



**T. C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ:  
OLUKLU MUKAVVA FABRİKASINDA BİR  
UYGULAMA**

**SÜMEYYE ÜNLÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ**

**KIRIKKALE-2022**



**T. C.**  
**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ:  
OLUKLU MUKAVVA FABRİKASINDA BİR  
UYGULAMA**

**SÜMEYYE ÜNLÜ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ**

**KIRIKKALE-2022**

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında Sümeyye Ünlü tarafından hazırlanan “PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ: OLUKLU MUKAVVA FABRİKASINDA BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

İmza

Endüstri Mühendisliği A.B.D, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

İmza

Endüstri Mühendisliği A.B.D, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye: Prof. Dr. Tamer EREN Endüstri

İmza

Mühendisliği A.B.D, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 18/01/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sümeyye ÜNLU

(18.01.2022)

## ÖZET

# PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ: OLUKLU MUKAVVA FABRİKASINDA BİR UYGULAMA

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

Ocak 2022, 63 sayfa

Son yıllarda, gelişen teknoloji ile azalan malzeme maliyetleri ve piyasalardaki artan rekabet sonucunda işin yapılma sürecindeki fazladan bir saniye bile son derece önemli hale gelmiştir. Bir işin daha kısa sürede yapılabilmesi için ise planlama ve çizelgeleme ön plana çıkmaktadır. Bu tezde özdeş olmayan paralel makine problemi çözülmüştür. Çalışma, oluklu mukavva üretimi yapan firmada gerçekleştirilmiştir. Problemlerin amacı en büyük tamamlanma zamanının ( $C_{max}$ ) en küçüklenmesidir. Firma bünyesinde bulunan, iki adet özdeş olmayan paralel makinenin özellikleri incelenmiştir. Bu farklılıklar (hız, kapasite, teknik özellikleri) ve işletmeden alınan ürün-sipariş bilgileri dikkate alınmıştır ve matematiksel model kurularak çözülmüştür. Ele alınan ikinci problemde işler arası sıra bağımlı hazırlık süreleri de dikkate alınmıştır. Üretim esnasında yapılan hazırlıklardan, baskı rengi, ürün dalga boyu ve kutu cinsi değiştirilirken gerekli olan hazırlık süreleri ele alınmış ve model kurulmuştur. Her iki model ILOG Cplex Optimization programı ile çözümlenmiş, işletme için uygun haftalık üretim çizelgesi elde edilmiştir. Böylelikle işletme gelen siparişleri uygun kaynak ve makinelerde üretime alarak, en kısa zamanda tamamlanabileceği çizelgeler oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme, Sıra Bağımlı Hazırlık Süresi, En Büyük Tamamlanma Zamanının En Küçüklenmesi

## ABSTRACT

# PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM: A CASE IN A CORRUGATED FACTORY

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Industrial  
Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

Jan 2022, 63 Pages

In recent years, as a result of decreasing material costs with developing technology and increasing competition in the markets, even an extra second in the process of doing the job has become extremely important. Planning and scheduling come to the fore in order to get a job done in a shorter time. In this thesis, the non-identical parallel machine problem is solved. The study was carried out in a company that produces corrugated cardboard. The purpose of the problems is to minimization of maximum completion time. The characteristics of two non-identical parallel machines within the company were examined. These differences (speed, capacity, technical features) and product-order information received from the enterprise were taken into account and solved by establishing a mathematical model. In the second problem, the sequence-dependent preparation times between jobs were also taken into account. From the preparations made during production, the preparation times required while changing the printing color, product wavelength and box type were discussed and the model was established. Both models were solved with the ILOG Cplex Optimization program, and a weekly production schedule suitable for the enterprise was obtained. Thus, the company put the incoming orders into production with appropriate resources and machines, and charts were created that can be completed in a short time.

**Key Words:** Non-Identical Parallel Machine Scheduling, Sequence Dependent Setup Time, Minimization of Maximum Completion Time

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her konuda yardımcı olan, her zaman destekleyen ve her türlü olanağı sağlayan çok değerli hocalarım, Sayın Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ'a ve Sayın Prof. Dr. Tamer EREN'e teşekkür ederim.

Bana her daim inanıp, beni bu yola iten kız kardeşim Kevser Hanne ALTIN'a, çalışmalarımı daha iyi sürdürebilmem için her zaman çabalayan annem Sultan MEMİŐ'e ve babam Mehmet ALTIN'a, bütün eğitim hayatım boyunca desteğini her zaman hissettiğim eşim Meriç ÜNLU'ye ve tez çalışmamda bir kez olsun yanımdan ayrılmayan oğlum Yunus Emre ÜNLU'ye sonsuz teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>RESİMLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>4</b>
2.1. Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Literatür .....	4
2.2. Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Literatür.....	5
2.3. Sıra Bağımlı Özdeş ve Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Literatür .....	6
<b>3. PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ</b> .....	<b>13</b>
3.1. Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi.....	15
3.2. Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi .....	16
<b>4. OLUKLU MUKAVVA FABRİKASINDA ÖZDEŞ OLMAYAN PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ UYGULAMASI</b> .....	<b>17</b>
4.1. Problem 1: Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Çözümü .....	20
4.1.1. Problem Tanımı .....	20
4.1.2. Problemin Verileri .....	22
4.1.3. Problem İçin Matematiksel Modelin Kurulması.....	24
4.1.4. Problemin Model Sonuçları .....	27
4.2. Problem 2: Sıra Bağlı Hazırlık Süreli Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Çözümü .....	28
4.2.1. Problem Tanımı .....	28



4.2.2. Problemin Verileri .....	32
4.2.3. Matematiksel Modelin Kurulması .....	36
4.2.4. Modelin Sonuçları .....	38
4.3. Yöneticilere Öneriler .....	40
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>41</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>43</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>52</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Paralel makine çizelgeleme literatür çalışmaları.....	10
Çizelge 2.2. Uygulamalı literatür çalışmaları.....	11
Çizelge 4.1. Makine Özellikleri .....	22
Çizelge 4.2. Hafta 1 Ürün ve Sipariş Bilgisi .....	22
Çizelge 4.3. Hafta 2 Ürün ve Sipariş Bilgisi .....	23
Çizelge 4.4. Hafta 1 üretim çizelgesi .....	27
Çizelge 4.5. Hafta 2 üretim çizelgesi .....	28
Çizelge 4. 6. Dalga boyu ölçüleri.....	29
Çizelge 4.7. Dalga geçişleri arası hazırlık süreleri.....	30
Çizelge 4. 6. Dalga boyu ölçüleri.....	30
Çizelge 4.9. Bıçak değişim süreleri.....	32
Çizelge 4.10. Hafta 1 sipariş ve ürün bilgileri.....	32
Çizelge 4.11. Hafta 2 sipariş ve ürün bilgileri.....	33
Çizelge 4.12. Hafta 1'deki işlerin makine 1'de hazırlık süreleri matrisi.....	35
Çizelge 4.13. Hafta 1'deki işlerin makine 2'de hazırlık süreleri matrisi.....	36
Çizelge 4.14. Hafta 1 iş çizelgesi .....	39
Çizelge 4.15. Hafta 2 iş çizelgesi .....	39

