yaptığı dengeleme ile karşılaştırılmıştır. Gerekli doğrulamalar yapıldıktan ve modelin doğru şekilde çalışıp tutarlı sonuçlar verdiğinden emin olunduktan sonra, model bütün gerçekçi verilerin girilmesiyle genişletilmiş, üretilecek olan yeni bir modelin de entegrasyonunu sağlayan dinamik bir matematiksel model haline getirilmiştir. Birden fazla hattın dengelenmesi amaçlandığı için, modellerin hatlara farklı talep yüzdeleri ile denenebileceği, çoklu hat dengelemeyi sağlayan bir atama algoritması tasarlanmıştır.

Atama algoritmasının genel çalışma prensibi, birden çok modelin birden çok hatta üretimi için farklı senaryoların denenip, bu doğrultuda senaryolar arasındaki genel verimliliğin karşılaştırılması ve en yüksek verimliliğe sahip üretim senaryosunun seçilmesi şeklindedir. Genel verimlilik hesaplaması yapılırken ayrı ayrı dengelemesi yapılan hatların kendi verimlilikleri maksimize edilip ardından bu verimliliklerin ortalaması alınmaktadır. Atama algoritması senaryoları oluştururken modeller için oluşan talep sayılarını kullanır ve modelleri hatlar üzerine belirli talep yüzdeleri kullanarak dağıtır. Bu doğrultuda, her modelin her hatta farklı talep sayıları da oluşturularak denenmesi ve en yüksek verimliliğe ulaşılması amaçlanır. Atama algoritması, bu senaryo analizini yaparken, hatların üretim kapasitesi, modellerin hangi hatlarda üretilebileceği gibi koşulları da göz önünde bulundurmakta ve bu doğrultuda senaryolardan gerekli eliminasyonu yapmaktadır. Algoritmanın modelleri hatlara nasıl bir yüzde ile dağıtacağı mühendis tarafından başta belirlenebilmektedir. Buna bağlı olarak senaryo sayısı artmakta veya azalmakta, doğrusal olarak modelin çalışma süresi uzamakta veya kısalmaktadır.

Atama algoritması modelleri hatlara dağıtıp belirlenen yüzdeye ve kısıtlara göre bütün olası senaryoları bulduktan sonra, her hat için farklı istasyon sayıları gibi etkenler dolayısıyla ayrı ayrı oluşturulan matematiksel modeller devreye girer, her olası senaryo için hatların tek tek verimlilikleri hesaplanır ve ardından bütün hatları kapsayan ortalama verimlilik bulunur. Bütün senaryolar

bulunduktan sonra sistem en yüksek ortalama verimliliğe sahip senaryoyu gösterir. Bu senaryo gösterme ve dengeleme işlemleri kullanışlılık etmenleri de göz önünde bulundurularak, Excel üzerinden bir karar destek sistemiyle sağlanmaktadır. Karar destek sistemi üzerinden, dengelemeyi yapan kişi, bütün senaryoların ortalama verimliliği görebilme imkanına da sahiptir. Aynı zamanda, kişi, karar destek sisteminde kendi istediği şekilde hatlara modelleri dağıtabilmekte ve verimlilik hesaplaması yapabilmektedir. Çözüm yönteminin aşamaları;

- Kullanıcı tarafından dengelenmesi istenen modellerin operasyonlarının öncüllük ilişkileri ve süreleri, talep miktarları, hangi hatlarda üretimi yapılabildiği, model adı, resmi ve atama algoritması için istenen talep yüzdesinin sisteme girilmesi.
- Belirlenen talep yüzdesine göre modellerin hatlara atanıp olası bütün senaryoların bulunması.
- Bulunan olası senaryolara göre her hat için, hatların farklı özellikleri dolayısıyla ayrı ayrı hazırlanan matematiksel modellerin çalışması.
- Matematiksel modellerin her senaryo için hat başına verimliliklerinin ençoklanması.
- Ençoklanan hat verimliliklerinin senaryo için genel ortalamasının alınması.
- Genel ortalama verimliliği en yüksek olan senaryonun kullanıcıya sunulması, şeklinde özetlenebilir.

Hat dengeleme için kurulan matematiksel model aşağıda görülebilir.

İndeksler;

i Operasyon numarası, i ∈ Im = {1,2,…|Im|}
j İstasyon numarası
m Model
P_{im} m modelinin i operasyonundan önce yapılması gereken operasyonların kümesi
S_{im} m modelinin i operasyonundan sonra yapılması gereken operasyonların kümesi
R_m m modeli için iki operasyonun birbirine göre öncüllük ilişkisi kümesi, (p,q) ∈ Rm , eğer operasyon p, operasyon q'nun bitişik öncülü ise
T_m Model m için bütün operasyonların sürelerinin kümesi
I_m Model m için bütün operasyonların kümesi
It_m Model m için test operasyonlarının kümesi, Itm ⊂ Im
JT_i Test operasyonlarının yapılacağı test istasyonlarının kümesi
JA_{im} Model m'in i operasyonunun atanabileceği istasyonların kümesi, i ∈ Im
M Atanabilir modellerin kümesi

Parametreler;

FT_m Model m için son test operasyonunun süresi
NOS Hattaki toplam istasyon sayısı
t_{im} Model m'in i operasyonunun işlem süresi
TPT_m Model m için toplam işlem süresi
D_m Model m'in ilgili hatta üretilmesi istenen yıllık talep miktarı
D Tüm modeller için yıllık toplam talep miktarı
WA_m Model m için talep oranı
U_{im} Model m'in i operasyonunun en erken atanabileceği istasyon numarası
L_{im} Model m'in i operasyonunun en geç atanabileceği istasyon numarası
MP Hatta üretilecek toplam model sayısı
AW Yıllık çalışma süresi.
SOR İstasyon kullanım oranı

Karar Değişkenleri;

x_{ijm} 1, eğer model m'in i operasyonu j istasyonuna atanmışsa; 0, diğer durumlarda.
CT_m Model m'in çevrim süresi

Amaç Fonksiyonu;

$$Min \sum_{m=1}^{MP} \left(\frac{NOS * CT_m}{WA_m * TPT_m}\right) \tag{1}$$

Öyle ki;

$$\sum_{i=1}^{I_m} t_{im} * x_{ijm} \leq CT_m, \quad \forall j \in J, \forall m \in M \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{NOS} x_{ijm} = 1, \quad \forall i \in I_m, \forall m \in M \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{NOS} j\left(x_{qjm} - x_{pjm}\right) \geq 0, \qquad (p,q) \in R_m, \forall m \in M \tag{4}$$

$$\sum_{\forall j, j \in JT_i} x_{ijm} = 1 \quad, \forall m \in M, \qquad \forall i \in It_m \tag{5}$$

$$x_{ijm} = 0, \text{ if } j < U_{im} \text{ and } j > L_{im}, \ \forall i \in I_m, \forall m \in M \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^{I_m} \frac{(t_{im} * x_{ijm})}{CT_m} \leq SOR, \quad \forall j \in J, \forall m \in M \tag{7}$$

$$\sum_{m=1}^{MP} D_m * CT_m \leq AW, \qquad \forall m \in M \tag{8}$$

$$CT_m \geq FT_m, \qquad \forall m \in M \tag{9}$$

$$WA_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{MP} D_m}, \quad \forall m \in M \tag{10}$$

$$x_{ijm} \in \{0,1\}, \ \forall i \in I_m, \ \forall j \in J, \ \forall m \in M \tag{11}$$

Kısıtların Açıklamaları:
(2). Kısıt: İstasyon sürelerinin çevrim süresini aşmama kısıtı,
(3). Kısıt: Her işin mutlaka bir istasyona atanma kısıtı,
(4). Kısıt: Öncüllük ilişkisi kısıtı,
(5). Kısıt: Test operasyonlarının test istasyonlarına atanma kısıtı,
(6). Kısıt: Bir operasyonun atanabileceği en erken istasyondan önce veya en geç istasyondan sonra atanmaması kısıtı,
(7). Kısıt: İstasyon doluluk kısıtı,
(8). Kısıt: Talep karşılanma kısıtı,
(9). Kısıt: Çevrim süresinin son test süresinden büyük olması kısıtı,
(10). Kısıt: Ağırlıklı ortalama talep kısıtı,
(11). Kısıt: İşaret kısıtı.

Kurulan algoritma sayesinde bulunan olası senaryoların hatlara özel hazırlanan matematiksel modellerde çalışması sonucunda, şirket tarafından belirlenen model talepleri kullanılarak bulunan en iyi senaryo; model 2 ve 3'ün hat 4'e, model 1'in hat 5'e ve model 1 ve 3'ün hat 6'ya farklı talep yüzdeleriyle atanması şeklindedir. Bu atama sırasında modeller için verilen talep oranlarına göre hareket edilmektedir. Çıkan sonuca göre hat 4, hat 5 ve hat 6 için ağırlıklı verimlilikler sırasıyla 0.83, 0.76, 0.74 ve bunların ortalaması sonucunda bulunan 3 hattın genel verimliliği de 0.78'dir. Genel çözüm yönteminin sonuçlara ulaşana kadar geçen toplam çalışma süresi 1.1 saattir. Bu işlemler de dahil olmak üzere, hazırlanmış olan karar destek sisteminde, kullanıcı bütün senaryoların verimliliğini görebilmektedir. Ek olarak, kullanıcı kendisi de karar destek sistemindeki bir alan sayesinde istediği modelleri, istediği hatlara atayarak kendi senaryolarının verimlilik sonuçlarına da ulaşabilir.

IV. SONUÇ

Bu çalışma öncesinde firma, sezgisel şekilde, çalışanların tecrübelerine dayanarak yapılan, bilimsel bir yöntem kullanılmayan ve uzun süren bir hat dengeleme işlemine sahiptir.

Yapılan çalışma sayesinde, firmanın birden çok modeli birden çok hatta öncekinden çok daha kısa bir sürede dengeleyebileceği bir sistem tasarlanmıştır. Bu sayede oluşan maddi kayıplar da en aza indirgenecektir. İşlevselliği de göz önünde bulundurularak Microsoft Excel Visual Basic for Applications (VBA) üzerinden bir karar destek sistemi tasarlanmış ve bu karar destek sistemi oluşturulurken kullanıcı dostu bir ara yüz amaçlanmıştır. Karar destek sisteminin kullanılması sonucunda, kişi bütün olası senaryoların sonuçlarını inceleyebilmekte ve kendisi de istediği modeli istediği hatta atayıp bu doğrultuda oluşan verimlilik sonuçlarını da görüntüleyebilmektedir. Çalışma sayesinde yapılan geliştirmeler;

- Firmanın daha önce kullandığı hat dengeleme sistemi yaklaşık olarak 20 saat sürerken hazırlanan çalışmayla yaklaşık 1 saate indirilmesi,
- Önceden deneme yanılma yöntemiyle yapılan hat dengeleme işleminin bilimsel yöntemlerle yapılan tutarlı bir işlem haline getirilmesi,
- Oluşabilecek bireysel hataların en aza indirgenmesi,
- Birden çok hattaki verimliliklerin aynı anda ençoklanması şeklinde özetlenebilir.

Karar Destek Sistemi'nin önemli özelliklerinden biri de şu anda iş birliği içinde bulunulan şirket ile sınırlı kalmayıp, birden fazla hatta seri üretim yapan her firmaya uygulanabilir olmasıdır. Yapılmış olan Karar Destek Sistemi'nin kullanımı ile birlikte, hat kapasitelerinin en iyi şekilde kullanıldığı, zaman kayıpları ve maliyetlerin en aza indirildiği, farklı senaryoların incelenebildiği, dinamik ve kolay şekilde kullanılabilen bir sistem oluşturulmuştur. Bu sayede, yapılan çalışmanın ilgi alanına giren tüm fabrikalar üzerinde uygulanabilme yetkinliğine sahiptir.

REFERANSLAR

[1] D. Sparling and J. Miltenburg, "The Mixed-Model U-Line Balancing Problem", International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 2, pp. 485-501, 1998.
[2] D. A. Ajenblit and R. L. Wainwright "Applying Genetic Algorithms To The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem", IEEE, pp. 96-101, 1998.
[3] Y. Bukchin and I. Rabinowitch "A branch-and-bound based solution approach for the mixed-model assembly line-balancing problem for minimizing stations and task duplication costs", European Journal of Operational Research, Volume 174, Issue 1, Pages 492-508, 2006.
[4] H. Gokcen and K. Agpak "A goal programming approach to simple U-line balancing problem", European Journal of Operational Research, 171:577–585, 2006.
[5] G. Levitin, J. Rubinovitz and B. Shnits "Abstract A genetic algorithm for robotic assembly line balancing", European Journal of Operational Research, 168, 811-825, 2006.
[6] A. Chakravarty "Line Balancing with Task Learning Effects", Iie Transaction, 20, 186-193, 1988.
[7] S. H. Eryuruk, F. Kalaoglu and M. Baskak "Assembly Line Balancing in a Clothing Company", fibres& textiles in Eastern Europe, Vol. 16, No. 1(66), 2008.
[8] U. Ozcan, B. Toklu "A new hybrid improvement heuristic approach to simple straight and U-type assembly line balancing problems", J Intell Manuf 20:123–136, 2009.
[9] S.S. Al-zubaidy and F.F. Alrazaq "Multi-model Production and Assembly Line Balancing (Caravans Production Workshop)", Journal of Babylon University/Engineering Sciences/ No. (4)/ Vol. (21), 2013.

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

HİBRİT AKIŞ TİPİ ATÖLYEDE MÜŞTERİ SİPARİŞLERİNİN ÇİZELGELEMESİ

Melis Gizem AKKAYA, Burak AKSUN, Görkem BOZKURT, Eylül KACAR, Esra KARAKOÇ, İrem KARTOP, Almira ÖZTÜRK

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner, Araş. Gör. Nazlı Karataş Aygün

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Bu proje, hibrit akış tipi üretim sisteminde, müşteri siparişlerini en erken teslim tarihlerine göre sıralamak ve makine kapasite kısıtlarını göz önünde bulundurarak işleri uygun makinelere atamayı amaçlayan bir sipariş çizelgeleme projesidir. Projeyi yürüttüğümüz Kanat Boyacılık'ta co-grind ve pastalı sistem olmak üzere iki çeşit üretim sistemi vardır. Co-Grind üretim sisteminde beş operasyon bulunurken pastalı üretim sisteminde üç operasyon bulunmaktadır. Bu üretim sistemleri özdeş ve ilişkisiz paralel makinelerden oluşmaktadır. Mevcut sistemde, müşteri siparişleri üretim planlama departmanı tarafından tecrübelere dayanarak Microsoft Excel kullanılarak günlük olarak planlanmaktadır. Çizelgeleme, el ile yapıldığı için zaman kaybına neden olmakta ve hatalar meydana gelmektedir. Şirket, oluşan zaman kaybını ve hataları önlemek için verimli bir çizelgelemeye ihtiyaç duymuştur.

Kanat Boyacılık'ın üretim sistemine uygun çizelgelemeyi oluşturmak için literatürdeki mevcut çalışmalar referans alınarak bir matematiksel model geliştirilmiş ve semptomlar analiz edilmiştir. Amaç fonksiyonu, şirketin isteği doğrultusunda siparişlerin gecikme ve erken tamamlanma sürelerinin toplamını en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Geliştirilen matematiksel model IBM ILOG CPLEX v12.6.3 aracılığı ile farklı iş büyüklükleri kullanılarak çözülmüştür [1]. Bu problemin NP-zor olduğu saptanmıştır [2]. Bu nedenle, daha büyük problemlerin çözümüne yönelik sezgisel yaklaşımlar üzerinde çalışılmıştır. Yapılan kapsamlı literatür taraması sonucunda hibrit akış tipi çizelgeleme için genetik algoritmanın en iyi performansı verdiği saptanmıştır [3]. Problemin kısıtları kullanılarak, siparişleri ilgili makinelere atayan ve en uygun üretim sıralamasını çıkaran genetik algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma belirli siparişler için çözülmüş, geliştirilen sezgisel yöntemin doğruluğu ve geçerliliği test edilmiştir. Projenin sonunda elde edilen çözüm yöntemi kullanıcı dostu bir karar destek sistemine entegre edilerek firmaya sunulmuştur.

II. PROBLEMİN TANIMI

Kanat Boyacılık Tic. ve San. A.Ş., 1986 yılında İzmir Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulmuştur. Kuruluşundan bu yana, 30.000 m^2 alanda boya sektöründe faaliyet göstermektedir. Yıllık üretim kapasitesi 23.000 ton olup, genel endüstriyel boyalar, teflon kaplamalar, koruyucu boyalar ve kaplamalar üretiminde uzmanlaşmıştır. Ayrıca, 2014 yılında Osmaniye Organize Sanayi Bölgesi'nde enerji hatlarının kesiştiği özel coğrafyada bir fabrika daha kurmuştur. Bulunduğu konumun avantajları ile müşterilere yeni teknoloji, teknik servis ve lojistik hizmetleri sunmaktadır [4].

Kanat Boyacılık haftada beş gün olmak üzere 08:00-18:00 saatleri arasında çalışmaktadır. Gelen müşteri siparişleri üç gün içinde müşteriye teslim edilmektedir. Şirket, üretim stratejisi olarak hem sipariş için hem de stok için üretimi benimsemiştir. Ayrıntılı olarak açıklamak gerekirse, şirket gelen müşteri siparişlerinin %40'ını anında üretmektedir. Kalan müşteri siparişlerinin %60'ı stoktan sağlanmaktadır. Stok istenen seviyenin altına düştüğünde, ürünler talep geçmişine göre stok için üretilmektedir. Kanat Boyacılık'ta co-grind sistem ve pastalı sistem olmak üzere iki çeşit üretim sistemi bulunmaktadır. Co-grind üretim sisteminde beş operasyon vardır. Bunlar sırasıyla ön karıştırma, ezme, alt ilave, kalite kontrol ve dolumdur. Pastalı üretim sistemi ise yalnızca alt ilave, kalite kontrol ve dolum operasyonlarını içermektedir. Kalite kontrol operasyonunda aynı anda beş farklı ürünün testi gerçekleşebilmektedir. Üretim alanında beş ön karıştırma, yedi ezme, beş alt ilave ve dört dolum makinesi olmak üzere toplam yirmi bir makine bulunmaktadır. Ön karıştırma ve ezme operasyonlarındaki makinelerde kapasite kısıtları bulunmaktadır.

Çizelgeleme çalışmasını uygulamak için yapılan gözlemlere göre, aşamaların her birinde, operasyonlar için özdeş ve ilişkisiz paralel makinelerin olduğu, müşteri siparişlerinin her aşamada bir makineye atandığı görülmüştür. Yapılan literatür taraması sonuçları ile şirketin üretim sistemi karşılaştırıldığında, hibrit akış atölyesi tipi çizelgelemenin bu çalışma için uygun olduğu belirlenmiştir [5].

Kanat Boyacılık'ın mevcut sisteminde, çizelgeleme herhangi bir metodoloji kullanılmadan oluşturulduğu için gecikmelere, üretim kapasitesinin belirlenememesine, işlerin erken üretilip depoda yer kaplamasına ve departmanlar arası iletişimde sorunlara neden olmaktadır. Bu projenin amacı, siparişlerin erken ve geç tamamlanma sürelerinin toplamını en aza indirecek şekilde sıralamak ve makine kapasite kısıtları göz önünde bulundurularak uygun makinelere atamaktır.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Projenin çözümü için öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bunun sonucunda çalışmamıza benzer bir model tespit edilmiştir [6]. Ancak çalıştığımız problemde, bazı makinelerde kapasite kısıtları olması sebebiyle her işin her makinede işlenemediği görülmüştür. Bu nedenle, belirli makineler için kapasite kısıtları eklenmiştir. Problemin amaç fonksiyonu şirketin talepleri doğrultusunda revize edilmiştir. Revize edilen amaç fonksiyonu işlerin geç ve erken tamamlanma sürelerinin toplamını en aza indirecek şekildedir. Bu amaç fonksiyonu doğrultusunda gerekli erken bitme ve gecikme sürelerini hesaplayan kısıtlar modele eklenmiştir. Geliştirilen matematiksel model aşağıda gösterilmiştir.

Kümeler, İndisler, Parametreler

n	iş sayısı
m	operasyon sayısı
i,j	işlerin indisi
k	operasyon indisi
M_k	k operasyonundaki makine sayısı
l	k operasyonundaki makine indisi ($1..M_k$)
P_{ikl}	i işinin k operasyonunda makine l 'de işlem süresi
O_k	k operasyonunda işlenecek işlerin kümesi
d_i	i işinin teslim zamanı
v_i	i işinin miktarı
N_L	ön karıştırma operasyonundaki l makinesinin kapasitesi
W_L	ezme operasyonundaki l makinesinin kapasitesi

Karar Değişkenleri

C_i = i işinin bitiş zamanı

E_i = i işinin erken bitme süresi

T_i = i işinin gecikme süresi

S_{ikl} =i işinin k operasyonunda l makinesinde başlama zamanı

$$Y_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ işinden hemen sonra } j \text{ işi } k \text{ operasyonunda } l \text{ makinesinde işleniyorsa,} \\ 0, & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

$$X_{ikl} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i \text{ işi } k \text{ operasyonunda } l \text{ makinesinde işleniyorsa,} \\ 0, & \text{Aksi durumda} \end{cases}$$

Matematiksel Model

Minimizasyon

$$\sum_{i=1}^{n}(E_i + T_i) \tag{1}$$

Öyle ki;

$$C_i = \sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{M_k}(S_{ikl} + P_{ikl} . X_{ikl}) \qquad \forall\, i \tag{2}$$

$$S_{ikl} \leq M\,(X_{ikl}) \qquad \forall i \in O_k\,, k, l \tag{3}$$

$$\sum_{l=1}^{M_k} X_{ikl} = 1 \qquad \forall\ i \in O_k, l \tag{4}$$

$$T_i \geq C_i - d_i \qquad \forall i \tag{5}$$

$$E_i \geq d_i - C_i \qquad \forall i \tag{6}$$

$$S_{ikl} \geq S_{jkl} + P_{jkl} - M.y_{ijkl} - M.(1 - x_{jkl}) - M.(1 - x_{ikl}) \qquad \forall j, i \neq j, k, l \qquad (7)$$

$$X_{ikl} + X_{jkl} \geq 2\,(Y_{ijkl} + Y_{jikl}) \qquad \forall j, i \neq j, k, l \qquad (8)$$

$$X_{ikl} + X_{jkl} \leq Y_{ijkl} + Y_{jikl} + 1 \qquad \forall j, i \neq j, k, l \qquad (9)$$

$$\sum_{l=1}^{M_k} S_{ikl} \geq \sum_{l=1}^{M_{k-1}} S_{ik-1l} + P_{ik-1l} \qquad \forall\ i, l > 1 \qquad (10)$$

$$v_i.X_{i1l} \leq N_L \qquad \forall i \in O_k, k, l \qquad (11)$$

$$v_i.X_{i2l} \leq W_L \qquad \forall i \in O_k, k, l \qquad (12)$$

$$S_{ikl} \geq 0 \qquad \forall i, k, l \qquad (13)$$

$$C_i \geq 0 \qquad \forall i \qquad (14)$$

$$x_{ikl} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in O_k, k, l \qquad (15)$$

$$y_{ikl} \in \{0,1\} \qquad \forall (i, j) \in O_k, k, l \qquad (16)$$

$$T_i \geq 0 \qquad \forall i \qquad (17)$$

$$E_i \geq 0 \qquad \forall i \qquad (18)$$

Bu modelde amaç fonksiyonu, işlerin gecikme ve erken tamamlanma sürelerinin toplamını en aza indirmektir (1). Kısıt (2), ilk aşamadan son aşamaya kadar tüm işlerin toplam tamamlanma zamanını hesaplar. Kısıt (3), işin işlem görmediği makinelerdeki her işin başlama zamanının 0 olmasını zorlar. Kısıt (4), her aşamadaki makinelere iş atamasını belirler. Kısıt (5), tüm işlerin gecikmesini hesaplar. Kısıt (6), tüm işlerin erken bitme süresini hesaplar. Kısıt (7), her aşamada aynı makinede işleniyorsa, her çift işin tamamlanma zamanını kontrol eder. Kısıt (8) ve (9), X ve Y karar değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Kısıt (10), bir sonraki aşamadaki işin bir önceki aşamada tamamlanmadan başlayamayacağını garanti eder. Kısıt (11), tüm işlerin miktarına göre ilk aşamadaki uygun makineye atanmasını sağlar. Kısıt (12), tüm işlerin miktarına göre ikinci aşamadaki uygun makineye atanmasını sağlar. Son olarak, kısıt (13), (14), (15), (16), (17) ve (18) karar değişkenlerini tanımlar.

Matematiksel model oyuncak veri ile IBM ILOG CPLEX programında Intel Core i7-7700 işlemcili 16 GB RAM'li bilgisayarda çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, oyuncak verilerin el ile çözülmesiyle bulunan sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür. Böylece, matematiksel model doğrulanmıştır. Ayrıca, matematiksel modelin iş sayısı arttırılarak farklı iş büyüklükleri içeren gerçek veriler ile çözülmesiyle elde edilen hesaplama süreleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Farklı İş Büyüklüğündeki Verilerin Hesaplanma Süresi

İş Sayısı	Hesaplama Süresi (sn)
3	**0,60**
5	**1,08**
7	**4,02**
10	**108023,3**
İş Sayısı	**Hesaplama Süresi (sn)**

Problemin NP-zor yapıda olmasından dolayı Tablo 1'de görüldüğü gibi problem boyutu büyüdükçe en uygun sonucun hesaplama süresi katlanarak artmaktadır. Bunun sonucunda kullanılan yöntem daha büyük iş sayıları için verimsiz ve yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple, daha büyük problemlerin çözümü için en uygun sonucu veren sezgisel bir yöntem kullanılmıştır. Yapılan literatür taraması ile büyük ölçekli problemlere en hızlı ve en etkili çözümü sezgisel bir yöntem olan genetik algoritmanın sağladığı belirlenmiş ve problem bu yöntem ile çözülmüştür [7].

Genetik algoritmanın genel adımları aşağıda listelenmiştir.

1. Uygunluk Fonksiyonu ve Çözüm Gösterimi

Uygunluk fonksiyonu, matematiksel modelimizin amaç fonksiyonudur. Matematiksel modelin kısıtları göz önüne alınarak yapılan sıralama ve atama sonucunda amaç fonksiyonu hesaplanır. Bu durumda, çözüm gösterimi müşteri siparişlerini en iyi şekilde ilgili makinelere atamakla gerçekleşir.

Algoritma, co-grind ve pastalı sistem kısıtlarını girilen ürün kodu ve işlem zamanları aracılığıyla ayırt edebilmektedir.

2. Başlangıç Popülasyonu

Başlangıç popülasyonu çizelgeleme yapılacak iş sayısına bağlı olarak oluşturulur. Her kromozom işlenecek iş sayılarından oluşan bir dizi ile gösterilir. Bu kodlama sistemine "permütasyon kodlama" adı verilir. Bu kodlama sistemi ile çizelgelenecek iş sayısı göz önüne alınarak rassal bir başlangıç popülasyonu oluşturulur.

3. Genetik Operatörler

- Seleksiyon: Bu operatörde elitizm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile uygunluk fonksiyonu minimum değer alan bireyin sonraki nesillerde bulunması sağlanır.
- Çaprazlama: Oluşturulan algoritmada tek noktalı, iki noktalı ve tekdüze çaprazlama yöntemleri bulunmaktadır. Yapılan parametre analizi sonucunda tekdüze çaprazlamanın en iyi değeri verdiği gözlemlenmiş ve hesaplamalar bu yöntemle gerçekleştirilmiştir.
- Mutasyon: Bu operatörde, kromozomdan rassal iki gen seçilerek yerleri değiştirilir. Bu yönteme karşılıklı değişim dönüşümü adı verilir.

