



**COVID-19 PANDEMİ DÖNEMİ ONLINE MARKET
ALİŞVERİŞİNDE SİPARİŞ GECİKMELERİNİN
MİNİMİZASYONU**

Rumeysa DAĞSOY

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2022

(Her hakkı saklıdır.)

T.C. ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**COVID-19 PANDEMİ DÖNEMİ ONLINE MARKET
ALİŞVERİŞİNDE SİPARİŞ GECİKMELERİNİN
MİNİMİZASYONU**

(Minimization of Order Delays in Online Market Shopping During the COVID-19 Pandemic Period)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rumeysa DAĞSOY

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

Erzurum
Temmuz 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

COVID-19 PANDEMİ DÖNEMİ ONLINE MARKET ALIŞVERİŞİNDE SİPARİŞ GECİKMELERİNİN MİNİMİZASYONU

Doç. Dr. Mustafa YILMAZ danışmanlığında, Rumeysa DAĞSOY tarafından hazırlanan bu çalışma, 25/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak oybirliği (3/3) ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdem AKSAKAL
Atatürk Üniversitesi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Hamid YILMAZ
Bayburt Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Aslı Islak İmzalıdır

Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Doç. Dr. Mustafa YILMAZ* danışmanlığında sunulan “ Covid-19 Pandemi Dönemi Online Market Alışverişinde Sipariş Gecikmelerinin Minimizasyonu” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	6	30
Kuramsal Temeller	1	30
Materyal ve Metot	3	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	4	20
Sonuçlar ve Öneriler	6	20
Tezin Geneli	8	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Rumeysa DAĞSOY	Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
25.7.2022	25.7.2022
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Değerli bilgileriyle beni aydınlatan ve yol gösteren saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Mustafa YILMAZ'a engin bilgileri ve bana olan güveni için çok teşekkür ederim.

Yeterince stresli olan pandemi döneminde, tezimi yazdığım süre boyunca kolaylaştırıcı tutumlarını eksik etmeyen sevgili anneciğim ve babacığma çok teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemedikleri için minnettarım.

Ek olarak, bilgilerini esirgemeyen ve çalışmanın bilimselliğine katkıda bulunan KimGeldi online sipariş uygulamasına ve COVID-19 pandemisi süresince gösterdikleri çaba ve diğerkâmlıklarından dolayı tüm sağlık çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Rumeysa DAĞSOY

Temmuz, 2022

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
COVID-19 PANDEMİ DÖNEMİ ONLINE MARKET ALIŞVERİŞİNDE SİPARİŞ
GECİKMELERİNİN MİNİMİZASYONU

Rumeysa DAĞSOY

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

Amaç: COVID-19 pandemi sürecinde marketlerin online olarak müşterilerden gelen talepleri artmış ve bu talebi karşılamak zorlaşmıştır. Talebin artmasıyla siparişlerde gecikmeler yaşanmaktadır ve yanlış ürün teslimatı gibi olumsuz durumlar ortaya çıkmaktadır. Siparişe dayalı ürün teslimatı yapan işletmelerde ürünlerin müşterilere en erken vakitte ulaştırılması firmanın yararı ve müşteri memnuniyeti açısından oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında, COVID-19 pandemi sürecinde online siparişe dayalı ürün teslimatı yapan ve İstanbul’da ikamet eden bir market zinciri seçilmiştir. Öncelikli amaç online sistem üzerinden gelen siparişlerin gecikmelerinin minimizasyonunu sağlamaktır. Böylelikle müşteri memnuniyetinin artırılması amaçlanmaktadır.

Yöntem: Bu çalışmada optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yazılım paketi olan GAMS dili tek makineli toplam gecikmeyi minimize etme problemi için kullanılmıştır. Problemden 7 günlük siparişe ait gerçek hayat verileri modelde çalıştırılmıştır. İşlere ait başlama zamanları, işlem zamanları ve teslim tarihleri modelde kullanılan girdi parametreleridir. Matematiksel model, karma tamsayılı doğrusal programlama ile modellenmiştir.

Bulgular: Standart mesai saatleri içerisinde alınan 7 günlük sipariş verileri incelenmiştir ve sipariş alımı-müşteri teslimatı arasındaki süre verileri ölçülerek matematiksel modelde parametre olarak kullanılmıştır. Toplam gecikmeyi minimize eden matematiksel model GAMS paket programında kodlanmış ve NEOS server sunucusu yardımıyla CPLEX yöntemi ile çözülmüştür.

Sonuç: Matematiksel model sonucu bulunan optimum sipariş çizelgesi ile işletmeye ait sipariş çizelgesi karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir ve ne kadar tasarruf yapıldığı sunulmuştur. Oluşturan matematiksel model NP-Zor sınıfındadır ve toplam gecikmeyi minimize etmektedir. Çalışma sonucunda matematiksel modelin var olan iş planına kıyasla toplam gecikme için optimum sonucu verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Karma tamsayılı programlama, Optimizasyon, Tek makine çizelgeleme

Temmuz 2022, 73 sayfa

ABSTRACT
MASTER’S THESIS
MINIMIZATION OF ORDER DELAYS IN ONLINE MARKET SHOPPING DURING
THE COVID-19 PANDEMIC PERIOD

Rumeysa DAĞSOY

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa YILMAZ

Purpose: Online grocery demands from customers have increased and it has become difficult to meet this demand day by day during the COVID-19 pandemic period. There are delays in orders due to increased demand and negative situations arise such as incorrect product delivery. It is very important that delivering products to customers at the earliest time in order-based product delivery businesses for the benefit of the company and customer satisfaction. In this study, a grocery chain that delivers products based on online orders and based in Istanbul has been selected during the COVID-19 pandemic. Primary purpose is to minimize the delays of orders received through the online system. Thus, it is aimed to increase customer satisfaction.

Method: In this thesis, GAMS programming language, which is a software package that is often used in optimization problems, was used for the problem of minimizing single-machine total delay. Real-life data of 7-day order were run in the model. Start times of the orders, processing times of the orders and delivery dates of the orders are input parameters used in the model. The mathematical model is a mixed integer linear programming model.

Findings: 7-day order data received during standard working hours (09.00 am – 05.00 pm) were examined and analyzed. Time data between order and customer delivery was measured and used as a parameter in the mathematical model. Mathematical model that minimizes the total delay was coded in the GAMS package program and solved by CPLEX method with the help of NEOS server.

Results: Optimum order schedule, which was found as a result of the mathematical model, was compared with the order schedule of the company. The mathematical model that creates is in the NP-Hard class and minimizes the total delay. As a result of the study, it has been seen clearly that the mathematical model gave the optimum result for the total delay compared to the existing work plan in the company.

Keywords: COVID-19, Mixed integer programming, Optimization, Single-machine scheduling

July 2022, 73 pages

İÇİNDEKİLER

ETİK BİLDİRİM VE BEYAN FORMU	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	ix
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Toplam Gecikmeyi Minimize Eden Çizelgeleme Çalışmaları	3
COVID-19 Pandemisi Çizelgeleme ve Optimizasyon Çalışmaları	5
MATERYAL VE METOT	7
Çizelgeleme Problemleri.....	7
FIFO (İlk gelen ilk çıkar)	8
SJF (En kısa iş).....	8
RR (Round robin).....	9
SRTF (En kısa kalan iş)	10
İş Özelliklerine Göre Çizelgeleme (β).....	10
Optimallik Kriterine Göre Çizelgeleme (γ)	11
Makine Ortamına Göre Çizelgeleme (α)	12
Paralel makine ortamı.....	12
Tek makine ortamı	13
Deterministik Tek Makine Çizelgeleme	16
Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ($1 \sum w_j C_j$).....	17
Maksimum gecikme (1 prechmax)	17
Gecikmiş işlerin sayısı ($1 \sum U_j$)	17
Toplam gecikme – dinamik programlama ($1 \sum T_j$).....	18
Toplam ağırlıklı gecikme ($1 \sum w_j T_j$).....	18
Stokastik Tek Makine Çizelgeleme	19

Önceliksiz keyfi dağılım	19
Öncelikli keyfi dağılım: Gittins endeksi	19
Tek Makineli Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Zamanını Minimize Eden Matematiksel Model	20
Tek Makineli Geciken İşleri Minimize Eden Matematiksel Model	21
Programlama Dili GAMS	22
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	24
Problemin Tanımı	24
Problemin Varsayımları	25
Problem Hakkında Bilgi	25
Matematiksel Model	26
GAMS kodu	28
30 Mayıs 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	31
31 Mayıs 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	34
1 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	36
2 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	39
3 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	41
4 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	43
5 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi	46
Elde Edilen Çözüm ve Açıklaması	48
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
Sınırlılıklar	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	60

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. FIFO Algoritması Verileri	8
Tablo 2. SJF Algoritması Verileri.....	8
Tablo 3. RR Algoritması Verileri	9
Tablo 4. SRTF Algoritması Verileri	10
Tablo 5. En Yaygın Kullanılan Amaç Fonksiyonları	11
Tablo 6. Her j İşi İçin d_j Bitiş Tarihine Bağlı Amaç Fonksiyonları	11
Tablo 7. Diğer Amaç Fonksiyonları	12
Tablo 8. Başlıca GAMS Çözücüler (Ayvaz, B.).....	23
Tablo 9. Probleme Ait Veriler	25
Tablo 10. 30.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	31
Tablo 11. 31.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	34
Tablo 12. 01.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	36
Tablo 13. 02.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	39
Tablo 14. 03.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	41
Tablo 15. 04.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	43
Tablo 16. 05.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar	46
Tablo 17. Tasarruf Miktarları	49
Tablo 18. 7 Günlük Optimum Sipariş Çizelgesi	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. FIFO algoritması gantt şeması.	8
Şekil 2. SJF algoritması gantt şeması.	8
Şekil 3. RR algoritması gantt şeması.	9
Şekil 4. SRTF algoritması gantt şeması.	10
Şekil 5. Paralel makine çizelgeleme. (Ceylan vd., 2019).....	13
Şekil 6. Çok makineli bir ortamda kullanılan başlıca notasyonlar.	13
Şekil 7. Tek makine çizelgeleme. (Ceylan vd., 2019).....	15
Şekil 8. Tek makineli bir ortamda kullanılan başlıca notasyonlar.	16
Şekil 9. Gantt şeması.	16
Şekil 11. Toplam gecikmelerin karşılaştırılması.	50

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

GAMS	: General Algebraic Modelling Systems (Genel Cebirsel Modelleme Sisyemi)
CPU	: Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
SPT	: Shortest Processing Time (En Kısa İşlem Zamanı)
WSPT	: Weighted Shortest Processing Time (Ağırlıklı En Kısa İşlem Zamanı)
EDD	: Earliest Due Date (En Erken Teslim Zamanı)
STR	: Slack Time Remaining (Boş Zaman)
MLQ	: Çok Düzeyli Kuyruk Çizelgeleme
CR	: Critical Ratio (Kritik Oran)
RR	: Round Robin Algoritması
FIFO	: First In, First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
SJF	: Shortest Job First (En Kısa İş)
HDF	: Highest Density First (Önce En Yüksek Yoğunluk)
SRTF	: Shortest Remaining Time First (Önce En Kısa Kalan İş)
NP-Zor	: Polinom Zamanlı Olmayan Optimizasyon Problemi
LP	: Doğrusal Programlama
NLP	: Doğrusal Olmayan Programlama
DNLP :	: Süreksiz Türevli Doğrusal Olmayan Programlama
RMIP	: Genişletilmiş Tamsayılı Programlama
MIP	: Tamsayılı Programlama
RMINLP	: Genişletilmiş Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama
Prmp	: Preemptions (Bölünebilme)
Prec	: Precedence Constarints (Öncelik Kısıtlamaları)
Sn	: Saniye
Sa	: Saat

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ (devam ediyor)

Simgeler

O	: Open Shop (Açık Atölye Tipi)
F	: Flow Shop (Akış Tipi)
J	: Job Shop (Atölye Tipi)
P	: Özdeş Paralel Makineler
n	: İş Sayısı
N	: İş Kümesi
r_j	: Release Date (j İşinin Yayılma Zamanı)
d_j	: Due Time (j İşinin Teslim Zamanı)
s_j	: Setup Time (j İşinin Başlama Zamanı)
p_j	: Process Time (j İşinin İşlem Zamanı)
w_j	: Weight (j İşinin Ağırlığı)
C_j	: Completion Time (j İşinin Tamamlanma Zamanı)
F_j	: Flow Time (j İşinin Akış Zamanı)
T_j	: Tardiness (j İşinin Pozitif Gecikmesi)
L_j	: Lateness (j İşine Ait Gecikme/Sapma)
U_j	: Geciken İşler
γ	: Optimallik Kriteri
β	: İş Özellikleri
α	: Makine Ortamı

GİRİŞ

Globalleşen dünyanın bir getirisi olarak gün geçtikte sanal hayata ve dijitalleşme sürecine ayak uydurmak bir zorunluluk haline gelmiştir. 2019 yılında korona virüsünün (SARS-COV-2) ortaya çıkmasıyla tüm dünyanın bu sürece adapte olması hızlanmıştır. Bilgisayar ve telefonsuz yaşamak neredeyse imkansız hale gelmiştir. İnsanlığın çoğu artık giysilerini mağazalardan değil internetten ve yiyeceklerini marketlerden değil sanal mağazalardan almaya başlamışlardır. Bilgisayar ve mobil araçlar ile iletişim araçlarının bu denli gelişmesi ile internet gündelik yaşam içerisinde önemli bir yer edinmeyi başarmıştır.