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Çizelgeleme problemi sınıflandırması .....	14
Şekil 4.1. İş Akış Şeması.....	18
Şekil 4.2. Makine 1 ve Makine 2'deki İş Akış Şeması .....	19

## RESİMLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Resim 4.1. Makine 1 .....	20
Resim 4.2. Makine 2 .....	21
Resim 4.3. Dalga Çeşitleri .....	29
Resim 4.4. Özel Kesim Kutu (Örnek).....	31
Resim 4.5. Özel Kutu Kesim Bıçağı (Örnek).....	31
Resim 4.6. Standart Koli (A Box) ve Bıçağı (Örnek .....	32

# 1. GİRİŞ

Üretim ve hizmet sektöründe verimlilik artışı için sıralama ve çizelgeleme yöntemleri önemli role sahiptir. Gelen işlerin ve siparişlerin etkin şekilde sıralanması ve çizelgenmesi, işletmelerin devamlılığı ve rekabet dünyasında hayatta kalabilmelerini sağlamaktadır. Çizelgeleme birçok imalat endüstrisinde, belirli kaynakların (işçi, makine, donanım, v.b.) belirli kısıt ve amaçlar doğrultusunda işlere atanmasının karar verme sürecidir (Furugi, 2020). Üretim çizelgelemesi yapabilmek için iş akışlarının bilinmesi gerekmektedir: üretim merkezleri, ürün bilgisi, istasyon bilgisi, işlem süresi, iş sırası. Çizelgeleme problemleri üretim ortamları açısından incelendiğinde akış tipi, atölye tipi, tek makine ve paralel makine çizelgeleme problemleri olarak ele alınmaktadır. Akış tipi çizelgeleme probleminde, n adet iş m adet üretim merkezinde işlem görürken tüm işler belirli bir rotayı takip etmektedir. Atölye tipi çizelgeleme probleminde, işler farklı makineleri ve rotaları izlemektedir. Tek makine çizelgeleme probleminde, işlerin hepsi tek makinede işlenmektedir. Paralel makine çizelgeleme probleminde ise mevcut işler, aynı işi yapan makinelerin paralel olarak yerleştirildiği ve işlerin rassal olarak makinelere atandığı üretim ortamlarıdır (French, 1982).

Paralel makine çizelgeleme problemleri, çizelgeleme problemlerinin en zor sınıflarından biri olup çeşitli ticari ve akademik alanlarda önemli sayıda araştırmalar yapılmıştır. N tane aynı işi yapabilen makinenin paralel olarak konumlandırıldığı sistemler paralel makine problemleridir. Bu sistemlerde, işlerin yalnız bir operasyonu vardır ve n makinenin herhangi birinde işlem görebilmektedir. Paralel makine çizelgeleme problemleri üç gruba ayrılmaktadır: özdeş paralel makineler, farklı hızlara sahip paralel makineler ve özdeş olmayan paralel makineler (Cheng, vd., 1990). Özdeş paralel makineli ortamlar, aynı tip ve hıza sahip olan makinelerin olduğu ortamlardır. Farklı hızlara sahip paralel makine ortamları ise aynı tip makinelerin olduğu fakat bu makinelerin hızları farklılık göstermektedir. Ve son olarak özdeş olmayan paralel makine ortamları

da tipleri ve hızları farklı fakat aynı işi yapan makineleri içermektedir.

Özdeş olmayan paralel makinelerde iş, makine hızı, termin süresi, ürün hacmi gibi faktörlere bağlı olarak makinelere atanmakta ve işlem görmektedir. Genel yazılımlar bu durumlara cevap verememektedir. Bu kapsamda, özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemleri için matematiksel modeller, sezgisel yöntemler (tabu, genetik, karınca vb.), dal sınır, karar destek sistemleri, bulanık yöntemler kullanılmaktadır. Böylelikle işleri en kısa sürede bitirmek ve geciken iş sayısını en küçükmek gibi farklı amaç fonksiyonları için çizelgeleri elde etme ve sonuçlarını karşılaştırma imkânı bulunmaktadır (Sarıçiçek, 2018).

Son zamanlarda araştırmacılar, özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemlerinde hazırlık zamanlarını göz önüne alan problemler üzerinde durmaktadırlar (Silva ve diğ. (2002), Chen (2009), Joo ve Kim (2012)). Teknolojinin gelişmesi ile işletmelerde, tek bir hat üzerinde birden farklı ürün üretilmektedir. Buda hazırlık aktivitelerinin yapılmasının gerektiğini göstermektedir. Yapılan hazırlık aktiviteleri işletmelerde maliyet artırıcı role sahiptir (Naderi, vd., 2010). Hazırlık zamanlarının ele alındığı problemler gruplara ayrılmıştır: Sıra bağımsız hazırlık zamanları ve sıra bağımlı hazırlık zamanları. Sıra bağımsız hazırlık zamanlı problemler de sadece işlem göreceğ işin hazırlığı dikkate alınır. Sıra bağımlı hazırlık zamanlı problemler de hazırlık işlem göreceğ işe ve öncesi işe bağlıdır.

Bu çalışmada özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi incelenmiştir. Tez çalışması, Ankara Başkent Organize Sanayi Bölgesinde bulunan oluklu mukavva üretimi yapan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Problemin ana amacı en büyük tamamlanma zamanının ( $C_{max}$ ) en küçükmesidir. Fabrikada iki adet özdeş olmayan paralel makine mevcuttur. Makinelerin üretim hızları, kapasiteleri, işler arası hazırlık süreleri birbirlerinden farklıdır. Üretim aşamaları baskı, kesim ve yapıştırmadan oluşmaktadır. Operatör gelen siparişin özelliklerine bakarak (safia ölçüleri, baskı renk adedi, kâğıt dalga özelliği vb.) makinelerde işleme almaktadır. İşletmenin gelen siparişlerini daha verimli şekilde makinelere atayacak çizelgeyi oluşturmak için ürün detayları, sipariş miktarları ve hazırlık süreleri işletmeden alınmıştır. Uygulama kısmının ilk aşamasında özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi için model kurulmuştur. İkinci kısımda ise hazırlık süreleri de dikkate alınarak sıra bağımlı

hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine problemi için model önerilmiştir. Matematiksel modeller, ILOG Cplex Optimization programı ile çözülmüştür. Her iki model çözümünde, işletme için uygun haftalık çizelgeler elde edilmiştir.

Çalışmanın izleyen bölümlerinde, özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi ele alınacaktır.

İkinci bölümde, paralel makine, özdeş olmayan paralel makine ve sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemleri hakkında yapılan literatür çalışmalarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, çizelgeleme, paralel makine, özdeş olmayan paralel makine ve sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi konusunda detaylı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, oluklu mukavva fabrikasında gerçekleştirilen uygulamadan bahsedilmiştir. Öncelikle problemlere, peşinden çözüm süreçlerin ve sonuçları incelenmiştir.