4. Bitiş Ölçütlerine Ulaşılması

Bu algoritmada sonlandırma kriteri, belirli bir nesil sayısına ulaşmak olarak belirlenmiştir. Algoritma çalışmadan önce girilen popülasyon sayısına ulaşıldığında en iyi uygunluk değerine sahip olan kromozom sonuç olarak gösterilir.

Yukarıda önerilen sezgisel yöntem ile şirketin beklentilerini karşılayacak, Excel VBA tabanlı bir karar destek sistemi oluşturulmuştur [8]. Sistem, kullanıcı tarafından yapılan değişikliklere anında yanıt verebilecek dinamik bir sistemdir. Bu sayede, çizelgeleme kolayca yapılabilmekte ve üretim planlama departmanına karar verme sürecinde yardımcı olabilmektedir. Fabrikaya gelen siparişlerin, sipariş numarası, portföy kodu, renk kodu, üretim miktarı, teslim tarihi ve işlem süreleri girdi olarak alınmaktadır. Veriler, kullanıcı tarafından manuel olarak girilmekte ya da otomatik olarak veri dosyasından çekilebilmektedir. Aynı zamanda istenilen sipariş bilgileri değiştirilebilmekte ya da silinebilmektedir. Sistemde, yapılan zaman etüdünden elde edilen veriler kullanılarak işlem süreleri hesaplanabilmekte, portföy kodu ve üretim miktarı sipariş olarak girildiğinde, önerilen işlem süreleri verilmektedir. Bu işlemlerden sonra sistem, girilen verileri kullanarak genetik algoritmayı çalıştırmaktadır. Genetik algoritma ile birlikte, müşteri siparişlerinin en erken teslim tarihlerini dikkate alan, işlerin gecikme ve erken tamamlanma sürelerinin toplamını en aza indiren bir müşteri sipariş çizelgelemesi oluşturulmuştur.

IV. SONUÇ

Fabrikada sistematik bir çizelgeleme olmaması sebebiyle, müşteri siparişleri geç veya erken üretilmektedir. Bu da üretim zamanını verimli kullanamamaya, fazla stok oluşumuna, müşteri memnuniyetsizliğine, üretim kapasitesinin belirlenememesine ve bölümler arası iletişim kopukluğuna neden olmaktadır. Proje sonucunda, kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturularak verimli bir çizelge elde edilip, bu sorunları ortadan kaldırmak amaçlanmıştır.

Microsoft Excel Visual Basic for Applications (VBA) programı ile üretim planlama sürecinde kullanıcıya yardımcı olması için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan karar destek sistemi ile müşteri siparişlerinin operasyon süreleri ve miktarı girilerek çizelgeleme yapılabilmektedir. Aynı zamanda, işlerin hangi makinede hangi sırayla üretileceği Gantt şeması yardımıyla kullanıcıya sunulmaktadır. Kritik başarı faktörleri baz alınarak, mevcut işleyiş ile tasarlanan sistemin karşılaştırılması adına karar destek sistemi ve fabrika çizelgeleme sonuçları kıyaslanmıştır. Fabrikadan istenen on beş ardışık siparişin verileri analiz edilmiş, amaç fonksiyonu ve son üretilen işin tamamlanma süresi hesaplanmıştır. Bu kıyaslamanın sonucu Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. KDS Çizelgesi ile Fabrika Çizelgesinin Kıyaslama Tablosu

	Amaç Fonksiyonu (dk)	İyileşme (%)	Son İşin Bitiş Zamanı (dk)
Fabrika Çizelgesi	39991	17,3	1635

KDS Çizelgesi	33075		1795

Amaç fonksiyonumuz toplam gecikme ve erken tamamlanma sürelerini en aza indirmek olduğu için, teslim tarihi aşılmadığı sürece son üretilen işin tamamlanma süresi arttığında amaç fonksiyonu azaldığı Tablo 2'de görülmektedir. Teslim tarihi aşılmadan, son üretilen işin tamamlanma süresi %9,8 arttırılarak amaç fonksiyonunda %17,3 iyileşme sağlanmıştır.

Proje sonucunda, oluşturulan müşteri sipariş çizelgesi sayesinde ortaya çıkan iyileştirmeler aşağıda listelenmiştir.

- Ürünün hangi sırayla hangi makineye atandığı belirlenmiştir.
- Üretim kapasitesinin belirsizliği ortadan kalkmıştır.
- Siparişlerin erken üretilip stokta bekletilmesi engellenmiştir.
- Sipariş gecikmeleri engellenerek müşteri memnuniyeti sağlanmıştır.
- Ürünün herhangi bir zamanda hangi aşamada olduğu gözlemlenmiştir.
- Çizelgelemede anlık siparişler ve olası sorunlar için esneklik sağlanmıştır.
- Makinelerin verimli kullanılması sağlanmıştır.
- Departmanlar arasında oluşan iletişim sorunu azalmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma "TÜBİTAK–2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı" kapsamında TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir. Akademik danışmanlarımız Erdinç ÖNER ve Nazlı KARATAŞ AYGÜN'e ve şirket danışmanımız Bülent AKYIL'a desteklerinden dolayı şükranlarımızı sunarız.

REFERANSLAR

[1] IBM ILOG CPLEX Users Manual [Online]. Available: https://www.ibm.com/search?lang=tr&cc=tr&q=users%20manual
[2] M. Pinedo, Scheduling Theory, Algorithms and Systems, third edition, Prentice-Hall Newyork, 13-389, 2008
[3] Mutingi, M., & Onwubolu, G. C. (2010). Genetic Algorithm for Minimizing Tardiness in Flow Shop Scheduling. The Production Planning and Control: The Management of Operations, 10(5), 462-471.doi: 10.1080/ 095372899232993
[4] Kanat Boyacılık website [Online]. Available: https://kanatboya.com.tr/
[5] Karmakar, S. & Mahanty, B. (2010). Minimizing Makespan for a Flexible Flow Shop Scheduling Problem in a Paint Company. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/229430014_Minimizing_Makespan_for_a_Flexible_Flow_Shop_Scheduling_Problem_in_a_Paint_Company
[6] Naderi, B., Gohari, S. & Yazdani, M. (2014). "Hybrid flexible flowshop problems: Models and solution methods". Applied Mathematical Modelling, vol.38, pp.5767-5780
[7] Agrawal, J. K., Agrawal, S., Gohiya, D. & Sharma, S. K. (2015). Heuristic and Metaheuristic Algorithm for Flow Shop Scheduling: A Survey. Retrieved from https://www.semanticscholar.org/paper/HEURISTIC-AND-METAHEURISTIC-ALGORITHM-FOR-FLOW-SHOP-Agrawal-Agrawal/faac8b4761f9e3f2f679a7c6361a0151ba665695
[8] Microsoft Excel Visual Basic for Applications (VBA) [Online]. Available:https://docs.microsoft.com/en-us/office/vba/api/overview/excel

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

BÜTÜNLEŞİK SEVKİYAT VE PAKETLEME PROBLEMİ MODELLEME UYGULAMASI

Büşra Çan, Can Bingöl, Ege Akkuş, Esin Tosun,

Gökçe Demirel, Hilal Coşğun, Tuğçe Köksal

Akademik Danışmanlar

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

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

"Hafif Metal Jant" sektöründe dünyanın önde gelen jant üreticilerinden biri olan CMS 1980 yılında otomotiv üreticileri (OEM) için alüminyum alaşımlı jant üretimine başlamıştır.[1] CMS'nin bir adet lojistik merkezi ve 3 farklı lokasyonda üretim tesisi mevcuttur. Lojistik merkez Çiğli'de bulunmakta ve paketlenmiş tüm ürünlerin sevkiyatı buradan yapılmaktadır. Üretim tesisleri Çiğli, Pınarbaşı ve Gaziemir'dedir. CMS'de bir ürünün birden fazla paketleme çeşidiyle satılması olağan bir durumdur. Bu durumda müşteriler paketleme değişikliği yapabilmektedir. Yapılan paketleme değişiklikleri iş gücü, zaman ve paketleme malzemesi israfına neden olmaktadır. Mevcut durumda, şirket ekstra paketleme değişikliklerini lojistik merkezde yapmaktadır. Bu problemde paketleme değişikliklerini engellemek için bütün paketleme personelinin ve operasyonunun lojistik merkeze taşınması düşünülmektedir. Çalışmada, ürünlerin fabrikalardan tek çeşit paketleme malzemesiyle, kamyonları daha verimli dolduracak şekilde, tüm şirket kısıtları sağlanarak lojistik merkeze götürülmesi ve paketleme değişikliğini en aza indirecek şekilde paketleme planı yapılması hedeflenmiştir. Bu nedenle problem iki kısımda incelenmiştir. İlk kısımda fabrikalardan çıkan ürünlerin lojistik merkeze taşınması çizelgelenmiştir. İkinci kısımda lojistik merkezde paketlenecek ürünlerin teslim zamanı ve müşteri kesinleştirme tarihleri dikkate alınarak çizelgelenmiştir. Matematiksel model, karmaşık tam sayılı doğrusal programlama formülleri ve literatürdeki çizelgeleme modellerinden hareket edilerek, problem için özel olarak yazılmıştır. Amaç fonksiyonu paketleme sürecinin toplam ağırlıklı erkenliğini en aza indirgemesi olarak belirlenmiştir. Ağırlıkların belirlenmesi için ABC analizleri yapılmıştır. Matematiksel model IBM-ILOG-CPLEX STUDIO 12.8 programı aracılığı ile çözülmüştür ve kısıtlar doğrultusunda beklenen sonuçları vermiştir. Sonuçlar incelendiğinde çözüm süresinin veri çokluğu ile giderek arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, problemi bu büyük verilerle çözecek sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Sezgisel yöntem geliştirildikten sonra sonuçlar karşılaştırılmıştır ve doğrulanmıştır. Geliştirilen sezgisel yöntem ve matematiksel model kullanıcı dostu karar destek sistemine entegre edilerek şirkete sunulmuştur. Çalışmanın sonunda, verimli bir paketleme planı oluşturulmuş ve erken paketlemenin en aza indirgenmesi sağlanmıştır.

II. PROBLEM TANIMI

CMS şirketinde üretim planı müşteriden gelen sipariş adedi, model, sevk tarihi ve ambalaj tipine göre yapılmaktadır. Mevcut sistemde Pınarbaşı ve Çiğli fabrikalarında, sipariş kodunda yer alan ambalaj tipine ve en yakın sevk tarihine göre paketleme işlemi yapılmaktadır. CMS orijinal ekipman üreticisi olarak çalıştığından, aynı ürünün birden fazla ambalaj tipiyle satılması olağan bir durumdur. Paketleme işlemi biten ürünler müşteriye teslim edilmek üzere lojistik merkeze gönderilmektedir.

CMS'de gönderilen siparişlerin teslim ve kesinleştirme zamanı vardır. Müşteriler sipariş kesinleştirme tarihine kadar ambalaj tipi ve adet değişikliği yapma hakkına sahiptir. Lojistik merkez yeni siparişe göre ambalaj tip değişikliği yapmaktadır. Paketleme değişikliklerinin temel nedeni müşterilere sağlanan süre esnekliği ve istenilen ambalaj malzemesi olmadığında sevk tarihine kadar jantları korumak için elde olan malzemelerle ambalaj yapılmasıdır. Yapılan gözlemlere dayanarak, mevcut durumda çeşitli sorunlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu sorunların başında, yapılan değişiklikler sonucu lojistik merkezde tekrardan ambalajın değiştirilmesi, bu değişikliklerden kaynaklı fazla işgücü, zaman ve maliyet kaybı oluşması gelmektedir. Ayrıca, sistematik bir paketleme çizelgelemesi olmadığı için araç içi doluluk verimli bir şekilde sağlanamazken, sipariş edilen ürün adedinin sevkiyattan önce değiştirilmesi sonucunda sevkiyata ürün yetişmemesi durumu oluşabilmektedir bu da müşteri şikayetlerine neden olmaktadır.

CMS, Çiğli ve Pınarbaşı'nda yapılmakta olan paketleme işlemlerini lojistik merkeze taşımayı planlamaktadır. İki fabrikadan gelen geçici ambalaj ile paketlenmiş siparişlerin birleştirilmesi ve lojistik merkezde sipariş kodunda yer alan ambalaj tipine göre paketlenmesi amaçlamaktadır. Geçici ambalajların tekrar kullanılabilir olması, maliyeti azaltması ve iş gücünü düşürmesi tercih edilmesine neden olmaktadır. Yukarda tespit edilen semptomlar sebebiyle lojistik merkezdeki paketleme işlemini, sipariş tarihlerine ve paketleme değişkenliğine göre planlayacak bir sistemin kurulması ve bu düzeni sağlayacak şekilde taşıma düzeni oluşturulması planlanmaktadır. Bu çalışmada amaç, paketleme operasyonunu mümkün olduğu kadar kesinleştirme periyodu içinde yapmak, daha az kaynakla ve daha dolu kamyonlarla fabrikalardan lojistik merkeze göndererek erken paketlemeyi en aza indirgemektir. Bu nedenle problemin amaç fonksiyonu, paketleme sürecinin toplam ağırlıklı erkenliğini en aza

indirmeyi amaçlamaktadır. Amaç fonksiyonu, erken paketlemeyi en aza indirilirken, erken paketlemeden kaynaklanan paket değişiklik maliyetini de en aza indirmektedir.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Sistem analizi sonrasında problemimizin iki aşama olarak ele alınmasına karar verildi. İlk aşamada ürünlerin fabrikalardan lojistik merkeze taşıma operasyonları ele alınmakta ve bu kısımda lojistik merkeze gönderilecek jantların fabrikalardan çıkış tarihi olarak uzun vadeli üretim planındaki tarihleri yani hazır olma zamanları dikkate alınarak, işlerin kamyonlara atanması ve çizelgelenmesi yapılmaktadır. [2,3] Kamyonların her biri paralel makine olarak kabul edilmektedir. İkinci aşamada lojistik merkezdeki paketleme operasyonları ele alınmaktadır. Bu kısımda paketleme teslim tarihi ve kesinleştirme tarihleri dikkate alınarak paketleme operasyonu çizelgelemesi yapılmaktadır ve paketleme operatörleri paralel makine olarak kabul edilmektedir. [4,5] Problem literatürde iki aşamalı esnek akış tipi problemi olarak yer almaktadır.[6] Matematiksel model, karmaşık tamsayı doğrusal programlama formülleri ve literatürdeki çizelgeleme modellerinden hareket edilerek problem için özel olarak yazılmıştır. Modelde literatürdeki klasik esnek akış tipi modellemelerinden farklı olarak, ilk aşamada işler lotlar halinde kamyonlarla taşınmaktadır ve şirkete özgü kısıtlar içermektedir. [7,8] Amaç fonksiyonu paketleme sürecinin toplam ağırlıklı erkenliğini en aza indirgemesi olarak belirlenmiştir.[9] Böylece amaç fonksiyonu erken paketlemeyi minimize etmeyi amaçlarken erken paketlemeden kaynaklanan paket değişiklik maliyetini de minimize etmeye çalışmaktadır. Bu sebeple amaç fonksiyonu maliyetleri azaltmış olmaktadır. Ağırlıkların belirlenmesi müşterilerin sipariş değiştirme sıklıklarına göre ABC analizleri yapılmıştır. Matematiksel modelde kullanılan indisler, parametreler, kümeler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda gösterilmektedir.

İndisler	**Parametreler**	**Kümeler**
i, j: İş/Sipariş indisi	VJ_i= i işinin hacmi	P: Fabrika kümesi, $P = \{1, 2\}$
b, l: Grup/lot indisi	VT_t= Kamyon kapasitesi	J_1 : Pınarbaşı fabrikasındaki iş kümesi
p : Fabrika indisi	R_i= İşin hazır olma zamanı	J_2: Çiğli fabrikasındaki iş kümesi
t : Kamyon indisi	TT_p= p fabrikasından taşıma ve kamyonun dönme süresi	J : Sahte(dummy) işlerin kümesi $\{0, J_1, J_2\}$
m : Makine indisi	P_{im}= i işinin m makinasında işlem süresi	B_1: Pınarbaşı fabrikasındaki sahte grupların kümesi
	D_i= i işinin sevkiyat tarihi	B_2: Çiğli fabrikasındaki sahte grupların kümesi
	F_i= i işinin kesinleştirme tarihi	B : Grupların kümesi, $B = \{B_1, B_2\}$
	w_i= i işinin marka bazlı değiştirme ağırlığı	T_1: Pınarbaşı fabrikası kamyonlarının kümesi
		T_2: Çiğli fabrikası kamyonlarının kümesi
	Q = Çok büyük sayı	T : Kamyonların kümesi
		M: Makinalarının kümesi

Karar Değişkenleri:

$$x_{ibp} = \begin{cases} 1, \text{eğer } i \text{ işi } b \text{ lotuna } p \text{ fabrikasında atanırsa} \\ 0, \text{diğer durumda} \quad i \in J_p, b \in B_p, p \in P \end{cases}$$

$$h_{bt} = \begin{cases} 1, \text{eğer } b \text{ lotu } t \text{ kamyonuna atanırsa} \\ 0, \text{diğer durumda} \quad b \in B_p, p \in P, t \in T \end{cases}$$

$$y_{im} = \begin{cases} 1, \text{eğer } i \text{ işini } m \text{ makinasına atanırsa} \\ 0, \text{diğer durumda} \quad i \in J, m \in M \end{cases}$$

$$z_{blt} = \begin{cases} 1, \text{eğer } b \text{ lotu } t \text{ kamyonunda } l \text{ lotununa yapışık ardışıksa(immediate predecessor)} \\ 0, \text{diğer durumda} \quad b \in B, l \in B, t \in T \end{cases}$$

$$a_{ijm} = \begin{cases} 1, \text{eğer } i \text{ işi } m \text{ paketleme makinasında } j \text{ işine yapışık ardışıksa} \\ 0, \text{diğer durumda} \quad i \in J, j \in J, m \in M \end{cases}$$

r_{bt} = p fabrikasında bulunan b lotunun kamyonu ile taşınmaya başlama zamanı, $b \in B_p, p \in P, t \in T$

s_{im} = i işinin m makinası ile paketlemeye başlama zamanı, $i \in J, m \in M$

VB_b = p fabrikasında bulunan b lotunun hacmi, $b \in B_p, p \in P$

E_i = i işinin erken tamamlanma zamanı, $i \in J$

C_i = i işinin tamamlanma zamanı, $i \in J$

$$Minimize\ Z = \sum_{i \in J/\{0\}} E_i * w_i \tag{1}$$

$$\sum_{b \in B_p} x_{ibp} = 1 \qquad \forall p \in P, \forall i \in J_p, \forall b \in B_p/\{0\} \tag{2}$$

$$VB_b = \sum_{i \in J_p} VJ_i * x_{ibp} \qquad \forall p \in P, \forall b \in B_p/\{0\} \tag{3}$$

$$VB_b \leq VT_t + Q * (1 - h_{bt}) \qquad \forall p \in P, \forall b \in B_p/\{0\}, \forall t \in T_p \tag{4}$$

$$\sum_{t \in T_p} h_{bt} = 1 \qquad \forall p \in P, \forall b \in B_p/\{0\} \tag{5}$$

$\sum_{l \in B_p} z_{0lt} = 1$ $\quad \forall p \in P, \forall t \in T_p$ (6)

$\sum_{b \in B_p} z_{b0t} = 1$ $\quad \forall p \in P, \forall t \in T_p$ (7)

$\sum_{\substack{b \in B_p \\ b \neq l}} z_{blt} = h_{lt}$ $\quad \forall p \in P, \forall l \in B_p, \forall t \in T_p$ (8)

$\sum_{\substack{l \in B_p \\ b \neq l}} z_{blt} = h_{bt}$ $\quad \forall p \in P, \forall b \in B_p, \forall t \in T_p$ (9)

$r_{bt} \geq R_i - Q * (2 - x_{ibp} - h_{bt})$ $\quad \forall p \in P, \forall b, l \in B_p/\{0\}, \forall i \in J_p, \forall t \in T_p$ (10)

$r_{lt} - r_{bt} + Q * (2 - z_{blt} - x_{ilp}) \geq TT_p$ $\quad \forall p \in P, \forall b, l \in B_p/\{0\}, \forall t \in T_p | l \neq b$ (11)

$\sum_{m \in M} y_{im} = 1$ $\quad \forall i \in J / \{0\}$ (12)

$\sum_{j \in J} a_{0jm} = 1$ $\quad \forall m \in M$ (13)

$\sum_{i \in J} a_{i0m} = 1$ $\quad \forall m \in M$ (14)

$\sum_{\substack{i \in J \\ i \neq j}} a_{ijm} = y_{jm}$ $\quad \forall j \in J, \forall m \in M$ (15)

$\sum_{\substack{i \in J \\ i \neq j}} a_{ijm} = y_{im}$ $\quad \forall i \in J, \forall m \in M$ (16)

$S_{im} \geq r_{bt} + (TT_p/2) - Q*(3 - x_{ibp} - h_{bt} - y_{im})$ $\quad \forall p \in P, \forall b \in B_p/\{0\}, \forall i \in J_p, \forall t \in T_p, \forall m \in M$ (17)

$S_{jm} - S_{im} + Q * (1 - a_{ijm}) \geq P_{im}$ $\quad \forall i, j \in J/\{0\}, \forall m \in M | j \neq i$ (18)

$C_i \geq S_{im} + P_{im} - Q * (1 - y_{im})$ $\quad \forall i \in J/\{0\}, \forall m \in M$ (19)

$C_i \leq D_i$ $\quad \forall i \in J/\{0\}$ (20)

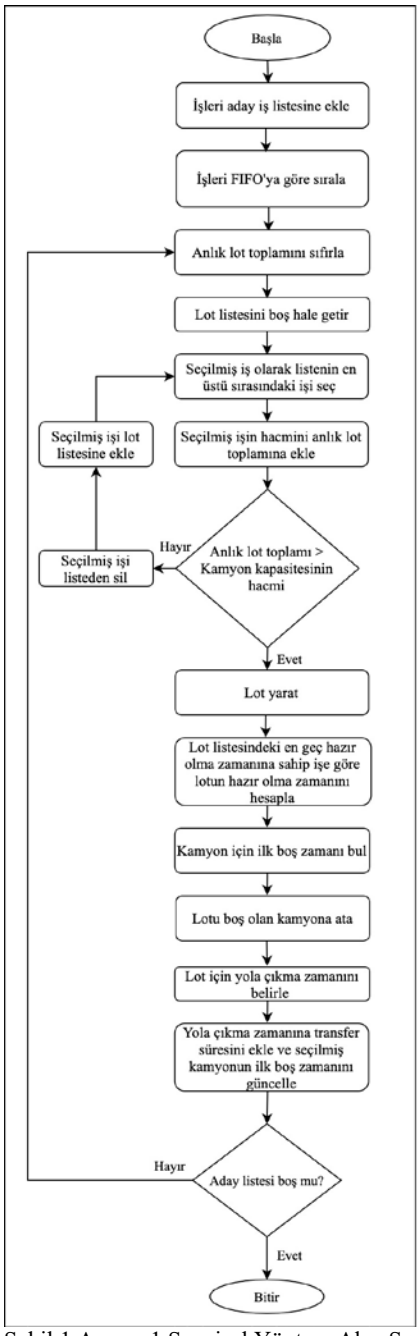
$E_i \geq D_i - F_i - C_i$ $\quad \forall i \in J/\{0\}$ (21)

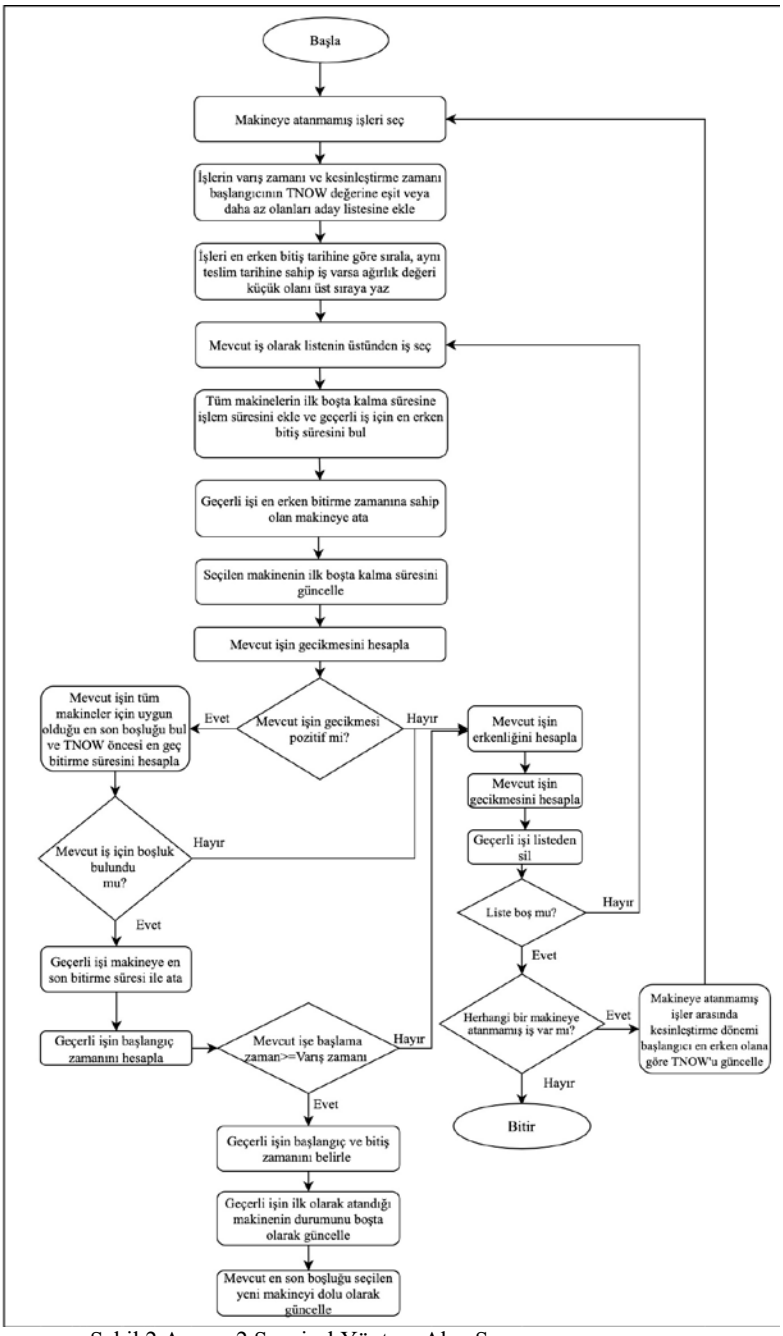
$r_{bt}, s_{im}, E_i, C_i \geq 0$ $\quad \forall i \in J/\{0\}, \forall m \in M, \forall b \in B_p/\{0\}, \forall t \in T$ (22)

$y_{im}, h_{btp}, z_{blt}, x_{ibp}, a_{ijm} = 1$ or 0 $\quad \forall i \in J, \forall m \in M, \forall b \in B_p/\{0\}, \forall t \in T, \forall p \in P$ (23)

Amaç fonksiyonu (1), tüm sürecin toplam ağırlıklı erkenliğini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kısıt (2), her işin yalnızca bir lota atanmasını ifade etmektedir. Kısıt (3), (4), her lotun hacminin kamyon kapasitesinden az veya eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (5), her lotun yalnızca kamyonlardan biri tarafından taşındığını göstermektedir. Kısıt kümeleri (6), (7), sahte işler her lotun ilk ve son işlerini temsil etmektedir. (8) ve (9), lot *l* kamyon *t*'ye atanmışsa, bu lottan önce gelen ve takip eden lot vardır. Kısıt (10), bir lotun içinde bulunan tüm işlerin hazır olduktan sonra gönderilmesini sağlamaktadır. Kısıt (11), bir kamyona atanan lotların teker teker taşınabileceğini garanti etmektedir. Eğer lot *b* lot *l*'den önce aktarılırsa, lot *b* lojistik merkeze geldiğinde ve kamyon tesise döndüğünde lot *l* 'nin taşınmaya başlatılabileceğini ifade etmektedir. Kısıt (12), her işin tam olarak makinelerden birinde paketlendiğini göstermektedir. Kısıt kümeleri (13), (14), sahte işler her makinaya atanan ilk ve son işleri temsil etmektedir. (15) ve (16), iş *i* makine *m*'ye atanmışsa, bu işten önce gelen ve takip eden iş vardır. Kısıt (17), her işin paketleme başlangıç zamanını hesaplamaktadır. Kısıt (18), bir makineye atanan işlerin teker teker paketleyebileceğini garanti etmektedir. Eğer iş *i* makine *m* üzerindeki iş *j*'den önce işleniyorsa, iş j yalnızca iş *i* paketlendiğinde başlatılabilmektedir. Kısıt (19), (20) bir işin tamamlanma süresini belirlemektedir ve her bir iş sevkiyat tarihinden önce tamamlanmalıdır. Kısıt (21), her bir işin ne kadar erken olduğunu hesaplamaktadır. Erkenlik işlerin kesinleştirme tarihine bağlıdır. Kısıtlar (22), (23), işaret kısıtlamalarını ve tanım kümelerini temsil eder.