Tanım olarak pandemi, aynı anda bir virüsün endişeye mahal verecek seviyede birden fazla ülkede hastalık olarak yayılmasıdır. Genel kanı pandemilerin insanlar ve diğer canlılar üzerinde ölümcül bir etkisi olduğu yönündedir. Bundan dolayı hükümetler halk sağlığını korumak ve ölüm riskini en aza indirmek amacıyla ivedilikle önlemler almışlardır. 11 Mart 2020’de Dünya Sağlık Örgütü (WHO) başkanı Dr. Tedros Ghebreyesus, COVID-19 (SARS-CoV-2) virüsünü resmi olarak tüm dünyada pandemi olarak ilan etmiştir. (BBC, 2020)

Küresel olarak COVID-19 salgını, dünya çapında tedarik zinciri kesintilerine yol açarak daha önce görülmemiş bir şok etkisi yaratmıştır. Tedarik zinciri esnekliği ve sürdürülebilirliği kesintiye uğramıştır ve ekonomi ile toplum bu kesintiden büyük ölçüde etkilenmiştir. Bu da tedarik zincirini araştıran uzmanlar için yeni karar verme yaklaşımlarını gündeme getirmiştir. (Ivanov, 2020). Üretim ve hizmet sektöründeki yöneticiler ve karar vericiler, salgın ve doğal afet gibi dünyayı etkisine altına alan süreçlerin olumsuz etkilerini en aza indirmek için belirsizliği ve riskleri önceliklendirmişlerdir. Önerilen yöntemin tahmin edilemeyen tehdit unsurlarına karşı koyabilmesi ve kaynak tahsisine ilişkin stratejik kararlar alınacağı zaman onlara rehberlik edebilmesi gerekmektedir. Şirketler daha etkin kaynak planlaması ve çizelgelemesi oluşturarak beklenmedik durumlara hazırlanmışlardır. Böylece daha esnek, daha hızlı ve daha dayanıklı bir tedarik zinciri oluşturmuş olurlar. (Gültekin vd., 2022)

COVID-19 tehdidi tüketicilerin alışveriş alışkanlıklarını önemli ölçüde değiştirmiştir. Tüketicilerin çevrimiçi yemek dağıtım hizmetlerini kullanarak yiyecek satın alma motivasyonunu artırmıştır. Virüse yakalanma korkusundan dolayı meydana gelen bu davranışlar enfeksiyona yakalanma riskini azaltmıştır. İnsanlar, temizlik ve hijyen kurallarına uyan kurum ve kuruluşlardan alışveriş yapmanın etkinliğine güvenmişlerdir. Yiyecekler güvenilir restoranlardan veya paket servislerden alınmaya başlanmıştır. (Soon vd. 2022)

COVID-19 virüsünün ortaya çıkmasıyla imalat sektörü pandemiden ciddi oranda etkilenmiştir. Arz/talep dengesindeki dalgalanmalar, hükümetlerin aldığı kararlar ve kısıtlamalar geleneksel üretim ve tüketim anlayışının benimsenemeyeceğini göstermiştir. Yeni bir tüketim sistemi olmamasına rağmen online alışveriş, COVID-19 salgını sonrasında kullanıcı kitlesinde önceki yıllara oranla ciddi bir artış yaşamıştır. Bu sistem, kolaylığı ve ürün teslimatı açısından üreticiyi, kaliteli ürüne en kısa sürede ulaşabilmek açısından tüketiciyi ve pandeminin risklerini en aza indirmesi ve sosyal mesafeyi koruması açısından da virüsün yayılma hızını olumlu yönde etkilemiştir. (Vahedi-Nouri vd. 2022)

Türkiye’de ilk COVID-19 vakası 11 Mart 2020 tarihinde görülmüştür. O zamandan beri vaka sayısı ivmeli bir artış göstermiştir ve Türkiye’de sosyal izolasyon ve karantina uygulamaları başlamıştır. İnsanların evlerinde kalması, sosyal mesafe ve maskeye özen göstermeleri istenmiştir. Sonuç olarak, işletmelerin çoğu, restoranlar ve kafeler bu günlerde paket servis uygulamasına geçmiş ve müşteriler online alışverişe yönelmiştir. Artık birçok tüketici, kalabalık yerlerden kaçınmak ve virüs enfeksiyonu kapmamak amacıyla marketlere ve mağazalara gitmek yerine çevrimiçi alışveriş yapmayı tercih etmektedir. Mağaza ve marketlerin kapanması nedeniyle çevrimiçi alışveriş, tüketicilerin tüketim ihtiyaçlarını karşılamada vazgeçilmez yolu haline gelmiştir.

Dünya, e-ticaret sektörü ile ilk olarak 1995 yılında Amazon ve e-Bay ile tanışmıştır. Diğer taraftan 1999 yılında Çin’de kurulan Alibaba ise günümüzde dahi hala e-ticaret sektörünün devi olarak bilinmektedir. Türkiye’nin ise e-ticaret sektörü ile tanışması 1998 yılında Hepsiburada internet sitesinin kurulması ile başlamıştır. Onu 2001 yılında kurulan Gittigidiyor, 2009 yılında kurulan Trendyol ve 2012 yılında kurulan n11.com takip etmiştir. Yıllar geçtikçe e-ticaret’in önemi daha fazla anlaşılmakta ve finansal alandaki teknolojilerin gelişiminin ilerleyen yıllarda daha da artması beklenmektedir. 2017 yılında dünya çapında online satışların 2.3 trilyon dolara ulaştığı görülmüştür. (Erdör, M., 2019)

Tek makineli sipariş çizelgeleme problemi modeli geniş çapta çalışılmış olsa dahi gerçek hayattaki çizelgeleme problemleri ile amaç bakımından çalışmaktadır. Literatür taraması, çizelgeleme probleminin çoklu amaçlarla optimize edilmesini ele almadığını ortaya koymuştur. (Wu, 2018) Literatür ve alan taramasındaki tek makineli sipariş çizelgeleme problemi ile yapılan çalışmaların sınırlı olması, bu çalışmanın yapılması için motivasyon kaynağı olmuştur.

KURAMSAL TEMELLER

Toplam Gecikmeyi Minimize Eden Çizelgeleme Çalışmaları

Wang vd. (1999) gruplanmış işler için tek makineli çizelgeleme problemi için genetik bir algoritma önermişlerdir. Tek bir makinede gruplandırılmış işlerin toplam akış süresini minimize etmek amacıyla genetik algoritmanın hesaplama performansını incelemişlerdir. Sayısal sonuçlara göre, algoritmanın hesaplama performansının iş sayısına değil, temel çalıştırma sayısına bağlı olduğunu sunulmuştur. Bu sebeple sunulan algoritmanın büyük ölçekli üretim tesislerinde pratikte uygulanabileceği gösterilmiştir.

Alidaee ve Kethler (2002) toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmek amacıyla tek makineli çizelgeleme probleminin kurallarını ve algoritmalarını karşılaştırmışlardır. Problemin karmaşıklığı arttıkça, çözüm karmaşıklığı da artmaktadır. Problemin amacı optimale yakın bir çözüm verecek bir yöntem ve uygulama belirlemektir.

Hu vd. (2015) belirsiz işlem süresine ve son teslim tarihine sahip tek makineli çizelgeleme problemi için belirsizlik teorisini kullanmışlardır. Kullanılan yeni model, önce bekleyen işlerin toplam ağırlığını maksimize etmektedir. Daha sonra ters belirsizlik dağılımları kullanılarak deterministik bir tamsayılı programlama modeline dönüştürülmüştür. Son olarak, modelin ve önerilen algoritmanın işlevselliği gösterilmiştir.

Wu vd. (2018) sipariş çizelgeleme problemi için toplam akış süresinin lineer toplamını ve maksimum gecikmeyi en aza indirecek bir çizelgeleme modeli sunmuşlardır. Problemi çözmek için yinelenen açgözlü algoritma ve parçacık sürüsü koloni algoritması kullanılmıştır. Test sonuçları, yinelenen açgözlü algoritmanın hem küçük hem de çok sayıda sipariş için yüksek doğruluk ve kararlılık açısından uygun kalitede çözümler geliştirdiğini göstermiştir.

Chen vd. (2019) toplam ağırlıklı gecikmeyi minimize eden son teslim tarihlerine sahip tek makineli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Gecikmeli iş sayısı, işin bitiş tarihinden sonra ve son teslim tarihinden önce planlanan işin işlenme miktarıdır. İşlerin ortak bir bitiş tarihine sahip olduğu veya ortak bir işlem süresine sahip olduğu varsayılan iki özel problem sunmuşlardır.

Ito vd. (2019) bir tıbbi muayene vaka çalışmasında bekleme süresini en aza indirmek amacıyla muayene siparişi planlaması için matematiksel programlama modeli sunmuşlardır. Temel amaç, tıbbi muayene için harcanan bekleme süresini minimize etmektir. Gerçek hastane verilerine dayalı olarak simüle edilen vaka çalışmasında, deney sonuçlarını düşükten

yükseğe doğru sıralayan bir buluşsal yöntem olan HM-T sezgisel yöntemi kullanılarak hem toplam bekleme süresinin hem de muayene için gerekli sürenin azaldığı görülmüştür.

Li ve Yuan (2020) maliyet fonksiyonunun toplam ağırlıklı geç çalışmasını en aza indirmek için tek makineli çok aracıli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Pareto-optimal sınırı yani tüm pareto-optimal noktaların kümesini bulmayı amaçlamışlardır.

Wang vd. (2020) aralıklı işlem süreleri ve maksimum toplam gecikmeyi minimize etmek amacıyla tek makineli bir çizelgeleme problemini min-maks kısıtları altında incelemiştir. Problem ilk olarak karma tamsayılı doğrusal programlama ile formüle edilmiştir. Ardından, en kötü durum senaryosuna dayalı bir sezgisel (WSH) ve 2 yaklaşımlı bir algoritma (2AA) önerilmiştir. Çalışma sonunda sunulan yöntemlerin performansı hesaplamalı deneylerle değerlendirilmiştir.

Prata vd. (2021) makespan performans ölçütünü baz alarak üretim süresini minimize etmek amacıyla müşteri siparişi planlama problemi için iki karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) formülü geliştirmişlerdir. Bu iki matematiksel modele göre tamsayı karar değişkenleri sabittir ve bunlar sırasıyla Sabit Değişkenli Liste Algoritması (FVLA) ve Kümeleme Sırası Algoritması (CSA)'dır. Çalışma sonucu FVLA problem için optimum sonucu vermiştir.

Goodarzian vd. (2021) farmasötik tedarik zinciri ağı problemi için yeni birçok amaçlı karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli sunmuşlardır. Burada amaç farmasötik ürünlerin toplam maliyetini ve teslimat süresini en aza indirmektir. Problemi çözmek için Geliştirilmiş Sosyal Mühendislik Optimizasyonu, Hibrit Ateşböceği ve Simüle Tavlama Algoritması olmak üzere üç yeni meta-sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Oujana vd. (2021) toplam gecikmeyi minimize etmek amacıyla hibrit esnek akış atölyesi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Aynı olmayan paralel makineler, işler arası öncelik kısıtlamaları ve makine uygunluğu gibi belirli kısıtlamalar dikkate alınarak bir matematiksel model kurulmuştur. Karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) matematiksel modeli geliştirilmiş ve ILOG Cplex yazılımı kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

Chen vd. (2021) toplam geç çalışma ve maksimum gecikmeyi en aza indirmek için iki kriterli tek makineli bir çizelgeleme problemini ele almışlardır. En erken teslim süresi (EDD)'ye göre hiyerarşik bir zaman algoritması sunmuşlardır.

COVID-19 Pandemisi Çizelgeleme ve Optimizasyon Çalışmaları

Paul ve Chowdhury (2020) COVID-19 salgını sırasında en çok talep edilen ürünlerden biri olan tuvalet kağıdı talebini karşılayabilmek ve optimize etmek için mevcut tedarik zincirinin arz/talep dengesini analiz etmişlerdir. Bunun için matematiksel bir model önermişlerdir ve sonuç olarak mevcut senaryo ile önerilen senaryoyu karşılaştırmışlardır.

Güler ve Geçici (2020) COVID-19 pandemisinde doktorların takvimini çizelgelemek ve dengeli vardiyalar oluşturmak için karma tamsayılı programlama modeli kullanarak bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Problemin amacı sapma değişkenini çeşitli kısıtlar altında minimize etmektir.

Wu vd. (2020) COVID-19 pandemisi esnasında artan tıbbi maske üretimini çizelgeleyebilmek için gerçek zamanlı bir uçtan bir uca sinir ağı önermişlerdir. Problemin amacı siparişlerin toplam ağırlıklı gecikmesini minimize etmektir. Sonuç olarak, önerilen sinir ağı yaklaşımı, yüzlerce girdi ile problemi saniyeler içerisinde çözerek acil durum üretiminin gereksinimlerini çok kısa bir hesaplama süresi içinde yüksek kaliteli çözüm ile karşılayabildiğini göstermiştir.

Govindan vd. (2021) COVID-19 tarafından üretilen tıbbi atıkları yönetmek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu matematiksel model iki amaçlı karma tamsayılı bir doğrusal programlama modelidir. Amaçlar sırasıyla virüse maruz kalan insanların kirliliğe maruz kalmasının toplam maliyetini ve riskini en aza indirmektir. Modeli çözmek için bulanık bir hedef programlama yaklaşımı uygulanmıştır.

Hosseini vd. (2021) COVID-19 salgını sırasında ekoturizm tedarik zincirinin ekonomik koşullarını iyileştirmek ve virüs sonrası dönem için müşteri memnuniyetini artırmak amacıyla iki amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Birinci amaç fonksiyonu tedarik zincirinin toplam maliyetini minimize ederken, ikinci amaç fonksiyonu müşteri memnuniyetini maksimize etmektedir. Kurulan matematiksel model için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda salgın sürecini iyi yönetmek ve sonrasında en iyi kararlar alabilmek için en uygun politikalar sunulmuştur.

Sarkar vd. (2021) COVID-19 pandemisinde hastaların tahsisi ve çizelgelenmesi için veriye dayalı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde amaç fonksiyonu olarak bir maliyet fonksiyonu formüle edilmiştir. Bu optimizasyon, hasta çizelgelenmesi için en uygun hastaneyi bulmayı amaçlamaktadır. Hasta atamasından sonra, şehirler arası mesafeler ve yatak kapasitesi gibi girdi faktörlerinin çıktı faktörleri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır.

Vahedi-Nouri vd. (2022) COVID-19 pandemisi esnasında ortaya çıkan işgücü planlaması ve üretim çizelgeleme problemi için yeni bir üretim paradigması olan yeniden yapılandırılabilir üretim sistemi RMS'nin uygulanabilirliği ve esnekliğini kullanmışlardır. Problemi Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Kısıt Programlama yöntemi ile modellemişlerdir.

Kenan ve Diabat (2022) COVID-19 pandemisinde kan ünitelerinin kan bağışçılarından alınıp hastanelere temini sürecindeki tedarik zinciri problemi için iki aşamalı stokastik bir matematiksel model formüle etmişlerdir. Yaşa dayalı talebe göre oluşturan modelde amaçlar sırasıyla toplanan kan ünitelerinin toplam tedarikini maksimize etmek ve karşılanamayan kan talebini en aza indirmektir. Modelin ilk aşamasında kalıcı tesislerin yeri belirlenirken, ikinci aşamasında geçici tesislerin yerleri, bağışçıların bu tesislere atanması, kan ünitelerinin hastanelere ulaştırılması ve hastanelerdeki kan envanter düzeyi belirlenmiştir.

Jarumaneeroj vd. (2022) Tayland'da kısıtlı COVID-19 aşılarının çizelgelenmesi için hem virüsün bulaşma parametrelerine hem de diğer hayati kısıtları göz önünde bulundurarak epidemiyolojik tabanlı bir model önermişlerdir. Amaç fonksiyonu zaman çizelgesi boyunca tüm sağlık sistemleri üzerindeki toplam ağırlıklı yükü minimize etmektir.

Zhang vd. (2022) pandemi döneminde COVID-19 aşılarının planlanmasını ve çizelgelemesi için karma tamsayılı doğrusal bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Amaç aşılama için gereken sabit maliyeti, aşı yaptırmak isteyen insanların aşı yaptıracığı yer ile arasındaki mesafeyi, randevu reddi maliyetini ve aşı gecikmesi maliyetini minimize etmektir. Sonuçlar, modelin küçük ölçekli örnekler için optimal ve büyük ölçekli örnekler içinse optimale yakın çözüm sağladığını göstermiştir.