Son bölümde ise, çalışmanın literatüre sağladığı katkılardan ve gelecekte yapılacak olan çalışmalar için önerilerde bulunmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Paralel Makine Çizelgeleme Problemi

Günümüzde paralel makine çizelgeleme problemleri yıllardır endüstrinin ve akademinin dikkatini çekmektedir. Cheng ve diğ. (1990), paralel makine çizelgeleme problemi hakkında literatür çalışması yapmışlardır. Chen ve Powell (1998), yaptıkları çalışmalarında  $n$  tane işi  $m$  tane paralel makinede çizelgeleme problemini dağılım algoritması kullanarak formülasyon elde etmiş ve bu formülasyon ile dal sınır algoritması geliştirilmiştir. Min ve Cheng (1999), paralel makine çizelgeleme problemi çözümü için genetik algoritma kullanmış ve toplam tamamlanma zamanını en küçükmeyi hedeflemişlerdir. Problemin çözümünün iyi sonuç verip vermediğini anlamak için, aynı problem tavlama benzetimi yöntemi ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda genetik algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Gupta ve Ruiz-Torres (2000), inceledikleri özdeş olmayan paralel makine probleminde toplam akış zamanını en küçükmeyi hedeflemişlerdir. Problemin çözümü için sezgisel yöntemlere başvurmuşlardır. Hall ve diğ. (2000) yaptıkları çalışmada, özdeş paralel makine çizelgeleme problemi için polinomial algoritma önermiştir. Yalaoui ve Chu (2002), dal sınır yöntemi kullanarak toplam gecikmeyi en aza indirgeyen paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Mokotoff ve Chretienne (2002), maksimum tamamlanma zamanını en aza indirmeyi hedefleyen çizelgeleme problemini kesme algoritması kullanarak çözmüşlerdir. Alagöz ve Azizoğlu (2002), çalışmalarında dal sınır algoritması geliştirmişler ve doğrusal programlama (LP) modeli önermişlerdir. Sun ve Wang (2003), makalelerinde teslim tarihlerini dikkate alarak  $m$  benzer paralel makineyi incelemiş ve bekleme cezalarını tartışmıştır. Çözüm için dinamik programlama algoritması sunmuşlardır. Dunstall ve Wirth (2004), çalışmalarında dal sınır algoritması önererek paralel makine çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Moukrim ve Quilliot (2004), polinomial zaman algoritması yöntemi ile en kısa uzunlukta sıralama bulmayı hedeflemişlerdir. Gomes ve diğ. (2005), tam sayılı lineer programlama modeli sunarak paralel makine çizelgeleme problemi incelemişlerdir. Tahar ve arkadaşları (2005), lineer programlama

yöntemiyle paralel makine çizelgeleme problemine yeni bir metot önermişlerdir. Nessah ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmalarında makinelerde ki boşta kalma süresini dikkate alarak toplam tamamlanma zamanını en küçükmeye çalışmışlardır. Sonuca ulaşmak için ise sezgisel yöntemlerden dal sınır algoritmasını kullanmışlardır. Eren ve Güner (2006) çalışmalarında amaç fonksiyonları maksimum gecikmeyi ve toplam tamamlanma zamanı en küçükmek olan paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Tam sayılı model geliştirerek çözüme ulaşmışlardır. Shim ve Kim (2006), dal sınır yöntemi ile n tane iş sıralaması için m tane benzer paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Omar ve Teo (2006) makalelerinde paralel makine çizelgeleme problemi için kısıtlar belirlemişlerdir: teslim tarihi, erken teslim tarihi ve proses zamanı. Karma tam sayı programlama ile toplam gecikmeyi en küçükmüşlerdir. Anghinolfi ve Paolucci (2007), paralel makine çizelgeleme probleminde toplam gecikmeyi en aza indirmek için melez meta sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem için tabu arama, komşuluk arama ve tavlama benzetimi gibi yöntemleri bir araya getirmişlerdir. Kashan ve diğ. (2008) çalışmalarında ele aldıkları paralel makinelerin farklı süreleri bulunmaktadır. Bu özelliği dikkate alarak amaç fonksiyonu en son işin tamamlanma zamanı en aza indirmek olan problemi genetik algoritma ile çözüp öneride bulunmuşlardır. Güner ve Toksarı (2009) geç tamamlanmayı en küçükleeyecek matematiksel model kurmuşlardır. Lin ve diğ. (2011), paralel makine çizelgeleme problemi için aç gözlü algoritması kullanarak, en büyük gecikmeyi en küçükmek amaçlayan model kurmuşlardır. Akyol ve Saraç (2012) çizelgeleme problemlerini montaj hattında yapmışlardır. Orada bulunan tek ve paralel makineleri baz alarak matematiksel modeller kurmuşlardır. Elde edilen çizelgeleri kıyaslamışlardır. Yeh ve diğ. (2014) çalışmalarında üretim sürelerini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için ise tavlama benzetimi yöntemi kullanarak, genetik algoritma geliştirmişlerdir.

## **2.2. Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi**

Son yıllarda, özdeş olmayan paralel makine çalışmalarının arttığı görülmektedir. Lawler ve Labetoulle (1978), doğrusal programlama modeli yöntemini kullanarak toplam tamamlanma zamanını en küçükmek hedefleyen özdeş olmayan paralel makine problemini ele almışlardır. Bank ve Werner (2001), çalışmalarında amaç fonksiyonları toplam ağırlıklandırılmış gecikme ve erken başlama cezalarını en aza