Matematiksel model IBM ILOG CPLEX 12.8 programı ile çözülmüştür ve model sonuçları Core i7, 2,50 GHz, 12,0 GB RAM bilgisayar ile elde edilmiştir. Model ilk önce oluşturulan örnek işlerin verileriyle çözülmüştür ve kısıtlar doğrultusunda beklenen sonuçları vermiştir. Sonrasında jant modellerine göre paketleme sürecindeki işlem sürelerini bulmak için zaman etüdü çalışmaları yapılmıştır. Sipariş ve teslimat süreleri ile ilgili bilgileri içeren gerçek iş verileri şirket tarafından sağlanmıştır. Tablo 1 incelendiğinde, model şirketten alınan farklı iş sayılarıyla çalıştırıldığında, iş sayısı arttıkça modelin çözüm süresinin artışı gözlemlenebilmektedir. Sonuç olarak, model iş sayısı arttıkça beklenen sürede ve şekilde çözümlenememektedir, bu da modelin büyük verilerden kaynaklı CPLEX programında çözümünün zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle problemin daha büyük verilerle çözecek sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca problemi çözmek için CPLEX programına ihtiyaç duyulması, mevcut sistemde planlama için Excel programı kullanan şirket için maliyetli olacağından sezgisel yöntem bu platformda geliştirilmiştir. Sezgisel yöntem oluştururken problemde olduğu gibi iki aşamada ilerlenmiştir ve sonucunda 2 aşama için sezgisel yöntem geliştirilmiştir.[10] Aşağıda şekil 1 ve 2'de yer alan akış şemaları sezgisel yöntemi adım adım açıklamaktadır.





Şekil 1.Aşama 1 Sezgisel Yöntem Akış Şeması Şekil 2.Aşama 2 Sezgisel Yöntem Akış Şeması

İş Sayısı	**En İyi Çözüm için Kamyon Doluluğu**	**Sezgisel Yöntem için Kamyon Doluluğu**	**En İyi Çözüm için Hesaplama Süresi(sn.)**	**Sezgisel Yöntem için Hesaplama Süresi(sn.)**	**En İyi Çözüm için Amaç Fonksiyonu**	**Sezgisel Yöntem için Amaç Fonksiyonu**
10	62%	**71,86%**	4,47	**1,91**	0	0
20	**97%**	85,17%	6,27	**2,05**	0	0
30	78%	**81,66%**	20,16	**2,96**	0	0
40	**88%**	87,95%	82,07	**4,19**	0	0
50	**88%**	88,60%	96,68	**6,03**	0	0
60	86%	**88,06%**	330,03	**8,47**	0	0
70	87%	**91,35%**	1453,49	**10,59**	0	0
80	-	88,61%	3865,39	**13,17**	0	0
90	-	87,03%	105217,14	**14,69**	0	0
Ortalama	84%	86%	12341,74	**7,12**	0	0

Tablo 1. Sezgisel Yöntem ve Matematiksel Modelin Sonuçlarının ve Çözüm Sürelerinin Karşılaştırmaları

Geliştirilen sezgisel yöntem Excel VBA programı ile kodlanmıştır. Tablo 1'de geliştirilen sezgisel yöntemin performansını değerlendirmek için aynı iş verileriyle elde edilen sonuçlar ve hesaplama süreleri, matematiksel modelin optimal sonucu ve hesaplama süresi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca

sezgisel yöntemde, kamyon kullanım oranları da incelenmiştir. Bununla birlikte, kamyon dolulukları en iyi çözümün amaç fonksiyonunda doğrudan yer almadığı için, sezgisel yönteme kıyasla kamyon doluluğu değerinin sonuçları değişkenlik göstermektedir. Tablodaki sonuçlar şirketten alınan gerçek iş verileriyle elde edilmiştir. Her iş seti için 4 kamyon ve 4 makine bulunmaktadır. Sezgisel yöntemin çözümleri bulduğu ortalama hesaplama süresi ortalama 7,12 saniye civarında olduğundan matematiksel modelin çözüm süresinden çok daha hızlıdır. Özetle, geliştirilen sezgisel yöntem hızlı hesaplama süreleri ve optimal sonucu yakalaması nedeniyle gerçek veriler için iyi performans göstermektedir.

Bunların yanı sıra, geliştirilen sezgisel yöntem Excel VBA kullanılarak karar destek sistemi oluşturulmuştur. Tasarlanan karar destek sisteminin amacı, iş listesini güncelleyerek kamyon ve makine için çizelgeleme hazırlamaktır. Ayrıca, plan hazırlanırken kullanıcıya matematiksel yöntem ile çözüm veya sezgisel yöntem ile çözüm seçeneği sunulmaktadır. Kullanıcıya iş listesini güncelleme, üretim listesi kontrolü yapma, filtreleme gibi esnek kullanım imkanları sunulmaktadır. Sonuçların detaylı bir şekilde analiz edilebilmesi için Gantt şemaları ve özet tablo rapor sayfasında görüntülenebilmektedir. KDS'de, fabrikalar ile lojistik merkez arasındaki iletişimi kolaylaştırmak ve hızlandırmak için raporu kaydetme, PDF'ye dönüştürme ve e-posta gönderme gibi seçenekler bulunmaktadır. Tasarlanan kullanıcı dostu çizelgeleme sistemi tasarlanırken kolay ara yüzü olması, hızlı ve etkili çizelgeleme yapabilmesi ve herkes için kolay kullanım sağlaması hedeflenmiştir.

IV.SONUÇ

CMS şirketinde mevcut sistemde sipariş kesinleştirme tarihinden önce müşteriler tarafından yapılan paketleme değişiklikleri iş gücü, zaman ve malzeme israfına neden olmaktadır. Bu çalışma, tasarlanacak olan paketleme ve taşıma sisteminin iyileştirilmesi gerekliliği fikrinden doğmuştur. Gerekli literatür taraması yapıldıktan sonra problemin iki aşamalı esnek akış tipi problemi olduğu anlaşılmıştır. Amaç fonksiyonu erken paketlemeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır bu durum aynı zamanda paket değişikliği için maliyetini azaltmış olmaktadır. Model şirketten alınan gerçek iş verileriyle çözüldüğünde, büyük verilerden kaynaklı CPLEX programında çözümünün zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple problemi bu iş verileriyle çözecek sezgisel metot geliştirildi. Sezgisel yöntemin performansını değerlendirmek amacıyla aynı iş verileri için sezgisel yöntemin ortalama sapma ve hesaplama süresi bulunmuştur. Özetle geliştirilen sezgisel yöntemin iyi performans gösterdiği ve daha hızlı sonuca ulaştığı anlaşılmıştır. Ayrıca, geliştirilen sezgisel yöntem ve matematiksel model çözümü Excel VBA kullanılarak oluşturulan karar destek sistemine entegre edilmiştir. Tasarlanan karar destek sisteminin kullanımı kolay ara yüzü sayesinde hızlı ve etkili paketleme planları yapabilmeyi sağlamaktır. Sistemin çalışması sonucunda elde edilen kamyon ve lojistik merkez çizelgeleme raporları detaylı bir şekilde Gantt şemaları ve özet tablolarla gösterilmiştir. Kurulan yeni sistem, mevcut düzen ile karşılaştırıldığında erken paketlemeden kaynaklı iş gücü, zaman ve paketleme malzemesi israflarının önüne geçilmiştir. Bunlara ek olarak paketleme ve taşıma çizelgelemesinin hızlı ve daha verimli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Tasarlanan kullanıcı dostu karar destek sistemi, kullanım talimatı ile şirkete sunulması planlanmaktadır.

REFERANSLAR

[1] CMS Jant ve Makine San.A.Ş."Hakkımızda".[Online].Available: https://www.cms.com.tr/tr/kurumsal/grup-sirketleri/cms-jant-ve-mak-san

[2] Wirth, M., & Emde, S. (2018). Scheduling trucks on factory premises. *Computers & Industrial Engineering, 126,* 175–186. doi: 10.1016/j.cie.2018.09.023.

[3] Sağlam, Ü., & Banerjee, A. (2018). Integrated multiproduct batch production and truck shipment scheduling under different shipping policies. *Omega, 74,* 70–81. doi: 10.1016/j.omega.2017.01.007.

[4] Joo, C. M., & Kim, B. S. (2017). Rule-based meta-heuristics for integrated scheduling of unrelated parallel machines, batches, and heterogeneous delivery trucks. *Applied Soft Computing, 53,* 457–476. doi: 10.1016/j.asoc.2016.12.038

[5] Arroyo, J. E. C., & Leung, J. Y.-T. (2017). Scheduling unrelated parallel batch processing machines with non-identical job sizes and unequal ready times. *Computers & Operations Research, 78,* 117–128. doi: 10.1016/j.cor.2016.08.015.

[6] Peng, T., & Zhou, B. (2019). Hybrid bi-objective gray wolf optimization algorithm for a truck scheduling problem in the automotive industry. *Applied Soft Computing, 81,* 105513. doi: 10.1016/j.asoc.2019.105513.

[7] Jiang, L., Pei, J., Liu, X., Pardalos, P. M., Yang, Y., & Qian, X. (2016). Uniform parallel batch machines scheduling considering transportation using a hybrid DPSO-GA algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 89*(5-8), 1887–1900. doi: 10.1007/s00170-016-9156-5.

[8] Zohali, H., Naderi, B., & Mohammadi, M. (2019). The economic lot scheduling problem in limited-buffer flexible flow shops: Mathematical models and a discrete fruit fly algorithm. *Applied Soft Computing, 80,* 904–919. doi: 10.1016/j.asoc.2019.03.054.

[9] Birgin, E., Ferreira, J., & Ronconi, D. (2020). A filtered beam search method for the m-machine permutation flow shop scheduling problem minimizing the earliness and tardiness penalties and the waiting time of the jobs. *Computers & Operations Research, 114,* 104824. doi: 10.1016/j.cor.2019.104824.

[10] Alharkan, I. M. (2005). Algorithms for sequencing and scheduling. *Industrial Engineering Department, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.*

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Gamze Küçük, Nevzatcem Öztuna, Ceren Çelik, Mert Demirkan,

Ali Ozan Özkul, Ezgi Çağlar Nizam, Yıldırımşan Büyükmertoğlu

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Ayhan Özgür Toy, Araş. Gör. Damla Yüksel

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Bu projede CNC makineler kullanılarak sac işleme yapan, esnek atölye tipi üretimi olan bir şirket için sıra bağımlı olmayan hazırlık süreleri dikkate alınarak üretim çizelgelemesi yapılması hedeflenmiştir. Firmada üretim planlaması deneyimli çalışanlar tarafından tecrübeye dayalı teorik dayanağı olmayan yöntemlerle herhangi bir sistematiği bulunmadan yapılmaktadır. Bu durum makinelerin kullanım oranlarında dengesizliklere yol açmaktadır. Makine kullanım oranlarındaki bu dengesizlik verimliliğin azalmasına sebep olmaktadır. Bu projedeki amacımız haftalık talepler dikkate alınarak işlerin tamamlama zamanını en aza indirecek sırada işleri makinelere atamaktır. Şirketin üretim sistemi baz alınarak matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model, deneme verilerden oluşan problemler için IBM-ILOG-CPLEX STUDIO programı ile çözülmüştür. Bu problemin hesaplama karmaşıklık düzeyi yazında NP-zor olarak belirlenmiştir. Gerçek problemin verilerinin çok büyük olmasından dolayı program gerçek problemi makul bir sürede çözememiştir. Bu nedenle problemin çözümü için kural tabanlı ve evrimsel sezgisel yöntemler üzerinde çalışılmıştır. En Kısa İşlem Süresi (SPT) ve En Uzun İşlem Süresi (LPT) kuralları baz alınarak 6 farklı sezgisel algoritma üzerinde çalışılmıştır. Bu sezgisel algoritmalar kullanılarak kullanıcı dostu bir karar destek sistemi içerisinde verimli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

II. PROBLEM TANIMI

Projenin gerçekleştirildiği şirket, Öztaş Demir Çelik, 1980 yılında kurulmuştur ve Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almaktadır. Şirketin toplam üretim alanı 16.000 m² olup, yıllık üretim kapasitesi 12.000 tondur. Öztaş Demir Çelik'te, 50'si beyaz yaka olmak üzere toplam 260 çalışanı vardır. Ana faaliyetleri yassı mamullerin ticareti ve bu mamullerin operasyon gördükten sonra yarı mamul ve mamul haline getirilmesidir. Ürettikleri ürünler beyaz eşya, otomotiv, inşaat gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Öztaş'ın beş ana müşterisi bulunmaktadır. Bunlar Vestel, BSH (Bosch-Siemens Ev Aletleri), Greencooler, Group Atlantic ve Arçelik markalarıdır. Talepler haftalık olarak gelmektedir. Şirket, hammaddeleri talep sahibi müşterilerinden tedarik etmektedir. Müşterilerden satın alınan hammaddeler operasyonlardan geçtikten sonra tekrar müşterilere geri satılmaktadır.

Üretimde CNC makineler kullanılıp, sac levhalar müşterilerin talebine göre *kesim, büküm, kaynak, yüzey temizleme* ve *boya* operasyonlarından geçerler. Müşteri talebinin özelliğine göre bir ürün farklı operasyonlara tabi tutulabilir. Örneğin, buzdolabı arka duvar sacı üretimi sadece kesim ve büküm operasyonlarına tabi tutulurken bir başka ürün tüm operasyonlara tabi tutuluyor olabilir. Her bir ürünün hangi operasyonlara hangi sırada tabi tutulacağı bellidir.

Kesim, Abkant büküm, Panel Bender büküm, kaynak, yüzey temizleme ve boya olarak 6 ana operasyon bulunmaktadır. Kesim operasyonu için iki adet lazer ve iki adet punch olmak üzere toplam dört makine bulunmaktadır. Abkant büküm için üç adet CNC Abkant, Panel Bender büküm için iki adet CNC Panel Bender makineleri bulunmaktadır. Bu makineler her operasyon için kendi aralarında birer makine seti oluşturmaktadır. Kaynak, yüzey temizleme ve boya işlemleri ise müşteri talebine göre manuel olarak operatörler tarafından yapılır. CNC makinelerinin her biri işten bağımsız ortalama bir kurulum süresine sahiptir. Kurulum süreleri, punch ve abkantlar için kalıp değişimi ve makine ayarını içerirken, lazer ve panel bender makineleri için sadece makine ayar süresini içermektedir. Kaynak ve yüzey temizleme operasyonları için kurulum süresi yoktur. Boya operasyonu için kurulum süresi ise boya renklerinin hazırlanmasını ve temizlik işlemini içermektedir.

Sistemi anlamak, üretim tipini belirlemek, çizelgeleme yöntemlerini ve çözüm yollarını daha iyi kavramak adına detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Çizelgeleme problemleri üretim sistemlerinde en sık karşılaşılan problemlerdendir [1]. Bu problemlerdeki hedef, ürünleri en optimal şekilde makinalara atamak ve toplam tamamlanma zamanlarını en aza indirmektir [2]. Yapılan çalışmalarda atölye tipi üretim sistemlerini incelenmiştir, klasik atölye tipi ve esnek atölye tipi üretimin farklarında klasik atölye tipinin aksine, esnek atölye tipi üretim sistemlerinde bir ürünün bir operasyonunun farklı makineler tarafından yapılabildiğini belirtilmiştir [3]. Projenin gerçekleştiği fabrikada da bir operasyon bir makine grubundaki herhangi bir makine tarafından yapılabildiği için üretim sisteminin esnek atölye tipi olduğuna karar verilmiştir.

Mevcut durumda makinelerin kullanılma süreleri incelendiğinde, makinelerin çalışma sürelerinin farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bazı makinelerin çalışma süresi çok fazlayken bazı makineler hiç

çalışmamaktadır, çünkü operatörler birbirlerinin yerine kullanılabilen makinelerden aşina olduklarını tercih etmektedirler. Makinelerdeki bu düzensizlik verimin düşmesine sebep olmaktadır.

Mevcut durumda, üretim planlaması deneyimli çalışanlar tarafından bilimsel olmayan yöntemlerle Öztaş'ın şirket içerisinde kullandığı portal üzerinden yapılmaktadır. Planlamanın herhangi bir sistematiği bulunmamaktadır. Bu planlama yöntemi çok fazla zaman almakta ve sonradan müdahale edilmesini gerektiren hatalar yapılmasına yol açmaktadır. Verimsiz planlama kapasite boşluklarına neden olmaktadır.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerini daha iyi anlamak için literatürdeki matematiksel modeller ve çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Esnek atölye tipi, klasik atölye tipinin genişletilmiş bir halidir [4]. Literatürde bu problemin NP-zor olduğu belirtilmiştir [5]. Araştırmalarda esnek atölye tipi üretim çizelgeleme problemlerinin modellenmesinde amaç fonksiyonunda toplam tamamlanma zamanı, toplam süre veya toplam gecikmenin azaltılmaya çalışıldığı görülmüştür [6]. Literatürde var olan modeller de incelenerek, fabrikanın üretimini en iyi ifade edebilecek matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin bazı varsayımları mevcuttur. Bunlar; (1) başlangıçta tüm işler işlenmeye hazır ve tüm makineler boştadır, (2) bir makine aynı anda sadece bir operasyon işleyebilir, (3) her işin her operasyonu kesintiye uğramadan tamamlanmak zorundadır, (4) her bir işin operasyonlarının sırası ve süresi önceden belirlidir, (5) makinelerin hazırlık zamanları işlerden bağımsızdır ve işlerin işlem süresine dahildir ve (6) makineler arası taşıma süresi ihmal edilmiştir. İşin tanımı ise bir ürünün aynı anda gelen toplam talebi olarak kabul edilmiştir. Matematiksel model için gerekli olan küme, indis, karar değişkenleri ve parametrelerin notasyonları ve tanımları Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Notasyonlar

Kümeler ve İndisler:	
i	iş $(i, i' \in N)$
j	operasyon $(j, j' \in J)$
m	makine $(m, m' \in M)$
N	iş kümesi
J	operasyon kümesi
M	makine kümesi
J_i	i işinin sıralı operasyon kümesi $\{1,2,\dots,R\}$ $(J_i \subseteq J)$
M_j	j operasyonun yapılabileceği makineler kümesi $(M_j \subseteq M)$
Karar Değişkenleri:	
Y_{ijm}	$\begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işinin } j \text{ operasyonu } m \text{ makinesine atanırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$
C_{max}	işlerin toplam tamamlanma zamanı
C_{ijm}	i işi için j operasyonun m makinesindeki tamamlanma zamanı
F_i	i işinin tamamlanma zamanı
$G_{i'ijm}$	$\begin{cases} 1, & i' \text{işi } i \text{ işinden önce } j \text{ operasyonu için } m \text{ makinesine atanırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$
Parametreler:	
T_{ijm}	i işinin j operasyonu için m makinesindeki operasyon süresi (kurulum süresi operasyon süresine dahildir)
D	büyük sayı
$R_{ijj'}$	$\begin{cases} 1, & \text{eğer i işi için } j' \text{ operasyonu j operasyonundan sonra yapılıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

Tablo 1'de belirtilen tanımlar kullanılarak oluşturulan karmaşık tamsayılı doğrusal program modeli aşağıda sunulmuştur.

Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Program Modeli

Amaç Fonksiyonu:		
Min C_{max}		(1)
Kısıtlar:		
$\sum_{m \in Mi} Y_{ijm} = 1$	$\forall j \in J_i, \forall i \in N$	(2)
$R_{ij'j} \sum_{m \in Mi} C_{ijm} - Y_{ijm}\ T_{ijm} \geq R_{ij'j} \sum_{m' \in Mi'} C_{ij'm'}$	$\forall j, j' \in J_i, \forall i \in N$	(3)
$Y_{ijm}\, D \geq C_{ijm}$	$\forall j \in J_i, \forall i \in N, \forall m \in M_j$	(4)
$C_{ijm} - T_{ijm} \geq C_{i'jm} - (1 - G_{i'ijm})D$	$\forall j \in J_i, \forall i, i' \in N, \forall m \in M_j$	(5)
$C_{i'jm} - T_{i'jm} \geq C_{ijm} - G_{i'ijm}\, D$	$\forall j \in J_i, \forall i, i' \in N, \forall m \in M_j$	(6)
$F_i = C_{iRm}$	$\forall i \in \mathrm{N}, R \in J_i, m \in M_j$	(7)
$C_{max} \geq F_i$	$\forall i \in N$	(8)
$F_i \geq 0$	$\forall j \in J$	(9)
$C_{ijm} \geq 0$	$\forall i \in N, \forall j \in J, \forall m \in M$	(10)
$T_{ijm} \geq 0$	$\forall i \in N, \forall j \in J, \forall m \in M$	(11)
$G_{i'ijm}, Y_{ijm}, R_{ijj'} \in \{0,1\}$	$\forall i, i' \in N, \forall j \in J$	(12)

Amaç fonksiyonu (1) toplam tamamlanma zamanını minimize etmektedir. Kısıt (2), bir operasyonun yalnızca bir makinede yapılabileceğini garanti eder. Kısıt (3), işlerin operasyonlarının öncelik sırasına göre yapılabileceğini formüle eder. Kısıt (4), operasyonların tamamlanma zamanlarını temsil eder. Kısıt (5) ve (6), işler arasındaki öncelik ilişkisini ve toplam tamamlanma zamanını gösterir. Kısıt (7), işlerin tamamlanma zamanlarını temsil eder. Kısıt (8), tüm işlerin tamamlanma zamanlarının toplam tamamlanma zamanından küçük ya da eşit olmasını garanti eder. Karar değişkenleri ve işaret sınırlamaları ise kısıt (9), (10), (11) ve (12)'de belirtilmiştir. Amaç fonksiyonu firmanın talebi doğrultusunda seçilmiş ve kısıtlar tüm üretim hattını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur.

Modelin doğruluğunu test etmek amacıyla küçük boyutlu problemler oluşturulmuştur. Bu problemler öncelikle manuel olarak daha sonra da IBM-ILOG-CPLEX STUDIO programı ile kodladığımız model için çözülmüştür ve modelin doğru sonuç verdiği gözlenmiştir. Gerçek hayatta şirketin kullandığı verilerin boyutu düşünüldüğünde, problemin NP-zor yapısından dolayı sezgisel yöntemler üzerinde çalışılmaya karar verilmiştir. Toplamda 6 farklı sezgisel yöntem üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemler ***En Kısa Operasyon Süresi (SPT)*** ve ***En Uzun Operasyon Süresi (LPT)*** öncelik kuralları temel alınarak oluşturulmuştur. En Kısa Operasyon Süresi Kuralı, en kısa operasyon süresine sahip olan işe öncelik verip operasyona tabi tutar. En Uzun Operasyon Süresi Kuralı ise en uzun operasyon süresine sahip işe öncelik tanır.

İlk İki sezgisel yöntem ***Giffler & Thompson Algoritması ile birlikte En Kısa Operasyon Süresi (GTA-SPT) ve Giffler & Thompson Algoritması ile birlikte En Uzun Operasyon Süresi (GTA-LPT)***'dir ve aşağıda özetlenmiştir.

n= yapılacak toplam atama sayısı
P_n= yapılmış atamaların kümesi
Sn= yapılabilecek atamalar kümesi
Es_j= *S* kümesindeki *j* operasyonun en erken başlama zamanı
Ef_j= *S* kümesindeki *j* operasyonun en erken bitiş zamanı
T_{ijm} = *i* işinin, *j* operasyonunun, *m* makinesindeki operasyon süresi

Adım 1. İlk atama yapılacağı zaman P_1 kümesi boştur ve S_1 kümesine işlerin ilk operasyonları eklenir.

Adım 2. Atama işlemi için öncelik kuralı ***En Kısa Operasyon Süresi (SPT)*** veya ***En Uzun Operasyon Süresi (LPT)*** seçilir.

Adım 3. Eğer SPT kuralına karar verilirse, S_1 kümesinden en küçük T_{ijm}'ye sahip olan operasyon seçilir, LPT kuralı seçilirse, S_1 kümesinden en büyük T_{ijm}'ye sahip olan operasyon seçilir.

Adım 4. Seçilen operasyon S_1 kümesinden silinir ve P_2 kümesine eklenir. S_1 kümesine seçilen operasyondan sonra gelen operasyon eklenerek S_2 kümesini oluşturulur. Ayrıca seçilen operasyon için bu eşitliğinde sağlanması gerekmektedir: $Ef_j = Es_j + T_{ijm}$.

Adım 5. Diğer aşamalar aşağıdaki gibi devam eder.

-Çizelgelenen operasyon S_t kümesinden silinir P_n kümesine eklenerek P_{n+1} kümesi oluşturulur.

-Çizelgelenen operasyondan sonra gelen operasyon S_n kümesine eklenerek S_{n+1} kümesini oluşturulur.

Adım 6. Çizelgelenmeyen operasyon kalmayana kadar devam edilir.

Üçüncü ve dördüncü sezgisel yöntemlerimiz olan ***Farklı Operasyon Sırasına Sahip İşlerin Toplam Operasyon Süresinin Büyükten Küçüğe (RBA-1) veya Küçükten Büyüğe Doğru Sıralanması (RBA-2)*** yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1. Aynı operasyon sırasına sahip işler gruplanır. Örneğin; Lazer-Abkant, Punch, Lazer-Panel.

Adım 2. Oluşturulan gruplardaki işlerin her birinin toplam işlem süresi bulunur ve bunlar kendi gruplarının içinde ***büyükten küçüğe*** veya ***küçükten büyüğe*** doğru sıralanır.

Adım 3. En fazla sayıda iş içeren iki grup belirlenir ve birbirinden bağımsız ve aynı anda işlem görebilecek (farklı operasyon sırasına sahip) olan işler listelenir.

- Listeleme yapılırken iki gruptan farklı operasyon sırasına sahip olan işler önce seçilir.
- Bu seçilen işlerin operasyon sırası, diğer gruplardaki işlerin operasyon sırasıyla çakışıp çakışmadığı kontrol edilir. Eğer çakışma yoksa listelemeye devam edilir.
- Eğer çakışıyorsa bu işler, ilk iki gruptaki işler listelemeden önce listeye yerleştirilir.
-Eğer farklı operasyon sırasına sahip işler kalmadıysa, diğer gruplar en az iş sayısına ve kısa rotaya göre listelenir.