Yang vd. (2022) COVID-19 kapsamında soğuk zincir acil tıbbi malzeme tedariği için maliyet faktörlerini ve çözümün sağlamlığını göz önünde bulundurarak çok boyutlu bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Araştırma sonuçları, tıbbi malzeme sevkiyatında ortalama %4,51'lik bir maliyet düşüşü ve %11,69'luk bir sağlamlık artışı olduğunu göstermiştir.

Moosavi vd. (2022) COVID-19 pnömönosinde ihtiyaç duyulan yatılı bakım hizmeti veren personelin çizelgelemesi problemini ele almışlardır. Problemin ilk aşamasında personel maaşı, toplam fazla mesai ve hizmet süresi göz önünde bulundurularak bu parametrelerin getirdiği maliyetleri minimize etmek amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise virüsün yayılma faktörü göz önünde bulundurularak problem pandemik koşullara uyarlanmıştır. Problemin çözümü için popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritma önerilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çizelgeleme Problemleri

Yöneylem araştırmasının içinde bağımsız bir dal olarak ortaya çıkan çizelgeleme problemleri 1950'li yılların başında popülerlik kazanmaya başlamıştır. Bilgisayar programlama ve üretimde iş sıralama ve çizelgelemeye ek olarak, çizelgeleme teorisi tarım, sağlık ve ulaşım gibi birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır.

Çizelgeleme, optimizasyon ve üretim planlama problemleri ile ilgidir ve belirli bir zaman dilimi içerisinde faaliyetlere sınırlı kaynakları tahsis eden bir karar verme sürecidir. Burada sınırlı kaynaklardan kasıt makinelerdir, faaliyetler ise görev ve işlerdir.

Standart bir çizelgeleme problemi şu gereklilikleri içermelidir:

- ✓ Bir iş aynı anda iki veya daha fazla makine tarafından işlenemez.
- ✓ Bir makine aynı anda iki veya daha fazla işi işleyemez.

Çizelgeleme problemlerinde en çok kullanılan algoritmalar şunlardır:

- FIFO (İlk Giren İlk Çıkar): İlk gelen iş ilk sırada işleme alınır. FIFO maksimum akış süresi için optimal sonucu verir.
- SJF (En kısa İş): Başlangıçta en az işi olan işe öncelik verir. Hem preemptive hem de non-preemptive olmak üzere iki yaklaşım sunmaktadır. Önleyici yaklaşımda eğer o anda yürütülen işin kalan işlem süresinden daha az uzunlukta bir iş varsa SRTF algoritması uygulanır.
- SRTF (En kısa kalan iş): En kısa işlem süresine sahip işler önce yapılır. Ortalama akış zamanı için optimal sonucu verir.
- RR (Round Robin): Tüm işlere eşit miktarda işlem süresi ayırır.
- MLQ (Çok düzeyli kuyruk çizelgeleme): SRTF'yi taklit ediyor gibi görülebilir.
- HDF (En yüksek yoğunluk): En fazla ağırlığa sahip işe öncelik verir.

Yukarıdaki çizelgeleme problemi algoritmalarının yapısını daha iyi anlayabilmek amacıyla hepsi için birer örnek takip eden bölümde verilmiştir.

FIFO (İlk gelen ilk çıkar)

Tür: Non-preemptive (Önleyici olmayan)

Tablo 1. FIFO Algoritması Verileri

İşler	İşlem Zamanı	Varış Zamanı	Başlama Zamanı	Bekleme Zamanı	Bitiş Zamanı	Tamamlanma Zamanı
J1	15	0	0	0	15	15
J2	4	0	15	15	19	19
J3	4	0	19	19	23	23

Ortalama Bekleme Zamanı : $(0+15+19)/3 = 11,33$

Ortalama Tamamlanma Zamanı : $(15+19+23)/3 = 19$



Şekil 1. FIFO algoritması gantt şeması.

SJF (En kısa iş)

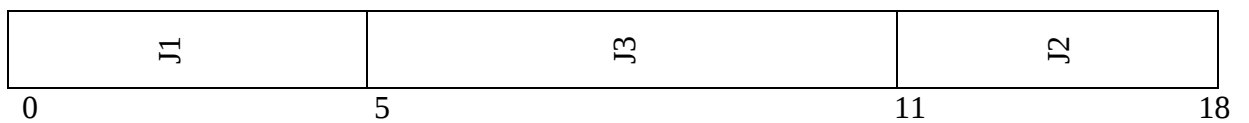
Tür: Non-preemptive (Önleyici olmayan)

Tablo 2. SJF Algoritması Verileri

İşler	İşlem Zamanı	Varış Zamanı	Başlama Zamanı	Bekleme Zamanı	Bitiş Zamanı	Tamamlanma Zamanı
J1	5	0	0	0	5	5
J2	7	0	11	11	18	18
J3	6	0	5	5	11	11

Ortalama Bekleme Zamanı : $(0+11+5)/3 = 5,33$

Ortalama Tamamlanma Zamanı : $(5+18+11)/3 = 11,33$



Şekil 2. SJF algoritması gantt şeması.

RR (Round robin)

Tür: Preemptive (Önleyici)

Tablo 3. RR Algoritması Verileri (q=20)

İşler	İşlem Zamanı	Varış Zamanı	Başlama Zamanı	Bekleme Zamanı	Bitiş Zamanı	Tamamlanma Zamanı
J1	53	0	0	81	134	134
J2	17	0	20	20	37	37
J3	68	0	37	94	162	162
J4	24	0	57	97	121	121

FIFO zamanlamasına benzer fakat sistemin işler arasında geçiş yapabilmesi için bir önalım şartı eklenir.

RR algoritmasında her bir zaman dilimi için 1 zaman kuantumu uzunluğu (q) atanır ve bu genellikle 10 ila 100 mili saniye arasındadır.

- q çok büyükse, RR algoritması FIFO'ya dönüşür.
- q çok küçükse, zamanlama yükü aşırı yüksek olur.

Tablo 3'deki bekleme zamanları şu şekilde hesaplanır:

$$J1 = (77-20) + (121-97) = 81$$

$$J2 = (20-0) = 20$$

$$J3 = (37-0) + (97-57) + (134-117) = 94$$

$$J4 = (57-0) + (117-77) = 97$$

$$\text{Ortalama Bekleme Zamanı} = (81+20+94+97)/4 = 73$$

J1	J2	J3	J4	J1	J3	J4	J1	J3	J3	
0	20	37	57	77	97	117	121	134	154	162

Şekil 3. RR algoritması gantt şeması.

SRTF (En kısa kalan iş)

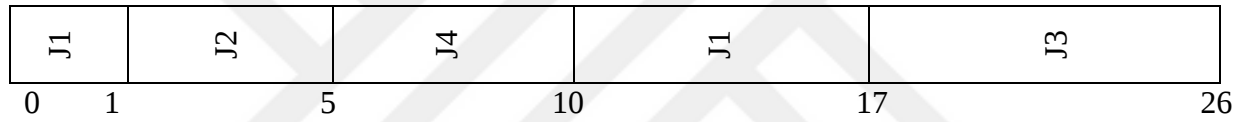
Tür: Preemptive (Önleyici)

Tablo 4. SRTF Algoritması Verileri

İşler	İşlem Zamanı	Varış Zamanı	Başlama Zamanı	Bekleme Zamanı	Bitiş Zamanı	Tamamlanma Zamanı
J1	8	0	0	9	17	17
J2	4	1	1	0	5	4
J3	9	2	17	15	26	24
J4	5	3	5	2	10	7

Ortalama Bekleme Zamanı: $(9+0+15+2)/4 = 6.5$

Ortalama Tamamlanma Zamanı: $(17+4+24+7)/4 = 13$



Şekil 4. SRTF algoritması gantt şeması.

Çizelgeleme problemleri çizelgeleme sisteminin türüne bağlı olarak yaklaşık 10.000'den fazla farklı modeli içermektedir. Modeller 3 ana sınıflandırmaya göre belirlenir. Bunlar;

- γ optimallik kriterini,
- β iş özelliklerini,
- α makine ortamını belirtir.

İş Özelliklerine Göre Çizelgeleme (β)

Önalım öncelikli iş, herhangi bir işin işlenmesinin kesintiye uğratılabileceğini ve daha sonra yeniden başlatılabileceğini ifade eder. Nmit kısıtında ise makine boş kalabilir.

Tek bir makine varsa, j işinin işlem süresi makine numarasına bağlı değildir ve p_j ile gösterilir.

Parametreler:

p_{ij} – j işinin i makinesinde işlenme süresi,

r_j – j işinin işlem için hazır olma zamanı,

d_j – j işinin teslim tarihi (işin müşteriye vaat edildiği tarih),

w_j – j işinin ağırlığı (j işinin önemi)

S_j – j işinin istenilen zamanda başlama zamanı

Optimallik Kriterine Göre Çizelgeleme (γ)

Çizelgeleme, işlerin tüm operasyonlarının başlama veya tamamlanma zamanları ile karakterize edilebilir.

Amaç, belirli bir amaç fonksiyonu olan F'yi en aza indiren bir çizelge oluşturmaktır. Genellikle F fonksiyonu işin tamamlanma sürelerine bağlıdır. C_j , j işinin tamamlanma zamanıdır. $j = \{1, \dots, n\}$

Tablo 5. En Yaygın Kullanılan Amaç Fonksiyonları

$C_{max} = \max \{C_j j = 1, \dots, n\}$	Maksimum tamamlanma zamanı
$\sum C_j = \sum_{j=1}^n C_j$	Toplam tamamlanma zamanı
$\sum w_j C_j = \sum_{j=1}^n w_j C_j$	Ağırlıklı toplam tamamlanma zamanı

Tablo 6. Her j İşi İçin d_j Bitiş Tarihine Bağlı Amaç Fonksiyonları

$L_j = C_j - d_j$	(j işinin gecikmesi)
$E_j = \max\{0, d_j - C_j\}$	(j işinin erken bitmesi)
$T_j = \max\{0, C_j - d_j\}$	(j işinin geç bitmesi)
$U_j = \begin{cases} C_j \leq d_j \text{ ise,} & 0 \\ \text{aksi durumda,} & 1 \end{cases}$	(j işinin gecikmesi durumunda ceza)

Tablo 7. Diğer Amaç Fonksiyonları

$L_{max} = \max\{L_j j = 1, \dots, n\}$	(Maksimum gecikme)
$\sum_{j=1}^n T_j \left(\sum_{j=1}^n w_j T_j \right)$	(Toplam ağırlıklı geç bitirme)
$\sum_{j=1}^n U_j \left(\sum_{j=1}^n w_j U_j \right)$	(Toplam ağırlıklı geciken iş)

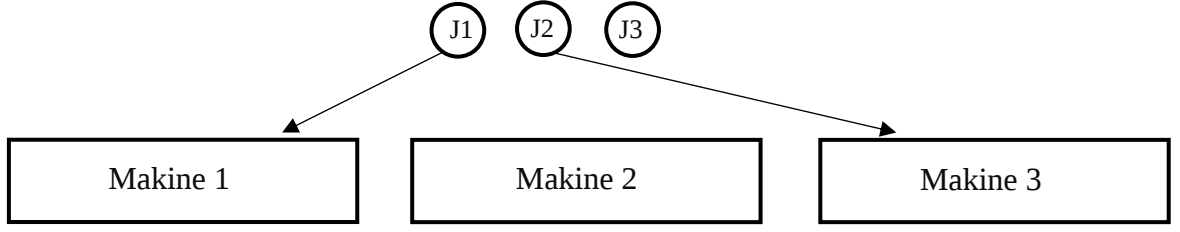
Problemde hedeflenen amaç fonksiyonlarına aşağıdaki tanımlar örnek olarak verilebilir:

- 1) $1 | r_j, pmtn | L_{max}$ (Maksimum gecikmeyi en aza indirmek amacıyla belirli yayılım sürelerine sahip bir dizi iş için tek makine çizelgeleme problemidir.)
- 2) $P | p_j = 1 | C_{max}$ (Üretim süresini en aza indirmek amacıyla m adet paralel makinede bulunan işlerin birim işlem sürelerini çizelgeleme problemidir.)
- 3) $J3 | p_{ij} = 1 | C_{max}$ (Maksimum tamamlanma süresini en aza indirmek amacıyla 3 makineli bir atölyede birim işlem süreleri çizelgeleme problemidir. Bu problem NP-zor sınıfındadır.)
- 4) $1 | prec | L_{max}$ (Maksimum gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlayan tek makineli çizelgeleme problemidir. Bu problem polinom zamanda çözülebilir.)
- 5) $R | pmtn | \sum C_j$ (Toplam tamamlanma zamanını en aza indirmeyi amaçlayan m sayıda paralel makineye sahip çizelgeleme problemidir. Preemption (ön alım)'a izin vermektedir.)

Makine Ortamına Göre Çizelgeleme (α)

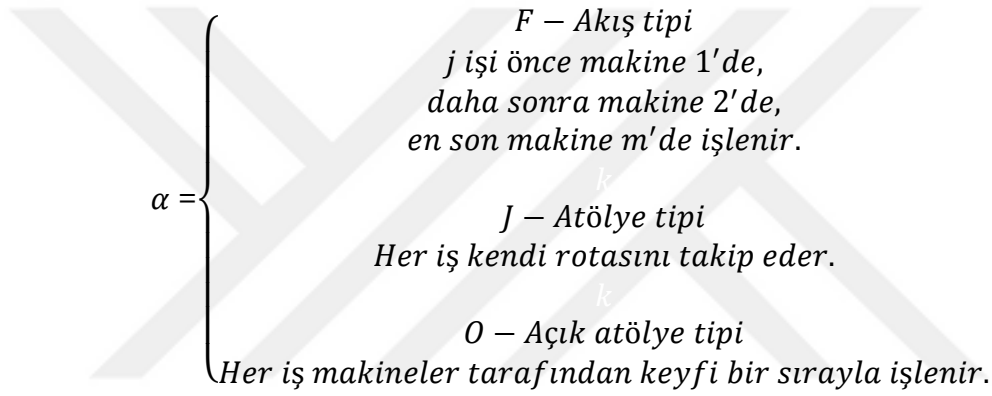
Paralel makine ortamı

Paralel makine çizelgeleme problemi, tek makine çizelgeleme probleminin genişletilmiş bir durumudur ve m adet özdeş makinenin birleştirildiği sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu problem tipinde sıralamadan önce iki karar bilgisi bilinmelidir. Bunlardan ilki hangi işin hangi makinede yapılacağı bilgisi, ikincisi ise her makinenin sahip olduğu iş yükünün sıralama bilgisidir. Her iş yalnız bir işleme sahiptir ve işlem sırası herhangi bir makinede olabilir.



Şekil 5. Paralel makine çizelgeleme. (Ceylan vd., 2019)

- ✓ Her iş her makinede $\{M1, M2, \dots, Mm\}$ işlenmelidir.
- ✓ Tüm makineler farklıdır.



Şekil 6. Çok makineli bir ortamda kullanılan başlıca notasyonlar.