indirmek olan özdeş olmayan paralel makine problemi üzerinde durmuşlardır. Çözümüne ulaşmak için ise sezgisel yöntemler kullanmışlardır. Türkcan ve diğ. (2003), CNC makinelerinin oldu işletmede özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini incelemiştir. Makinelerdeki zamanlama problemini ele alarak iki ölçütlü algoritma kullanarak, üretim maliyetlerini ve toplam ağırlıklı gecikmeyi en küçükmeyi amaçlamışlardır. Liaw ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada dal sınır algoritmasını kullanarak özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde durmuşlardır. Koulamas ve Kyparisis (2003), çalışmalarında üniform paralel makineleri ele almışlardır. Sezgisel yöntemler kullanarak tamamlanma zamanı en aza indirmek üzerinde durmuşlardır. Ghirardi ve Potts (2004) makalelerinde Beam Search algoritması kullanarak tamamlanma zamanını en küçükmek istemişlerdir. Silva ve Magalhaes (2006), makalelerinde sezgisel yöntemler kullanarak özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde durmuşlardır. Bunu da karar destek sistemi ile desteklemişlerdir. Gairing ve diğ. (2007), dağılım algoritması geliştirerek özdeş olmayan paralel makine problemi için çizelge geliştirmişlerdir. Rocha ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmalarında talepleri ve vade tarihlerini karşılayacak çizelge elde etmeyi hedeflemiştir. Amaçları ağırlıklı toplam gecikmeleri aza indirmek olan problemi sezgisel yöntemler kullanarak çözümlenmişlerdir. Raja ve diğ. (2009), genetik algoritma ve bulanık mantık yöntemleriyle farklı işlem sürelerine sahip özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemlerini incelemişlerdir. Li ve Yang (2009) paralel ilgisiz makine çalışmalarını model ve algoritmaları ele alarak çözümlenmişlerdir. Chen ve Chen (2009) yaptıkları özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi çalışmalarında ileri sezgisel yöntemler kullanmışlardır. Tran ve Beck (2011), çalışmalarında Benders yaklaşımını önererek özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmanın amacı ise işlerin tamamlanma zamanını en küçükmektir. Alcan ve Başlıgil (2011) makalelerinde özdeş olmayan paralel makine probleminde akış zamanını en küçükmeyi amaçlayan model kurup bunu genetik algoritma ile çözmeye çalışmışlardır. Üçgensel bulanık işlem süreleri kullanarak genetik algoritmaya entegre etmişlerdir. Rodriguez ve arkadaşları (2013) çalışmalarında özdeş olmayan paralel makine problemini aç gözlü algoritma yöntemini kullanarak, toplam ağırlıklı tamamlanma sürelerini en küçükmeyi hedeflemişlerdir. Yang (2013), özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışma yapmıştır. Çalışmanın amaçları bakım sıklığı ve tamamlanma

süreleri en aza indirmek olup sonuca yapay arı koloni algoritması ile ulaşmıştır. Sonuç başka algoritmalar ile karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Yılmaz ve diğ. (2014) yapmış olduğu çalışmada ilgisiz paralel makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Genetik algoritma kullanarak, tamamlanma zamanını küçükmeyi istemiştir. Low ve Wu (2016) çalışmalarında özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çözümüne ulaşmak için tam sayılı bir model önererek, işlerin tamamlanma zamanını en küçükmeyi hedeflemişlerdir. Hulett ve arkadaşları (2017), elektronik üretim tesisinde bulunan toplu ilişkisiz işleme makinelerinin üzerinde çalışmışlardır. Parçacık sürüsü algoritması yöntemi ile toplam ağırlıklı gecikmeyi en küçükmüşlerdir. Villa ve diğ. (2018), ilgisiz paralel makine çizelgeleme problemini sezgisel yöntemler kullanarak çözümlenmişlerdir. Amaçları işlerin maksimum tamamlanma zamanını en aza indirmektir. Gonzalez ve arkadaşları (2019), özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi çalışmalarını, Güney İspanya'da bulunan fabrikanın metal katlama bölümünde gerçekleştirmişlerdir. Meta sezgisel yöntemler kullanarak, toplam gecikmeyi en aza indirmişlerdir. Peyro ve arkadaşları (2019) çalışmalarında özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Karma tam sayı doğrusal programlama yöntemi ile ürün üretim süresini en küçükmüşlerdir. Rezaeian ve diğ. (2020) çalışmalarında bulanık yöntemler kullanarak ilgisiz paralel makine çizelgeleme problemini çözümlenmişlerdir. Hedefleri ise kurulum sürelerini en küçükmektir.

### **2.3. Sıra Bağımlı Özdeş ve Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi**

Sıra bağımlı hazırlık süresi, işin hazırlık süresinin bir önceki çizelgelenen işe göre değişebilme durumudur. Literatürde sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş ve özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Deane ve White (1975) çalışmalarında sıra bağımlı hazırlık süreli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemde  $m$  adet paralel makinede işlem gören  $n$  adet işin çizelgelenmesini araştırmışlardır. Heady ve Zhu (1998) makalelerinde tam sayılı programlama yöntemini kullanarak sıra bağımlı hazırlık zamanlı özdeş paralel makine problemini çözümlenmişlerdir. Hedefleri geç tamamlanma zamanı toplamını en küçükmektir. Kolahan ve arkadaşları (1998), yasaklı arama algoritması yöntemini kullanarak, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin

bulunduğu paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Weng ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada yedi sezgisel yöntemi ile ağırlıklandırılmış ortalama tamamlanma zamanını küçükleyecek sıra bağımlı hazırlık süreli ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Silva ve arkadaşları (2002) çalışmalarında toplam tamamlanma zamanını en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Çözüm için karınca algoritması yöntemini kullanarak sıra bağımlı ve bağımsız paralel makine çizelgeleme problemine çözüm getirmişlerdir. Bilge ve diğ. (2004), tabu arama yöntemini kullanarak sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş paralel makine çizelgelemesi yapmışlardır. Elde edilen sonuçlarda toplam gecikme süresini en küçüklemişlerdir. Lee ve Asllani (2004) yaptıkları çalışmada hazırlık sürelerinin söz konusu olduğu problemi incelemişlerdir. 0-1 karma tam sayılı model kullanarak geciken iş sayısını ve son işin tamamlanma zamanını en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Rabadi ve arkadaşları (2004) çalışmalarında, hazırlık süresinin olduğu paralel makine problemini ortaya koymuşlardır. Amaç fonksiyonu toplam erken ve geç bitirmeyi en aza indirmektir. Dal sınır yöntemi kullanarak problemi çözmüşlerdir. Allahverdi ve diğ. (2008) çalışmalarında sıraya bağımlı hazırlık süreli, partiye bağlı olmayan paralel makine çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Chen (2009) çalışmasında tavlama benzetimi yöntemini kullanarak toplam gecikmeyi en küçükleyecek sıra bağımlı hazırlık süreli ve bağımlı makine özellikli özdeş olmayan paralel makine problemini incelemişlerdir. Jairo ve arkadaşları (2009), sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi için karma tam sayılı matematiksel model önermişlerdir. Driessel ve Moench (2009) çalışmalarında, amaç fonksiyonları toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmeyi hedefleyen sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çözüme ulaşmak için komşu arama algoritması yöntemini kullanmışlardır. Huang ve diğ. (2009), amacı toplam tamamlanma süresini en küçükleme olan sıra bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu paralel makine problemini çalışmalarına konu edinmişlerdir. Tam sayılı programa modelini kullanarak genetik algoritma önermişlerdir. Arnaout ve arkadaşları (2010) makalelerinde amaç fonksiyonu üretim sürelerini en küçükleme olan sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine problemini karınca kolonisi yöntemi ile çözmüşlerdir. Vallada ve Ruiz (2011), sıra bağımlı hazırlık zamanlarını göz önünde bulundurarak özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini ele alarak genetik algoritma sunmuşlardır. Joo ve Kim (2012) çalışmalarında, sıra bağımlı hazırlık süreleri, teslim zamanlarını dikkate