Adım 4. İşler bu sıralamaya göre işlenir.

Tablo 2. GTA-SPT, GTA-LPT ve GTA-GA Algoritmalarının Sonuçları

		Giffler & Thomson Algoritması ile SPT (GTA-SPT)			Giffler & Thompson Algoritması ile LPT (GTA-LPT)			Giffler & Thompson Algoritması ile Genetik Algoritma (GTA-GA)		
Ay	**İş Sayısı**	**Hesaplama Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Gün)**	**Hesaplama Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Gün)**	**Hesaplama Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Gün)**
1	276	1	1754248	27,1	1	1404528	21,7	1	1295540	20,0
2	328	2	3066700	47,3	1	2966064	45,8	2	2834420	43,7
3	328	6	3154788	48,7	1	2860252	44,1	4	2838676	43,8
4	380	4	4077412	62,9	2	3089624	47,7	2	3067108	47,3
5	336	3	2588004	39,9	2	2060156	31,8	1	2020516	31,2
6	328	4	2046180	31,6	1	1765876	27,3	2	1765304	27,2
7	368	3	3539820	54,6	1	2705676	41,8	1	2683712	41,4
8	344	3	2879236	44,4	1	2384812	36,8	3	2352752	36,3
9	340	4	3794836	58,6	1	3437760	53,1	1	3170576	48,9
10	328	2	3770924	58,2	2	2952820	45,6	1	2930144	45,2

Tablo 3. RBA-3, RBA-2 ve RBA-1 Algoritmalarının Sonuçları

		Ortalama Operasyon Süresine Göre Sıralama Yöntemi (RBA-3)			Farklı Operasyon Sırasına Sahip İşlerin Toplam Operasyon Süresinin Küçükten Büyüğe Doğru Sıralanması (RBA-2)			Farklı Operasyon Sırasına Sahip İşlerin Toplam Operasyon Süresinin Büyükten Küçüğe Doğru Sıralanması (RBA-1)		
Ay	**İş Sayısı**	**Hesaplama Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Gün)**	**Hesaplama Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Gün)**	**Hesaplama Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Sn)**	**Bitiş Süresi (Gün)**
1	276	1	1284632	19,8	1	1496584	23,1	1	1332452	20,6
2	328	2	2807964	43,3	2	3113284	48,0	2	2874404	44,4
3	328	4	2804736	43,3	4	3221256	49,7	4	3093308	47,7
4	380	2	3036832	46,9	2	3719436	57,4	2	3120912	48,2
5	336	1	2012492	31,1	1	2644972	40,8	1	2080572	32,1
6	328	2	1757068	27,1	2	2861684	44,2	2	2172564	33,5
7	368	1	2671244	41,2	1	3804972	58,7	1	2714164	41,9
8	344	3	2307424	35,6	3	3122168	48,2	3	2361804	36,4
9	340	1	3132220	48,3	1	3978168	61,4	1	3398164	52,4
10	328	1	2918064	45,0	1	3805016	58,7	1	2804972	43,3

Tablo 2 ve Tablo 3' te oluşturulan 6 farklı sezgisel algoritmaların sonuçları verilmiştir. Beşinci sezgisel yöntem ***Ortalama Operasyon Süresine Göre Sıralama Yöntemi (RBA-3)*** aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1. Bir işin toplam işlem süresi, toplam operasyona sayısına bölünerek bir operasyon başına düşen ortalama işlem süresi bulunur.

Adım 2. Operasyon başına düşen ortalama işlem süresine göre işler büyükten küçüğe doğru sıralanır.

Adım 3. İşler bu sıraya göre işlenir.

Altıncı sezgisel yöntem ise ***Giffler & Thompson Algoritması ile birlikte Genetik Algoritma (GTA-GA)***'dır.

Adım 1. Giffler & Thompson Algoritması her aşamada SPT veya LPT yeniden rastgele seçilerek uygulanır.

Adım 2. Her aşamada seçilen öncelik değerleri eğer SPT ise 1, LPT ise 2 sayıları olacak şekilde 1x*n*'lik matriste sırayla tutulur.
Adım 3. *n* kez ilk iki adım tekrar edilir ve başlangıç popülasyonu için *n* tane 1x*n*'lik, 1 ve 2 değerlerini içeren matris oluşturulur.
Adım 4. Rastgele 2 matris ebeveyn olarak seçilir ve "Tek Noktalı Çaprazlama" için 1 ve *n* arasında kadar rastgele bir sayı üretilir. "İki Noktalı Çaprazlama" için ise aynı aralıkta iki sayı üretilir.
Adım 5."Tek Noktalı Çaprazlama" için ilk ebeveynden üretilen sayıya kadar olan elemanlar alınır ve çocuk matrisin ilk parçasını oluşturur. Çocuk matrisin kalan elemanları, ikinci ebeveynin, üretilen sayından sonraki elemanları sırasıyla alınarak oluşturulur. "İki Noktalı Çaprazlama" için ise çocuk matris, ilk ebeveynin ilk sayıya kadar olan kısmından, ikinci ebeveynin ilk sayı ile ikinci sayı arasındaki elemanlarından ve kalan kısım ilk matrisin ikinci sayıdan itibaren olan elemanlarından oluşturulur.
Adım 6. Çocuk matrisin her elemanı için olasılık değeri üretilir ve o değer önceden belirlenen mutasyon oranından küçükse o eleman değiştirilir. (1 ise 2, 2 ise 1 yapılır)
Adım 7. Başlangıç popülasyonunda en kötü tamamlanma zamanını veren çizelge silinir, yerine oluşturulmuş çocuk matris yazılır ve 400 kez tekrar edilir.

IV. SONUÇ

Bu projede fabrikanın üretim planlama sorunu için hangi siparişin hangi makinede ne zaman işlem göreceği belirlenerek bir üretim planı oluşturulmuştur. İşlerin toplam tamamlanma zamanını en aza indirmek projedeki ana hedefimizdir. Bu sayede kapasitelerin doğru kullanımını sağlamayı ve verimliliği arttırmayı hedeflemekteyiz. Öncelikle şirketin detaylı sistem analizi yapılmıştır. Ardından tesisteki tanımlı iş ve malzeme akış süreçlerinin doğru anlaşıldığını teyid amacıyla Arena Simülasyon Yazılımı ile sistem modellenerek üretim sisteminin Esnek Atölye tipi Çizelgeleme Problemine uygun olduğu anlaşılmıştır. Şirketin sahip olduğu üretim tipi olan Esnek Atölye için detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatürdeki matematiksel modeller incelenip şirketin sistemine uygun matematiksel model oluşturulmuştur. Bu problem NP-zor olduğu için üretim çizelgesi oluşturmak amacıyla sezgisel yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Altı farklı sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritmalar, Giffler & Thompson Algoritması ile birlikte En Kısa Operasyon Süresi (SPT), Giffler & Thompson Algoritması ile birlikte En Uzun Operasyon Süresi (LPT), Farklı Operasyon Sırasına Sahip İşlerin Toplam Operasyon Süresinin Büyükten Küçüğe Doğru Sıralanması, Farklı Operasyon Sırasına Sahip İşlerin Toplam Operasyon Süresinin Küçükten Büyüğe Doğru Sıralanması, Ortalama Operasyon Süresine Göre Sıralama Yöntemi ve Giffler & Thompson Algoritması ile birlikte Genetik Algoritma'dır**.** Bu algoritmalar En Kısa İşlem Süresi (SPT) ve En Uzun İşlem Süresi (LPT) kuralları baz alınarak oluşturulmuştur. İşlerin makinelerdeki işlem süresi, işlerin akışı ve sezgisel yöntemler kullanılarak bir Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturulmuştur. KDS, hangi işin hangi sırada hangi makinede yapılacağını kullanıcıya sunmaktadır. Bu sayede planlama süreci daha verimli hale gelmiştir ve manuel yapılan çizelgelemeden kaynaklanan aksaklıkların önüne geçilmiştir.

V. BAŞARILAR

Bu proje TÜBİTAK tarafından "2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı" ile desteklenmeye hak kazanmıştır.

REFERANSLAR

[1] Taillard, E. (1993). Benchmarks for basic scheduling problems. European Journal of Operational Research
[2] Applegate, D., & Cook, W. (1991). A Computational Study of the Job-Shop Scheduling Problem. ORSA Journal on Computing, 3(2), 149–156.
[3] Jobish Vallikavungal Devassia, M. Angélica Salazar-Aguilar & Vincent Boyer (2018): Flexible job-shop scheduling problem with resource recovery constraints, International Journal of Production Research
[4] Yuan, Y., & Xu, H. (2013). A memetic algorithm for the multi-objective flexible job shop scheduling problem. GECCO 2013-Proceedings of the 2013 Genetic and Evolutionary Computation Conference, 559-566.
[5] Sanghyup Lee, Ilkyeong Moon, Hyerim Bae & Jion Kim (2012) Flexible job-shop scheduling problems with 'AND'/'OR' precedence constraints, International Journal of Production Research
[6] Demir, Y., & Kürşat İşleyen, S. (2013). Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems. Applied Mathematical Modelling, 37(3), 977–988

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

DİZİYE BAĞLI KURULUM ZAMANLARINA SAHİP TEK MAKİNE İŞ ÇİZELGELEMESİ

Aylin Elibol, Öykü Gökşen, Emin Erbay

Selen Tosun, Egemen Orta, Asena Ceritoğlu, Çınar Arabacı

Akademik Danışmanlar:

Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek, Araş. Gör. Hande Öztop

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Merkezi İsviçre Aarburg olan Franke, dünya çapında, birçok üretim sistemine sahip olan bir firmadır. Bu üretim sistemleri şu şekildedir: Mutfak Sistemleri, Su Sistemleri, Davlumbaz ve Pişirme Sistemleri, Kahve Sistemleri ve Yemek Servisi Sistemleri. Dünya genelindeki 11.000 çalışanı ve 40 ülkede bulunan 70 tesisi ile Franke grubu dünyanın lider mutfak sistemi üreticisidir. Geniş ürün yelpazesinde hizmet vererek tüketicilerin beklenti ve taleplerine cevap vermektedir. Toplamda 5 kıtada, 67 müttefik şirketi bulunan firma yıllık yaklaşık 2,117 milyar $ net satışa sahiptir.

1999 yılında İstanbul/Kartal'da faaliyetlerine başlayan Franke Türkiye, 2000 yılında Manisa'nın Muradiye beldesinde davlumbaz ve aspiratör üretmek üzere faaliyete geçerek, 23.000 m^2'lik alanda üretim yapmaktadır. Faber Franke Türkiye, sektörün en modern ekipmanlarını kullanarak gelişmiş teknolojik altyapısı ile üretim yapmaktadır. Toplamda 410 çalışanı ve 3000'i aşan tamamlanmış ürün kodu ve yıllık 1.300.000 adedin üzerinde aspiratör ve davlumbaz üretimi ile grubunun en önde gelen üretim tesislerinden biri haline gelmiştir. Üretilen ürünler başta Türkiye ve Avrupa olmak üzere, Avustralya'dan Kuzey Amerika'ya kadar tüm ülke pazarlarında yer bulmaktadır.

II. PROBLEM TANIMI

Franke Manisa, aspiratör ve davlumbaz ürünleri pazarında geniş ürün yelpazesine sahiptir. Firma, daimi olarak üretilen ürün tasarımlarına ek olarak, özel müşteri gereksinimlerine göre tasarlanmış geleneksel ürünler üretmek için yeni bir montaj hattı kurmayı planlamaktadır. Bu yeni kurulacak olan montaj hattı için, temin edilen yan sanayi ürünlerinin ve üretilecek ürünlerin montajı için bir planlama yapılması gerekmektedir. Bu projede, bu yeni montaj hattı için en iyi iş çizelgesini oluşturmak, toplam envanter maliyetini en aza indirmek, siparişlerin zamanında müşteriye teslimini sağlamak ve buna bağlı olarak kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturmak amaçlanmıştır. Bu proje, her bir siparişin üretim zamanını ve siparişlerin teslim zamanını göz önünde bulundurarak üretilecek ürünlerin ve yan sanayi ürünlerinin montaj hattında ne zaman hazır olması gerektiğini ve bu siparişlerin montaj hattında hangi sırayla işleneceğini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Müşterilerden alınan siparişler ürün modeli bazlıdır ve bu siparişler planlanan aralıkta toplu bir şekilde partiler halinde üretilmektedir. Bu montaj hattında, parti ürün guruplarının, belirlenen üretim planına bağlı olarak ve siparişlerin zamanında teslim edilmesi göz önünde bulundurularak, montajı yapılacaktır. Bu montaj hattında, üretilecek olan ürün grupları sipariş adetine bağımlı olarak parti halinde üretilecektir ve bu bizim problemimizde iş tanımını oluşturmaktadır. Ayrıca, ele alınan montaj hattı da bizim problemimizde makine tanımını oluşturmaktadır. Bir partinin (işin) montaj hattındaki işlemleri tamamlamadan diğer parti işleme sokulamamaktadır ve işler işlem altındayken bölünememektedir. Bu özelliklerden dolayı problemimiz tek makineli iş çizelgelemesi olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, bir ürün partisinden bir diğer ürün partisine geçildiğinde hatta kurulum yapılması gerekmektedir. Bu kurulum süreleri diziye (ürün sırasına) bağlı olduğu için çalışılan problemde diziye bağlı kurulum süreleri de yer almaktadır. Bunların yanı sıra, her bir müşteri siparişinin gecikme ceza maliyeti (ağırlığı) bulunmaktadır. Problemin amacı müşteri siparişlerinin toplam ağırlıklı gecikme süresini en aza indirgemektir.

Ayrıca, hazırlanacak olan üretim planlama sisteminden beklenen, ürünlerin ve üretilecek ürünün alt bileşenlerinin tam zamanında yeni montaj hattında hazır olmasıdır. Bu bileşenlerin hazır olma süresine bağlı olarak, nihai ürünün zamanında teslim edilebilmesi için alt bileşenlerin ne zaman birleştirileceği de belirlenmelidir. Dolayısıyla, bu projede çalışılan problem iki alt problemden oluşmaktadır:

-Teslim tarihlerine ve talep miktarına göre sipariş partilerinin montaj hattında hangi sırayla işleneceğinin belirlenmesi,

-Mekanik departmanda üretilen ürünler ile yan sanayiden tedarik edilen malzemelerin (ürünün alt bileşenlerinin), malzeme deposunda ve sonrasında montaj hattında ne zaman hazır olması gerektiğinin belirlenmesi.

Tüm bu beklentilerin ışığında; müşteri memnuniyetini sağlamak ve zamanında teslim edilemeyen siparişlerden dolayı oluşabilecek maliyetlerden kaçınmak için ürünlerin gecikmesini en aza indirgeyecek şekilde etkin bir çizelgeleme yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu projede, geliştirilen etkin çizelgeleme yöntemi ile, siparişlerin toplam ağırlıklı gecikmesini en aza indirgeyecek şekilde; sipariş partilerinin montaj hattında hangi sırayla işleneceği belirlenecek olup, bu sıraya göre ürünün alt

bileşenlerinin malzeme deposunda ve montaj hattında ne zaman hazır olması gerektiği de belirlenebilecektir.

Bu problem, akademik yazında, toplam ağırlıklı gecikmenin enazlanmasının amaçlandığı diziye bağlı kurulum sürelerine sahip tek makine çizelgeleme problemi olarak yer almaktadır. Çalışılan problem için matematiksel modelin kurulması sürecinde, M'hallah ve Alhajraf [1] ve Tanaka ve Araki [2]'nin çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca, iş sayısının daha yüksek olduğu durumlarda da optimal veya optimale yakın sonuçları elde edebilmek için sezgisel yöntem araştırması da yapılmıştır. Yapılan geniş yazın araştırmasından sonra, toplam ağırlıklı gecikmenin enazlanmasının amaçlandığı diziye bağlı kurulum sürelerine sahip tek makine çizelgeleme problemi için, Lee, Bhaskaran & Pinedo [3] tarafından önerilen ATCS kuralının problem için oldukça yaygın olarak kullanılan etkin bir sezgisel yöntem olduğu görülmüştür.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Tanaka & Araki [2] toplam ağırlıklı gecikmenin enazlanmasının amaçlandığı diziye bağlı kurulum sürelerine sahip tek makine çizelgeleme problemi için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Bu çalışmada da Tanaka & Araki [2] tarafından geliştirilen bu matematiksel model kullanılmıştır. Teslim tarihleri, işlem süreleri, gecikme ağırlıkları ve diziye bağlı kurulum süreleri gibi parametrelerle model çözülecek olup, bu çözüm sayesinde işlerin tamamlanma zamanları, gecikme süreleri ve optimal iş çizelgeleri elde edilecektir. Matematiksel model aşağıda açıklanmıştır [2]:

Kümeler

N: iş kümesi {1,2,3,…, *n*}

Parametreler

$\boldsymbol{d_i}$: *i* işinin teslim zamanı
$\boldsymbol{p_i}$: *i* işinin işlem süresi
$\boldsymbol{w_i}$: *i* işinin gecikme ağırlığı
$\boldsymbol{M}$: Büyük bir sayı
$\boldsymbol{s_{ij}}$: *i* işinin hemen arkasından *j* işinin geldiği durumdaki kurulum süresi

Karar Değişkenleri

$\boldsymbol{T_i}$: *i* işinin gecikme süresi
$\boldsymbol{C_i}$: *i* işinin tamamlanma zamanı
$\boldsymbol{y_{ij}}$ = 1, *i* işinin hemen arkasından *j* işi geliyor ise; 0, aksi takdirde.

Amaç Fonksiyonu

$$Z = minimize \sum_{1 \le i \le n} w_i T_i$$

Kısıtlar

$$T_i \ge C_i - d_i, \qquad \forall i \in N \tag{1}$$

$$\sum_{1 \le j \le n} y_{0j} = 1 \tag{2}$$

$$\sum_{1 \le i \le n} y_{i,n+1} = 1 \tag{3}$$

$$\sum_{\substack{0 \le i \le n \\ i \ne j}} y_{ij} = 1, \qquad \forall j \in N \tag{4}$$

$$\sum_{\substack{1 \le j \le n+1 \\ j \ne i}} y_{ij} = 1, \qquad \forall i \in N \tag{5}$$

$$C_j \ge (p_j + s_{0j}) y_{0j} - M(1 - y_{0j}), \qquad \forall j \in N \tag{6}$$

$$C_j \ge C_i + (p_j + s_{ij}) y_{ij} - M(1 - y_{ij}), \qquad 1 \le i, j \le n, i \ne j \tag{7}$$

$$y_{0j},\ y_{j,n+1},\ y_{ij} \in \{0,1\},\ C_i \ge 0,\ T_i \ge 0 \tag{8}$$

Amaç fonksiyonu toplam ağırlıklı gecikme süresini en aza indirgemeyi amaçlamaktadır. Kısıt (1) *i* işinin gecikme süresini, tamamlanma zamanı ile teslim zamanı arasındaki fark olarak belirlemektedir. Kısıt (2) tüm işler (*n* tane) arasından ilk çizelgelenecek işi belirler ve kısıt (3) tüm işler arasından son çizelgelenecek işi belirler. Kısıtlar (4) ve (5) *n* tane işin birbirleri arasındaki sıralamayı belirleyen kısıtlardır. Kısıt (6) ilk işin tamamlanma zamanını ve kısıt (7) ise her *j* işinin tamamlanma zamanını hesaplamaktadır. Son olarak, kısıt (8) karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

Bu çalışmada, büyük iş sayılarına sahip örnekler için de toplam ağırlıklı gecikmenin enazlanmasının amaçlandığı diziye bağlı kurulum sürelerine sahip tek makine çizelgeleme probleminin çözülmesi amaçlanmıştır. Ancak matematiksel model 12 işten daha fazla iş sayısına sahip örnekler için makul sürede optimal çözümü verememektedir. Bu nedenle, çalışılan problem için sezgisel yöntemler de önerilmiştir.

Hangi sezgisel yöntemin en uygun olacağına karar verebilmek için yazın taraması yapılmıştır. Yazın taraması sonucunda, Lee, Bhaskaran & Pinedo [3] tarafından önerilen ATCS (Kurulumlu Görünen Gecikme Maliyeti) kuralının problem için hızlı ve etkili bir çözüm sağlayan iyi bir yapıcı sezgisel olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu projede ATCS kuralını baz alan yeni bir sezgisel yöntem önerilmiştir. Önerilen sezgisel yöntemde ATCS kuralı kullanılarak ilk çözüm elde edilmektedir. Ardından, ilk çözümü daha da iyileştirmek adına, ikili yer değiştirme kuralına dayalı bir iyileştirme sezgiseli uygulanmaktadır. Geliştirilen iyileştirme sezgiseli çözümde herhangi bir iyileştirme olduğu sürece kendini tekrarlamaktadır. Önerilen ATCS kuralı bazlı sezgisel yönteme ek olarak, yazında yaygın olarak kullanılan EDD (En Erken Teslim Tarihi), WEDD (Ağırlıklı En Erken Teslim Tarihi), SPT (En Kısa İşlem Süresi) ve WSPT (Ağırlıklı En Kısa İşlem Süresi) gibi basit kurallar da kodlanmıştır. Her bir kural için iyileştirme sezgiselinin uygulandığı ve uygulanmadığı her iki versiyon da kodlanmıştır.

Önerilen ATCS kuralı bazlı sezgisel yöntem ile 60'tan fazla işe sahip örnekleri hızlı bir şekilde çözebilmek amaçlanmaktadır. Önerilen ATCS kuralı bazlı sezgisel yöntem üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, ölçeklendirme parametreleri için gerekli katsayılar hesaplanmakta ve bu katsayıları hesaplamak için gerekli olan C_{max} (maksimum tamamlanma zamanı) parametresi tahmin edilmektedir. İkinci aşama ise, ATCS kuralının öncelik indisi için ölçeklendirme parametrelerini belirlemekte ve iş çizelgeleme kuralını uygulamaktadır. Son aşamada ise, önceki aşamalarda belirlenen ilk çözüm daha iyi bir çizelge elde etmek için ikili yer değiştirme kuralına dayalı iyileştirme sezgiseli ile iyileştirilmektedir. Bu üç aşama aşağıda da detaylı bir şekilde açıklanmıştır:

Aşama 1: Bu aşamada, Teslim Tarihi Sıkılık faktörü τ , Teslim Tarihi Aralık faktörü R, Kurulum Zamanı Şiddet faktörü η ve $\hat{C}_{max}$ maksimum tamamlanma zamanı tahmini Tablo- 1'deki eşitliklere göre hesaplanmaktadır.

Tablo-1. ÖLÇEKLENDİRME PARAMETRELERİ İÇİN GEREKLİ KATSAYI HESAPLAMALARI

KATSAYI	EŞİTLİK	AÇIKLAMA
Teslim Tarihi Sıkılık faktörü	$\tau = 1 - \bar{d}/C_{max}$	$\bar{d}$: Teslim tarihlerinin ortalaması
Teslim Tarihi Aralık faktörü	$R = (d_{max} - d_{min})/C_{max}$	d_{max}: en uzak teslim tarihi d_{min}: en yakın teslim tarihi
Kurulum Zamanı Şiddet faktörü	$\eta = \bar{s}/\bar{p}$	$\bar{s}$: Kurulum sürelerinin ortalaması $\bar{p}$: İşlem sürelerinin ortalaması
Maksimum tamamlanma zamanı	$\hat{C}_{max} = n(\bar{p} + \delta\bar{s})\ with\ \delta \leq 1$,	n: İş sayısı δ:Maksimum tamamlanma zamanı hesaplama katsayısı
Maksimum tamamlanma zamanı hesaplama katsayısı	$\delta = 0.4 + 10/n^2 - \eta/7$	$Eğer\ \delta > 1\ ise, \hat{C}_{max}$: C_{min} ve C_{max} arasında rastgele bir sayı olarak alınmaktadır

Aşama 2: Bu aşamada, ölçeklendirme parametreleri olan k_1 ve k_2 aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır:

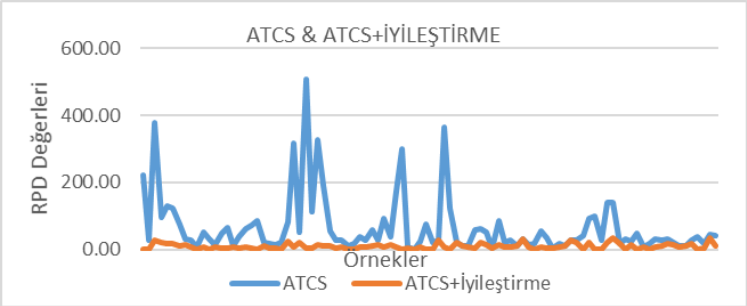
$$k_1 = 4.5 + R\ \ for\ R \leq 0.5$$
$$k_1 = 6.0 - 2R\ \ for\ R \geq 0.5$$
$$k_2 = \tau\ /\ 2\sqrt{\eta}$$

Bu k_1 ve k_2 değerleri ATCS kuralının öncelik indisini hesaplamak için kullanılmaktadır. Aşağıdaki formülde *t*, şu anki zamanı ve *l* ise henüz tamamlanmış işin indisini belirtmektedir.

$$I_j(t,l) = \frac{w_j}{p_j} exp\left[-\frac{max(d_j - p_j - t\,,0)}{k_1\bar{p}}\right] exp\left[-\frac{s_{lj}}{k_2\bar{s}}\right]$$

Öncelik indisi başlangıçta tüm işler için *t=0* alınarak hesaplandıktan sonra, en büyük indis değerine sahip iş seçilir ve ilk iş olarak atanır. İlk iş atandıktan sonra *t* zamanı biten işin zamanına göre güncellenir ve kalan işler için öncelik indisi hesaplanır. Ardından kalan işlerden en yüksek indis değerine sahip iş sıradaki iş olarak çizelgelenir. Her adımda en yüksek indis değerine sahip iş sıradaki iş olarak çizelgelenerek, bütün işler sıraya girene kadar bu kural uygulanır.

Aşama 3: Son aşamada, ilk çözümü daha da iyileştirmek adına, ikili yer değiştirme (swap) kuralına dayalı iyileştirme sezgiseli uygulanmaktadır. Geliştirilen iyileştirme sezgiseli çözümde herhangi bir iyileştirme olduğu sürece kendini tekrarlamaktadır. Bu iyileştirme sezgiselinin ilk çözüm üzerindeki etkisi 96 örnek üzerinden hazırlanmış olan Grafik-1'de görülmektedir. Bu grafikte kullanılan RPD değerinin hesabı Bölüm IV'de açıklanmaktadır.