Paralel makine çizelgeleme ortamı araştırma projeleri tarafından büyük bir ilgi görmüştür. Diğer birçok çizelgeleme problemleri gibi paralel makine çizelgeleme de gerçek hayata uygulanabilirliği açısından oldukça elverişlidir. Literatürde iki makine çizelgeleme probleminin bile NP-zor sınıfında olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla makine ve iş sayısı arttıkça, diğer problem kısıtları da göz önüne alındığında problemin optimal sonucunu bulmak giderek karmaşılaşmaktadır. (Shuaib, M.A., 2009)

Tek makine ortamı

Sisteme giren her işin tek bir operasyondan geçmesi gerekiyorsa buradaki problem tek makineli çizelgeleme problemi olarak tanımlanmaktadır. İşlerin hangi makinede hangi sıra ile gireceği araştırılmaktadır ve tek makine çizelgeleme problemleri literatürde $\frac{1}{s_{ij}} \sum T$ şeklinde gösterilmektedir. (Ceylan vd., 2019). Bilinen tek makine çizelgeleme problemlerinde işlem

süreleri, yayılım zamanları, teslim tarihleri ve ağırlıklar da dahil olmak üzere probleme ait tüm detay ve parametreler kesin olarak bilinmektedir. (Atakan, Bülbül, Noyan, 2016)

Problemin terminolojisi tamamlanma zamanı (C_j), işlem süresi (p_j), hazır olma zamanı (r_j), teslim zamanı (d_j), akış zamanı ($F_j = C_j - r_j$), tamamlanma zamanı ile teslim tarihi arasındaki fark ($L_j = C_j - d$), işin gecikmesi ($T_j = \{0, L_j\}$) olarak tanımlanabilir.

Tek makine çizelgeleme problemine ait performans ölçütleri:

Ortalama akış süresi: $\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j$

Ortalama gecikme: $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$

Maksimum akış süresi: $F_{max} = \text{Max}\{F_j\}, 1 \leq j \leq n$

Maksimum gecikme: $T_{max} = \text{Max}\{T_j\}, 1 \leq j \leq n$

Geciken iş sayısı: $N_T = \sum_{j=1}^n f(T_j)$, $f(x) = \begin{cases} 1, & T_j > 0 \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

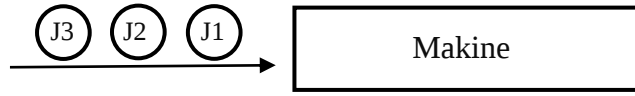
Tek makineli çizelgeleme problemi çeşitli modellere sahiptir. Bunlar;

- SPT (Shortest Processing Time): En kısa işlem süresine sahip işler önce sıralanır.
- WSPT (Weighted Shortest Processing): İşler eşit olmayan öneme sahip olduğundan, önemlerine göre ağırlıklı sıralama yapılır.
- EDD (Earliest Due Date): İşler teslim tarihlerine göre sıralanır. Bu modelde amaç maksimum gecikmeyi en aza indirmektir.
- STR (Slack Time Remaining): İşler boş zamanlarına göre minimumdan maksimuma göre sıralanır. (Boş zaman = teslim tarihi – işlem süresi)
- CR (Critical Ratio): İşler kritik orana göre minimumdan maksimuma sıralanır. (Kritik oran = Teslim tarihi / İşlem süresi)

Tek Makine Çizelgeleme Problemi varsayımları

- ✓ Makine çizelgeleme süresi boyunca sürekli kullanılabilir.
- ✓ Makine her işi teker teker işler.
- ✓ Makinedeki her işin işlem süresi doğru olarak bilinir.
- ✓ Her işin işlem süresi bir önceki işten bağımsızdır.

- ✓ İşlem süresi, kurulum süresi ve işleme süresinin toplamıdır.
- ✓ İşle ilgili diğer bilgiler önceden bilinmektedir. Bu bilgiler işin teslim zamanı (d_j) ve işin yayılma zamanını (r_j) içerir.
- ✓ Önleyici olmayan (non-preemptive scheduling) çizelgelemede işler kesintiye uğramadan tamamlanır.
- ✓ Önleyici çizelgelemede (preemptive scheduling) işler işlem tamamlanmadan makineden kaldırılabilir.



Şekil 7. Tek makine çizelgeleme. (Ceylan vd., 2019)

Tek makineli çizelgeleme problemi çizelgeleme çalışmalarında en fazla dikkati çeken çizelgeleme problemlerinden biridir. Paralel makine çizelgeleme problemlerine nazaran daha iyi analiz ve formüle edilebilir. (Alharkan., 2005)

Tek makineli çizelgeleme problemi, özdeş makinelerin özel bir durumudur ve NP-zor sınıfındadır. Tek makine çizelgeleme problemi farklı işlem sürelerine sahip n adet işten oluşur. Her iş aynı sürece tabi tutulur.

Son yılların çalışmalarında oldukça ilgi odağı olmayı başaran tek makineli çizelgeleme problemi daha genel, daha büyük ve karmaşık problemler için de oldukça önemli yaklaşımlar sunmaktadır. Ek olarak, paralel makineli çizelgeleme problemlerinde makineler arası darboğaz oluşma durumu ve makine maliyeti gibi dezavantajlar ortaya çıkabilmektedir. Bu gibi durumlarda tek makineli çizelgeleme problemi tüm üretim hattı için paralel makine çizelgelemeye göre daha avantajlıdır.

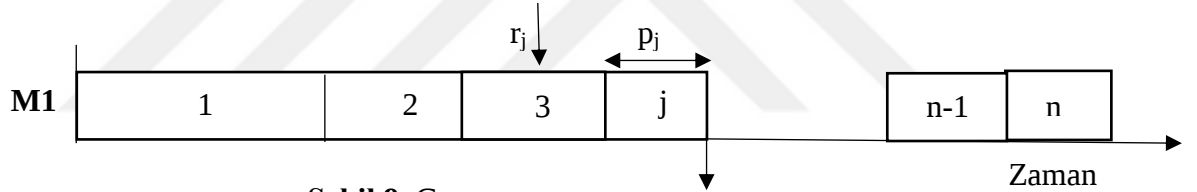
Tek bir makine varsa ($m=1$), her iş o makine tarafından tam olarak bir kez işlenmelidir.

Birkaç paralel makine $\{M1, M2, \dots, Mm\}$ varsa, her iş herhangi bir makine tarafından işlenebilir.

$$\alpha = \begin{cases} 1 - \text{Tek (özel) makine} \\ p_j : j \text{ işinin işlem süresi} \\ \\ P - \text{Özdeş paralel makineler} \\ p_{ij} = j \text{ işinin } i. \text{ makine üzerindeki işlem süresi} \\ \\ Q - \text{Uniform makine çizelgeleme} \\ \text{işler farklı hızlara sahiptir} (p_{ij} = \frac{p_j}{s_i}) \\ \\ R - \text{İlişkisiz makineler} \\ p_{ij} = j \text{ işinin } i. \text{ makine üzerindeki işlem süresi} \end{cases}$$

Şekil 8. Tek makineli bir ortamda kullanılan başlıca notasyonlar.

Tek makineli bir çizelgeleme ortamında işlerin erken bitmesi ya da geç kalmamasının belli ceza getirisi olabilir. Bu durumda işler ya beklenen başlama zamanından önce başlamıştır ya da teslim edilmesi gereken tarihten sonra tamamlanmıştır. Amaç fonksiyonu, maksimum cezayı başlama ve teslim zamanlarını da göz önünde bulundurarak, belli kısıtlar altında en küçüklemektir. (Lakshminarayan vd., 1978)



Şekil 9. Gantt şeması.

1986 yılında Sidney ve Steiner tarafından WSPT kuralı ağırlıklı toplam tamamlanma zamanını hedefleyen tek makineli çizelgeleme problemi için optimum çizelgelemeyi verdiğini kanıtlamıştır. Fakat çizelgeleme problemlerinin birçoğu bu basit çizelgeleme kuralları kullanılarak çözülememektedir. Örneğin her işin kendi yayılım zamanına sahip olduğu bir çizelgeleme problemi $(1||r_j|Lmax)$ NP-zor sınıfına girmektedir.

Deterministik Tek Makine Çizelgeleme

Her işin işlem süresi ve teslim tarihi, hazır olma zamanı, tamamlanma zamanı gibi probleme ait diğer parametreler kesin olarak biliniyor ve belirlenebiliyor ise, bu tip modeller deterministik çizelgeleme sınıfına girmektedir. (Eren ve Güner, 2002)

Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ($1 \parallel \sum w_j C_j$)

Bu kurala göre işler azalan $\frac{w_j}{p_j}$ düzeninde sıralanır ve çizelgelenir. j işinin ağırlığı (w_j), j işinin önemini gösterir. Bu önem faktörü birim zamanda elde tutma maliyetini veya j işi için katma değeri temsil etmektedir. Bu çizelgeleme problemi Ağırlıklı En Kısa İşlem Süresi (WSPT) kuralına göre çözümlenebilir.

Maksimum gecikme ($1 \parallel \text{prec} \parallel h_{\max}$)

Bu problemde işler keyfi olarak öncelik kısıtlamalarına tabi tutulsa bile iyi bir dinamik programlama yaklaşımı sunmaktadır. Problemdeki h_j azalmayan maliyet fonksiyonunu temsil etmektedir. Buradaki amaç doğrudan teslim tarihi (d_j) ile ilgilidir.

$$h_{\max} = \max(h_1(C_1), \dots, h_n(C_n))$$

J , zaman aralığı boyunca işlenen, önceden programlanmış iş kümesini gösterebilir. Bu problem için maksimum maliyeti minimize etmek amacıyla kurulan algoritma optimal bir sonuç verir.

$$\left[C_{\max} - \sum_{j \in J} p_j, C_{\max} \right] \quad (1)$$

Gecikmiş işlerin sayısı ($1 \parallel \sum U_j$)

Gecikmiş işlerin sayısını minimize edecek en optimal çizelgelemeyi bulabilmek için önce teslim tarihi en önce olan işler EDD (En Erken Teslim Tarihi)'ye göre çizelgelenmelidir. Böylelikle $L_{\max}$ kriterinin negatif olması sağlanmış olur. Ardından son teslim tarihlerini karşılayamayacak olan işler çizelgelenir. Bu iş grubunun sıralanacağı model önemsizdir.

Her bir işi $\frac{w_j}{p_j}$ 'ye göre sıralayan WSPT kuralı bu yöntem için kullanılan çok bilinen bir yaklaşımdır.

$$\frac{\sum w_j U_j(WSPT)}{\sum w_j U_j(OPT)} \quad (2)$$

Toplam gecikme – dinamik programlama ($1 \parallel \sum T_j$)

Tek makineli çizelgelemede toplam gecikmeyi minimize etmek problemi NP-zordur. Bazı çizelgeleme problemlerinde geciken işlerin sayısını minimize etmek kabul edilemeyecek bir bekleme sebebe olabilir. Bunun yerine, toplam gecikme minimize edilirse, geciken işin bekleme süresi kabul edilebilir seviyede tutulabilir.

Amaç Fonksiyonu

$$V(\{1, \dots, n\}, 0) \quad (3)$$

Kısıtlar

$$V(\emptyset, t) = 0 \quad (4)$$

$$V(\{j\}, t) = \max(0, t + p_j - d_j) \quad (5)$$

$$V(J(j, l, k), t) = \min(V(J(j, k' + \delta, k'), t) + \max(0, C_{k'}(\delta) - d_{k'}) \\ + V(J(k' + \delta + 1, l, k'), C_{k'}(\delta))) \quad (6)$$

$$V(\{1, \dots, n\}, 0) \quad (7)$$

k' şöyle tanımlanabilir:

$$p_{k'} = \max(p_{j'} \mid j' \in J(j, l, k)) \quad (8)$$

Toplam ağırlıklı gecikme ($1 \parallel \sum w_j T_j$)

Toplam ağırlıklı gecikme problemi toplam gecikme probleminin önemli bir genelleştirilmiş halidir. Toplam gecikme için kullanılan dinamik programlama algoritması toplam ağırlıklı gecikme problemi için de kullanılabilir.

Toplam ağırlıklı gecikme problemi için birçok kısıt mevcuttur. Tamsayı işlem süresine sahip olan her bir j işi (p_j), her biri birim işlem süresine sahip olan p_j işlerine bölünür. Bir birim j işi $[k - 1, k]$ zaman aralığında yapılıyorsa x_{jk} karar değişkeni 1 aksi halde 0'dır. x_{jk} karar değişkeni 9. ve 10. kısıtı karşılamalıdır:

$$\sum_{k=1}^{C_{max}} x_{jk} = p_j \quad j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1, \quad k = 1, \dots, C_{max} \quad (10)$$

$k = C_j - p_j + 1, \dots, C_j$ için minimum maliyet çözümü bir alt sınır sağlanmış olur:

$$\sum_{k=1}^{C_{max}} c_{jk} x_{jk} = \sum_{k=C_j-p_j+1}^{C_j} c_{jk} \leq w_j \max(C_j - d_j, 0) \quad (11)$$

Stokastik Tek Makine Çizelgeleme

Stokastik çizelgelemede problem tanımında belirsiz parametreler vardır ve bu parametreler belirlenen bir olasılık dağılımı yardımıyla rassal değişkenler olarak elde edilir. Stokastik çizelgeleme modelleri gerçek hayat problemlerine uygulandığında deterministik çizelgelemeye kıyasla daha iyi sonuç vermektedir. (Eren ve Güner, 2002)

Önceliksiz keyfi dağılım

j işinin işlem süresi (X_j) ve keyfi bir dağılım (F_j) ile $1 || w_j C_j$ problemi için bir çözüm önerisi sunar. Amaç toplam ağırlıklı zamanı minimize etmektir. Bu model WSPT kuralının stokastik versiyonunu çözer. Bu nedenle Önce Ağırlıklı En Kısa Beklenen İşleme Süresi (WSEPT) kuralı ya da λw kuralı olarak adlandırılır.

Öncelikli keyfi dağılım: Gittins endeksi

Bu modelde amaç tek makineli çizelgeleme problemlerinde ağırlıklı tamamlanma zamanını en aza indirmektir.

İndirim faktörü β , j işinin k birimi yapma olasılığı $p_j(k)$, j işinin ağırlığı w_j olsun. Eğer j işi t zamanında tamamlanıyorsa, getirisi $w_j \beta^t$ olsun. Buradaki β , 0 ile 1 arasında bir indirim faktörüdür. β değeri genellikle 1'e yakındır.

Amaç fonksiyonu

$$\max E = \sum w_j \beta^{C_j} \quad (12)$$

$$\max E = \sum w_j (1 - e^{-r C_j}) \quad (13)$$

x_j, j işinin halihazırda işlendiği süre olsun.

Gittins endeksi 14. formüldeki gibi hesaplanmaktadır.

$$G_j(x_j) = \max \frac{\sum_{s=1}^{\tau} \beta^s w_j P(X_j = x_j + s)}{\sum_{s=1}^{\tau} \beta^s (X_j \geq x_j + s)} \quad (14)$$

En yüksek Gittins indeksine sahip iş çalıştırılır ve optimum iş çizelgeleme bulunana kadar işlem tekrarlanır.