olarak iki meta sezgisel algoritma önermişlerdir. Liao ve arkadaşları (2014), beş melez sezgisel algoritma geliştirerek, tamamlanma zamanını en aza indirecek sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Lin ve Hsieh (2014) toplam ağırlıklı gecikmeyi en küçükleyecek, makine ve sıra bağımlı hazırlık süreli ilgisiz paralel makine problemini çözmüşlerdir. Çözümüne ulaşmak için karışık tam sayılı model oluşturmuşlardır. Herr ve Goel (2016) makalelerinde, kaynak kısıtlamalı ve sıra bağımlı hazırlık zamanlı toplam gecikmeyi en küçükleyen ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini sunmuşlardır. Sarıçiçek (2018) çalışmalarında özdeş olmayan paralel makine problemini sıraya bağımlı hazırlık sürelerini dikkate alarak incelemiştir. Amaçları hazırlık sürelerini en küçüklemek olan problemin çözümü için karar destek sistemine başvurmuştur. Furugi (2021) makalesinde toplam gecikmeyi ve erken teslim sürelerini en küçükleyecek hazırlık sürelerini dikkate alarak özdeş olmayan paralel makine problemini ele almıştır. Çözümüne ulaşmak için ise karma tam sayılı matematiksel model önermiştir.

Literatür çalışmalarında da gözüktüğü üzere, çizelgeleme problemleri için Sezgisel Yöntemler ve Analitik Yöntemler (Matematiksel Programlama Yöntemleri) kullanmışlardır. Çizelgeleme problemleri NP- hard yapıda olması ve optimal çözüme ulaşılması zor olduğu için çözümlere Sezgisel Yöntemler ile gidilmiştir. Sezgisel Algoritmalar: Genetik Algoritma, Tabu Arama, Karınca Koloni Algoritması gibi yöntemleri kullanmışlardır. Analitik yöntemlerden ise lineer programlama, dal-sınır algoritması, dinamik programlama gibi yöntemleri ele almışlardır. Çalışmaların genel amaçları ise toplam ağırlıklı tamamlanma süresi, maksimum gecikme, geciken işlerin sayısı, toplam erken tamamlanma ve gecikme süreleri en aza indirmek olarak seçmişlerdir.

Literatürde incelenen çalışmalar yazar, yayın yılı, amaç fonksiyonu ve çözüm yöntemi başlıkları altında çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Paralel makine çizelgeleme literatür çalışmaları

Yıl	Amaç Fonksiyonu	Çözüm Yöntemi
1978	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Doğrusal Programlama Modeli
1998	Geç Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Tam Sayılı Programlama
1999	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Genetik Algoritma
2000	Toplam Akış Zamanı Minimizasyonu	Sezgisel Yöntemler
2001	Toplam Ağırlıklandırılmış Gecikme ve Erken Başlama Cezaları Minimizasyonu	Sezgisel Yöntemler
2001	Ortalama Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Yedi Sezgisel Yöntemler
2002	Toplam Gecikme Süresi Minimizasyonu	Dal Sınır Yöntemi
2002	Maksimum Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Kesme Algoritması
2002	Verimlilik Minimizasyonu	Dal Sınır Algoritması
2002	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Karınca Algoritması
2003	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Dal Sınır Algoritması
2003	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Sezgisel Yöntemler
2004	En Kısa Uzunlukta Sıralama	Polinomial Zaman Algoritması
2004	Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Beam Search Algoritması
2004	Toplam Gecikme Süresi Minimizasyonu	Tabu Arama Yöntemi
2004	İş Sayısını ve Son İşin Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	0-1 Karma Tamsayı Model
2004	Toplam Erken ve Geç Bitirme Süresi Minimizasyonu	Dal Sınır Yöntemi
2005	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Dal Sınır Algoritması
2006	Maksimum Gecikme ve Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Tam Sayılı Model
2006	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Dal Sınır Algoritması
2006	Toplam Gecikme Süresi Minimizasyonu	Karma Tamsayı Programlama
2006	Paralel Makine Çizelgeleme	Sezgisel Yöntemler- Karar Destek Sistemi
2007	Toplam Gecikme Süresi Minimizasyonu	Meta Sezgisel Yöntemler
2008	Son İşin Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Genetik Algoritma
2008	Ağırlıklı Toplam Gecikme Minimizasyonu	Sezgisel Yöntemler
2009	Geç Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Matematiksel Model
2009	Farklı İşlem Sürelerine Sahip Paralel Makine Çizelgeleme	Genetik Algoritma
2009	Ağırlıklı Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Matematiksel Model
2009	Ağırlıklı Geciken İş Sayısı Minimizasyonu	Sezgisel Yöntemler
2009	Toplam Gecikme Süresi Minimizasyonu	Tavlama Benzetimi Yöntemi
2009	Toplam Ağırlıklı Gecikme Süresi Minimizasyonu	Komşu Arama Algoritması
2009	Toplam Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Tam Sayılı Algoritma-Genetik Algoritma
2010	Üretim Süreleri Minimizasyonu	Karınca Kolonisi Yöntemi
2011	En Büyük Gecikme Minimizasyonu	Aç Gözlü Algoritma
2011	İşlerin Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Benders Yaklaşımı

Çizelge 2.1. Paralel makine çizelgeleme literatür çalışmaları (devamı)

Yıl	Amaç Fonksiyonu	Çözüm Yöntemi
2011	Akış Zamanı Minimizasyonu	Genetik Algoritma
2012	Teslim Zamanı Minimizasyonu	Meta Sezgisel Yöntemler
2013	Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Zamanı	Aç Gözlü Algoritma
2013	Bakım Sıklığı ve Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
2014	Üretim Süreleri Minimizasyonu	Genetik Algoritma
2014	Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Genetik Algoritma
2014	Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Beş Melez Sezgisel Algoritma
2014	Toplam Ağırlıklı Gecikme Süresi Minimizasyonu	Karışık Tam Sayılı Model
2016	İşlerin Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Tam Sayılı Model
2016	Toplam Gecikme Süresi Minimizasyonu	Kaynak Kısıtlı Model
2018	İşlerin Maksimum Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	Sezgisel Yöntemler
2018	Hazırlık Süreleri Minimizasyonu	Karar Destek Sistemi
2019	Ürün Üretim Süresi Minimizasyonu	Karma Tamsayı Programlama
2020	Kurulum Süreleri Minimizasyonu	Bulanık Yöntemler
2021	Toplam Gecikme ve Erken Teslim Süresi Minimizasyonu	Karma Tam Sayılı Model

Literatüre baktığımızda uygulamalı yapılan çalışmaların az olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların bir kısmı çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Uygulamalı literatür çalışmaları

Yazar	Yıl	Amaç Fonksiyonu	Yöntem	Uygulanan Sektör
Türkcan vd.	2003	Toplam Ağırlıklı Gecikme ve Üretim Maliyeti Minimizasyonu	İki Ölçütlü Algoritma	CNC Makine
Akyol ve Saraç	2012	Gecikme ve En Büyük Tamamlanma Zamanı Minimizasyonu	İki Matematiksel Model	Plastik Fabrikası
Hulett vd.	2017	Toplam Ağırlıklı Gecikme Minimizasyonu	Parçacık Sürü Algoritması	Elektrik Üretim Tesisi
Gonzalez vd.	2019	Toplam Gecikme Minimizasyonu	Meta Sezgisel Yöntemler	Metal Katlama