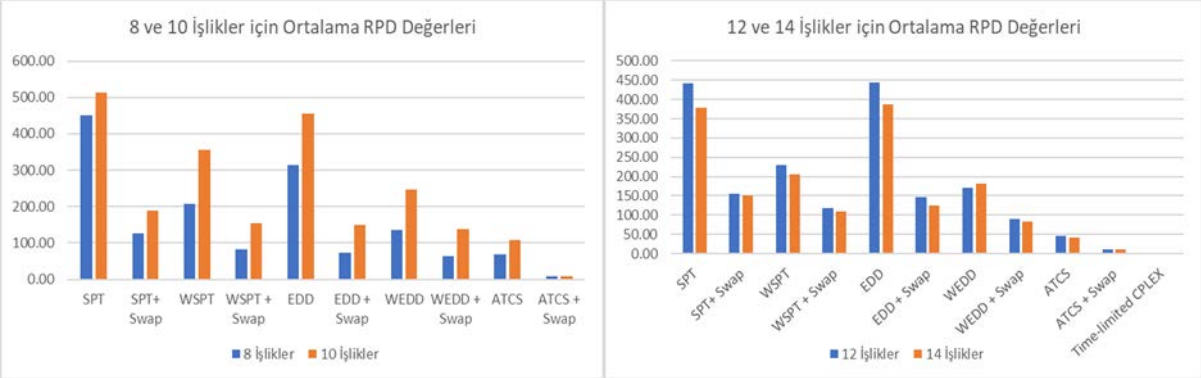
GRAFİK-1. ATCS-ATCS+İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI

IV. SAYISAL SONUÇLAR VE KARAR DESTEK SİSTEMİ

Matematiksel model IBM ILOG CPLEX 12.9 optimizasyon programı kullanılarak kodlanmış ve çözdürülmüştür. Önerilen ATCS, EDD, WEDD, SPT ve WSPT kuralı bazlı sezgiseller ise Microsoft Excel VBA yazılımı kullanılarak kodlanmıştır. Önerilen çözüm yöntemlerinin performansını değerlendirmek adına Valente ve Alves [4] ve Cicirello [5] tarafından önerilen örnek veri yaratma metodolojisi kullanılarak farklı iş sayılarına sahip 144 örnek geliştirilmiştir. Farklı (τ, η, R) kombinasyonlarına göre, her kombinasyon için 8 ve 10 işe sahip ikişer örnek; 12 ve 14 işe sahip birer örnek olacak şekilde toplam 144 örnek yaratılmıştır. Matematiksel model 8 ve 10 işe sahip örnekler için optimal çözümleri 1 saat içerisinde elde edebilmiştir. Dolayısıyla, önerilen yöntemlerin kıyaslanmasında bu optimal çözümler kullanılmıştır. Ancak, 12 ve 14 işe sahip örnekler için matematiksel model 1 saat süre limiti altında optimal çözümleri bulamamaktadır. Dolayısıyla, 12 ve 14 işe sahip örnekler için modelin 1 saat süre limiti sonunda raporladığı olurlu çözümler kıyaslama için kullanılmıştır.

Önerilen yöntemlerin karşılaştırması Göreli Yüzde Sapma (RPD) formülüne göre yapılmıştır. RPD formülü, modelin 8 ve 10 işe sahip örnekler için optimal sonucu bulmasından dolayı, "$RPD = ((sezgisel\ sonuç - optimal\ sonuç)/optimal\ sonuç) * 100$" olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan, model 12 ve 14 işe sahip örnekler için optimal sonucu kabul edilebilecek bir süre zarfı içerisinde bulamadığı için; bu örnekler için, modelin bulduğu olurlu çözüm ile sezgisel yöntemlerin bulduğu olurlu çözümler arasından en iyi çözüm "en iyi sonuç" olarak seçilerek; RPD formülü bu en iyi çözüme göre hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 12 ve 14 işe sahip örnekler için, RPD formülü "$RPD = ((sezgisel\ sonuç - en\ iyi\ sonuç)/en\ iyi\ sonuç)$ *100" olarak hesaplanmıştır.

Grafik-2 bu karşılaştırmalar sonucu ATCS kuralının performansının diğer sezgisel yöntemlere göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere, iyileştirme sezgiselinin de uygulandığı ATCS kuralı bazlı sezgisel yöntemin ortalama RPD değerleri: 8 iş sayısına sahip örnekler için 7.71%, 10 iş sayısına sahip örnekler için 8.03%, 12 iş sayısına sahip örnekler için 10.48% ve 14 iş sayısına sahip örnekler için 11.27%'dir. Grafikte de görüldüğü üzere ikili yer değiştirme (swap) kuralına dayalı iyileştirme sezgiseli önerilen sezgisel yöntemlerin performansını oldukça iyileştirmektedir. Ayrıca, Tablo-2 önerilen ATCS kuralı bazlı sezgisel yöntemin detaylı sonuçlarını raporlamaktadır.



GRAFİK-2. 8-10-12-14 İŞE SAHİP ÖRNEKLER İÇİN ORTALAMA RPD DEĞERLERİNİN KIYASLANMASI

Tablo-2. ATCS KURALI BAZLI SEZGİSEL YÖNTEMİN DETAYLI SONUÇLARI

ATCS + İyileştirme							
ARPD (%) Optimal Sonuçlardan		Bulunan en iyi sonuç sayısı (48 örnek üzerinden)		ARPD (%) En iyi Sonuçlardan		Bulunan en iyi sonuç sayısı (24 örnek üzerinden)	
n=8	*n=10*	*n=8*	*n=10*	*n=12*	*n=14*	*n=12*	*n=14*
7.71	**8.03**	**15**	**14**	**10.48**	**11.27**	**3**	**5**

Ayrıca, fabrikaya pratik ve hızlı bir çizelgeleme yöntemi sunmak için kullanıcı dostu bir karar destek sistemi de geliştirilmiştir. Yukarıdaki sonuçlarda da görüldüğü üzere, ATCS + İyileştirme Sezgiseli ve WEDD + İyileştirme Sezgiseli versiyonlarının daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı geliştirilen karar destek sisteminde bu iki yöntem de kodlanmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi her iki yöntemi de çalıştırıp en iyi sonucu kullanıcıya raporlamaktadır. Karar Destek Sistemi kullanıcı dostu olup birçok fonksiyon içermektedir. Kullanıcı, işleri ekleyebilmektedir; iş çizelgelerini Gantt Grafiği olarak görebilmektedir ve sonuçları PDF dosyası olarak yazdırabilmektedir. Geliştirilen karar destek sistemi dinamiktir ve veri tabanının değiştirilebilmesi özelliği ile birlikte başka hatlara da uygulanabilir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, toplam ağırlıklı gecikmenin enazlanmasının amaçlandığı diziye bağlı kurulum sürelerine sahip tek makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Öncelikle küçük örnekler için optimal çözümleri bulmak adına bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ardından daha büyük iş sayısına sahip örnekleri çözebilmek için ATCS kuralı bazlı bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Önerilen sezgisel yöntemde ATCS kuralı kullanılarak ilk çözüm elde edilmektedir. Ardından, ilk çözümü daha da iyileştirmek adına, ikili yer değiştirme kuralına dayalı bir iyileştirme sezgiseli uygulanmaktadır. Bu sezgisel yöntemin yanı sıra yazındaki diğer sezgisel kurallar (EDD, WEDD, SPT ve WSPT) da kodlanmıştır. Önerilen çözüm yöntemlerinin performansını değerlendirmek adına farklı iş sayılarına sahip 144 örnek veri geliştirilmiştir. Yapılan detaylı sonuç analizlerine göre, ATCS kuralının ikili yer değiştirme kuralına dayalı iyileştirme sezgiseli ile birlikte uygulandığında çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Planlama mühendisinin yeni montaj hattı için hızlı ve verimli iş çizelgeleri hazırlamasını sağlamak için şirketin kullanımına yönelik esnek ve kullanıcı dostu bir karar destek sistemi de geliştirilmiştir. Önerilen sezgisel yöntemler bu karar destek sistemine entegre edilerek, siparişlerin teslimindeki gecikmelerin en aza indirgenmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Gelecek çalışmalarda, geliştirilen karar destek sistemine iş gecikme ağırlıklarını belirleyen bir ek modül de eklenebilir. Geliştirilen bu sistem benzer özelliklere sahip başka hatların iş çizelgelemelerinde de kullanılabilir.

REFERANSLAR

[1] Rym M'Hallah and Ali Alhajraf, "Ant colony systems for the single-machine total weighted earliness tardiness scheduling problem", *Journal of Scheduling*, vol.19, pp. 191-205, April 2015.

[2] Shunji Tanaka and MituhikoAraki , "An exact algorithm for the single-machine total weighted tardiness problem with sequence-dependent setup times", *Computers & Operations Research*, vol. 40, pp.344-352, July. 2012.

[3] Young Hoon Lee, Kumar Bhaskaran and Michael Pinedo, "A heuristic to minimize the total weighted tardiness with sequence-dependent setups", *IIE Transactions*, vol.29, pp.45-52, May 1997.

[4] Jorge M.S. Valente, Rui A.F.S. Alves, "Beam search algorithms for the single machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setups", *Computers & Operations Research*, vol.35, pp. 2388-2405, July 2008.

[5] Vincent A. Cicirello, "Weighted Tardiness Scheduling with Sequence-Dependent Setups: A Benchmark Problem for Soft Computing", *Applications of Soft Computing*, vol. 52, pp. 189-198, 2009.

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

BOYA ENDÜSTRİSİNDEKİ HAMMADDELER İÇİN ENVANTER YÖNETİMİ

Nazlı Deniz Karadağ, Ferhat Şiyar Aydin, Selen Gizem Sayin,

Alper Engin, Simge Baba, Mete Uçan, Berker Yazgan

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Gizem Mullaoğlu, Araş. Gör. Sinem Özkan

İzmir, 2020

I.GİRİŞ

Envanter, bir işletmenin kâr elde etmek amacıyla müşterilere satmayı amaçladığı ürünler ya da malzemelerdir. Envanterin üreticilerden depolara ve bu tesislerden satış noktasına kadar takip edilme süreci olan envanter yönetimi, tedarik zincirinin kritik bir öğesidir [1]. İhtiyaç duyulduğu anda istenilen ürünün elde bulunmaması, müşteri memnuniyetsizliğine ve finansal kayba neden olmaktadır. Ayrıca, elde fazla ürün tutulması, depolama maliyeti ve hasar riskinin yanında ürünlerin depolarda gereksiz yer kaplamasına neden olmaktadır.

Araştırmanın hedefi, şirkete ihtiyacı olan envanter politikasını kullanarak hammaddeler için uygun inceleme aralıkları, sipariş verme noktaları ve hedef envanter seviyelerini belirlemektir. Bu verileri kullanarak ne zaman ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiği Karar Destek Sistemi (KDS) ile kullanıcıya sunulmaktadır. KDS, temelde geçmiş tüketim verilerini girdi olarak alır, ürünlerin özelliklerini öğrenir. En uygun tekrar sipariş verme noktalarını (s), en uygun hedef envanter seviyelerini (S), hizmet seviyelerini, stok gün sayılarını, sipariş verilip verilmemesi gerektiğini ve önerilen sipariş miktarını çıktı olarak verir. Modelin doğruluğu belirli bir ürünün farklı parametrelerle simüle edilmesiyle (talep oranı, ortalama talep miktarı, teslim süresi ve inceleme aralığı) ve bu parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin (hizmet seviyesi ve stok gün sayısı) gözlemlenmesiyle sağlanmıştır.
Projenin amacı, envanter analizi yapan ve kullanıcıya önerilen sipariş miktarlarını sunan algoritmanın gömülü olduğu bir Karar Destek Sistemi geliştirmektir. Geliştirilen yöntemin, eski envanter yönetim sürecinden kaynaklanan semptomları önleyeceği düşünülmektedir.

II.PROBLEMİN TANIMI

DYO Boya İmalat ve Ticaret Şirketi 1927 yılında Durmuş Yaşar tarafından İzmir Bornova'da kuruldu. DYO'nun yıllık geliri son 10 yıldır artmaktadır. Şirket, gelecekte çevre dostu ve sürdürülebilir boyalar geliştirirken, üretimde de gelirini artırmaya devam etmeyi planlamaktadır. Bu proje Çiğli'de bulunan tesise odaklanmaktadır. Bu tesis 67 bin m² taban alanına ve yıllık 94 bin ton üretim kapasitesine sahiptir. Tesiste 209'u beyaz yakalı çalışan olmak üzere toplam 438 çalışan bulunmaktadır.
DYO Boya İmalat ve Ticaret Şirketi'nin mevcut envanter yönetim fonksiyonları planlama departmanı tarafından yönetilmektedir. Planlama departmanı, sipariş miktarlarını mevcut stok seviyesini, geçmiş tüketim verilerini ve talep tahminlerini değerlendirerek belirlemektedir. Planlama bölümü çalışanları envanteri yönetmek için dinamik ve bilimsel bir yaklaşım kullanmamaktadırlar. Envanter yönetimi şu anda sipariş süreçlerini kontrol eden çalışanların deneyimlerine dayanmaktadır. Tesiste envanteri yönetmek için bilimsel bir yöntem kullanılmamasından kaynaklanan semptomlar aşağıdadır:

- Firma sipariş miktarlarını ve yeniden sipariş noktalarını hesaplamak için çok zaman harcamaktadır.
- Bazı hammaddelerin stok seviyeleri fazla tutulmaktadır bu yüzden bu hammaddeler depoda gereksiz yer kaplamaktadır.
- Bazı hammaddelerin stok seviyeleri yeterli düzeyde tutulmamaktadır. Bu hammaddelerin stokları sık sık tükenmektedir.

Envanter politikalarını belirlerken "Ne zaman sipariş verilmeli?" ve "Ne kadar sipariş verilmeli?" soruları cevaplanmalıdır. Ayrıca, aşağıdaki dış faktörler de dikkate alınmalıdır:

- Nihai müşteri talebi en az %85 oranında karşılanmalıdır. Hammadde stok seviyeleri, nihai müşteri taleplerinin geldiği anda üretime başlamaya yeterli değilse talep karşılanmaz. Ardısmarlamaya izin verilmez.
- Firma, ürünleri parti halinde işler, böylece hammadde stok seviyeleri doğrusal olarak azalmaz. Talep hızı ve ortalama talep büyüklüğü ayrı ayrı ele alınmalıdır.
- Hammaddelerin alım fiyatları ve kullanım sıklıkları büyük farklılıklar göstermektedir.

Bunlara ek olarak, hammaddelerin satın alındığı bazı tedarikçi firmalar siparişler için minimum sipariş miktarı ve parti büyüklüğü belirlemektedir. Şirket, hammadde ihtiyacı oluştuğunda, tedarikçiden belirli miktarın üzerinde ürün sipariş edebilir. Bu miktar, raporda minimum sipariş miktarı olarak ifade edilmektedir. Şirket bu miktardan daha fazlasına ihtiyaç duyarsa, siparişlerine parti büyüklüğünün

katları olarak ekstra hammadde ekleyebilir. Her bir hammaddenin son 5 yıldaki tüketim verileri, satın alma fiyatları, teslim süreleri ve aylık tüketim değerleri ile minimum sipariş miktarları ve parti büyüklükleri şirketin veri tabanından temin edilmiştir.
Projenin başarısını ölçmek için hizmet seviyesi ve stok gün sayıları kullanılacaktır. Kritik başarı faktörlerini en iyileştirmek için envanter politikaları, talebi en az %85 oranında karşılarken hammadde stok gün sayısını en aza indirmelidir.

III.ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Envanter kontrolü problemleri, yöneylem araştırmasının en önemli problemlerinden biri olmakla birlikte tüm şirketler ve hammaddeler için uygun tek bir yöntem ve çözüm metodu yoktur [2]. Bu projede, şirkette 2500'den fazla çeşit hammadde kullanılasından dolayı, hammaddeleri kategorilere ayırmak için çeşitli envanter analizleri yapmak faydalı görülmüştür.
Her bir hammaddenin envanter seviyesini sıkı bir şekilde kontrol etmek ekonomik olmadığı için ABC Analizini kullanılarak ürünlerin yıllık tüketim değerlerine göre sınıflandırılması ve daha yüksek yıllık tüketim değerlerine sahip ürünlere odaklanması önerilmektedir [3]. Ürünler yıllık tüketim miktarlarına göre az tüketilen (A), orta seviyede tüketilen (B) ve az tüketilen (C) ürünler olarak belirlenmiş üç gruba ayrılmaktadır. Bu projede hammaddelerin yıllık tüketim değerleri (ACV) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\mathrm{ACV_i} = \frac{\sum_{j=1}^{m} P_i * \mathrm{CR_{ij}}}{m}, \quad i = 1,2 \dots n \tag{1}$$

ACV_i = i hammaddesinin yıllık tüketim miktarı, CR_{ij} = i hammaddesinin j yılı boyunca tüketim miktarı, P_i =i hammaddesi için birim satın alma fiyatı, n = Hammadde sayısı, m = Yıl sayısı.
Toplam yıllık tüketimin yaklaşık %80'ini oluşturan en yüksek ACV değerlerine sahip hammaddeler A, toplam yıllık tüketimin yaklaşık %15'ini oluşturan hammaddeler B, toplam yıllık tüketimin yaklaşık %5'ini oluşturan en düşük ACV değerlerine sahip hammaddeler C sınıfına yerleştirilmiştir.
Hammaddelerin uygun inceleme aralığını belirlemek için öğeleri FSN Analizi kullanarak miktarlarına veya tüketim sıklıklarına göre sınıflandırması önerilmektedir. [4]. Hammaddeler hızlı hareket eden (F), yavaş hareket eden (S) ve hiç hareket etmeyen (N) ürünler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Hammaddelerin ortalama tüketim oranları (ACR) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\mathrm{ACR_i} = \sum_{j=1}^{m} \frac{\mathrm{CR_i}}{m}, \quad i = 1,2 \dots n \tag{2}$$

$\mathrm{ACR_i}$ = i hammaddesinin ortalama yıllık tüketim oranı, CR_{ij} = i hammaddesinin j yılı boyunca tüketim miktarı, n = Hammadde sayısı, m = Yıl sayısıdır.

ACR değerleri 14000'in üzerinde olan ve son 60 ayın en az 23'ünde kullanılan ürünler F, ACR değerleri 5000'in üzerinde olan ve son 60 ayın en az 1'inde kullanılan ürünler S, geri kalan ürünler N sınıfına yerleştirilmiştir.

ABC ve FSN analizi sonuçları kullanılarak hammaddeler gruplara ayrılmıştır. Grupların özellikleri şirkete danışılarak belirlenmiştir. Grup 1'in inceleme aralığı 7 gündür ve üyeleri AF, AS, BF sınıflarıdır. Grup 2'in inceleme aralığı 14 gündür ve üyeleri AN, BS, CF sınıflarıdır. Grup 3'ün inceleme aralığı 28 gündür ve üyeleri BN, CS, CN sınıflarıdır.

Ürünlerin aylık tüketim verilerinden aylık talep oranları ve ortalama talep büyüklükleri analiz edilmiştir. Analizler sonucunda verilerin büyük bir kısmının Poisson Dağılımı'na uyum sağladığı gözlenmiştir. Sonraki adımlarda ortalama talep oranı ve ortalama talep büyüklüğü Poisson Dağılımı kullanılarak modellenmiştir. Ortalama talep oranları her aydaki talep sayısının ortalaması alınarak, ortalama talep büyüklüğü talep gelen aylardaki talep miktarlarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır.
Simülasyon ve en uygun şekle getirme algoritmasında başlangıç noktası olarak kullanmak için sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, temin süresinin inceleme aralığından kısa olması varsayımı

altında aşağıdaki denklemler kullanarak başlangıç yeniden sipariş noktası (s) ve hedef envanter seviyesi (S) hesaplanır:

$$\text{Başlangıç s} = \lceil (\text{RI} + \text{LT}) * \lambda_1 * \lambda_2 \rceil \quad (3)$$

$$\text{Başlangıç S} = \text{Başlangıç s} + \text{MOQ} \quad (4)$$

RI = İnceleme aralığı, LT = Temin süresi, λ_1= Ortalama talep oranı, λ_2 = Ortalama talep büyüklüğü, MOQ = Minimum sipariş miktarıdır.

Başlangıç s,S değerleri etrafında ayrıntılı arama yapılmış. Arama sürecinde her s,S kombinasyonu simülasyon modelinde kullanılarak kombinasyonun beklenen hizmet seviyesi ve ortalama stok gün sayısı hesaplanmıştır. Hizmet seviyesi %85'in üzerinde olan kombinasyonlar arasından ortalama stok gün sayısı en düşük olan s,S kombinasyonu seçilerek optimal sonuca ulaşılmıştır.

Aşağıdaki varsayımlar altında kurulan simülasyon modeli Şekil 1'de sunulmaktadır:

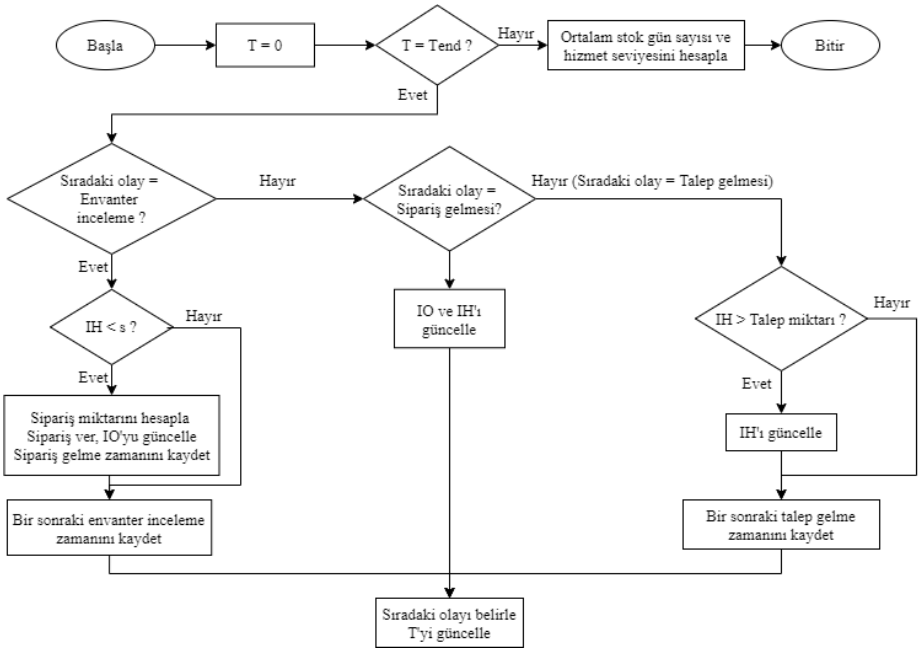
- Başlangıç eldeki envanter seviyesi ve sipariş miktarı 0'dır.
- Ürünlerin temin süreleri inceleme aralıklarından daha kısadır.
- İlk olay envanter incelemedir.
- Talep hızları ve ortalama talep miktarları Poisson Dağılımı'na uymaktadır.
- Talep kısmen karşılanamaz.

IH, IO, T and Tend sırasıyla eldeki envanter seviyesi, sipariş miktarı, güncel zaman ve simülasyon süresini ifade etmektedir.

Sipariş miktarı, simülasyon boyunca sipariş verirken aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$k = \lceil \frac{S - MOQ - IH}{BS} \rceil, \ \text{Sipariş Miktarı} = MOQ + k \text{ x } BS$$

MOQ = Minimum sipariş miktarı, BS = Parti büyüklüğü, S = Hedef envanter seviyesidir. *(5)*



Şekil 1. Simülasyon Akış Diyagramı

Her bir kombinasyonun hizmet seviyesini ve ortalama stok günlerini hesaplamak için simülasyon sonrasında aşağıdaki hesaplamalar kullanılır:

$$\text{Hizmet Seviyesi} = \frac{\sum_{i=1}^{sd} \text{karşılanan talep miktarı i}}{\sum_{i=1}^{d} \text{talep miktarı i}} \quad (6)$$

d = Toplam talep sayısı, sd = Karşılanan talep sayısıdır.

$$\text{Ortalama stok gün sayısı} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{ürünün kullanılmadan önce stokta geçirdiği gün sayısı i}}{n} \quad (7)$$

n = Şirketin deposuna teslim edilen ürün sayısıdır. Bu denklemlerde belirtilen değişkenler simülasyonun başında 0 olarak başlatılır ve simülasyon boyunca güncellenir.

VBA Tabanlı, kullanıcı dostu bir Karar Destek Sistemi envanter analizi sonuçlarını, yeniden sipariş noktalarını, hedef envanter seviyelerini, optimizasyon sonuçlarını ve haftalık önerilen sipariş miktarlarını kullanıcıya sunmak için geliştirilmiştir. Bu KDS, şirketin SAP sistemine entegre edinilebilir ve kolaylıkla kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

KDS menüsünde dört ana işlev bulunur. İlk temel işlev, kullanıcının geçerli envanter düzeylerini KDS'ye yüklediği envanter incelemesi yapmaktır. Mevcut stok seviyeleri yeniden sipariş seviyeleri ile karşılaştırılır ve önerilen sipariş miktarları (5) denklemi kullanılarak hesaplanır. Bu işlevin sonuçları Gösterge Tablosunda yazdırılır ve kullanıcıya sunulur.

Ana menünün ikinci düğmesi olan "Sonuçları Görüntüle" kullanıcıya 3 seçenek sunar: ürün seçme, grup seçme veya tüm öğelerle devam etme. Ardından, seçilen öğenin/grubun envanter analizi ve optimizasyon sonuçları (yıllık tüketim değeri, ortalama tüketim oranı, grup, gözden geçirme aralığı, en uygun yeniden sipariş noktası, en uygun hedef envanter seviyesi, beklenen ortalama stok günleri, beklenen hizmet seviyesi) toplanır ve yeni bir çalışma sayfasında kullanıcıya sunulur.

Ana menünün üçüncü düğmesi olan “Verileri Düzenle” kullanıcıya 3 seçenek sunar: sisteme yeni bir ürün ekleme, mevcut bir öğenin parametrelerini değiştirme ve bir ürünü silme. Yeni ürün ekleme seçeneğinde gerekli parametreler girdi olarak alınır, çözüm yöntemi uygulanır ve sonuçlar kullanıcıya sunulur. Dördüncü düğme olan “Yeni Sistemi Başlat”, “Yeni Ürün Ekle” işlevine benzer şekilde çalışır. Ancak, kullanıcı birden çok ürünün giriş verilerini “Yeni Sistemi Başlat” işlevine yükleyebilir ve mevcut veriler sistemden silinir.

IV.SONUÇ

Çözüm yöntemini doğrulamak için bir ürünün parametreleri değiştirilerek simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları parametrelerdeki (ortalama talep miktarı, talep hızı, inceleme aralığı, temin süresi, yeniden sipariş noktası ve hedef envanter seviyesi) değişimlerin sonuçlarında (hizmet seviyesi ve ortalama stok gün sayısı) beklenen değişikliklere yol açtığını göstermiştir.

Çözüm yöntemini onaylamak için bir hammaddenin 12 aylık tüketim değerleri ve ay sonundaki stok seviyeleri şirketten temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak çözüm yönteminin optimal olarak sunduğu s,S değerlerinin performansı analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarının çözüm yönteminin sunduğu beklenen hizmet seviyesi ve stok gün sayısına yakın olduğu gözlenmiştir. Ancak bu ürünün geçmiş hizmet seviyesi ve ortalama stok gün sayıları şirketten temin edilemediği için çözüm yönteminin sonuçları ile karşılaştırılamamıştır ve çözüm yönteminin performansı ölçülememiştir.

Bu proje boyunca, hammaddeler ABC ve FSN analizleri kullanılarak sınıflandırılmıştır, analiz sonuçlarına göre ürünlere uygun inceleme aralıkları belirlenmiştir, ortalama talep miktarı ve talep hızları geçmiş tüketim verileri kullanılarak hesaplanmıştır ve ürünlerin en uygun hedef envanter düzeyleri ve yeniden sipariş noklarını elde etmek için bir simülasyon ve en uygun şekle getirme algoritması geliştirilmiştir. Çözüm metodolojisi, şirketten alınan sınırlı verilerle onaylanmıştır ve doğrulanmıştır. Çözüm yöntembilimi, her ürün için %85'in üzerinde hizmet seviyesi ve minimum stok günleri sağladığından, bu projenin kritik başarı faktörleri karşılanmıştır. Şirketin SAP sistemine entegre edilebilen ve kolaylıkla kullanılabilen VBA tabanlı, kullanıcı dostu bir KDS geliştirilmiştir.