Tek Makineli Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Zamanını Minimize Eden Matematiksel Model

Tek makineli toplam ağırlıklı toplam tamamlanma zamanını minimize eden örnek bir matematiksel model aşağıdaki gibidir.

$$MinMax(1 || \sum w_j C_j, p_j) \quad (15)$$

Amaç Fonksiyonu

$$Min \sum_{j \in J} w_j \tilde{C}_j + \theta(I) \quad (16)$$

$$Min \sum_{j \in J} w_j \tilde{C}_j + Mu + \sum_{j \in J} v_j \quad (17)$$

Kısıtlar

$$\sum_{q=1}^n x_{jq} = 1 \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jq} = 1 \quad \forall q = 1, \dots, n \quad (19)$$

$$I_{ij} \geq x_{iq} + x_{js} - 1 \quad \forall i, j \in J, 1 \leq q < s \leq n \quad (20)$$

$$\tilde{C}_j = \sum_{i \in J} p_i I_{ij} + p_j \quad \forall j \in J \quad (21)$$

$$x_{jq} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, q = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$I_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \in J \quad (23)$$

$$u + v_j \geq (w_j \sum_{i \in J} w_j I_{ji}) K_{pj} \quad \forall j \in J \quad (24)$$

$$u \geq 0, v_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (25)$$

Terminoloji

$$x_{jq} = \begin{cases} 1, & j \text{ işi } q.\text{iş} \text{ olarak çizelgelendiye} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad \forall j \in J, q = 1, \dots, n \quad (26)$$

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, & j \text{ işi } i \text{ işinden sonra geliyor} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad \forall i, j \in J \quad (27)$$

$$y_j = j \text{ işinin kabul edilebilir gecikme yüzdesi} \quad (y_j = k_j/K), \forall j \in J \quad (28)$$

$$m_j = \begin{cases} 1, & j \text{ işi geç kalıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad \forall j \in J \quad (29)$$

$\widetilde{C}_j$ = tüm işlemler ideal zamanlarında gerçekleştiğinde j işinin tamamlanma zamanı $A_j \in J$

18 ve 19. kısıtlar her işin yalnızca bir operasyona ve her operasyona da yalnızca bir işin atanabileceğini gösteren benzersizlik kısıtıdır. 20. kısıt j işi i işinden sonra çizelgelendiğinde, I_{ij} parametresini 1'e eşitler. 21. denklemdeki kısıt her işin tamamlanma süresini hesaplar. Geriye kalan 22 ve 23. kısıtlar modeldeki karar değişkenlerinin türlerini tanımlamaktadır. I_{ij} karar değişkeni her zaman mümkün olan en küçük değeri almaya eğilimlidir ki bu da 27. kısıta göre ya 0'dır ya da 1'dir. $v_j, j \in J$ 'ye karşılık gelen kısıtlarla ilgili bir dual değişkendir. Amaç fonksiyonu (17) toplam ağırlıklı tamamlanma zamanını ve gecikmiş işlerden kaynaklanan $\theta(I)$ 'in minimizasyonunu sağlar. Burada $\theta(I)$ parametresi belirsizlik varlığında gecikmiş işlerin neden olduğu amaç fonksiyonu değerindeki toplam artışı temsil etmektedir. Problem MIP (karma tamsayılı programlama) ile çözülebilir. (Tadayon., 2014)

Tek Makineli Geciken İşleri Minimize Eden Matematiksel Model

$$\text{Min}(1 || \sum U_{\pi_j}) \quad (30)$$

$$U_{\pi_j} = \begin{cases} 1, & \pi_j \text{ işi geç kalıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (31)$$

$$C_{\pi_j} = \pi_j \text{ işinin tamamlanma zamanı} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (32)$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Max \sum_{j \in J} U_{\pi_j} \quad (33)$$

Kısıtlar

$$C_{\pi_j} = \sum_{i=1}^j (p_{\pi_i} (1 + k_{\pi_i})) \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (34)$$

$$U_{\pi_j} \leq 1 + \frac{C_{\pi_j} - d_{\pi_j} - \epsilon_j}{d_{\pi_j} + \epsilon_j - \tilde{C}_{\pi_j}} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (35)$$

$$0 \leq k_{\pi_j} \leq K \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (36)$$

$$\sum_{j=1}^n k_{\pi_j} \leq \kappa \quad (37)$$

$$U_{\pi_j} \in \{0,1\} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (38)$$

$$k_{\pi_j} = \pi_j \text{ işi geç kaldığında } p_{\pi_j} \text{ miktarı} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (39)$$

Buradaki π_j işi geç kaldığında ϵ_j en küçük değeri almaktadır. Problem MIP (karma tamsayılı programlama) ile çözülebilir. (Tadayon, 2014)

Programlama Dili GAMS

Açılımı Genel Cebirsel Modelleme Sistemi olan GAMS paket programı, matematiksel programlama ve farklı optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla kullanılan çok amaçlı bir modelleme aracıdır. İlk olarak Dünya Bankası'nda çalışan ekonomistlerin nicel analizlerinde kullanılmak için doğrusal programlama (LP) modeli olarak geliştirilmiştir. Daha sonra doğrusal olmayan programlama modelleri de eklenerek çeşitli algoritmalar ve çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. (Rutherford, T.F., 2002)

GAMS programlama dili, farklı alanlardan oluşan geniş kullanıcı kitlesi, içeriğinde bulunan çok sayıda model örneği, güçlü geliştirme ara yüzü, tasarım ilkelerinin istikrarlı bir şekilde uygulanmaya devam etmesi, basit fakat güçlü bir modelleme imkanı sunması ve 30 yıldan fazla deneyim özellikleri ile kullanıcılarına hizmet vermeye devam etmektedir.

Her optimizasyon probleminde olduğu gibi GAMS programlama dilinde de amaç üretkenliği artırmak, maliyetleri en az seviyeye indirmek ve modelin güvenilirliğini test etmektir. Büyük ve karmaşık yapıları problemler için uygun olan GAMS, doğrusal programlama, kuadratik programlama, doğrusal olmayan programlama, tamsayılı programlama, genişletilmiş tamsayılı programlama, tamsayılı doğrusal olmayan programlama gibi modelleri çözmek için güçlü bir çözücüdür.

Tablo 8. Başlıca GAMS Çözücüler (Ayvaz, B.)

GAMS Çözücüsü	Açıklama
LP	Doğrusal programlamadır. Bu model türü, doğrusal olmayan ya da kesikli (ikili ve tamsayı) değişkenler içermemektedir.
NLP	Doğrusal olmayan programlamadır. Bu model türü yalnızca sürekli fonksiyonlar barındırır. Model kesikli değişkenler içermemektedir.
DNLP	Süreksiz türevli doğrusal olmayan programlamadır. Bu model farklı fonksiyon türleri içerebilir. Bu problemin çözümü NLP'den daha karmaşıktır.
RMIP	Genişletilmiş tamsayılı programlamadır. Bu model türü ayrık değişkenler olabilir. Tamsayı ve ikili değişkenler ise belli sınırlar içinde herhangi bir değer alabilmektedir.
MIP	Tamsayılı programlamadır. RMIP'e benzemektedir. Ayrık değişkenler belli sınırlar içinde ayrık değerler almalıdır.
RMINLP	Genişletilmiş tamsayılı doğrusal olmayan programlamadır. Bu model hem ayrık değişkenleri hem de doğrusal olmayan türleri içerebilmektedir. Çözüm karmaşıklığı açısından NLP'ye benzemektedir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

COVID-19 pandemi süresince insanların temel ihtiyaçları olan gıdaya ulaşamayacakları düşüncesi tedarik zincirinde paniğe ve aksamalara sebep olmuştur. Tedarik zincirindeki kaynakların müşterilere zamanında ve gerektiği kadar ulaştırılması önemli bir karardır.

Sipariş çizelgeleme problemleri temel olarak 3 adımdan oluşmaktadır. Bunların ilki her bir tesise hangi siparişlerin atanması gerektiğini belirlemek, ikincisi her bir tesise atanan siparişleri çizelgelemek ve sonuncusu her bir tesisten müşterilere (dağıtım merkezlerine) tamamlanmış siparişlerin teminini sağlamaktır. (Chen ve Pundoor., 2006)

Bu çalışmada, COVID-19 pandemisi süresince siparişlerini çevrimiçi olarak müşterilerine ulaştıran bir market zinciri için sipariş gecikmelerinin minimize edilmesi ve verilen siparişin müşteriye en kısa zamanda ulaştırılması amaçlanmıştır. Her bir işe ait gecikmeleri ve toplam gecikmeyi minimize eden online siparişler için etkili olan bir çizelgeleme modeli sunmak öncelikli hedeftir.

Problemin Tanımı

Sipariş çizelgeleme problemi, üretim planlamasında karar verme problemlerinden biridir. Online sipariş çizelgelemede amaç, online sistemden alınan siparişlerin müşterilere son teslim zamanlarından önce ulaştırılmasıdır. Bunun için sipariş öncesi etkili ve optimum sonucu veren bir çizelgeleme yapılmalıdır. Özellikle COVID-19 ile birlikte online sipariş sistemlerinde meydana gelen yoğunluk, artan işçilik maliyetleri ve ürün çeşitliliğinin fazlalığı online sipariş çizelgeleme problemlerine daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Müşterinin sipariş ettiği ürüne zamanından önce ulaşması işletmenin karlılığı ve müşteri memnuniyeti açısından oldukça önemlidir.

Bu bölümde COVID-19 dönemi online market alışverişinde sipariş çizelgeleme problemi tek makine çizelgeleme problemi olarak modellenmiştir ve çözülmüştür. İlk olarak online sipariş çizelgeleme probleminin matematiksel modeli kurulmuştur ve modelin çözümü sağlanmıştır. Daha sonra alternatif çözüm yaklaşımlarının sunulabilmesi ve işletmeye gelecek siparişler için önerilerde bulunabilmek amacıyla modelin etkinliği gösterilmiştir.

Problem tek makineli çizelgeleme problemi olarak ele alınmıştır çünkü siparişler tek bir işleme tabi tutulmaktadır. Yalnızca tek bir işlem süresi vardır, o da siparişin işlem zamanıdır. Bundan başka bir işleme tabi tutulduğu gözlemlenmemiştir. Paralel makinelerdeki

gibi birden fazla işlem süresi yoktur. Dolayısıyla bu problem çok makineli gibi değerlendirilemez.

Problem Varsayımları

- ✓ Problem tek makineli çizelgeleme problemidir.
- ✓ İş kesintisine izin verilmemektedir.
- ✓ Makine çizelgeleme boyunca çalışmaktadır.
- ✓ Her bir iş, bir siparişi temsil etmektedir.
- ✓ Sıralanacak işler başlangıçta tümüyle bilinmektedir.
- ✓ s_j siparişin başlama zamandır ve siparişin veriliş zamanı olarak alınmıştır.

Problem Hakkında Bilgi

Çalışmada kullanılan sipariş verileri İstanbul'da online sipariş hizmeti veren bir marketten alınmıştır. Her gün için standart çalışma saatleri olan 09.00-17.00 zaman aralığındaki sipariş miktarları dikkate alınmıştır. Bu siparişlere ait teslim zamanı, gecikme zamanı ve işlem zamanı gibi zamansal değer içeren tüm veriler saniye cinsine çevrilip hesaplamalara katılmıştır. Mağazasından müşterilere, online siparişe dayalı ürün teslimatı yapan işyerine ait 7 günlük sipariş miktarları Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Probleme Ait Veriler

Tarih	Öğleden Önce Sipariş Miktarı	Öğleden Sonra Sipariş Miktarı	Toplam Sipariş Miktarı
30 May 2022	24	40	64
31 May 2022	23	22	45
1 Haz 2022	30	37	67
2 Haz 2022	29	32	61
3 Haz 2022	27	28	55
4 Haz 2022	35	32	67
5 Haz 2022	32	47	79

Matematiksel Model

$$1 || p_j, d_j, s_j | \sum_{j=1}^n T_j$$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n T_j = \sum_{i=1}^n \max\{0, (C_i - d_i)\} \quad (40)$$

Atama Kısıtları

$$\sum_{i=1}^n x_{ik} = 1, \quad \forall k \in N \quad (41)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{ik} = 1, \quad \forall i \in N \quad (42)$$

$$T_j \geq s_j + p_j - d_j, \quad \forall j \in N \quad (43)$$

$$p_j + \sum_{i=1}^n p_i y_{ij} - d_j \leq t_j, \quad \forall i, j \in N \quad (44)$$

$$s_j + p_j \leq s_i + p_i + M y_{ij}, \quad \forall i, j \in N, i < j \quad (45)$$

$$y_{ji} = 1 - y_{ij}, \quad \forall i, j \in N \quad i < j \quad (46)$$

$$x_{jk-1} + x_{ik} \leq 1 + y_{ij} \quad \forall i, j, k \in N, i \neq j, j > 1, i < j \quad (47)$$

İşaret Kısıtları

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \in N \quad (48)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad (49)$$

$$p_j \geq 0 \quad \forall j \in N \quad (50)$$

$$s_j \geq 0 \quad \forall j \in N \quad (51)$$

$$d_j \geq 0 \quad \forall j \in N \quad (52)$$

$$t_j \geq 0 \quad \forall j \in N \quad (53)$$

Parametreler

N : İş kümesi

n : İş sayısı

s_j : j işinin başlama zamanı

p_j : j işinin işlem zamanı

d_j : j işinin teslim zamanı

c_j : j işinin tamamlanma zamanı

$N = \{1, 2, \dots, n\}$

Karar değişkenleri

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi } k. \text{ olarak sıralanıyorsa,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ işi } j \text{ işinden önce sıralanıyorsa } (i < j) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$C_j : j \text{ işinin tamamlanma zamanı} = C_j = s_j + p_j$$

$$T_j : j \text{ işinin gecikmesi} = \max\{0, C_j - d_j\}$$

Yukarıda verilen $1 || p_j, d_j, s_j | \sum_{j=1}^n T_j$ problemi NP-zor sınıfındadır ve toplam gecikmeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır. 40. formülasyon toplam gecikmeyi minimize eden amaç fonksiyonuna ait denklemi göstermektedir. Burada j iş indeksi, k sıra indeksidir. 41. kısıt her sıraya yalnızca bir işin atanmasını, 42. kısıt ise bir işin yalnızca bir sıraya atanmasını sağlamaktadır. 43. kısıt ise j işinin gecikmesini (T_j) hesaplamaktadır. 45. kısıt öncelik değişkenlerinin belirlenmesini sağlayan ayırıcı bir kısıttır. Bir çözümün uygulanabilmesi için birinin veya diğerinin geçerli olması gerekmektedir. Burada M çok büyük bir pozitif sayıdır. 46. kısıt, eğer j işi i işini takip ediyorsa y_{ij} ikili değişkeninin 1, aksi halde 0 olmasını sağlamaktadır. 48. kısıt ise j işi i işinden sonra çizelgelendiğinde y_{ij} parametresini 1'e eşitleyen sıralamayı belirleyen kısıttır. 48 ve 49. kısıtlar x_{ik} ve y_{ij} ikili değişkenini 0-1 tamsayı olarak döndüren kısıtlardır. 50-53 kısıtlar ise pozitif değişkenlere ait işaret kısıtlarıdır.