Yapılacak tez çalışması oluklu mukavva üretimi gerçekleştiren fabrikada uygulamalı olarak gerçekleştirilip, literatüre özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi

hakkında örnek bir çalışma olarak sunulmuştur. Çalışma, tesiste bulunan iki adet özdeş olmayan paralel makine üzerinde uygulanmıştır. İşletmeden alınan veriler kullanılarak, işlerin işlem süreleri hesaplanmış ve model oluşturulmuştur. Model Ilog Cplex Optimization programı ile çözümlenerek çizelge elde edilmiştir. Daha sonra özdeş olmayan paralel makine problemine sıra bağımlı hazırlık süreleri eklenerek tekrar çözümlenmiştir. Çözüme ulaşmak için işletmeden alınan veriler ile işler arası hazırlık süreleri hesaplanarak yeni bir model oluşturulmuştur. Model Ilog Cplex Optimization programı ile çözümlenip işletme için uygun çizelge elde edilmiştir.



### 3. PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Rekabetin ve pazarın gelişmesiyle birlikte işletmeler, müşteri taleplerini tam zamanında karşılamak istemektedirler. Bu isteklerini gerçekleştirebilmek için ise ellerinde bulunan stok, makine, işçilik gibi verimliliği artıracak kısıtları göz önünde bulunduracak üretim çizelgeleri oluşturmak zorundadırlar. Etkin üretim çizelgesi elde etmek için işletmenin sahip olduğu üretim ortamının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Üretim ortamlarının türü (makine sayısı), çizelgeleme probleminde hangi yöntemin kullanılacağını belirlemede rol oynamaktadır.

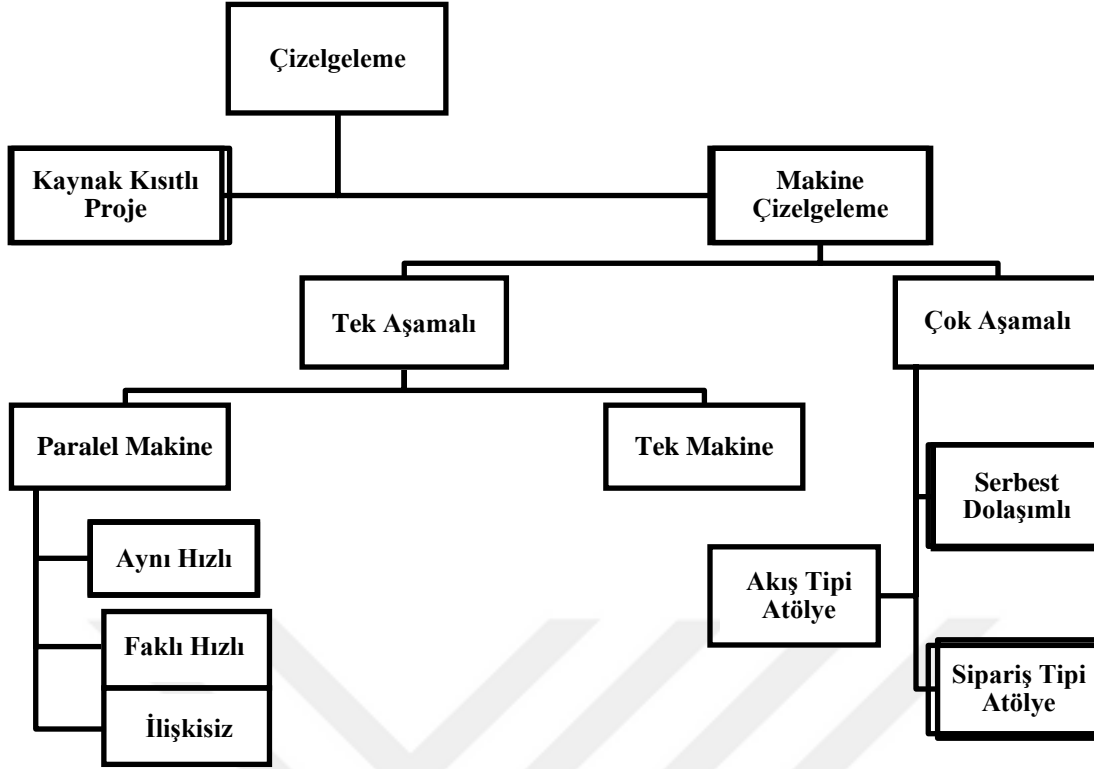
Çizelgeleme hem hizmet hem de üretim sektöründe kullanılan yöntemlerden biridir. Çizelgeleme bir karar verme sürecidir. Üretim sektörlerinde hangi kaynağın, ne zaman, hangi proste ve hangi sırayla üretilmesi gerektiği çizelgeleme ile gerçekleştirilmektedir.

Çizelgeleme problemleri yapısı gereği kabul ve varsayımları şu şekildedir:

1. İşler belirli bir operasyona sahiptir. Bir işin iki işi aynı anda gerçekleştirilemez.
2. Kesinti yoktur: önce başlamış iş bitmeden, diğer işe başlanamaz.
3. İşlerde erteleme yoktur. İş bitene kadar işlenmesi gerekmektedir.
4. Makineler işsiz (boş) kalabilir.
5. Hiçbir makine aynı anda birden fazla iş yapamaz.
6. Makineler bozulmamaktadır ve çizelgeleme boyunca hazır bulunmaktadır.
7. Rasgelelik yoktur: işlerin sayısı, makine sayısı, işlem zamanları, hazırlık süreleri vb. biliniyor ve sabittir (Başlıgil, 1988).

Çizelgeleme problemi kendi içerisinde kaynak kısıtlı proje ve makine çizelgeleme olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Çizelgeleme problemi sınıflandırması Şekil 1'de verilerek açıklanmıştır.





Şekil 3.1. Çizelgeleme problemi sınıflandırması (Tekbaş, 2011)

Makine çizelgeleme problemleri tek ve çok aşamalı olarak ikiye ayrılmaktadır. Tek aşamalı problemlerde her işin tek bir işlemi vardır. Çok aşamalıları ise bir işin yapılması için çok sayıda işlemlerden geçmesi gerekmektedir.

Çok aşamalı makine çizelgeleme problemleri serbest dolaşımli, akış tipi ve sipariş tipi atölye olarak sınıflandırılmaktadır. Serbest dolaşımli makine çizelgeleme problemlerinde ürün üretilirken gerekli olan işlemler arasında öncelik ilişkisi yoktur. Akış tipi atölye problemlerinde,  $n$  adet iş  $m$  adet makinede belirli rota üzerinde işlem görmektedir. Sipariş tipi atölye çizelgeleme problemlerinde ise rota kısıtı bulunmamaktadır.