REFERANSLAR

[1] Sprague L, Sardy M. (2009) Inventory Management. *Industrial Innovation Inventory Management*. 25-41. doi:10.1201/9781420079982.ch2.

[2] Adams, C. (2004). Inventory Optimization Techniques, System vs. Item Level Inventory Analysis. *Annual Symposium Reliability and Maintainability, 2004* - RAMS. doi: 10.1109/rams.2004.1285423

[3] Zipkin, P. H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. Boston: McGraw-Hill.

[4] Kumar, Y. (2017). FSN Analysis for Inventory Management – Case Study of Sponge Iron Plant. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 5*(II), 53–57. doi: 10.22214/ijraset.2017.2008

[5] Bartmann, D., & Beckmann, M. J. (1992*). Inventory Control: Models and Methods.* Berlin: Springer-Verlag

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

ÇOK TARAFLI VE ÇOK MODELLİ SOĞUTUCU MONTAJ HATTI DENGELEME

Seda Gemici, Buse Geniş, İrem Almila Koçyiğit, Emine Otuzbir, Müge Özer, Sinem Pekelli, Fethi Tüzmen

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Levent Kandiller, Araş. Gör. Hande Öztop

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Rekabetin büyük oranda gözlemlendiği endüstriyel ortamlarda, üretim maliyetlerinin düşürülmesinin ve üretim kaynaklarının etkin biçimde kullanılmasının daha önemli hale gelmesiyle beraber endüstriyel işletmeler üretim maliyetlerini düşürebilmek amacıyla montaj hattı üretim sistemlerine yönelmişlerdir. Fakat yüksek hacimlerde üretim için düşünülen montaj hatlarında, istasyonlara atanan işlerin toplam operasyon sürelerinin dengelenmesi yönünde sorunlar ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, montaj hattının dengelenmesi fabrikaların üretim planlama ve kontrol çalışmalarında önemli bir yere sahiptir.

Bu proje, Öztaş'ın soğutucu üretimi yapan Greencooler markasıyla yürütülmüştür. Öztaş Demir Çelik 1980 yılında Manisa'da kurulmuştur ve kuruluşundan bu yana demir, çelik ve sac işleme yapmaktadır [1]. 2016 yılında Greencooler markasını yaratmış ve ticari soğutucu üretimine başlamıştır [2]. Projenin amaçları, özel durumları dolayısıyla geleneksel montaj hattı dengeleme yöntemlerinin kullanılamadığı bir montaj hattı için uygun bir hat dengeleme yöntemi geliştirip iş istasyonu sayısını azaltmak, iş istasyonları arasındaki iş yükü dengesini sağlamak ve kullanıcı dostu bir karar destek sistemi ile hat dengeleme maliyetini asgari düzeyde tutmak şeklinde sıralanabilir.

II. PROBLEM TANIMI

Projenin gerçekleştirildiği işletmedeki montaj hattı, standart montaj hattı tanımlarına uymadığı ve birden fazla özel durumu bir arada bulundurduğu için akademik yazındaki diğer montaj hattı dengeleme problemlerinden farklıdır. Montaj hattının dengesiz olması, dar boğazların oluşmasına, bazı istasyonlarda diğerlerinden daha fazla iş yükü olacağı için verimlilikte düşüşlerin yaşanmasına ve firmanın etkin, hızlı ve ekonomik üretim yapamamasına neden olmaktadır.

Montaj hattı dengeleme problemi üzerine çok sayıda akademik çalışma olmasına rağmen bu projede geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin çözüm yöntemlerinin doğrudan uygulanamayacağına karar verilmiştir. İşletmenin montaj hattı incelendiğinde, dar boğaz istasyonunun kimyasal tepkimeler içermesinden dolayı operasyon süresinin değiştirilemeyeceği görülmüştür. Bu yüzden projenin amacının çevrim süresinin değil, istasyon sayısının azaltılması olduğuna kanaat getirilmiştir. Ayrıca, gözlemler sırasında, iş yükü dengesizliği ve standart bir çalışma düzeninin olmaması gibi çeşitli sorunlar da tespit edilmiştir. Bu sebeple istasyon sayısı en azlandıktan sonra işlerin mevcut istasyonlara dengeli bir şekilde atanması da verimliliğin arttırılabilmesi için projede büyük rol oynamaktadır.

İşçi sayısının en azlanması ve dengeli bir şekilde tüm işçilere dağıtılması sırasında hattın özel durumları da dikkate alınmak zorundadır. Bu özel durumlar şöyle sıralanabilir; bir makinada gerçekleşen ve bu yüzden hattın sadece belirli bir bölgesinde yapılabilen işler, aynı anda iki kişi tarafından karşılıklı olarak yapılmak zorunda olan işler, çevrim süresinin aşılmaması için birden fazla kişinin aynı anda yapmak zorunda olduğu işler ve uzun operasyon süresi yüzünden tek kişiye atanamamasına veya atansa bile işçiler arasındaki iş yükünün yeterince dengeli bir biçimde dağılmamasına neden olan işler.

İşçi sayısının gerekenden fazla olması ve bu işçilerin arasındaki iş yükü dengesizliği gibi sorunlar, montaj hattının özel durumları ve işlerin öncüllük ilişkileri dikkate alınıp probleme özgü çözüm yöntemleri geliştirilerek montaj hattının yeniden dengelenmesiyle çözülecektir.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Projenin başlangıcında, sistem detaylı bir şekilde incelenmiş ve analiz edilmiştir. Sistemi daha iyi anlayabilmek ve çözümleyebilmek adına, kronometre yöntemi ile zaman etüdü yapılmış ve işlerin öncelik diyagramı da oluşturulmuştur. Montaj hattındaki sorunların kök neden analizi yapılıp balık kılçığı diyagramı hazırlanmıştır. İş istasyonlarındaki iş yükü dağılımlarının grafiği çıkartılıp istatiksel olarak incelenmiştir. Mevcut sistemin özelliklerine göre literatür taraması yapılmış benzer sorunların çözüm yöntemleri incelenmiş ve yöneylem araştırmasının bir aracı olan matematiksel modelleme yöntemiyle ilerlemeye karar verilmiştir.

İlk olarak, problemi tanımlamak ve sınıflandırmak adına, Boysen vd. [3] tarafından yapılan akademik çalışma incelenmiştir. Ayrıca, Scholl'un [4] montaj hattı dengeleme problemleri üzerine yazdığı kitaptan da yararlanılmıştır. Daha sonra, sabit çevrim süresi altında, istasyon sayısının en azlanmasının hedeflendiği montaj hattı dengeleme problemlerini ele alan makaleler incelenmiştir [5, 6].

Fakat, bu literatür taramasının sonucunda, projede çalışılan montaj hattında yer alan tüm özel kısıtları aynı anda ele alan bir çalışmanın literatürde bulunmadığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, bu projede çalışılan montaj hattı için özgün bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Tek montaj hattında bir arada bulunmalarıyla projeyi akademik yazındaki diğer çalışmalardan ayıran özel durumlar başlıca dört başlık altında incelenebilir. Bunlar; alan kısıtlılığı olan işler, bölünebilir işler, karşılıklı ve aynı anda yapılması gereken işler ve paralel olarak yapılan işlerdir. Alan kısıtlılığı olan işler, makinaların konumundan dolayı sadece belirli bir alanda yapılabilecek işlerdir. Sanayide bazı istasyonlardaki makinelerin yerinin değiştirilmesi zor ve maliyetli olduğu için alan kısıtı sayesinde burada yapılan işler sabitlenmektedir. Bölünebilir işler, işlerin öncelik sırasına göre farklı işçilere farklı miktarlarda ve çevrim süresini aşmayacak şekilde atanabilecek işlerdir. Karşılıklı ve aynı anda yapılması gereken işler, hattın iki tarafında çalışan iki işçi tarafından birlikte yapılmak zorunda olan işlerdir. Paralel olarak yapılan işler ise çevrim süresini aşmamak adına birden fazla kişinin aynı işi belirtilen iş prosedürü ve sıralamasına göre yapmasıdır.

Model oluşturma sürecinde ilk olarak kavramsal model oluşturulmuştur. Ardından, matematiksel model formülasyonu geliştirilmiştir. Matematiksel modelde kullanılan kümeler, indisler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda listelenmiştir. Ardından, modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları açıklanmıştır. Bu projede, her bir işçi bir istasyon olarak kabul edilmiştir.

İndisler

i: İşlerin indisi, $i \in T$

j: İşçilerin indisi, $j \in W$

Kümeler

T: İşler kümesi

T_A: Alan kısıtlamalı işler kümesi

T_P: Bölünebilen işler kümesi

T_C: Karşılıklı ve aynı anda yapılması gereken işler kümesi,

A_i: Alan kısıtlaması olan işlerin atanabileceği işçiler kümesi, $i \in T_A$

I_i: İş i'nin bitişik öncül işler kümesi, $i \in T$

W: İşçiler kümesi

W_P: Bölünebilen işlerin atanabileceği işçiler kümesi

W_C: Karşılıklı ve aynı anda yapılması gereken işlerin atanabileceği işçiler kümesi

Parametreler

t_i: i işinin operasyon süresi

C: Çevrim süresi

Karar Değişkenleri

$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{Eğer iş } i \text{ işçi } j' \text{ye atanırsa} \\ 0, \text{Aksi takdirde} \end{cases}$

y_{ij} = İşçi j'ye atanan i işinin miktarı

$z_j = \begin{cases} 1, \text{Eğer işçi } j' \text{ye herhangi bir iş atandıysa} \\ 0, \text{ Aksi takdirde} \end{cases}$

Model

$$\text{Minimize } \sum_{j \in W} z_j \tag{1}$$

$$\sum_{j \in W} x_{ij} = 1, \forall i \in T \setminus \{T_P, T_C\} \tag{2}$$

$$\sum_{j \in W_C} x_{ij} = 2, \forall i \in T_C \tag{3}$$

$$x_{ij} = x_{i(j-1)} + x_{i(j+1)}, \forall i \in T_C, \forall j, (j-1), (j+1) \in A_i \tag{4}$$

$$l\, x_{kl} - 1 \leq (j\, x_{ij}) + M(1 - x_{ij}), \forall i \in T, \forall j \in W, k \in I_i \cap T_C \tag{5}$$

$$\sum_{j \in W \setminus W_C} x_{ij} = 0, \forall i \in T_C \tag{6}$$

$$\sum_{k \in A_i} x_{ik} = 1, \forall i \in T_A \tag{7}$$

$$\sum_{j \in W_P} y_{ij} = 1, \forall i \in T_P \tag{8}$$

$y_{ij} \leq x_{ij}, \forall i \in T_P, \forall j \in W_P$ (9)

$\sum_{j \in W \setminus W_P} x_{ij} = 0, \forall i \in T_P$ (10)

$\sum_{j \in W \setminus W_P} y_{ij} = 0, \forall i \in T_P$ (11)

$x_{ij} \leq M\, y_{ij}, \forall i \in T_P, j \in W_P$ (12)

$\sum_{i \in T \setminus T_P} t_i x_{ij} + \sum_{i \in T_P} t_i y_{ij} \leq C z_j, \forall j \in W$ (13)

$l\, x_{kl} \leq (j\, x_{ij}) + M(1 - x_{ij}), \forall i \in T, \forall j \in W, k \in I_i \setminus T_C$ (14)

$x_{ij} \in \{0,1\}$ (15.1)

$0 \leq y_{ij} \leq 1$ (15.2)

$z_j \in \{0,1\}$ (15.3)

Birincil amaç fonksiyonunda (1) montaj hattındaki işçi sayısını en aza indirgemek hedeflenmiştir. Kısıt (2), karşılıklı yapılabilen ve bölünebilen işler dışındaki bütün işlerin mutlaka bir işçiye atanmasını garanti etmektedir. Kısıt (3) karşılıklı yapılabilen işlerin iki işçiye atanmasını ve Kısıt (4) ise bu işlerin atandığı işçilerin ardışık kişiler olmasını sağlamaktadır. Kısıt (5), bir işin öncül işi karşılıklı yapılan bir iş ise, bu işin en erken öncülünü yapan işçilere atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (6) karşılıklı yapılan işlerin atanması uygun olmayan işçilere atanmasını engellemektedir. Kısıt (7) alan kısıtlaması bulunan işlerin sadece belirli konumdaki işçilere atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (8) bölünebilen işlerin yapılma miktarları toplamı 1'e eşit olacak şekilde belirli işçilere atanmasını garanti etmektedir. Kısıt (9) eğer bir işçiye bölünebilen bir işin bir miktarı verildiyse o işçiye o işin atanmasını ve bu şekilde x_{ij} ve y_{ij} değişkenleri arasındaki dengeyi sağlamaktadır. Kısıt (10) ve Kısıt (11) bölünebilen işlerin atanması uygun olmayan işçilere atanmasını engellemektedir. Kısıt (12) bir işçiye bir miktar bölünebilen bir iş verilmemiş ise, o işçiye o bölünebilen işin atanmasını engellemektedir ve böylece x_{ij} ve y_{ij} değişkenleri arasındaki dengeyi sağlamaktadır. Kısıt (13) bir işçiye atanan işlerin toplam süresinin çevrim süresini aşmayacağını garanti etmektedir. Kısıt (14) bir işin öncül işi karşılıklı yapılan bir işten farklı ise, bu işin en erken öncülünü yapan işçiye atanabilmesini sağlamaktadır. Kısıt (15.1) ve (15.3), x_{ij} ve z_j karar değişkenlerinin sadece 0 ve 1 olmak üzere ikili değer alabildiğini ifade ederken, Kısıt (15.2) y_{ij} karar değişkeninin 0 ile 1 arasında ondalık sayı değeri alabildiğini göstermektedir.

İşçi sayısını en aza indirgedikten sonra, minimum işçi sayısı korunarak işçiler arası iş yükü dengesinin sağlanması adına modelde ek olarak ikincil bir amaç fonksiyonu (16) daha düşünülmüştür. Bu ikincil amaç fonksiyonu, ilgili ek kısıt ve değişkenler ile aşağıda açıklanmıştır.

Parametreler

S: Standart iş yükü oranı

Karar Değişkenleri

$O_j =$ İşçi j'nin iş yükü oranının standart iş yükü oranının üstünde kalan miktarı

$U_j =$ İşçi j'nin iş yükü oranının standart iş yükü oranının altında kalan miktarı

Minimize $\sum_{j \in W} O_j + U_j$ (16)

$(\sum_{i \in T \setminus T_P} t_i x_{ij} + \sum_{i \in T_P} t_i y_{ij})/C - S = O_j - U_j, \forall j \in W$ (17)

$O_j, U_j \geq 0$ (18)

İkincil amaç fonksiyonu (16) işçiler arası iş yükünün dengelenmesi adına, işçilerin iş yükü oranlarının istenilen standart iş yükü oranından toplam sapma miktarını en aza indirgemeyi hedeflemektedir. Kısıt (17), ikincil amaç fonksiyonunda kullanılmak üzere, işçilerin iş yükü oranlarının istenilen standart iş yükü oranından sapmalarını hesaplamaktadır. Kısıt (18) O_j ve U_j değişkenlerinin negatif değer almasını engellemektedir.

Geliştirilen model IBM ILOG Optimization Studio 12.10.0 yazılımı kullanılarak kodlanmış ve küçük örnekler üzerinde doğrulanmıştır. Geliştirilen modeldeki iki ayrı amaç fonksiyonu öncelik

ilişkisine uygun olarak sıralı optimizasyon yöntemiyle çözdürülmüştür. Programın çıktılarının doğruluğu örnek verinin elle ve öngörüsel olarak atanması yöntemiyle doğrulanmıştır. Bu küçük örnekler için geliştirilen modelin işleri yüzde yüz verimlilikle atadığı gözlemlenmiştir. Daha sonra gerçek hayat verisi ile model çözdürülmüş ve çıktılar üzerinde detaylı analizler yapılmıştır. Ayrıca, Microsoft Office Excel VBA ara yüzü kullanılarak kullanıcı dostu bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Geliştirilen matematiksel model bu karar destek sistemine entegre edilmiştir.

IV. SONUÇ

Bu projede, ilk olarak uygulamanın yapıldığı işletmenin genel yapısı incelenmiştir. Ardından, üretim sistemi detaylı bir şekilde incelenerek problemin yapısına karar verilmiş ve üretim akışı analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, probleme uygun özgün bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin doğruluğu yaratılan küçük örnekler ile kontrol edilmiştir. Ardından, zaman etüdü çalışması yapılan ürün modellerinin gerçek verisi, IBM ILOG Optimization Studio 12.10.0 yazılımı kullanılarak, geliştirilen matematiksel model ile ortalama 22 saniyede optimal olarak çözdürülmüştür. Modelin verdiği optimal çözümler fabrika tarafından kullanılan mevcut atamalarla karşılaştırılmıştır. Çözdürülen 6 ürün modelinin talep oranlarına göre ortalama iyileştirme yüzdesi %44 olup ürün modellerinin detaylı iyileştirme yüzdeleri Tablo 1'de gösterilmiştir. İyileştirme yüzdelerine bakıldığında, mevcut sistemde büyük oranda bir gelişme olduğu görülmektedir.

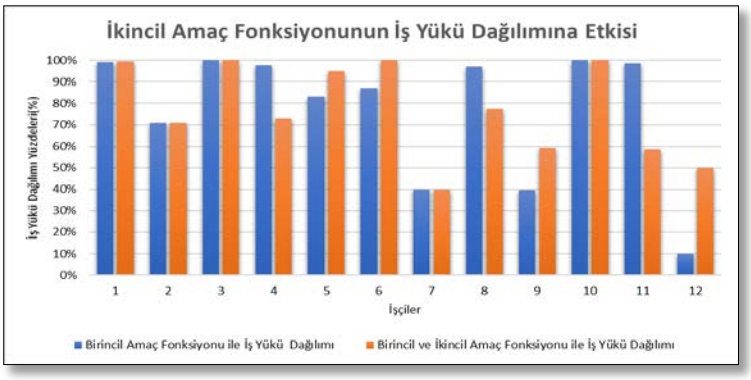
Tablo 1. Ürün Modeli Bazlı İyileştirme Yüzdeleri ve Optimal Çözüm Süreleri

Ürün Modelleri	Mevcut Sistemdeki İşçi Sayısı	Önerilen Sistemdeki İşçi Sayısı	İyileştirme Yüzdesi (%)	Optimal Çözüm Süresi (saniye)
ECO375C	22	12	45	14.14
ECO375WOC	22	12	45	17.32
380C	22	12	40	17.20
380WOC	22	13	40	23.12
Çift Kapılı GC900C	28	13	54	21.05
Çift Kapılı GC900WOC	28	10	64	36.70

Ayrıca geliştirilen matematiksel modele farklı açılardan bakılarak, çevrim süresi ve işçi sayısı arasındaki ilişki epsilon kısıt yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda çevrim süresi ve işçi sayısı ilişki grafiği (Şekil 1) oluşturulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü üzere çevrim süresi arttıkça işçi sayısı azalmaktadır. Aynı şekilde, işçi sayısı arttıkça da çevrim süresi azalmaktadır.

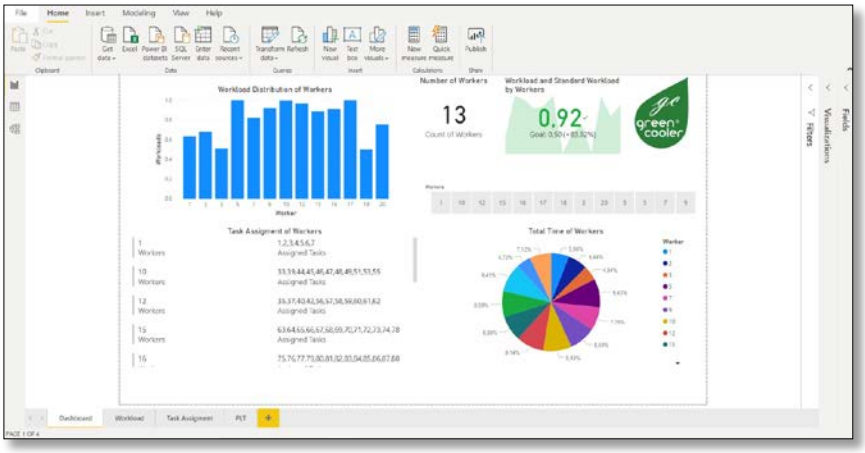
Şekil 1. Çevrim Süresi ve İşçi Sayısı İlişkisi Grafiği*

Bu projede, mevcut montaj hattında, işlerin özel atama kısıtlarına ve öncelik ilişkilerine dikkat edilerek ve çevrim süresi sabit tutularak işçi sayısının en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Buna ek olarak, işçilerin iş yükü dağılımı sabit bir orana göre ikincil amaç fonksiyonu yardımıyla dengelenmeye çalışılmıştır. Şekil 2'deki örnekte de görüldüğü üzere, birincil amaç fonksiyonunun optimize edilmesinin ardından, ikincil amaç fonksiyonu da dikkate alındığında iş yükü dengesinin iyileştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. İkincil Amaç Fonksiyonunun İş Yükü Dağılımına Etkisi Grafiği

Proje, soğutma teknolojileri alanında faaliyet gösteren bir firmanın montaj hattındaki ürünlerin modellerine bağlı olarak çevrim sürelerine ve yapılan işlerin farklılıklarına göre işçilere (istasyonlara) işlerin atanması sağlanmıştır. Geliştirilen matematiksel model bu karar destek sistemine entegre edilmiş olup kullanıcının daha önceden var olan model verilerinin üzerinde düzenleme yapabilmesine, model verilerini çözdürülebilmesine ve yeni model verilerinin eklenebilmesine olanak sağlamıştır. Bu ara yüz ile kullanıcıdan gerekli bilgiler alınarak, optimal çözümler elde edilmektedir. Ek olarak, atamaların yapıldığı işçiler ve işçilere atanan işler tablo haline getirilip; iş yükü dağılımı, işçi bazlı operasyon süreleri gibi detaylı grafikler kullanıcıya raporlanmaktadır (Şekil 3). Proje kapsamında geliştirilmiş olan karar destek sistemi, veri tabanının düzenlenmesiyle benzer montaj hatları üzerinde uygulanabilecektir. Ayrıca, bir yazılım firması desteği ile geliştirilen prototipin TRL 6 seviyesinin üzerine çekilmesi mümkündür. Sonuç olarak, bu çalışma ile istasyonlar arasındaki iş yükü dengesi kurularak hat dengeleme maliyetleri asgari düzeyde tutan bir çözüm yöntemi sağlamaktadır.



Şekil 3. Karar Destek Sistemi Raporlama Ekranı

Bu çalışma "2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı" programında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir. Akademik danışmanlarımız Levent KANDİLLER ve Hande ÖZTOP 'a çalışmalarımıza katkıları için teşekkür ediyoruz.

REFERANSLAR

[1] Öztaş Demir Çelik. "Kurumsal". Erişim: 20 Mart 2020. https://www.oztasdemir.com.tr/about.html.
[2] Greencooler. "Şirket Profili ve Tarihçesi". Erişim: 20 Mart 2020. https://www.greencooler.com.tr/tr/page/sirket_profili_ve_tarihce-75.html.
[3] Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. European journal of operational research, 183(2), 674-693.
[4] Scholl, A. (1999) Balancing and Sequencing of Assembly Lines. Heidelberg, Germany: Springer.
[5] Baykasoglu, A., Dereli, T. (2008). Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36(5), 582-588.
[6] Baykasoglu, A., Ozbakır, L., Tapkan, P. (2012). Modeling and solving constrained two-sided assembly line balancing problem via bee algorithms. *Applied Soft Computing, 12*(11), 3343–3355.

*Şirketin gizliliğini korumak için raporda verilen süreler anlamlı bir biçimde değiştirilmiştir.

YAŞAR UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

IoT TABANLI ALT YAPILAR İÇİN ALICILARIN KONUM OPTİMİZASYONU

Hasine Acap, Ayşem Ayözen, Çiğdem Çelik, Mine Demir, İlkay Gülbay,

Eda Sönmez, Gözde Yücel

Akademik Danışmanlar
Dr. Öğr. Üyesi Orkun Karabaşoğlu, Araş. Gör. Mert Paldrak

İzmir, 2020

I.GİRİŞ

Günümüz dünyasında kablosuz cihazlara olan talebin artması ve günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olması ile birlikte IoT, gelecekteki teknolojinin en önemli alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu proje, Noderix A.Ş firması adı altında, çalışma alanı tüketici elektroniği, endüstriyel internet ve nesnelerin interneti (IoT), olan araştırma ve geliştirmeyi kapsamaktadır. Çalışma, gereksiz ağ geçidi dağıtım maliyetinden kaçınarak bölgedeki talep miktarını karşılayabilecek optimum ağ geçidi sayısını ve konumlarını bulmak için ağ geçidi yerleştirme sorununa odaklanmaktadır. Bu çalışmada, bu amacı uygulamak için, matematiksel bir model oluşturmak, bu modeli bir oyuncak probleme uygulamak daha sonra problemi sezgisel olarak çözmek ve bir karar destek sistemi oluşturmak gibi adımlar izlenmiştir. Bu çalışmaya ihtiyaç, IoT cihazlarına ve IoT endüstrisine, ihtiyaç duyduğu düşük maliyetli, geniş kapsama alanına sahip haberleşme altyapısını oluşturabilmekten kaynaklanmaktadır. Günümüzde ihtiyaç duyulan IoT uygulamaları, paylaşımlı kullanılan bisikletlerin takibinden; tarımsal alanların izlenmesi ve enerji sayaçlarının uzaktan okunmasına kadar birçok uygulama olabilir. Belirtilen bu ihtiyaçlara çözüm bulabilmek için öncelikle haberleşme altyapısı oluşturulacak bölge belirlenmiştir. Şirketten alınan ağ geçidi kapsama alanı ve kapasite bilgileri dikkate alınarak, belirlenen bölgedeki aday ağ geçidi konumları bulunmuştur. Bu aday konumların sayısı projenin amacı doğrultusunda sınırlandırılmış ve ağ geçidi konumlandırma problemini çözebilmek için bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu matematiksel model ile firmanın kullandığı ağ geçitlerinin sinyal kapsama aralıklarını, kapasitelerini, IoT cihazları ile alıcılar arasındaki görüş hattının kullanılabilirliğini ve aday ağ geçidi konumlarındaki talep miktarını dikkate alarak toplam ağ geçidi alt yapı maliyetini en aza indirmek için optimum ağ geçidi sayısının ve konumlarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Bu raporda proje hakkında genel bilgiler, problemin tanımı ve problem detayları açıklanmaktadır. Model formülasyonu ve çözüm teknikleri bölümü problemin kısıtlamalarını, varsayımlarını ve matematiksel modelini içerir. Çalışma, Excel VBA kullanılarak bir karar destek sistemi geliştirmek ile devam eder. Bu sistem, mevcut veriler doğrultusunda önerilen modelin çözümüne kolay erişim sağlayacak, kullanıcı dostu bir sistem olacaktır.