Problemin Çözümü

Bu tez çalışmasında, toplam gecikmeyi minimize etmeyi amaçlayan tek makineli çizelgeleme problemi için önerilen matematiksel model GAMS Studio paket programı ile çözülmüştür. Modelde 7 günlük siparişe ait gerçek hayat verileri girdi parametresi olarak kullanılmıştır. CPLEX çözücüsü kullanılarak her bir işe ait toplam gecikmenin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda her bir güne ait optimum sipariş çizelgelemesi ve toplam gecikmeden tasarruf edilen miktar sunulmuştur.

Çözüm aşamasında MIP (Karma Tamsayılı Programlama) modeli kullanılarak optimum çözüme ulaşılmıştır. Büyük boyutlu problemler için NEOS Server sunucusundan yararlanılmıştır. Modelin çalıştırıldığı bilgisayar bilgileri aşağıdaki gibidir:

Dell PowerEdge R430 server:

- CPU - 2x Intel Xeon E5-2698 @ 2.3GHz (32 cores total), HT Enabled
- Memory - 192GB RAM
- Disk - 4x 300G SAS HDDs setup in RAID5
- Network - 1Gb/s Ethernet

GAMS kodu

*Tek Makineli Çizelgeleme Problemi

*GAMS/CPLEX çözümü

Option mip=cplex;

Option optcr=0;

Sets

i İş indeksi /1*67/;

Alias (i,j,k);

Parameter s(j) j işinin başlama zamanı/;

Parameter p(j) j işinin işlem süresi/;

Parameter d(j) j işinin teslim zamanı/;

Scalar

$M / 100000;$

Variable $z;$

(Değişken z)

Binary variables

(İkili Değişkenler)

$x(i,k)$ i işi k. sırada sıralanmışsa 1, aksi halde 0,

$y(i,j)$ i işi j işinden önce sıralanmışsa 1, aksi halde 0

Positive variables

(Pozitif Değişkenler)

$T(j)$ j işinin gecikmesi;

Equations

Amac

(Amaç Fonksiyonu)

Kisit1

(Kısıtlar 1-7)

Kisit2

Kisit3

Kisit4

Kisit5

Kisit6

Kisit7;

Amac..

$z = e = \sum(j, T(j));$

Kisit1(k)..
 $\sum(i, x(i,k)) = e = 1;$

Kisit2(i)..
 $\sum(k, x(i,k)) = e = 1;$

Kisit3(j)..
 $T(j) = g = s(j) + p(j) - d(j);$

Kisit4(j)..

$p(j) + \sum(i, p(i) * y(i, j)) - d(j) = l = T(j);$

Kisit5(i,j)\$ (ord(i)<ord(j))..

$s(j) + p(j) = l = s(i) + p(i) + M * y(i, j);$

Kisit6(i,j)\$ (ord(i)<ord(j))..

$y(j, i) = e = 1 - y(i, j);$

Kisit7(i,j,k)\$ (ord(i)<>ord(j) and ord(j)>1 and ord(i)<ord(j))..

$x(j, k-1) + x(i, k) = l = 1 + y(i, j);$

Model TekMakineCizelgeleme/all/;

Solve TekMakineCizelgeleme using MIP minimizing z;

30 Mayıs 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 10. 30.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Var lan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra			
	(09.00-13.00)		(13:00-17.00)		(09.00-17.00)	
	Optimum	Gecikme	Optimum	Gecikme	Optimum	Gecikme
	Çizelge	(sn)	Çizelge	(sn)	Çizelge	(sn)
1	7	0			1	1837
2	3	0			2	1801
3	20	0			3	1801
4	10	0			4	1823
5	4	0			5	1800
6	2	0			6	1869
7	1	0			7	1816
8	5	0			8	1801
9	18	0			9	1801
10	14	5			10	1801
11	19	0			11	1801
12	6	4			12	1802
13	13	0			13	1801
14	11	0			14	1801
15	21	1636			15	1800
16	24	71			16	1801
17	12	0			17	1800
18	15	0			18	1801
19	22	0			19	1801
20	16	0			20	1802
21	8	0			21	1801
22	9	0			22	1800
23	23	1510			23	1815
24	17	909			24	1801
25			39	4773	25	1801
26			48	882	26	1801

Tablo 10. 30.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	53	61	27	1802
28	55	2224	28	1840
29	50	0	29	1801
30	54	499	30	1800
31	36	0	31	1801
32	33	4187	32	1801
33	56	0	33	1833
34	57	4019	34	1802
35	58	3407	35	1801
36	34	0	36	1801
37	60	8	37	1802
38	62	0	38	1802
39	52	0	39	1801
40	51	0	40	1802
41	64	2674	41	1946
42	26	0	42	1800
43	29	2603	43	1802
44	42	3158	44	1802
45	38	0	45	1801
46	37	13	46	1837
47	59	1763	47	1801
48	35	8	48	1801
49	40	122	49	1801
50	41	2305	50	1826
51	31	6	51	1801
52	30	3307	52	1801
53	27	10	53	1815
54	25	0	54	1804
55	45	0	55	1802
56	44	2	56	1802
57	32	3	57	1805
58	47	1192	58	1819

Tablo 10. 30.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

59	49	0	59	1801
60	28	0	60	1823
61	43	1743	61	1800
62	61	0	62	1817
63	46	7	63	1803
64	63	206	64	1803
$T_{\text{Sabah}} =$		4135 sn	$T_{\text{öğle}} =$	39182 sn
$T_{\text{GAMStoplam}} =$			43317 sn	$T_{\text{Varolan}} =$ 113944 sn

Optimum çizelgeleme hesaplanırken sipariş miktarları öğleden önce ve sonra olmak üzere 2'ye ayrılmıştır. İşletmede online sistem üzerinden gelen siparişleri geliş sırasına verilen önceliğe göre işleme almaktadır. Buna göre sisteme düşen ilk sipariş, teslim edilmesi gereken ilk sipariş olarak görülmektedir(FIFO). İşletmede var olan çizelgeye göre toplam gecikme miktarı 113944 saniyedir. GAMS programının sunduğu sipariş çizelgesine göre ise toplam gecikme 43317 saniye olmaktadır. Burada $113944 - 43317 = 70627$ saniye = 19,61 saat toplam gecikmede tasarruf edildiği görülmektedir.

31 Mayıs 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 11. 31.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Varolan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra		(09.00-17.00)	
	(09.00-13.00)		(13:00-17.00)			
	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)
1	8	1			1	1201
2	9	143			2	1801
3	18	0			3	1801
4	17	1228			4	1801
5	19	194			5	1814
6	22	129			6	1801
7	15	8			7	1813
8	21	210			8	1803
9	20	206			9	1801
10	23	1101			10	1802
11	14	0			11	1801
12	6	0			12	1801
13	11	0			13	1802
14	7	0			14	1801
15	5	0			15	1801
16	12	0			16	1800
17	4	0			17	1262
18	3	0			18	1801
19	2	0			19	1802
20	16	0			20	1800
21	1	0			21	1956
22	13	472			22	1800
23	10	0			23	1801
24			42	3	24	1802
25			31	0	25	1802
26			33	0	26	1802

Tablo 11. 31.05.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	24	0	27	1802
28	28	0	28	1861
29	27	0	29	1935
30	26	0	30	1801
31	25	0	31	1225
32	39	0	32	1621
33	36	0	33	1861
34	41	0	34	1801
35	38	0	35	1801
36	45	0	36	1804
37	32	0	37	1801
38	35	0	38	1800
39	37	0	39	1802
40	43	0	40	1802
41	30	0	41	1801
42	34	0	42	1801
43	29	0	43	1814
44	44	501	44	1801
45	40	0	45	1800
$T_{j_{\text{sabah}}} =$	3692 sn	$T_{j_{\text{ögle}}} =$	504 sn	
		$T_{j_{\text{GAMStoplam}}} =$	4196 sn	$T_{j_{\text{Varolan}}} =$ 79606 sn

Tablo 11’de GAMS paket programı tarafından önerilen sipariş çizelgesine göre 34 siparişe ait gecikmenin 0 olduğu görülmektedir. İşletmede var olan toplam gecikme miktarı 79606 saniye iken, GAMS paket programı sonucu sunulan optimum çizelgeye göre toplam gecikme miktarı öğleden önce 3692 saniye, öğleden sonra 501 saniye olmak üzere toplam 4193 saniyedir. Oluşturulan matematiksel modelinin özellikle küçük boyutlu problemlerdeki sipariş gecikmelerinde ne denli etkin olduğu bu çizelgede görülmektedir.

1 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 12. 01.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Varolan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra		(09.00-17.00)	
	(09.00-13.00)		(13:00-17.00)			
	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)
1	4	2191			1	1261
2	7	0			2	1802
3	2	1538			3	1802
4	23	0			4	1801
5	27	14			5	1849
6	3	0			6	1801
7	6	13			7	1801
8	5	4			8	1802
9	24	8			9	1802
10	28	8			10	1801
11	16	0			11	1802
12	8	10			12	1202
13	26	1651			13	1802
14	20	2			14	1801
15	21	16			15	1802
16	25	1043			16	1802
17	10	0			17	1801
18	11	1201			18	1802
19	18	2			19	1802
20	12	0			20	1802
21	29	57			21	1801
22	17	1			22	1801
23	15	22			23	1825
24	1	85			24	1802
25	9	11			25	1800
26	14	47			26	1801

Tablo 12. 01.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	19	0			27	1801
28	22	573			28	1800
29	13	3			29	1837
30	30	112			30	1801
31			61	2318	31	1802
32			41	2	32	1801
33			57	248	33	1802
34			63	0	34	1801
35			65	2561	35	1800
36			38	910	36	1801
37			32	0	37	1801
38			43	0	38	1801
39			36	597	39	1802
40			64	350	40	1801
41			58	0	41	1816
42			54	1	42	1838
43			66	1	43	1822
44			55	2	44	1816
45			42	0	45	1801
46			47	5	46	1801
47			67	5	47	1801
48			35	0	48	1802
49			56	379	49	1890
50			60	2165	50	1834
51			59	1	51	1801
52			62	1989	52	1801
53			53	626	53	1801
54			34	0	54	1850
55			46	0	55	1801
56			49	7	56	1802
57			39	0	57	1802
58			50	1998	58	1801

Tablo 12. 01.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

59	48	0	59	1800
60	33	0	60	1816
61	37	0	61	1801
62	31	0	62	1822
63	40	16	63	1801
64	51	985	64	1830
65	52	4	65	1800
66	45	0	66	1801
67	44	2688	67	1815
Tj _{sabah} =	8612 sn	Tj _{öğle} =	17858 sn	
		Tj _{GAMStoplam} =	26470 sn	Tj _{Varolan} = 119987 sn

2 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 13. 02.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Varolan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra		(09.00-17.00)	
	(09.00-13.00)		(13:00-17.00)			
	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)
1	17	2824			1	1920
2	22	6			2	1801
3	8	0			3	1922
4	12	0			4	1801
5	28	0			5	1862
6	29	616			6	1801
7	5	0			7	1922
8	24	0			8	1802
9	27	0			9	1801
10	15	4			10	1801
11	25	2129			11	1861
12	9	325			12	1802
13	19	0			13	1802
14	6	19			14	1802
15	11	6			15	1801
16	20	2			16	1800
17	7	0			17	1802
18	14	0			18	1836
19	21	0			19	1801
20	13	0			20	1801
21	18	7			21	1801
22	10	0			22	1802
23	2	0			23	1801
24	4	1			24	1801
25	1	8			25	1801
26	16	2479			26	1802

Tablo 13. 02.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	3	660			27	1821
28	26	255			28	1801
29	23	8			29	1801
30			34	0	30	1827
31			48	335	31	1800
32			32	0	32	1801
33			58	0	33	1802
34			52	1047	34	1800
35			44	687	35	1800
36			38	0	36	1802
37			40	59	37	1802
38			33	0	38	1801
39			37	0	39	1822
40			55	4	40	1802
41			61	55	41	1200
42			41	831	42	1217
43			51	2013	43	1201
44			35	843	44	1201
45			53	1416	45	1202
46			43	4	46	1202
47			39	0	47	1207
48			42	0	48	1200
49			36	3	49	1274
50			50	7	50	1802
51			46	0	51	1802
52			49	2324	52	1801
53			31	0	53	1801
54			30	951	54	1202
55			59	0	55	1200
56			60	0	56	1201
57			56	377	57	1201
58			45	0	58	1801
59			54	48	59	1801
60			47	0	60	1851
61			57	12	61	1840

 $T_{j_{\text{sabah}}} = 9349 \text{ sn}$

 $T_{j_{\text{öğle}}} = 11016 \text{ sn}$

 $T_{j_{\text{GAMStoplam}}} = 20365 \text{ sn}$

 $T_{j_{\text{Varolan}}} = 102838 \text{ sn}$

3 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 14. 03.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Varolan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra		(09.00-17.00)	
	(09.00-13.00)		(13.00-17.00)			
	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)
1	8	1681			1	1921
2	27	960			2	1801
3	9	0			3	1824
4	6	0			4	1801
5	10	2023			5	1800
6	21	1010			6	1860
7	7	0			7	1801
8	2	90			8	1801
9	26	428			9	1801
10	3	3			10	1341
11	20	0			11	1202
12	19	0			12	2023
13	18	0			13	1802
14	12	636			14	1801
15	23	0			15	1802
16	13	1			16	1802
17	15	0			17	1801
18	24	107			18	1801
19	11	14			19	1801
20	14	0			20	1802
21	5	0			21	1801
22	4	0			22	1802
23	22	2507			23	1843
24	1	0			24	1802
25	17	2809			25	1818
26	16	1			26	1801

Tablo 14. 03.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	25	69		27	1801		
28			33	4	28	1802	
29			42	5	29	1801	
30			48	12	30	1802	
31			50	0	31	1857	
32			46	0	32	2041	
33			54	421	33	1801	
34			40	0	34	1801	
35			39	0	35	1801	
36			31	0	36	1822	
37			30	0	37	1802	
38			35	0	38	1818	
39			36	0	39	1802	
40			43	2402	40	1801	
41			29	0	41	1800	
42			34	4	42	1802	
43			38	3	43	1800	
44			45	2031	44	1822	
45			32	0	45	1801	
46			41	0	46	1802	
47			55	1430	47	1801	
48			37	0	48	1818	
49			28	1119	49	1829	
50			52	2085	50	1801	
51			47	0	51	1802	
52			51	2938	52	1802	
53			49	3	53	1802	
54			44	375	54	1822	
55			53	263	55	1943	
Tj _{sabah} =			12339 sn	Tj _{öğle} =		13095 sn	
			Tj _{GAMStoplam} =		25434 sn	Tj _{Varolan} =	99054 sn