Tek aşamalı problemler kendi içerisinde tek makine ve paralel makine çizelgeleme olarak ikiye ayrılmaktadır.

Tek makineli problemler, çizelgeleme problemlerinin en basit hali olup, tek işlemden oluşan işlerin gerçekleştirilmesi için birden fazla makinenin bulunduğu ortamlardır.

Paralel makine problemleri, tek makine problemlerine göre daha zor ve karmaşıktır. Bunun sebebi ise, paralel makine problemlerinde her bir makinedeki işlerin birbirleri ile sıralanması, hem de mevcut işlerin birden fazla makineye paylaştırılması gerekmektedir (Biskup ve diğ., 2008).

Paralel makine problemleri, aynı işi yapan  $n$  tane makinenin paralel olarak konumlandırıldığı sistemlerdir. Her iş sadece bir operasyonda işlem görebilir ve paralel olarak sıralanan  $n$  makinenin herhangi birisinde işlem görebilmektedir. Paralel makine çizelgeleme problemleri, makine çeşidine bağlı olarak üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar, özdeş (aynı tipte) paralel makineler, farklı hızlara sahip paralel makineler ve özdeş olmayan/ilişkisiz paralel makinelerdir. Özdeş paralel makineler, aynı hıza sahip ve aynı işi yapan makinelerin olduğu ortamlardır. Makinelerde üretilecek olan işlerin işlem süreleri hepsinde aynıdır. Farklı hızlara sahip paralel makineler ise, işlerin özelliklerine bakılmaksızın makine hızları farklıdır. Özdeş olmayan/ilişkisiz paralel makinelerde, hızları, kapasiteleri ve işlem sayıları farklılık göstermektedir.

### **3.1. Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi**

Teknolojinin gelişmesi ile işletmeler ellerinde bulunan makinelerin daha kapsamlı, verimli üretim yapmasını istemektedirler. Bu sebeple işletmelerde bulunan paralel makineler özellikleri sebebiyle birbirlerinden farklı gözükmektedir. Özdeş olmayan paralel makine ortamları, paralel şekilde sıralanmış  $m$  adet makinenin olduğu ve bu makinelerin hızlarının işlere göre değiştiği ortamlardır. Makinelerin kapasiteleri ve bazı teknik özellikleri birbirlerinden farklıdır. Bu farklılıklar işin hangi makineye atanacağını belirleyen önemli kısıtlardandır.

Son yıllarda özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemlerine ilgi artmaktadır. Özdeş olmayan paralel makineler literatürde gördüğümüz üzere, partiye bağlı hazırlık süreli ve partiye bağlı olmayan hazırlık süreli olarak sınıflandırılmıştır (Allahverdi ve diğ., 1999). Bu sınıflarda kendi içerlerinde sıra bağımsız hazırlık süreli ve sıra bağımlı hazırlık süreli olarak ayrılmışlardır.

Özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemlerinin varsayım ve kabulleri genel olarak çizelgeleme varsayım ve kabulleri ile aynıdır. Farklı olan noktalar ise:

1. Makinelerin hızları farklıdır.
2. Kapasiteleri farklıdır.
3. İşlem süreleri farklıdır.

### **3.2. Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanlı Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi**

Bir işin hazırlık süresinin, kendinden önce gelen işe bağılı olarak değişmesi durumuna sıra bağımlı hazırlık süresi denmektedir. Hazırlık zamanı makinede peşi sıra gelen işlerin özelliklerine göre, işler arası değişimde yapılması gereken ayarlamalardan kaynaklanacağı gibi makinenin bakımı, temizliği gibi sebeplerden de kaynaklanabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda hazırlık süresi işlem zamanına eklendiği gibi bazen de ihmal edilmektedir. Son zamanlarda ele alınan çalışmalarda ise hazırlık zamanlarını, işlem zamanları kadar önemli olduğu düşünülerek ihmal etmemişlerdir. Hazırlık süreleri sıralamadan bağımsız olabileceği gibi sıraya bağılıda olabilmektedir.

Sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine problemlerinin varsayım ve kabullerindeki farklı durum ise: Makinelerin işler arası hazırlık süreleri birbirlerinden farklıdır. Bu durum dışındaki özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme varsayım ve kabulleri bu kısımda da geçerli olmaktadır.

## 4. OLUKLU MUKAVVA FABRİKASINDA ÖZDEŞ OLMAYAN PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ UYGULAMASI

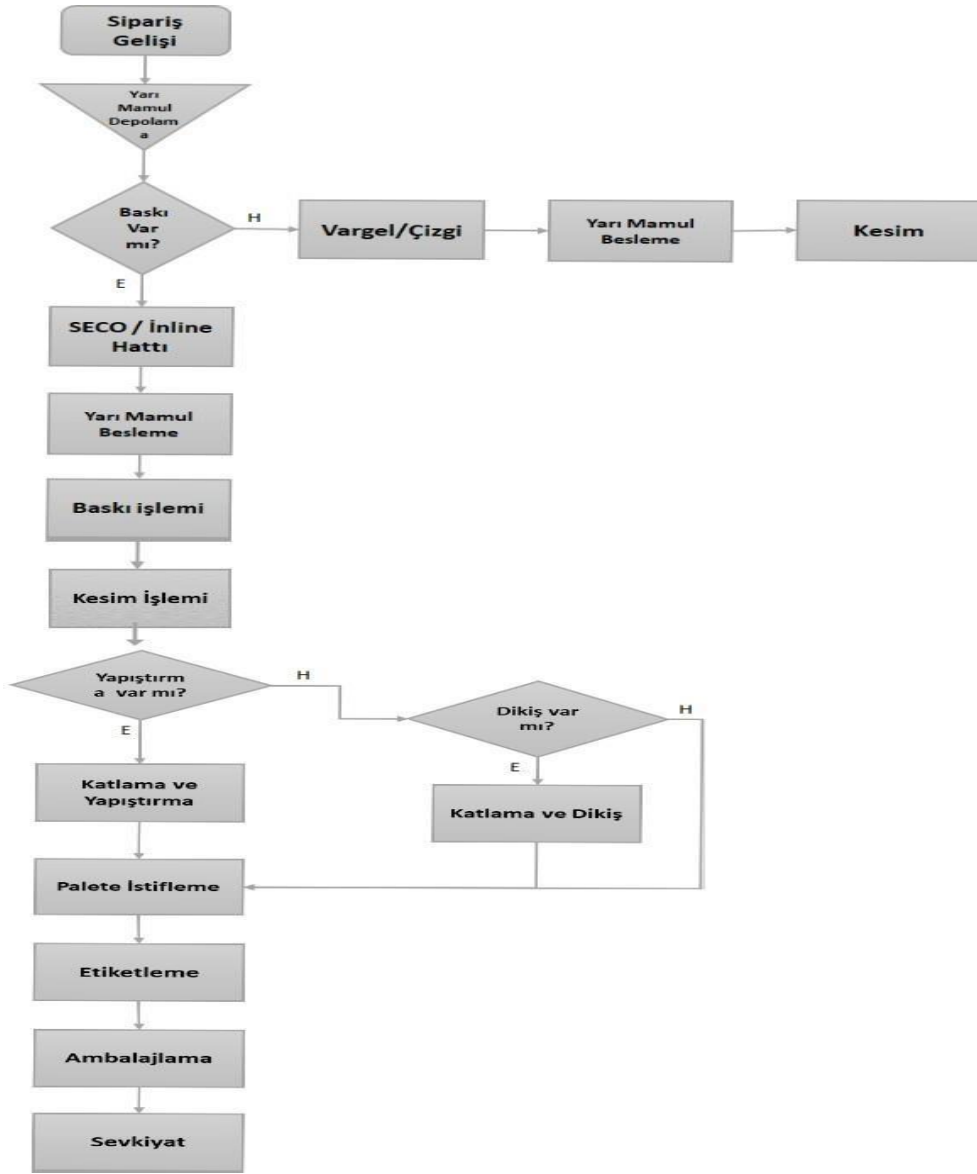
Bu bölümde oluklu mukavva üretimi yapan işletme hakkında bilgiler verilmiş olup, mevcut problemlerin çözümü için matematiksel modeller geliştirilmiş ve sonuçlar alınmıştır. Önerilen model ile işlerin, hangi sıra ile hangi makinede üretileceği belirlenmektedir.