II. PROBLEMİN TANIMI

Bu proje ile belirlenen bölgenin tamamının, konumlandırılacak ağ geçitlerinin sinyal kapsama alanı, kapasite gibi özellikleri göz önünde bulundurularak en az maliyet, optimum ağ geçidi sayısı ve optimum ağ geçidi konumlandırılması ile kapsanması hedeflenmektedir. IoT uygulaması kullanıcılarının talep ettikleri verilerin, belirlenen bölgenin tamamının kapsanarak, en az kayıp ve maliyet ile toplanması önemli bir koşuldur. Bu veriler, akıllı trafik sistemlerinde araç konumu ve hızı, akıllı tarımda ise toprağın nem oranı ve pH değeri gibi birçok farklı kavramı içerebilir. Konumlandıralacak ağ geçitleri, bu verileri bulut sistemine göndermek için toplar. Bulut sistemi ağ geçitlerinden gelen verilerin gözlemlenmesine ve analiz edilmesine olanak sağlar. Konumlandırılacak ağ geçitleri, IoT sistemlerinde düşük maliyetli iletişimi desteklemek üzere tasarlanmıştır. Du, Y. Tarafından yapılan araştırmaya göre ağ geçitleri kentsel alanlarda 5000 metreden fazla iletişim kurabilir ve milyonlarca cihazla büyük ağları destekleyebilir[1]. İzleme sistemi için kullanılan IoT cihazlarının bulut sistemine bağlanması, ağ geçitleri aracılığıyla sağlanır ancak ağ geçidi konumlarının sensörlerin çalışması ve verimliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ayrıca, Özgün, Ö. Tarafından yapılan bir araştırmaya göre, sensörlerden toplanan veriler ağ geçitlerine gönderilirken binaların yükseklikleri, yapı malzemeleri, sayıları ve çevre koşulları gibi faktörlerin veri kaybına neden olduğu görülmektedir[2]. Bu nedenle, ağ geçitlerini konumlandırırken veri kaybına neden olan faktörler dikkate alınmalıdır. Ağ geçidi frekanslarına etki eden faktörlerin mümkün olduğunca bertaraf edilmesi doğru verilere yaklaşmamızı sağlayacaktır. Ayrıca, konumlandırma yapılırken kullanılacak olan optimum ağ geçidi sayısını bulmamıza yardımcı olur. Bu optimum sayıyı bulurken bölgedeki her sınır noktasının en az bir ağ geçidinin kapsama alanında olması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır . Buna ek olarak, kullanılan ağ geçitlerinin üretim maliyeti 200$ ve her bir ağ geçidinin kurulum maliyetini 20$ olarak varsayılmıştır.

Kapsanan alanın sınır noktaları ve talep miktarlarının yoğun olduğu bölgeler dikkate alınarak, talep noktaları adı verilen çeşitli noktalar haritaya yerleştirilmiştir. Bölgedeki sınır noktaları en az bir ağ

geçidi tarafından kapsanıyorsa, haritanın tamamının kapsandığı varsayılır. Buna ek olarak, kapasite sorununun üstesinden gelmek için talep noktaları, bina sayısının ve nüfus oranının fazla olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Bunun temel amacı her talebin kapsama alanı içinde bulunmasını sağlamaktır. Ayrıca, kapsama alanı içinde bulunan tüm ağ geçitlerinin frekanslarına etki eden faktörler mümkün olduğunca bertaraf edilerek kayıp olmadan veri toplanması amaçlanmaktadır. Ağ geçitlerinin aday konumları belirlenirken bölgedeki lamba direkleri göz önünde bulundurulmuştur. Her ağ geçidinin kapsama alanını bulmak için yarıçapı (r) metre olan bir daire kullanılmaktadır. Problemde, yarıçapı 850 metre olan bir ağ geçidi olduğu varsayılmaktadır. Ağ geçidi sayısının optimizasyonu, ağ geçidinin maliyeti ve kapsama alanındaki sınırlamalar dikkate alınarak yapılır.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Şehrin her bir koordinatı ağ geçitleri için aday bir konum olabilmektedir ancak bu durumda sonsuz sayıda olası ağ geçidi konumu olduğu söylenebilir. Mümkün olan tüm yerlerin dikkate alınması sorunun amacına aykırı olacaktır. Bu nedenle, sorunun amacı doğrultusunda, k-means kümeleme metodu kullanılarak olası yerlerin sayısı analiz edilebilir bir sayıya indirgenmiştir. K-means kümeleme yönteminin amacı *N* adet veri nesnesinden oluşan bir veri kümesini giriş parametresi olarak verilen K adet kümeye bölümlemektir. Gerçekleştirilen bölümleme işlemi sonucunda elde edilen kümelerin, küme içi benzerliklerinin maksimum ancak kümeler arası benzerliklerinin minimum olması sağlanmaktadır. K-means algoritması karesel hatayı en küçük yapacak olan K adet kümeyi tespit etmeye çalışmaktadır. Algoritma tekrarlı bölümleyici yapısı ile her verinin ait olduğu kümeye olan uzaklıkları toplamını küçültmektedir.

K-means kümeleme algoritmasını matematiksel olarak açıklamak gerekirse:

X_i = Her bir veri n-boyutlu reel vektör olmak üzere bir veri kümesi $X_i \in \mathbf{N}$

$\mathbf{S_j}$ = Küme merkezi (K) sayısı $\mathbf{S_j} \in \mathbf{K}$

$$\mu_i = \frac{1}{|s_j|} \sum_{x_i \epsilon s_j} x_i \qquad (1)$$

burada μ_i , S_j 'deki noktaların ortalaması olmak üzere;

$$\arg\min \sum_{j=1}^{K} \sum_{x_i \epsilon s_j} || x_i - m_j ||^2 \qquad (2)$$

K-means algoritmasının çalışma mekanizmasına göre öncelikle her kümenin merkez noktasını veya ortalamasını temsil etmek üzere K adet aday konum rastgele seçilir. Kalan diğer aday konumlar, kümelerin ortalama değerlerine olan uzaklıkları dikkate alınarak en benzer oldukları kümelere dahil edilir. Daha sonra, her bir kümenin ortalama değeri hesaplanarak yeni küme merkezleri belirlenir ve tekrar aday konumların merkeze uzaklıkları incelenir. Herhangi bir değişim olmayıncaya kadar algoritma tekrarlamaya devam eder.

Algoritma temel olarak 4 aşamadan oluşur:

1.Küme merkezlerinin belirlenmesi

2.Merkez dışındaki verilerin mesafelerine göre kümelendirilmesi

3.Yapılan kümelendirmeye göre yeni merkezlerin belirlenmesi (veya eski merkezlerin yeni merkeze kaydırılması)

4.Kararlı hale gelinene kadar 2. ve 3. adımların tekrarlanması.

Yapılan literatür çalışmaları sonucunda bu proje ile ilgili olabilecek literatürde var olan problemler ve çözüm yolları analiz edilmiş, proje ile benzerlikleri ve farklılıkları konusunda süzgeçten geçirilmiştir. Literatürde var olan bilgiler doğrultusunda problemin kontrol edilebilir faktörleri, değişkenleri ve parametreleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda, kapsama alanı R aralığı olan ağ geçitlerinin, Veerman ve Phillipson tarafından önerilen matematiksel modele dayanarak bu model tarafından belirlenen konumlara yerleştirilmesi planlanmaktadır[2]. Çözümler, bir dizi Tamsayı Lineer Problem (ILP) ile taleplerin lokasyonlara dağıtılmasıyla elde edilmiştir. Amaçları, ağ geçitlerinin toplam kurulum maliyetini en aza indirirken talep başına belirli bir kapasiteye sahip sadece bir ağ geçidinin erişim yerine yerleştirilmesi olarak görülebilir. Bununla birlikte, pratikte bir talep için birden fazla ağ geçidini tek bir yere yerleştirmek veya ağ geçidi kapasitesini ayrı adımlarla arttırmak genellikle mümkündür. Ancak, bu projede, pratik uygulama için, MSCFLP'yi modüler kapasitelere izin vererek genişleten Çok Hizmetli Modüler Kapasitif Tesis Yer Problemi (MSMCFLP) kullanılmaktadır.

Maliyet azaltma olarak, ağ geçitlerinin olası konumlarının sokaklardaki lamba direklerine yerleştirilmek üzere seçilmesini şiddetle öneriyoruz; çünkü binaların çatıları gibi yüksek konumlar seçildiğinde, ağ geçidi için gerekli alanı kiralamak yüksek bir maliyet olacaktır. Şirketten alınan bilgilere göre, yüksek binaların ağ geçidini tamamen çevrelediği bir ağ geçit yerleşiminin en kötü senaryosu 2 kilometrelik bir kapsama alanıdır. Ancak, ağ geçidi konumu değiştiğinde, bu menzil 20 kilometreye kadar ulaşabilir. Matematiksel model geliştirilirken aşağıdaki varsayımlar yapılır;

1. Şehirdeki sokak lambaları aday ağ geçidi konumları olarak seçilir.
2. Tüm kenar noktaları kaplanmışsa, tüm şehir kaplıdır.
3. Bina penetrasyonu nedeniyle kapsama mesafesi kaybı yoktur.
4. Seçilen alanda yeterli sayıda aday ağ geçidi konumu ve talep noktası vardır.
5. Ağ geçitleri hem kapsama alanları hem de servis sağlayabilecekleri talep nokta sayısı ile sınırlıdır.

Buna ek olarak bazı tanımlamalar yapılır;

a. Erişim konumu, aday ağ geçidi konumu olarak kullanılacak bir elektrik direği konumdur.

b. Servis erişim konumu, belirli bir servis sağlayan ağ geçidi ile donatılmış bir erişim konumudur.

A. Karar Değişkenleri ve Parametreleri

Ağ geçidi konumlandırma problemini ayarlarken dikkate alınması gereken bazı önemli noktalar vardır. Amaç işlevi, ağ geçitlerinin sabit maliyetlerinden ve kurulum maliyetlerinin minimize edilmesinden oluşur. Problem, bir dizi talep noktası, konum ve ağ geçidinden oluşur. L, tüm ağ geçidi aday konumları kümesi, F tüm servisler(ağ geçitleri) kümesi ve G^u $u \in F$ ağ geçidi için tüm talep noktaları kümesi olsun. Parametreler Tablo 1'de tanımlanmıştır.

Genel Gösterim	
$\mathcal{L}$	Konumlar kümesi
$\mathcal{F}$	Ağ geçitleri kümesi
$\mathcal{G}^u$	Ağ geçitleri için talep noktaları kümesi $u \in \mathcal{F}$
i	Ağ geçidi $u \in \mathcal{F}$ için talep noktası $i \in \mathcal{G}^u$
j	Konum, $j \in \mathcal{L}$
u	Ağ geçidi tipi, $u \in \mathcal{F}$
Parametreler	
a_{ij}^u	$= \begin{cases} 1, & \text{Ağ geçidi } u \in \mathcal{F} \text{ için konum } j \in \mathcal{L} \text{ talep } i \in \mathcal{G}^u \text{ karşılanabilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
c_j^u	Ağ geçidinin $u \in \mathcal{F}$ erişim konumuna $j \in \mathcal{L}$ kurulum maliyeti, $c_j^u > 0$
f_j	Aday konumun açılış maliyeti $j \in \mathcal{L}, f_j > 0$
d_i^u	Ağ geçidi $u \in \mathcal{F}$ için talep noktasındaki talep miktarı $i \in \mathcal{G}^u, d_j^u \in \mathbb{N}$
η_j^u	Konum $j \in \mathcal{L}$ ile ağ geçidi $u \in \mathcal{F}$ arasındaki maksimum bağlantı sayısı, $\eta_j^u \in \mathcal{F}$
M	$M > 0$ M, en yüksek talepten daha büyük bir sayıdır $\max_{u \in \mathcal{F}, i \in \mathcal{G}^u} d_i^u$
Karar Değişkenleri	
s_{ij}^u	Konum $j \in \mathcal{L}$ ile talep noktası $i \in \mathcal{G}^u$ arasında yapılan bağlantı sayısı, $s_{ij}^u \in \mathbb{N}$
x_j^u	$= \begin{cases} 1, & \text{Eğer erişim konumu } j \in \mathcal{L} \text{ ağ geçidi } u \in \mathcal{F} \text{ için bir servis erişim konumu ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
y_j	$= \begin{cases} 1, & \text{Eğer konum } j \in \mathcal{L} \text{ bir erişim konumuysa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$

d_i^u, η_j^u ve κ_j^u değerleri pozitif bir tam sayı ile sınırlıdır. Talep noktası veya ağ geçidi konumu, sırasıyla talep, kapasite veya maksimum servis erişim konumu sayısı sıfıra eşitse kaldırılabilir. Ağ geçidi kurulum maliyetlerinin c_j^u servis erişim konumlarının sayısıyla doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, κ_j^u pratik nedenlere göre belirlenebilir. Bu kurulum, farklı boyutlarda konumlara ve hizmetlere izin vermek için çok geneldir. $\kappa_j^u = 1, \forall j \in \mathcal{L}, \forall u \in$ F ise MSMCFLP, MSCFLP'ye eşittir.

B. Objective Function and Constraints

Ağ geçidi dağıtım sorununun temel formülasyonu için ILP'nin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$Min \sum_{u \in F} \sum_{j \in L} c_j^u x_j^u + \sum_{j \in L} f_j y_j \quad (3)$$

St.

$$x_j^u \leq K_j^u y_j \qquad \forall j \in L, \forall u \in F \quad (4)$$

$$\sum_{i \in G^u} s_{ij}^u \leq \eta_j^u x_j^u \qquad \forall j \in L, \forall u \in F \quad (5)$$

$$\sum_{j \in L} s_{ij}^u \geq d_i^u \qquad \forall i \in G^u, \forall u \in F \quad (6)$$

$$s_{ij}^u \leq M a_{ij}^u \forall i \in G^u \qquad \forall j \in G^u, \forall j \in L, \forall u \in F \quad (7)$$

$$s_{ij}^u \in \mathbb{N} \qquad \forall i \in G^u, \forall j \in L, \forall u \in F \quad (8)$$

$$x_j^u \in \mathbb{N}, x_j^u \leq K_j^u \qquad \forall j \in L, \forall u \in F \quad (9)$$

$$y_i \in \{0,1\} \qquad \forall j \in L \quad (10)$$

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, sorunumuzun amacı, ağ geçitlerinin açılış maliyetlerini ve servis erişim konumlarının toplamı maliyetlerini en aza indirmektir. Amaç fonksiyonunda (Denklem 3), aday a_{ij}^u pozisyonlarının açılmasının ve ağ geçidi toplam maliyetinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Kısıt 4, yalnızca erişim konumlarının donatılabilmesini sağlar ve bir erişim konumundaki maksimum servis erişim konumu sayısını kısıtlar. Kapasite kısıtı, kısıt 5 tarafından sağlanır. Kısıt 6, tüm taleplerin karşılanmasını sağlar. Kısıt 7, servis erişim noktalarının yalnızca kapsama alanları içindeki talep noktalrına servis sunabilmesini kısıtlar. Çözüm alanı 8, 9 ve 10 kısıtlamaları ile verilir. Çözüm alanı, s_{ij}^u=0 iken değişkenleri kaldırılarak azaltılabilir. Bunu yaparak, karar değişkenlerinin sayısı azalır ve kısıt 7 gereksiz hale gelir.

IV. SONUÇLAR

Sonuç olarak, sorun için Excel VBA ve CPLEX kullanılarak kullanıcı dostu karar destek sistemi (DSS) oluşturulur. Oluşturulan sistemi kullanıcıyı bir ana sayfa ile karşılar. "Başlat" düğmesine tıkladıktan sonra, Şekil 4'te gösterildiği gibi bir veri giriş formu açılacaktır.

Şekil 6. Karar Destek Sisteminin Giriş Sayfası Örneği

Burada program, kullanıcıdan çeşitli veriler ister. Bu verilerin girilmesi zorunludur. Bu veriler sayesinde program kullanıcının problemini belirlemesine yardımcı olur. "Devam" butonuna tıklandıktan sonra program, kullanıcının bu haritada istediği sayıda talep noktası ve aday ağ geçidi konum noktası oluşturur. Aday ağ geçidi konumları yeşil, talep noktaları mavi nokta olarak görünecektir. Sorunu çözmek için, kullanıcıyı Sonuçlar sayfasına götüren "Sezgisel Çözümle" ve "CPLEX ile Çözümle" adlı tüm işlemlerin altında iki düğme vardır. Sonuçlar sayfasında, kullanıcılar ağ geçitlerini yerleştirmek için seçilen aday noktaları, seçilen ağ geçidi türleri ve toplam yerleşim maliyeti hakkında bilgi toplayabilir. Son olarak, kullanıcılar DSS'yi kolay ve etkili bir şekilde kullanabilir. Sonuç olarak, problemin her bir geçit yolu için ayrı ayrı ele alındığı ve çözümlerin toplam maliyeti hesaplamak için birleştirildiği büyük boyutlu örnekleri çözmek için iki sezgisel yaklaşım önerilmektedir. Sezgisel algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar kesin çözüm metodolojisi kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılır. Sonuç olarak, önerilen sezgisel algoritma, büyük boyutlu örnekler için daha kısa hesaplama süresinde kabul edilebilir çözümleri yakalayabilir. Bu çalışma, bu alandaki gelecekteki çalışmalar için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Başlangıçta, daha büyük problem boyutları için hesaplama süresini iyileştirmek için bazı diğer sezgisel yaklaşımlar geliştirilebilir.İkinci olarak, temel model bir erişim konumunda birden fazla ağ geçidine izin verilerek genişletilebilir. Bu geliştirme için hangi konumların ağ geçidi ile donatılması gerektiğini belirlemeye ek olarak, bu konumlarda her talep için kaç ağ geçidi bulunacağına karar vermek gerekir. Üçüncü olarak, tüm talep noktalarının kısmen tek bir erişim yeri tarafından karşılanabileceği kısmi kapsam genişletmesi düşünülebilir.

REFERANSLAR

[1] Hoekstra, G., Phillipson, F.: Location Assignment of Capacitated Services in Smart Cities. The 4th International Conference on Mobile, Secure and Programmable Networking (2018)

[2] Veerman, B., Phillipson, F.: Multi Service Modular Capacitated Facility Location Problem for Smart Cities. Innovations for Community Services. pp.97-108. (2019) doi: 10.1007/978-3-030-22482-0_8

[3] Balakrishna, C.: Enabling technologies for smart city services and applications. In: 2012 sixth international conference on next generation mobile applications, services and technologies. pp. 223–227. IEEE (2012) doi:10.1109/NGMAST.2012.51

[4] Vos, T., Phillipson, F.: Dense multi-service planning in smart cities. International Conference on Information Society and Smart Cities (2018)

[5] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., Bergman, L.: The location of emergency service facilities. Operations Research. Volume 19, No.6, pp. 1363– 1373 (1971) doi:10.1287/opre.19.6.1363

[6] Beasley, J.: A lagrangian heuristic for set-covering problems. Naval Research Logistics 37, 151–164 (1990) doi:10.1002/1520-6750(199002)37:1<151::AID-NAV3220370110>3.0.CO;2-2

[7] Hoekstra, G., Phillipson, F.: Heuristic Approaches for Location Assignment of Capacitated Services in Smart Cities. Journal of Computers 7(4):67(2018) doi: 10.3390/computers7040067

[8] Likas, A., Vlassis, N., Verbeek, J.: The global k-means clustering algorithm. Pattern Recognition. Volume 36, Issue 2, pp.451-461. (2003) doi: 10.1016/S0031-3203(02)00060-2

[9] Lozano, J.A., Pena, J.M., Larranaga, P.: An empirical comparison of four initialization methods for the k-means algorithm. Pattern Recognition Lett. Volume 20, Issue 10, pp. 1027–1040 (1999) doi: 10.1016/S0167-8655(99)00069-0

[10] Murty, M.N., Jain, A.K., Flynn, P.J., Data clustering: a review. ACM Comput. Surv. Volume 31, Issue 3, pp. 264–323 (1999) doi:10.1145/331499.331504

[11] Shang, Xiaopu, et al. "Design Theory, Modelling and the Application for the Internet of Things Service."*Taylor and Francis Online*, 14 Aug. 2015,www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17517575.2015.1075592. Surgery, 42(4), 433-438. doi:10.1007/s00068-015-0544-6

[12] DU, Y. (2017). Optimizing Multi-hop Mechanism for the Long Range Wide Area Network

[13] Özgün, Ö. Binalar Arası Elektromanyetik Dalga Yayılımının Nümerik Modellenmesi. *EMO BİLİMSEL DERGİ*, *6*(11), 25-31.

[14] Petäjäjärvi, Juha, et al. "Performance of a Low-Power Wide-Area Network Based on LoRa Technology: Doppler Robustness, Scalability, and Coverage." International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 13, no. 3, 2017, p. 155014771769941., doi:10.1177/1550147717699412.

[15] Capone, Antonio, et al. "Deploying Multiple Interconnected Gateways in Heterogeneous Wireless Sensor Networks: An Optimization Approach." Computer Communications, vol. 33, no. 10, 2010, pp. 1151–1161., doi:10.1016/j.comcom.2010.01.004.

[16] "Semtech." *Semtech*, www.semtech.com/.

[17] Adelantado, Ferran, et al. "Understanding the Limits of LoRaWAN." IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 9, 2017, pp. 34–40., doi:10.1109/mcom.2017.1600613.

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

IE 4920 SİSTEM TASARIMI ÖZETİ

PERSONEL SERVİS SİSTEMLERİ ANALİZİ

Emre Ege Ak, Gökçe Fatma Akpinar, Merve Özdemir, Oğuz Kaan Yalabik,

Orhan Ege San, Zafer Çağlar

Akademik Danışmanlar

Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner, Araş Gör. Mert Paldrak

İzmir, 2020

I. GİRİŞ

Yaşar Üniversitesi, İzmir'de kurulan vakıf üniversitelerinden biridir. Üniversitede 9 fakülte, 4 yüksekokul, 2 enstitü & lisansüstü ve 6 araştırma & geliştirme merkezi bulunmaktadır. Ayrıca, proje destek ofisi ve bilgi ve teknoloji transfer ofisi de dahil olmak üzere inovasyon ve girişimcilik ile ilgili çeşitli ofisler bulunmaktadır. Üniversiteye kayıtlı lisans ve lisansüstü öğrenci sayısı yaklaşık 10.000'dir.

Yaşar Üniversitesi, 2014 yılından bu yana vakıf üniversiteleri kategorisinde en çok tercih edilen üniversitelerden biri olmuştur. Giderek uluslararası bir Şehir Üniversitesi haline gelen Yaşar Üniversitesi 28 AB ülkesinde ve 225 üniversitede Erasmus Öğrenci değişim imkânı sunarak, Erasmus programının Türkiye'deki en başarılı üniversitelerinden biridir. 2010 yılında Avrupa Komisyonu tarafından "Erasmus Başarı Öyküsü" ile ödüllendirilmiştir. Kampüsün konumu sayesinde, öğrenci ve çalışanların kampüse erişimi kolaylıkla sağlanmaktadır. Kampüs İzmir metrosuna 50 metre, ana otobüs terminaline 15 dakika ve uluslararası havaalanına 30 dakika uzaklıktadır.

Yaşar Üniversitesi, Akademik ve idari personele personel taşımacılığı hizmeti vermektedir. Her iş gününün sabahları, önceden belirlenmiş otobüs duraklarında bekleyen çalışanları almak ve onları üniversiteye getirmek için önceden belirlenmiş rotaları takip eden birkaç otobüs şehri dolaşmaktadır. Akşamları, aynı otobüsler, çalışanları evlerine en yakın otobüs duraklarına taşımak için aynı rotalarda ters yönde hareket eder. İnsan Kaynakları Departmanındaki kayıtlara göre, tam zamanlı çalışan sayısı 671'dir; bunların 450'si akademik personel, 221'i idari personeldir. Ancak, bu çalışanların yaklaşık 300'ü ulaşım hizmetlerini kullanmaktadır. Çeşitli nedenlerden dolayı, diğer personeller toplu taşıma araçlarını ve kişisel arabaları kullanmayı tercih ediyor.

Şu anda Yaşar Üniversitesi'nde çalışan taşımacılığı için 7 farklı güzergâh bulunmaktadır. Bu güzergahlar sırasıyla ; "Alsancak-Güzelyalı", "Hatay", "Atakent", "Çiğli-Mavişehir", "Karşıyaka-Girne", "Gaziemir" ve "Bornova" dır.

II. PROBLEM TANIMI

Projenin amacı, çalışanların konforunu arttırırken, ulaşım maliyetlerini azaltarak çalışan ulaşım hizmetlerinin verimliliğini artırmaktır. Çalışanın konforu, çalışan adresleri ile en yakın otobüs durakları arasındaki ortalama mesafeye göre tanımlanır. Otobüs durakları sayısı arttıkça hem çalışan konforu hem de ulaşım maliyeti artar. Benzer şekilde, rotaların uzunluğu otobüs durağı sayısı arttıkça artar ve dolayısıyla ulaşım maliyeti artar. Bu nedenle bu iki performans kriteri birbiriyle çelişir.

Taşıma maliyetleri iki kategoriye ayrılır: değişken ve sabit maliyetler. Değişken maliyetler, otobüslerin kat ettiği toplam mesafe ile ilişkilendirilirken, sabit maliyetler, kullanılacak otobüs sayısı ve türü ile ilgilidir. Sorunun karar değişkenleri, otobüs duraklarının sayısını ve yerlerini, kullanılacak otobüslerin sayısını ve türünü ve rotalarını belirlemektir.

Sabahları, çalışanların ev adresine en yakın olan bir otobüs durağında gidip bekledikleri varsayılır. Otobüs rotaları bu duraklardan geçecek şekilde planlanır. Her otobüs rotasındaki duraklarda bekleyen çalışanları alacaktır. Otobüse binen çalışan sayısı o otobüsün kapasitesinden daha büyük olmamalıdır. Öte yandan, rotanın uzunluğu veya rotadaki toplam seyahat süresi belirli bir değerle sınırlıdır. Çünkü herhangi bir çalışanın kampüse veya kampüsten kendi durağına olan maksimum seyahat süresinin mümkün olduğunca kısa olması arzu edilir.

Sorunun giriş verileri, çalışanların ev adreslerinin listesidir. Ancak, kişisel verilerin korunması Kanunu nedeniyle, çalışanların gerçek adreslerine erişilememiştir. Sonuç olarak, İzmir'de 300 adresi içeren hayali bir veri seti, çalışan adreslerini temsil etmek için oluşturulmuştur. Bu adresleri oluşturmak için sistematik bir yöntem izlenmiştir.

İlk aşamada İzmir'in Karşıyaka, Konak, Karabağlar gibi merkez ilçeleri. belirlenmiştir ve bu ilçelerin nüfus sayısı verileri internet araştırması ile toplanmıştır. Daha sonra merkez ilçelerin toplam nüfusu içinde her ilçenin nüfus yüzdesi hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzdelere dayanarak, her ilçede oluşturulacak adres sayıları belirlenmiştir.

İkinci aşamada, daha gerçekçi olmak için, her ilçenin kırsal ve kentsel bölge olarak ikiye ayrıldı. Kırsal kesimde çok az kişi ya da hiç kimse yerleşmediğinden her ilçenin kırsal bölgeleri göz ardı edildi ve adresler sadece kentsel bölgelerde oluşturuldu.

Sonraki aşama olarak, her ilçenin kentsel bölgeleri düzenli geometrik parsellere bölündü ve alanları hesaplandı. Alanların bağıl ağırlıklarına göre, her ilçenin parselleri içinde bulunacak adres sayısı belirlendi. Başka bir deyişle, her parselde oluşturulacak adreslerin sayısı kendi alanıyla doğru orantılıdır.

Bundan sonra, enlemlerin ve boylamların birbirinden bağımsız olduğu ve her ikisinin de parsellerin sınırları boyunca eşit olarak dağıldığı varsayılarak, adresler rastgele üretildi.

III. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Ön literatür araştırmasından ve problem üstündeki çalışmalardan sonra, özel bir iki fazlı modelleme yaklaşımı kullanmamız gerektiği anlaşılmıştır. İlk fazda, adresler otobüs duraklarını belirlemek için kümelendirilmiştir. Kümelerin merkezleri otobüs durağı olarak seçilmiştir. Ayrıca kümeleme analizi, her bir merkeze (otobüs durağı) atanan çalışan sayısını da verecektir. İlk aşamanın çıktısı, ikinci aşama girdisinin bir parçası olacaktır. İkinci aşamada, merkezler (otobüs durakları) birbirine bağlı bir ağın düğümleri olarak kabul edilecektir.Kullanılacak araç sayısı, türü ve bunların rotaları bulunacaktır.