4 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 15. 04.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Varolan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra		(09.00-17.00)	
	(09.00-13.00)		(13:00-17.00)			
	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)
1	24	2585			1	1322
2	23	1924			2	1832
3	15	4			3	1921
4	7	600			4	1800
5	13	1			5	1800
6	31	0			6	1801
7	5	26			7	1801
8	28	2599			8	1803
9	32	620			9	1861
10	18	0			10	1801
11	8	0			11	1801
12	27	2127			12	1816
13	29	0			13	1801
14	12	5			14	1813
15	30	0			15	1862
16	21	0			16	1803
17	20	74			17	1879
18	34	0			18	1801
19	19	108			19	1801
20	25	0			20	1802
21	35	2494			21	1801
22	17	0			22	1801
23	16	11			23	1802
24	6	0			24	1801
25	22	1504			25	1801
26	26	416			26	1801

Tablo 15. 04.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	9	0			27	1802
28	14	0			28	1822
29	1	0			29	1801
30	3	0			30	1838
31	4	2			31	1801
32	10	3			32	1201
33	2	0			33	1801
34	11	137			34	1801
35	33	0			35	1817
36			38	0	36	1802
37			40	0	37	1801
38			44	605	38	1801
39			54	2	39	1801
40			59	2237	40	1937
41			62	312	41	1802
42			42	0	42	1802
43			51	0	43	1801
44			64	0	44	1801
45			48	5	45	1803
46			61	0	46	1801
47			39	15	47	1802
48			63	312	48	1822
49			37	0	49	1801
50			53	5	50	1804
51			52	0	51	1801
52			67	0	52	1802
53			57	0	53	1802
54			43	1354	54	1802
55			50	1	55	1849
56			58	2327	56	1801
57			41	0	57	2073
58			47	1005	58	1801

Tablo 15. 04.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

59	56	1304	59	1800
60	36	0	60	1801
61	45	0	61	1801
62	65	2273	62	1801
63	46	14	63	1801
64	55	0	64	1801
65	49	11	65	1820
66	60	7	66	1801
67	66	0	67	1801
Tj _{sabah} =	15240 sn	Tj _{öğle} =	11477 sn	
		Tj _{GAMStoplam} =	26717 sn	Tj _{Varolan} = 120551 sn

5 Haziran 2022 tarihine ait optimum sipariş çizelgesi

Tablo 16. 05.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar

Sıra	GAMS Çizelgesi				Varolan Çizelge	
	Öğleden Önce		Öğleden Sonra		(09.00-17.00)	
	(09.00-13.00)		(13:00-17.00)			
	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)	Optimum Çizelge	Gecikme (sn)
1	3	0			1	1261
2	32	2736			2	1801
3	22	1			3	1801
4	29	0			4	1802
5	28	770			5	1800
6	25	16			6	1802
7	13	0			7	1800
8	31	519			8	1621
9	19	545			9	1801
10	9	1320			10	1800
11	5	0			11	1801
12	30	1662			12	1801
13	11	0			13	1801
14	12	2			14	1853
15	16	5			15	1802
16	2	0			16	1801
17	7	11			17	1813
18	18	8			18	1802
19	27	1704			19	1897
20	15	62			20	1801
21	14	6			21	1800
22	10	5			22	1801
23	17	0			23	1801
24	6	653			24	1801
25	1	0			25	2015
26	24	2347			26	1802

Tablo 16. 05.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

27	8	1003			27	1849
28	4	17			28	1802
29	23	1011			29	1801
30	20	0			30	1800
31	26	4			31	1828
32	21	3			32	1802
33			51	5744	33	1802
34			67	544	34	1801
35			73	88	35	1801
36			43	0	36	1801
37			79	437	37	1801
38			35	0	38	1801
39			45	5092	39	1801
40			64	9	40	1801
41			66	0	41	1815
42			42	435	42	1800
43			68	2	43	1802
44			70	3	44	1801
45			34	0	45	1801
46			50	1509	46	1801
47			65	2483	47	1801
48			59	31	48	1802
49			56	621	49	1800
50			61	0	50	1800
51			55	262	51	1800
52			74	3389	52	1802
53			62	0	53	1931
54			54	0	54	1801
55			49	1733	55	1801
56			78	2936	56	1800
57			69	1736	57	1801
58			48	11	58	1802

Tablo 16. 05.06.22 Tarihine Ait Sayısal Hesaplamalar (devamı)

59	40	0	59	1801
60	38	2822	60	1802
61	63	2323	61	1802
62	53	0	62	1801
63	36	2107	63	1949
64	58	1195	64	1814
65	37	0	65	1322
66	57	4134	66	1801
67	33	0	67	1801
68	44	3457	68	1836
69	60	2067	69	1800
70	76	5072	70	1843
71	41	2981	71	1826
72	47	2976	72	1802
73	52	3802	73	1803
74	75	4814	74	1801
75	46	0	75	1827
76	77	4604	76	1802
77	39	0	77	1801
78	72	4374	78	1801
79	71	0	79	1820
$T_{j_{\text{sabah}}} = 14410 \text{ sn}$		$T_{j_{\text{öğle}}} = 73793 \text{ sn}$		
		$T_{j_{\text{GAMStoplam}}} = 88203 \text{ sn}$	$T_{j_{\text{Varolan}}} = 141988 \text{ sn}$	

Elde Edilen Çözüm ve Açıklaması

Bu çalışmada, farklı başlama zamanlarına (s_j) ve teslim tarihlerine (d_j) sahip olan online siparişlerin bekleme sürelerinin minimize edilmesi için tek makineli sipariş çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem karma tamsayılı programlama modeli ile çözümlenmiştir. Çalışma sonucunda işlere ait toplam gecikmeyi en aza indiren 7 gün için optimum çizelgeler sunulmuştur. Problemde hazırlık zamanları da dikkate alınmıştır. Literatürdeki çoğu çalışmada hazırlık zamanı işlem süresine dahil edilmiştir.

Tablo 17. Tasarruf Miktarları

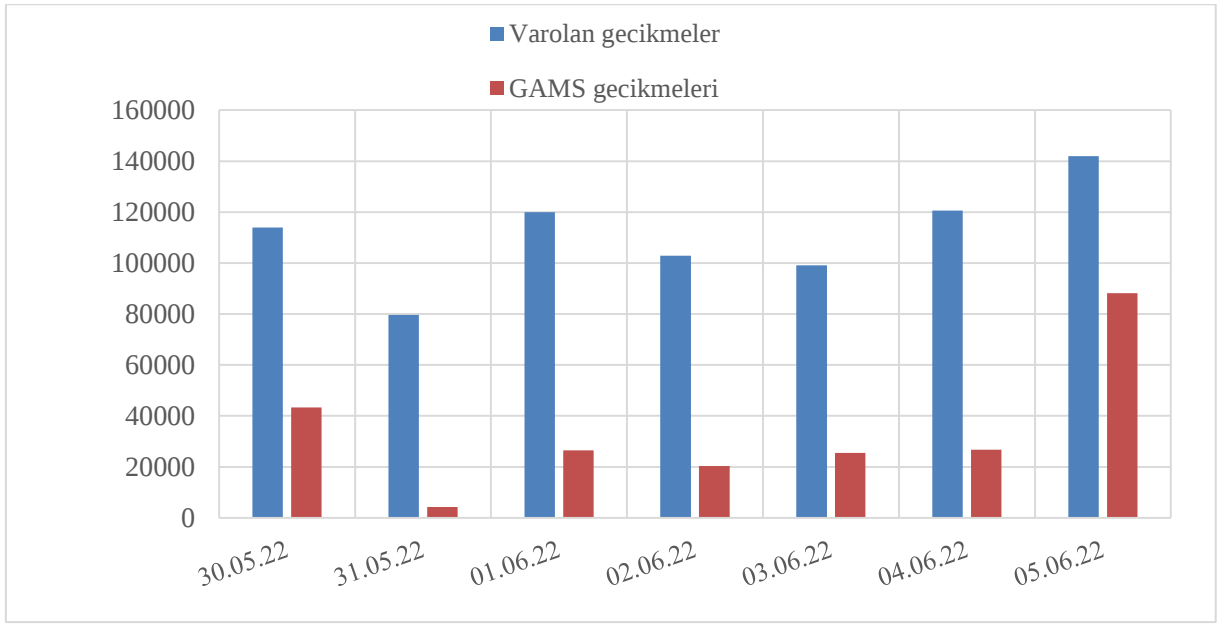
Tarih	Varolan Tj	GAMS Tj	Tasarruf miktarı (sn)	Tasarruf miktarı (sa)
30 May 2022	113944	43317	70627	19,62
31 May 2022	79606	4196	75410	20,95
1 Haz 2022	119987	26470	93517	25,98
2 Haz 2022	102838	20365	82473	22,91
3 Haz 2022	99054	25434	73620	20,45
4 Haz 2022	120551	26717	93834	26,07
5 Haz 2022	141988	88203	53785	14,94

Tablo 17’de işletmede var olan sipariş çizelgesine göre yaşanan toplam gecikme ile GAMS paket programı sonucu oluşturulan çizelgeye göre oluşturulan sipariş çizelgesi arasındaki fark ve tasarruf miktarları gösterilmektedir.

30 Mayıs 2022 tarihinde işletmedeki mevcut çizelgeye göre tüm işlere ait toplam gecikme $113944/3600=31,65$ saat iken GAMS paket programında çözülen karma tamsayılı doğrusal programlama matematiksel modeline göre toplam gecikmenin $43317/3600=12,03$ saat olduğu görülmektedir. Aradaki fark $31,65-12,03=19,62$ saat işletmenin GAMS paket programı sonucu oluşturulan çizelgeyi kullanması durumunda ne kadarlık tasarruf edeceğini göstermektedir.

GAMS paket programı vasıtasıyla sunulan optimum çizelgelere göre bazı işlerdeki toplam gecikmenin 0’a indirildiği görülmüştür. Bazı işlerdeki toplam gecikme miktarı ise var olan gecikmelere göre daha fazla fakat müşteri tarafından göz ardı edilebilecek seviyededir.

Tek makineli çizelgeleme probleminin NP-Zor yapısının bir getirisi olarak problemin boyutu büyüdükçe karmaşıklığı artmaktadır. Dolayısıyla problemde çizelgelemesi yapılmak istenen sipariş miktarı arttıkça optimum sonuca ulaşmakta bir o kadar da zorlaşmaktadır. Bu nedenle problemin çözüm aşamasında öğleden önce ve sonra olmak üzere iki farklı zaman dilimi için çizelgeleme yapılmıştır. Böylelikle problemin karmaşıklığından doğabilecek istenmeyen gecikme miktarlarındaki büyük artışın önüne geçilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 10. Toplam gecikmelerin karşılaştırılması.

Şekil 11'e göre her bir gün için toplam gecikmenin minimize edildiği görülmektedir. Sunulan günlük çizelgeler optimum sonucu vermiştir ve mesai saatleri içerisinde alınan siparişler için tasarruf sağlanmıştır. Toplam gecikme miktarındaki en fazla iyileştirme 1 Haziran 2022 tarihinde gerçekleşmiştir. Var olan toplam gecikme miktarı 119987 saniye iken GAMS paket programı sonucu sunulan optimum çizelgelemeye göre toplam gecikme miktarı 26470 saniyeye kadar düşmüştür. En az iyileştirmenin ise, var olan toplam gecikme miktarının 141988 saniye ve GAMS paket programının sunduğu optimum çizelgeye göre toplam gecikme miktarının 88203 saniye olduğu, 5 Haziran 2022 tarihine ait olduğu görülmektedir.

Bu çalışma için sonuçların ve problemin çözüm hızının tatmin edici seviye olduğu görülmüştür. Ancak tek makineli çizelgeleme problemi NP-Zor sınıfındadır ve problem boyutu arttıkça optimum sonuca ulaşmak zorlaşmaktadır. Her ne kadar var olan sipariş çizelgesine nazaran toplam gecikmeleri 0 olan siparişlere de ulaşılmış olsa, amaç fonksiyonu z'nin, tüm siparişler için, toplam gecikmesinde büyük bir artış yaşanmıştır. Bu da istenmeyen bir durumdur. Büyük boyutlu bir problem için bazı siparişlerin gecikmeleri 0 olurken ki bu problemdeki birincil amaçtır, bazı siparişlerin ise müşterinin katlanamayacağı seviyede bir toplam gecikmeye sebebiyet verdiği görülmüştür.

Tablo 18. 7 Günlük Optimum Sipariş Çizelgesi

Sıra	30.05.22	31.05.22	01.06.22	02.06.22	03.06.22	04.06.22	05.06.22
1	7	8	4	17	8	24	3
2	3	9	7	22	27	23	32
3	20	18	2	8	9	15	22
4	10	17	23	12	6	7	29
5	4	19	27	28	10	13	28
6	2	22	3	29	21	31	25
7	1	15	6	5	7	5	13
8	5	21	5	24	2	28	31
9	18	20	24	27	26	32	19
10	14	23	28	15	3	18	9
11	19	14	16	25	20	8	5
12	6	6	8	9	19	27	30
13	13	11	26	19	18	29	11
14	11	7	20	6	12	12	12
15	21	5	21	11	23	30	16
16	24	12	25	20	13	21	2
17	12	4	10	7	15	20	7
18	15	3	11	14	24	34	18
19	22	2	18	21	11	19	27
20	16	16	12	13	14	25	15
21	8	1	29	18	5	35	14
22	9	13	17	10	4	17	10
23	23	10	15	2	22	16	17
24	17	42	1	4	1	6	6
25	39	31	9	1	17	22	1
26	48	33	14	16	16	26	24
27	53	24	19	3	25	9	8
28	55	28	22	26	33	14	4
29	50	27	13	23	42	1	23
30	54	26	30	34	48	3	20

Tablo 19. 7 Günlük Optimum Sipariş Çizelgesi (devamı)

31	36	25	61	48	50	4	26
32	33	39	41	32	46	10	21
33	56	36	57	58	54	2	51
34	57	41	63	52	40	11	67
35	58	38	65	44	39	33	73
36	34	45	38	38	31	38	43
37	60	32	32	40	30	40	79
38	62	35	43	33	35	44	35
39	52	37	36	37	36	54	45
40	51	43	64	55	43	59	64
41	64	30	58	61	29	62	66
42	26	34	54	41	34	42	42
43	29	29	66	51	38	51	68
44	42	44	55	35	45	64	70
45	38	40	42	53	32	48	34
46	37	-	47	43	41	61	50
47	59	-	67	39	55	39	65
48	35	-	35	42	37	63	59
49	40	-	56	36	28	37	56
50	41	-	60	50	52	53	61
51	31	-	59	46	47	52	55
52	30	-	62	49	51	67	74
53	27	-	53	31	49	57	62
54	25	-	34	30	44	43	54
55	45	-	46	59	53	50	49
56	44	-	49	60	-	58	78
57	32	-	39	56	-	41	69
58	47	-	50	45	-	47	48
59	49	-	48	54	-	56	40
60	28	-	33	47	-	36	38
61	43	-	37	57	-	45	63
62	61	-	31	-	-	65	53

Tablo 20. 7 Günlük Optimum Sipariş Çizelgesi (devamı)

63	46	-	40	-	-	46	36
64	63	-	51	-	-	55	58
65	-	-	52	-	-	49	37
66	-	-	45	-	-	60	57
67	-	-	44	-	-	66	33
68	-	-	-	-	-	-	44
69	-	-	-	-	-	-	60
70	-	-	-	-	-	-	76
71	-	-	-	-	-	-	41
72	-	-	-	-	-	-	47
73	-	-	-	-	-	-	52
74	-	-	-	-	-	-	75
75	-	-	-	-	-	-	46
76	-	-	-	-	-	-	77
77	-	-	-	-	-	-	39
78	-	-	-	-	-	-	72
79	-	-	-	-	-	-	71

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada online sipariş çizelgeleme problemi için oluşturulan matematiksel model GAMS paket programı CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Online satış ve sipariş çizelgeleme problemi için tek makineli bir matematiksel model sunulmuştur. İlgilenilen problem $1||\sum T_i$ problemidir ve NP-Zor sınıfına girmektedir. Amaç, gelen siparişlerin toplam gecikmesini minimize ederek ürünü en kısa sürede müşteriye ulaştıracak çizelgeleme sıralamasının bulunmasıdır.

Matematiksel modelin boyutu arttıkça optimum sonuçta meydana getirdiği hasarları en aza indirmek amacıyla öğleden önce (09.00-13.00) ve öğleden sonra (13.00-17.00) olmak üzere bir sipariş çizelgeleme modeli sunulmuştur. Bu haliyle işletmede sipariş gecikmelerinin toplam gecikmelerinde önemli ölçüde azalış meydana geldiği görülmüştür ve optimum sonuçlara ulaşılmıştır. GAMS paket programının sunduğu çizelgeleme ile önemli ölçüde tasarruf edilmiştir.

GAMS/CPLEX çözücüsü günümüzde oldukça ilgi gören en hızlı çözücülerden biri olarak kabul edilmektedir. Küçük boyutlu problemler için optimum sonucu vermesine rağmen orta ve büyük ölçekli problemler için oldukça büyük bir iş yüküne ve hesaplama süresine sahiptir.

Gelecekteki büyük ölçekli problemler için GAMS-CPLEX çözücüsü sezgisel optimizasyon algoritmaları ile birlikte kullanılarak problemin çözümü hızlandırılabilir. Örneğin daha büyük boyutlu problemler için genetik algoritma veya tabu arama algoritması kullanılabilir. Hem GAMS hem de değiştirilmiş meta-sezgisel algoritma ile çözüm sağlanabilir ve iki yöntemin de sonuçları karşılaştırılabilir.

Sunulan model gelecekteki çalışmalarda daha büyük ölçekli modeller için uygulanabilir. Problemden farklı çizelgeleme programları olan Lakin, Lisa, Torsche gibi farklı programlar kullanılarak hangi çözücünün daha etkin olduğu gösterilebilir. Ek olarak ilgilenilen problem Python, MATLAB gibi yazılım dilleri ile kodlanarak optimum çizelgeleme bulunması sağlanabilir.

Sınırlılıklar

Büyük boyutlu problemlerin optimum çözüme ulaşması matematiksel modellerle sonlu zamanlarla mümkün olmamaktadır ya da çok uzun süreler gerektirmektedir. NP-Zor yapıda olan bir problem için küçük boyutlu problem kümeleri en ideal sonucu vermekte daha iyidirler. Sipariş miktarı arttıkça problemin girdi miktarı artmaktadır. Problemdeki kısıtlar da

göz önüne alındığında optimum çözüm için gerekli olan zaman problem boyutuna bağlı olarak üstel olarak artmaktadır.

Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli küçük ve orta boyutlu problemleri çözmek ve optimum sonuca ulaşmak için iyi bir yöntem olabilir fakat büyük boyutlu problemler için çözümü sağlarken optimum sonuçtan uzaklaşabilir. Literatürde büyük boyutlu problemlerin çözümü için performansı belli bir garanti vermeyen fakat optimum sonuç sunan meta-sezgisel algoritmalar önerilmiş ve geliştirilmiştir.



KAYNAKLAR

- Akande, S., Oluleye, A. E., Oyetunji, E., 2017. Minimization of Total Tardiness and Total Flowtime on Single Machine with Non-Zero Release Dates. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 154-164.
- Alharkan, I. M., 2005. Algorithms for sequencing and scheduling. Industrial Engineering Department, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.
- Anonymous., Gittins Index for Scheduling. Industrial Engineering and Operation Research Department, Columbia University, <http://www.columbia.edu/~cs2035/courses/ieor4405.S13/gittins.pdf>, (12.04.2022).
- Ayvaz, B., Gams notları. <https://slidetodoc.com/gams-notlar-yrd-do-dr-berk-ayvaz-gams/> (24.05.2022).
- Baker, K. R., Keller, B., 2010. Solving the single-machine sequencing problem using integer programming. *Computers and Industrial Engineering*, 59(4), 730-735.
- Blazewicz, J., Ecker, K. H., Pesch, E., Schmidt, G., Weglarz, J., 1997. Scheduling computer and manufacturing processes. *Journal of the Operational Research Society*, 48(6), 659-659.
- Brucker, P., 1999. Scheduling algorithms. *Journal-Operational Research Society*, 50, 774-774.
- Büyükkoç, İ., 2018. Optimizasyon Teknikleri, Balıkesir Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, <http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM3208/EMM3208W4.pdf> (31.05.2022)
- Büyükkoç, İ., 2019. Çizelgeleme ders notları. Endüstri Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, <http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4129/EMM4129-Cizelgeleme-BirlesikDersNotlari.pdf> (01.05.2022).
- Ceylan, Z., Karan, R. E., Bakırcı, Ç., Sabuncu, S., 2019. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Tek Makine Çizelgeleme Problemi: Beyaz Eşya Sektöründe Bir Uygulama. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 14-21.
- Chen, Z. L., Pundoor, G., 2006. Order assignment and scheduling in a supply chain. *Operations Research*, 54(3), 555-572.
- Chen, R., Yuan, J., Lu, L., 2019. Single-machine scheduling with positional due indices and positional deadlines. *Discrete Optimization*, 34, 100549.
- Chen, R., Yuan, J., Ng, C. T., Cheng, T. C. E., 2019. Single- machine scheduling with deadlines to minimize the total weighted late work. *Naval Research Logistics*, 66(7), 582-595.
- Çelebi, D. Gams kullanım notları. İstanbul Teknik Üniversitesi. https://web.itu.edu.tr/~celebid/OPT_files/gams.pdf. (16.04.2022)
- de Athayde Prata, B., Rodrigues, C. D., Framinan, J. M., 2021. Customer order scheduling problem to minimize makespan with sequence-dependent setup times. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106962.
- GAMS, 2018. GAMS an introduction, https://www.gams.com/archives/presentations/2018_informs_phoenix_GAMS-introduction_SD_LW.pdf (01.06.2022)

- Goodarzian, F., Kumar, V., Ghasemi, P., 2021. A set of efficient heuristics and meta-heuristics to solve a multi-objective pharmaceutical supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107389.
- Govindan, K., Nasr, A. K., Mostafazadeh, P., Mina, H., 2021. Medical waste management during coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: A mathematical programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107668.
- Güler, M. G., Geçici, E., 2020. A decision support system for scheduling the shifts of physicians during COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106874.
- Gültekin, B., Demir, S., Gunduz, M. A., Cura, F., Ozer, L., 2022. The logistics service providers during the COVID-19 pandemic: The prominence and the cause-effect structure of uncertainties and risks. *Computers & Industrial Engineering*, 107950.
- Hariri, A. M. A., Potts, C. N., Van Wassenhove, L. N., 1995. Single machine scheduling to minimize total late work. *ORSA Journal on Computing*, 7, 232–242.
- Hosseini, S. M., Paydar, M. M., Alizadeh, M., Triki, C., 2021. Ecotourism supply chain during the COVID-19 pandemic: A real case study. *Applied Soft Computing*, 113, 107919.
- Hu, K., Zhang, X., Gen, M., Jo, J., 2017. A new model for single machine scheduling with uncertain processing time. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(3), 717-725.
- Ito, M., Hara, S., Tanaka, M., Takashima, R., 2019. Examination-order scheduling for minimizing waiting time: A case study of a medical checkup. *Operations Research for Health Care*, 22, 100190.
- Ivanov, D., 2020. Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of operations research*, 1-21.
- Ivanov, D., Dolgui, A., 2021. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9), 775-788.
- Jackson, J. R., 1955. Scheduling a production line to minimize maximum tardiness. Research Report 43. Management Science Research Project. University of California, Los Angeles.
- Jarumaneeroj, P., Dusadeerungsikul, P. O., Chotivanich, T., Nopsopon, T., Pongpirul, K., 2022. An epidemiology-based model for the operational allocation of COVID-19 vaccines: A case study of Thailand. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108031.
- Kabak, Ö., 2012. EM 302 Yöneylem Araştırması Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, https://web.itu.edu.tr/kabak/dersler/EM302/pdf/YAII_h03_gams.pdf (2.06.2022).
- Kasperski, A., 2005. Minimizing maximal regret in the single machine sequencing problem with maximum lateness criterion. *Operations Research Letters*, 33(4), 431–436.
- Kenan, N., Diabat, A., 2022. The supply chain of blood products in the wake of the COVID-19 pandemic: appointment scheduling and other restrictions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 159, 102576.

- Lakshminarayan, S., Lakshmanan, R., Papineau, R. L., Rochette, R., 1978. Optimal single-machine scheduling with earliness and tardiness penalties. *Operations Research*, 26(6), 1079-1082.
- Lawler, E.L., 1975. Optimal sequencing of a single machine subject to precedence constraints. *Management Science*, 19(5), 544-546.
- Lenstra, J. K., Shmoys, D. B., 2020. Elements of scheduling. *arXiv preprint arXiv:2001.06005*, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2001/2001.06005.pdf>, (04.04.2022)
- Li, S. S., Yuan, J. J., 2020. Single-machine scheduling with multi-agents to minimize total weighted late work. *Journal of Scheduling*, 23, 497-512.
- Moore, J. M., 1968. An n job, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of late jobs. *Management Science*, 15(1), 102-109.
- Moosavi, A., Ozturk, O., Patrick, J., 2022. Staff Scheduling for Residential Care Under Pandemic Conditions: The Case of COVID-19. *Omega*, 102671.
- Oujana, S., Yalaoui, F., Amodeo, L., 2021. A linear programming approach for hybrid flexible flow shop with sequence-dependent setup times to minimise total tardiness. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 1162-1167.
- Pinedo, M. L., 2008. *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Third Edition. Springer, 662p, New York, USA.
- Potts, C. N., Van Wassenhove, L. N., 1991. Single machine scheduling to minimize total late work. *Operations Research*, 40, 586-595.
- Rutherford, T. F., 2002. *Mixed Complementarity Programming with GAMS*. Lecture Notes for Econ 6433, Spring Semester.
- Sarkar, S., Pramanik, A., Maiti, J., Reniers, G., 2021. COVID-19 outbreak: A data-driven optimization model for allocation of patients. *Computers & Industrial Engineering*, 161, 107675.
- Sarker, R. A., Newton, C. S., 2007. *Optimization Modelling: A Practical Approach*. CRC press, 504p, Florida, USA.
- Shuaib, M. A., 2009. An Algorithm to Solve the Associative Parallel Machine Scheduling Problem. MS Thesis, Department of Manufacturing Systems Engineering, University of Kentucky, Lexington, Kentucky.
- Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G., 2006. *Operating system concepts*. John Wiley & Sons.
- Sivrikaya, B.T., 2010. Yöneylem Araştırması GAMS Uygulama Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi.
- Soon, J. M., Vanany, I., Wahab, I. R. A., Sani, N. A., Hamdan, R. H., Jamaludin, M. H., 2022. Protection Motivation Theory and consumers' food safety behaviour in response to COVID-19. *Food Control*, 138, 109029.
- Sun, X., 2018. The Impact of the Liner Shipping Unreliability on the Production-Distribution Scheduling of a Decentralized Manufacturing System. PhD Thesis, Industrial and System Engineering, Hong Kong, China.
- Sule, D. R., 2007. *Production planning and industrial scheduling: examples, case studies and applications*. CRC press, 556 p, Boca Raton, Florida.

- Tadayon, B., 2014. Algorithms and Complexity Analysis For Integer Multicommodity Network Flow and Robust Single-Machine Scheduling Problems. PhD Thesis, Graduate School, University of Florida.
- Tamer, E., Güner, E., 2002. Tek ve paralel makineli problemlerde çok ölçütlü çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(4).
- Toklu, B., Kellegöz, T., 2009. GAMS Rehberi (Kısaltılmış). Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yöneylem Araştırması Dersi, <https://silo.tips/download/endstr-mhendsl-blm-yneylem-aratirmasi-ders-gams-rehber-ksaltlm> (01.06.2022).
- Vahedi-Nouri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hanzálek, Z., Dolgui, A., 2022. Workforce planning and production scheduling in a reconfigurable manufacturing system facing the COVID-19 pandemic. Journal of Manufacturing Systems, 63, 563-574.
- Wang, D., Gen, M., & Cheng, R., 1999. Scheduling grouped jobs on single machine with genetic algorithm. Computers & industrial engineering, 36(2), 309-324.
- Wang, S., Cui, W., Chu, F., Yu, J., Gupta, J. N., 2020. Robust (min-max regret) single machine scheduling with interval processing times and total tardiness criterion. Computers & Industrial Engineering, 149, 106838.
- Wu, C. C., Liu, S. C., Lin, T. Y., Yang, T. H., Chung, I. H., Lin, W. C., 2018. Bicriterion total flowtime and maximum tardiness minimization for an order scheduling problem. Computers & Industrial Engineering, 117, 152-163.
- Wu, C. X., Liao, M. H., Karatas, M., Chen, S. Y., Zheng, Y. J., 2020. Real-time neural network scheduling of emergency medical mask production during COVID-19. Applied Soft Computing, 97, 106790.
- Yang, Y., Ma, C., Zhou, J., Dong, S., Ling, G., Li, J., 2022. A multi-dimensional robust optimization approach for cold-chain emergency medical materials dispatch under COVID-19: A case study of Hubei Province. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 9(1), 1-20.
- Zhang, C., Li, Y., Cao, J., Wen, X., 2022. On the mass COVID-19 vaccination scheduling problem. Computers & Operations Research, 105704.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Rumeysa DAĞSOY
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Eğitim	
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi (2019)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi (IELTS Academic L:7, R:7, S:7, W:6)
Yayınlar	
1. Türkiye’deki Hava Kirliliği ve Sera Gazı Emisyon Envanterinin Gri Tahmin Yöntemi ile Tahmin Edilmesi. CAVLI A., DAĞSOY R. , YILMAZ M. Mas International Conference on Mathematics-Engineering-NaturalMedical Sciences-V, 2 - 05 Mayıs 2019, ss.54-69	