İlk fazda, her ilçedeki otobüs duraklarının sayılarını ve yerlerini belirlemek için K-means kümeleme algoritması kullanılır. Algoritmanın çalıştırılması için, önceden karar verilen küme (K) sayısının belirtilmesi gerekir. Daha sonra algoritma, Manhattan mesafelerine göre k kümelerini ve küme içindeki eleman sayısını belirler. K değeri otobüs durakları sayısına karşılık gelir. K değeri değiştirilirse ve algoritma tekrar çalıştırılırsa, farklı değerlere sahip diğer küme merkezleri bulunur.

Farklı K değerleri için objektif fonksiyon değerlerini çizersek, eğri optimal K değerinde bir "dirsek" yapar. Bu nedenle kümelerin sayısı için en verimli değerin dirsek yapılan noktadaki k değeri olduğuna karar verilir.

Kümeleme çalışması yapılırken, ilk olarak her bölge için en uygun durak sayısı ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlemi gerçekleştirmek için farklı K değerlerinin test edilmesi gerekmektedir. Her bölge için K sayı aralığı belirlenir. K sayısı aralığının genişliği ilçedeki adres sayısına göre belirlenir. Adres sayısı yüksek olduğunda, aralığın maksimum değeri de yüksek olacaktır.

Her bölge için en uygun K değerini bulmak için yukarıda bahsedilen dirsek yöntemi uygulanmıştır. Ancak, sonuçları gözlemlediğimizde, adresler ile küme merkezi arasındaki mesafelerin maksimum mesafesinin beklediğimizden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda, en verimli K değerini seçmek için özel bir kural kabul ettik. Dirsek yöntemi yerine, maksimum mesafelerin 1,5 km'den uzun olmamasını sağlayan minimum K sayısını seçtik. Kısıtlayıcı değer (1.5 km), çalışanların rahatlığı ve çalışanların kümeler arasında dengeli bir dağılımını sağlamak için karar verici tarafından belirlenir.

Gerçek dünya problemini çözmek için, tüm adresleri tek bir set olarak işlememiz ve otobüs duraklarının sayısını ve yerlerini bulmak için K-means algoritmasını yürütmemiz gerekir. Ancak, İzmir'in yerleşimini ve körfezin konumunu göz önüne alırsak, adresleri İzmir Kuzey, İzmir Güney Doğu ve İzmir Güney Batı gibi üç ayrı kümeye bölmek mantıklıdır. İzmir'in kuzeyinde Çiğli, Karşıyaka ve Bayraklı ilçeleri yer alır. İzmir'in güney doğusunda Buca, Bornova ve Konak bulunmaktadır. İzmir'in güney batısında Balçova, Gaziemir, Güzelbahçe, Karabağlar ve Narlıdere yer alır.

Küme analizi, küme merkezlerini (otobüs duraklarının yeri) ve her otobüs durağına atanan çalışan sayısını sağladıktan sonra, bir sonraki aşamada, kaç tane ve hangi tür araçların kullanılması gerektiğini belirlememiz ve araçların rotalarını bulmamız gerekir. Bu sorun, bir okul otobüsü yönlendirme sorunu olarak formüle edilebilir. Gösterim ve matematiksel model aşağıdaki gibi verilir.

$\underline{Kümeler\ ve\ indisler}$:

V: $düğüm\ kümesi. Otobüs\ durakları\ konumu = \{0,1,\ldots.N\}$ *0 düğümü üniveriste kampüsünü ifade eder*

$A = \{(i,j), i,j \in V \mid i \neq j\}$: $yaylar\ kümesi\ (yollar)$

$G(V,A)$: $komple\ grafik$

$\underline{Parametreler}$:

C_{ij}: $durak\ i\ ve\ j\ arasındaki\ seyahat\ mesafesi$

t_{ij}: *i ile j durakları arasındaki seyahat süresi*
t_i: *çalışanların i durağından alınma süresi* $(t_o = 0)$
q_i: *i durağından otobüse binen çalışan sayısı* $(q_0 = 0)$
Q: *otobüs kapasitesi*
T_{max}: *Herhangi bir çalışanın maximum seyahat süresi*
M_i: *Büyük M* $i \in \{0,1,2\}$

<u>*Karar Değişkenleri*:</u>

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ ile } j \text{ durakları arasında otobüs seyahat ediyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

y_i: *otobüs içinde bulunan kümülatif çalışan sayısı* $(y_0 = 0)$
z_i: *otobüsün i durağından hareket ettiği andaki kümülatif seyahat süresi* $(z_0 = 0)$

$$\text{Min } Z = M_0 \sum_{i \in V \mid i \neq 0} x_{0i} + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V \mid i \neq j, i \neq 0} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

<u>*subject to*:</u>

$$\sum_{j \in V \mid j \neq i} x_{ij} = \sum_{j \in V \mid j \neq i} x_{ji} = 1, \qquad \forall i \in V \mid i \neq 0 \tag{2}$$

$$y_i \leq Q \qquad \forall i \in V \mid i \neq 0 \tag{3}$$

$$y_i + q_j - y_j \leq M_1(1 - x_{ij}) \qquad \forall i, j \in V \mid i \neq j, j \neq 0 \tag{4}$$

$$z_i \leq T_{\max} \qquad \forall i \in V \tag{5}$$

$$z_i + t_{ij} + t_j - z_j \leq M_2(1 - x_{ij}) \qquad \forall i, j \in V \mid i \neq j, j \neq 0 \tag{6}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in V \mid i \neq j \tag{7}$$

$$y_i, z_i \in \{0, 1, 2 \ldots\}, \qquad \forall i \in V \tag{8}$$

Amaç fonksiyonu (1) kullanılan otobüslerin sayısını ve toplam Seyahat mesafesini en aza indirmektir. M_0 Parametresi, otobüsün sabit maliyetini temsil eden yeterince büyük bir pozitif sayıdır. Matematiksel modelde, M_0= 100 olarak alınır. Kısıt (2) her durağın bir otobüsle servis edildiğini ve tam olarak bir kez ziyaret edildiğini garanti eder. Kısıt (3) otobüs kapasitesinin aşılamayacağını gösterir. Kısıt (4) çalışanların otobüste birikimini belirtir. Kısıt (5) her çalışanın sürüş süresinin maksimum sürüş süresini asla aşmamasını sağlar. Kısıt (6) otobüs seyahat süresinin kümülatifini belirtir. Kısıt (7) ve (8) karar değişkenleri için etki alanını tanımlar.

IV.SONUÇ

Model 300 adres dikkate alınarak gerçek dünya problemini çözmek için kullanılmıştır. Ancak, genel listeyi Kuzey, Güney Doğu ve Güney Batı gibi üç ayrı kümeye bölündüğü dikkate alınmalıdır. Münferit bölgelerle ilgili veri kümeleri için sorunları çözmek çok zaman almaz. Bununla birlikte, bölgesel veri kümeleriyle ilgili sorunları çözmeye çalıştığımızda çözüm süreleri önemli ölçüde artmıştır. Bölgesel sorunların ortalama çözüm süreleri yaklaşık 35 saattir. Matematiksel modelle en uygun çözümü aramak makul görünmemektedir, ancak problem yeni bir ulaşım sistemi önermek amacı ile bir kez çözüldüğü için hala pratiktir. En uygun çözümler ve detaylar sırasıyla Kuzey, Güney Doğu ve Güney Batı bölgesel veri setleri için Tablo I, Tablo II ve Tablo III'de verilmiştir.

Tablo I. İzmir Kuzey Güzergahı ve Özellikleri

Güzergah Numarası	Durak Numarası	Durakta Bulunan Çalışan Sayısı	Durağa olan Maksimum Yürüme Mesafesi (km)	Otobüs içinde Bulunan Kümülatif Çalışan Sayısı	Kümülatif Yolculuk Süresi (dakika)
1	2	7	0,53	35	14,99
	4	5	0,7		
	6	7	0,36		
	9	5	1,08		
	11	4	0,40		
	12	7	0,90		
2	7	7	0,97	35	45
	8	1	0,00		
	10	7	1,57		
3	1	5	0,98	35	24,57
	3	6	1,32		
	5	4	0,60		
	13	4	0,69		
	14	10	0,82		
	15	3	0,30		
	16	3	0,31		

Tablo II. İzmir Güney Doğu Güzergahı ve Özellikleri

Güzergah Numarası	Durak Numarası	Durakta Bulunan Çalışan Sayısı	Durağa olan Maksimum Yürüme Mesafesi (km)	Otobüste Bulunan Kümülatif Çalışan Sayısı	Kümülatif Yolculuk Süresi (dakika)
1	1	8	0,92	35	28
	2	6	1,20		
	4	3	0,50		
	5	4	0,84		
	12	4	0,59		
2	3	5	1,21	35	31
	6	7	1,48		
	8	4	0,73		
	10	3	0,21		

	16	6	1,01		
3	7	8	0,81	34	45
	9	4	0,56		
	11	4	0,35		
4	13	5	0,55	32	45
	14	4	0,48		
	15	7	0,76		

Tablo III. İzmir Güney Batı Güzergahı ve Özellikleri

Güzergah Numarası	**Durak Numarası**	**Durakta Bulunan Çalışan Sayısı**	**Durağa olan Maksimum Yürüme Mesafesi (km)**	**Otobüs içinde Bulunan Kümülatif Çalışan Sayısı**	**Kümülatif Yolculuk Süresi (dakika)**
1	3	6	1,00	35	45
	4	11	0,76		
	5	6	0,66		
	11	7	0,54		
	12	14	1,07		
	13	26	3,53		
2	1	4	0,38	35	45
	2	9	0,38		
	6	4	1,29		
	9	7	1,10		
	10	5	2,25		
3	7	8	1,05	35	45
	8	6	0,50		
	14	9	1,44		
	15	10	1,09		

REFERANSLAR

[1] Corberán, A., Fernández, E., Laguna, M., & Marti, R. A. F. A. E. L. (2002). Heuristic solutions to the problem of routing school buses with multiple objectives. *Journal of the operational research society*, *53*(4), 427-435.

[2] Dang, L. X., Hou, Y. E., Liu, Q. S., & Kong, Y. F. (2019). A Hybrid Metaheuristic Algorithm for the Bi-objective School Bus Routing Problem. *IAENG International Journal of Computer Science*, *46*(3).

[3] Geetha, S., Poonthalir, G., & Vanathi, P. T. (2009). Improved k-means algorithm for capacitated clustering problem. *INFOCOMP*, *8*(4), 52-59.

[4] Kek, A. G., Cheu, R. L., & Meng, Q. (2008). Distance-constrained capacitated vehicle routing problems with flexible assignment of start and end depots. *Mathematical and Computer Modelling*, *47*(1-2), 140-152.

[5]Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A survey on the vehicle routing problem and its variants.

Değerlendirme ve Sonuçlar

2019-2020 akademik yılında, Endüstri Mühendisliği bölümü son sınıf öğrencileri İzmir ve civarında yerleşik saygın şirketlerde on üç 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 ve sanayi tecrübesi ile pekiştirmiş oldular. Yürütülen projelerle şirketlere fayda sağlamanın yanı sıra öğrencilerimizin de yetenek ve bilgi birikiminin arttığı, asıl önemlisi iş dünyası konusunda tecrübe kazandıkları değerlendirilmektedir.

Bu projelerden altı tanesi *TÜBİTAK 2209 B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı* kapsamında desteklenmeye layık görüldü. Böylelikle son altı yılda, TÜBİTAK desteği alan mezuniyet projesi sayısı ise 26'ya ulaştı.

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 ve IE 4920 Uygulama Planı

1. Giriş

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

Tablo 1. Proje Adımları ve Haftalık Çizelge.

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

IE 4920, Sistem Tasarımı, Bahar Dönemi		
6	Çözüm Metodolojisi	1-5
7	Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması	
8	Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması	6-10
9	KDS'nin Doğrulama ve Geçerlemesi	
10	Karşılaştırma	11-14
11	Uygulama	

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

2. İçerik

2.1. IE 4910 Sistem Analizi

IE 4910 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

1. **Sistemin Genel Analizi**
   - Firma ile ilgili genel bilgiler (yaz stajındaki ilk kısım baz alınabilir).
   - Firmanın girdi ve çıktıları: ham madde, tedarik sistemi, son ürüne geçiş (üretim ve malzeme akışları kara kutu olarak modellenebilir).
   - Firmanın üretim ve malzeme akış sistemi ile ilgili bilgileri (imalat süreçleri, malzeme akışları, vb.).
2. **Mikro Sistem Analizi**
   - Problemin konusu / çerçevesinin çizilmesi.
   - Sistemin tanımlanması (grafikler ve görsel materyallerle desteklenebilir).
   - Gözlemler, veri toplanması.
   - Veriler ışığında bulguların (semptomlar) belirlenmesi.
   - Problemin tanımlanması.

- Hedefler, kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi (projenin başarılı olup olmadığını belirlemek adına tanımlanan ölçülebilir kriterler).

3. Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış

- Lisans derslerinin gözden geçirilmesi.
- Kitaplar seviyesinde literatürün incelenmesi.
- Çözüm araçlarının ortaya konulması.
- Kontrol edilebilen / edilemeyen faktörlerin belirlenmesi.
- Değişken ve parametrelerin tanımlanarak alabilecekleri değer aralıklarının belirlenmesi.
- Taslak modelin kurulması.

4. Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu

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

5. Literatür Çalışması

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

2.2. IE 4920 Sistem Tasarımı

IE 4920 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

6. Çözüm Metodolojisi

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

7. Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması

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

8. Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması

- Veri tabanının oluşturulması.
- Model tabanı ile veri tabanının konuşturulması.
- Kullanıcı ara yüzünün tasarlanması.
- Kullanıcıya sunulacak KDS çıktılarının derlenip raporlarının tasarlanması.

9. KDS'nin Doğrulaması ve Geçerlemesi

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

10. Karşılaştırma

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

11. Uygulama

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

3. IE 4910 / IE 4920 Derslerinin Birbirini Tamamlayan Takvimi

3.1. IE 4910 Takvimi

Dönem başlamadan önce (Projelerin belirlenmesi)

Dersin koordinatörü ve iki öğretim elemanından oluşan proje komisyonu, tüm bölüm elemanlarının kontaklarıyla belirlenen potansiyel projeleri yerinde görüşmek üzere, firma ziyaretleri yaparlar. Bu sayede, gerçekleştirilecek bitirme projeleri belirlenir ve bu proje konuları özetlenerek belgelenir

1. Hafta

Bölüm Kurulu toplantısı
Dersin koordinatörü dersin işlenişi, izlenecek takvim ve projeler konusunda danışman hocaları bilgilendirecek ve bunu takiben proje danışmanları belirlenecektir.

2. Hafta

Öğrencilerle ilk buluşma
IE 4910 ile ilgili öğrencilerle yapılan bu ilk toplantıda dersin işleyişi, kuralları ve bölüm kurulu tarafından belirlenen grup oluşturma kriterleri hakkında öğrencilere bilgi verilecek, projeler öğrencilere tanıtılacaktır. Bu toplantıda öğrencilere proje danışmanlarının kim olduğuna dair bilgi verilmeyecektir.

Grup oluşturma
Bölüm kurulu, proje grubu başına düşecek öğrenci sayısını belirler. Ayrıca gruplar oluşturulurken uyulması gereken kuralları da (örneğin grup not ortalamasının 2.00-3.00 arasında olması) belirleyip ilan eder. Öğrenciler bu kurallara uygun olarak kendi proje gruplarını kendileri belirler.

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 ilan edilecektir.

Grupların proje tercihlerini bildirmesi
Gruplar proje tercihlerini "Project Preference Form"u doldurarak teslim ederler. 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 tercihine atanmasını sağlamaya çalışır.

4. Hafta

Grupların danışmalarıyla ve firmalarıyla temasa geçmeleri

Gruplar danışmanlarıyla temasa geçerek haftalık düzenli buluşma saatlerini belirleyeceklerdir. Yine aynı şekilde firmalarla haftalık düzenli buluşma günlerini (ortalama 2 yarım gün) belirleyeceklerdir. Danışmanların ayda en az bir kez bir yarım gün işletmede bulunması beklenmektedir. Ayrıca, firmalar ile gizlilik sözleşmeleri imzalanarak dersin koordinatörüne teslim edilecektir

5 ve 9. Haftalar arası

Bölüm 1 ve 2 çalışmaları
5 ve 9. haftalar arasında tüm gruplar, İçerik kısmındaki 1. ve 2. bölümlerde anlatılan görevleri (Makro Analiz ve Mikro Analiz) yerine getirip tamamlayacaklardır.

10 ve 14. Haftalar arası

Bölüm 3 ve 4 çalışması

10. ve 13. haftalar arasında tüm gruplar, İçerik kısmındaki 3. ve 4. bölümlerde anlatılan görevleri (Çözüm Araçlarına & Literatüre Genel Bakış ve Problemin Formülasyonu & Modellenmesi) yerine getirip tamamlayacaklardır.

15. Hafta

Rapor teslimi

Gruplar, İçerik kısmında 1.-4. bölümlerde açıklanan işlerle ilgili yaptıkları çalışmaları içeren İngilizce raporlarının teslimini yapacaklardır. Raporlar, EK-5'deki *"A05 - English Report Template"* formatında olmalıdır ayrıca elektronik versiyonu (.docx) ve posterin (.pdf) formatındaki dosyası (5 MB'i aşmayacak şekilde formatlanmış) teslim edilecektir.

Raporun tek kopya halinde öğretim planında belirtilen son tarihe kadar Sekreterliğe teslim edilmesi gerekmektedir.

Sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde ilk 4 bölüm ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4'deki *"A04 - IE 4910 Oral Presentation Evaluation Form*" kullanılarak değerlendirilecektir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

16. Hafta

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları final döneminin ikinci haftasında yapılacaktır.

IE 4910 –Not teslimi

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-7'deki *"A06 - IE 4910 English Report Evaluation Form"* kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

18 ve 19. Haftalar

Bölüm 5 çalışması

Sömestre tatiline denk gelen bu haftalarda İçerik kısmında 5.bölümde anlatılan ayrıntılı (makale bazında) literatür araştırmasına ayrılmıştır. Bu dönemde grupların bu çalışmayı tamamlaması beklenmektedir. Dönem arasında firma ziyaretleri planlandığı gibi devam etmelidir.

3.2. IE 4920 Takvimi (İkinci sömestre)

1 ve 5. Haftalar arası

Bölüm 6 ve 7 çalışması

1 ve 5. haftalar arasında tüm gruplar, İçerik kısmındaki 6. ve 7. bölümlerde anlatılan görevleri (Makro Analiz ve Mikro Analiz) yerine getirip tamamlayacaklardır.6. ve 7. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

6 ve 10. Haftalar arası

Bölüm 8 ve 9 çalışması

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

11 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 10-11 çalışması ve Türkçe Yönetici Özeti teslimi

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

15. Hafta

Sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde yapmış oldukları tüm çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4'deki *"A09 - IE 4920 Oral Presentation Evaluation Form*" kullanılarak değerlendirilecektir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

İngilizce rapor ve değerlendirme formları teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Raporlar, EK-5'deki *"A05 - English Report Template"* formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin pdf formatındaki dosyası (5 MB'i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihten sonra sistem kapanacaktır).

Bunun yanında tüm grup üyeleri birbirlerini EK-14'de verilen *"A11 - Peer-evaluation Form"*u kullanarak değerlendirmeli ve bu formları ayrı ayrı kapalı zarflarda son raporla birlikte sekreterliğe teslim etmelidir.

Ayrıca grup ve danışmanların firmayı değerlendirdiği EK-12'deki *"A12 - Company Evaluation Survey"* ve firmanın projeyi değerlendirdiği EK-13'deki *"A13 - Project Evaluation Survey"* anketleri de son raporla birlikte kapalı zarflarda sekreterliğe teslim edilmelidir.

Karar Destek Sistemi ve kullanım kılavuzunun teslimi

IE 4910-4920 çerçevesinde iki dönem boyunca çalışılan projelerin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için, geliştirilen Karar Destek Sistemleri'nin kullanım kılavuzları ile birlikte firmalara teslim edilmesi önem arz etmektedir. Gruplar, geliştirdikleri Karar Destek Sistemi'ni hazırladıkları kullanım kılavuzu ile birlikte proje yaptıkları firmalara teslim edeceklerdir. Ayrıca, hazırlanan kullanım kılavuzları ve beraberinde bir CD'yle Karar Destek Sistemleri öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim edilecektir. Kullanım kılavuzu dili Türkçe olacaktır.

16-17. Hafta

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları ve IE 4920 Çıkış Anketi

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

18. Hafta

Bölüm Kurulu toplantısı

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-15'deki *"A15 - IE 4920 English Report Evaluation Form"* kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm Kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

4. Diğer Hususlar

4.1. Değerlendirme

Dönem harf notu bölüm kurulunca belirlenecektir. Proje grupları notlandırılırken her bir öğrenciye ayrı not verilebilir. Gruplar değerlendirilirken beş ölçüt göz önünde bulundurulacaktır. Bu altı ölçüt, aşağıdaki tabloda belirtilmiştir:

Tablo 2. Notlandırma Kriterleri

Notlandırma Kriteri	**IE 4910 (%)**	**IE 4920 (%)**
İngilizce Sunum	35	30
İngilizce Karar Destek Sistemi Sunumu	-	10
İngilizce Rapor (Ekler hariç en fazla 15 sayfa) + Türkçe Yönetici Özeti (6 pages, Appendices not allowed)	40	30
Grup üyelerinin birbirine verdiği notlar	5	5
Danışman değerlendirmesi	20	25
Toplam	**100**	**100**

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

4.2. Buluşma Saatleri

Grupların danışmanlarıyla düzenli olarak haftada en az bir kez görüşmesi beklenmektedir. Grupların firma ziyaretlerine düzenli olarak haftada 2 yarım gün ayırmaları öngörülmektedir.

4.3. Devamlılık

Haftalık buluşmalarda devam (kişi bazında) zorunludur ve derse %80 devamlılık aranmaktadır. Devamsız öğrenciler R notu ile değerlendirilecektir. Öğrencilerin devam durumu ve katılımı danışman değerlendirmesini doğrudan etkileyecektir.

Proje Ekipleri

Proje İsmi	Boru Üretim Sürecinin İyileştirilmesi
Şirket	Bosch Termoteknik A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Nazlı Karataş Aygün (nazli.aygun@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Aysu Aslaner Aysu Gürokur Enes Turan Karya Varol Melisa Menemenlioğlu Ömer Faruk Çorum Yağmur Aydoğan
Proje İsmi	Dyo-Çiğli'de Üretim Çizelgeleme
Şirket	DYO Boya Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Sinem Özkan (sinem.ozkan@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Değer Demir Ecem Ademoğlu Gülce Gülen Kerem Can Deliktaş Mert Yandımata Saadet Gül Serdar Can Ertem
Proje İsmi	Paralel Makina Çizelgeleme Problemi
Şirket	Visam Plastik ve Metal Enj. San. ve Tic. A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Gör. Efthymia STAIOU (effi.staiou@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Akdeniz Coşkun Aytaç Ali Aslaner Berk Bulut Ece Özboyacı Görkem Gülbent Nil Ergün Nur İlayda Tülemiş

Proje İsmi	İnci GS Yuasa Şirketi'nde Akü Üretimi için Paralel İşgücü Atama Problemi
Şirket	İnci GS Yuasa A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Doç. Dr. Banu Yetkin Ekren (banu.ekren@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Damla Yüksel (damla.yuksel@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Aslıhan Erdoğan Ayşenur Talı Berfu Kırcalı Buket Günal Ecem Nazlı Dedecengiz Serra Nur Çolakoğlu Yağmur Irmak
Proje İsmi	Çok Modelli Çoklu Hat Dengeleme Süreci Eniyileme Problemi
Şirket	Bosch Termoteknik A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe (ali.gokce@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Cansu Yurtseven (cansu.yurtseven@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Ahmet Gülseven Beste Çağlayanırmak Doğukan Başgöl Evren Demir Muharrem Eren Tekin Meltem Kırbaş Onur Orhan
Proje İsmi	Hibrit Akış Tipi Atölyede Müşteri Siparişlerinin Çizelgelemesi
Şirket	Kanat Boyacılık Tic. San. A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Nazlı Karataş Aygün (nazli.aygun@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Melis Gizem Akkaya Burak Aksun Görkem Bozkurt Eylül Kacar Esra Karakoç İrem Kartop Almira Öztürk

Proje İsmi	Bütünleşik Sevkiyat ve Paketleme Problemi Modelleme Uygulaması
Şirket	CMS Jant ve Makina Sanayii A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali Gökçe (ali.gokce@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Cansu Yurtseven (cansu.yurtseven@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Büşra Çan Can Bingöl Ege Akkuş Esin Tosun Gökçe Demirel Hilal Coşğun Tuğçe Köksal
Proje İsmi	Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi
Şirket	Öztaş Saç Demir İnşaat Mamulleri Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Doç. Dr. Ayhan Özgür Toy (ozgur.toy@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Damla Yüksel (damla.yuksel@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Gamze Küçük Nevzatcem Öztuna Ceren Çelik Mert Demirkan Ali Ozan Özkul Ezgi Çağlar Nizam Yıldırımşan Büyükmertoğlu
Proje İsmi	Diziye Bağlı Kurulum Zamanlarına Sahip Tek Makine İş Çizelgelemesi
Şirket	Franke Mutfak ve Banyo Sistemleri Sanayi ve Tic. A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Mustafa Arslan Örnek (arslan.ornek@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Aylin Elibol Öykü Gökşen Emin Erbay Selen Tosun Egemen Orta Asena Ceritoğlu Çınar Arabacı

Proje İsmi	Boya Endüstrisindeki Hammaddeler İçin Envanter Yönetimi
Şirket	DYO Boya Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Dr.Öğr.Üyesi Gizem Mullaoğlu (gizem.mullaoglu@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Sinem Özkan (sinem.ozkan@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Nazlı Deniz Karadağ Ferhat Şiyar Aydın Selen Gizem Sayın Alper Engin Simge Baba Mete Uçan Berker Yazgan
Proje İsmi	Çok Taraflı Ve Çok Modelli Soğutucu Montaj Hattı Dengeleme
Şirket	Öztaş Saç Demir İnşaat Mamulleri Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Akademik Danışmanlar	Prof. Dr. Levent Kandiller (levent.kandiller@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Seda Gemici Buse Geniş İrem Almila Koçyiğit Emine Otuzbir Müge Özer Sinem Pekelli Fethi Tüzmen
Proje İsmi	IoT Tabanlı Alt Yapılar İçin Alıcıların Konum Optimizasyonu
Şirket	Noderix Inc.
Akademik Danışmanlar	Dr.Öğr.Üyesi Orkun Karabaşoğlu (orkun.karabasoglu@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Hasine Acap Ayşem Ayözen Çiğdem Çelik Mine Demir İlkay Gülbay Eda Sönmez Gözde Yücel

Proje İsmi	Personel Servis Sistemleri Analizi
Şirket	Yaşar Üniversitesi
Akademik Danışmanlar	Dr. Öğr. Üyesi Adalet Öner (adalet.oner@yasar.edu.tr) Araş. Gör. Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Öğrenciler	Emre Ege Ak Gökçe Fatma Akpinar Merve Özdemir Oğuz Kaan Yalabik Orhan Ege San Zafer Çağlar

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

FRANKE
BOSCH Yaşam için teknoloji
CMS
dyo
İNCİ GS YUASA
OZTAS METAL SOLUTIONS
KANAT PAINTS & COATINGS
noderix
visam