Türkiye’de oluklu mukavva sektörü her yıl Türkiye Gayri Safi Milli Hasılasının %50’si fazlalığında büyümeye devam etmektedir. Dünya oluklu mukavva üretimi dağılım tablolarına baktığımızda ise Türkiye oluklu mukavva üretiminde 6. sırada yer aldığı gözlenmiştir. Oluklu mukavva koli üretiminde kullanılan hammaddenin kâğıt olması ve bunun geri dönüşüme açık olması talebi artıran sebeplerden olmuştur. Türkiye’de üretilen oluklu mukavvaların hammaddelerinin %70’i geri dönüşümden elde edilen kağıtlardan, %30’u ise ithal edilen kağıtlardan elde edilmektedir. Özel sektörde 1960 yılı sonrası oluklu mukavva koli üretimine ilgi artmıştır. Bugün 100’den fazla özel sektör kuruluşuna ait fabrikalar illerimizde faaliyet göstermektedir.

Tez çalışması, 2013 yılında Ankara Başkent OSB’sinde bulunan 4000 m<sup>2</sup>’lik kapalı alanda kurulu olan, oluklu mukavva üretimi yapan fabrikada gerçekleştirilmiştir. Fabrika kuruluş tarihinden bu yana, gıda sektörü, ilaç sanayisi, hava savunma sanayisi, otomotiv sektörü ve tekstil sektörü olmak üzere birçok sektöre hizmet vermektedir. İşletme tek vardiya olarak, haftanın 6 günü 10 saat çalışma düzeninde üretim yapmaktadır. Gerekli gördüğü durumlarda ek mesai yapmaktadır. Üretim talebe göre yapılmaktadır ve süreç şu şekilde gerçekleşmektedir: satış ekibi müşterilerden gelen siparişi planlama bölümüne iletir. Planlama ekibi gelen siparişi adet, ürün özellikleri, hammadde vb. durumlarını kontrol ederek siparişi sıraya alır ve üretim iş emrini oluşturur. İş emri üretime ERP programı ile iletilir. Makine operatörü üretime başlar ve üretimi biten ürünler stoklanarak sevkiyat alanına taşınır.

Termin tarihini geçmeden ürünler sevk edilir.

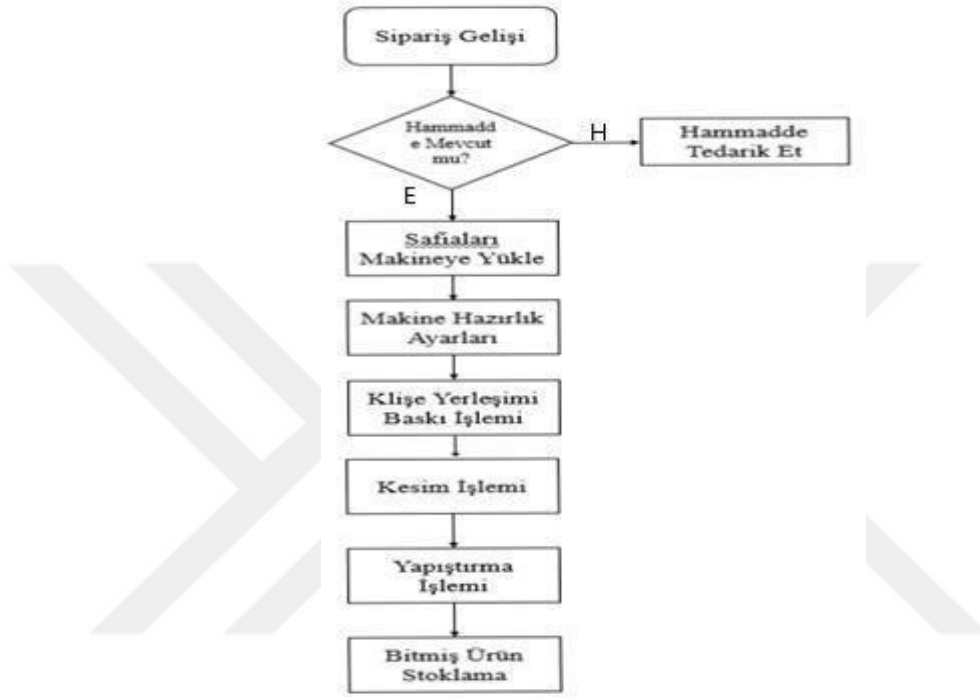
İşletmenin genel iş akış şeması şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. İş akış şeması

Oluklu mukavva üretiminde kullanılan hammadde safia olarak adlandırılmaktadır. Safialar kendi içerisinde sahip oldukları dalga çeşidine göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar B, C, E, BC ve EB dalga şeklindedir. Safiaların işlemlerden (baskı, kesim, yapıştırma) geçmesi ile oluklu kutular elde edilmektedir. Fabrika bünyesinde iki adet slotter-inline hattı bulundurmaktadır. Makinelerde bulunan iş akışı şöyledir: operatör ilgili siparişin özelliklerine uygun safiaları makineye yükler. Bu esnada makinenin dalga boyu ve baskı rengi ayarı yapılır. Baskı izi için gerekli olan klişe makineye

yerleştirilir ve baskı işlemi başlar. Baskı işleminin ardından ürünler kesim bölümüne geçerek istenilen ölçülerde kesilir. Kesimin bitmesinin ardından yapıştırma bölümüne geçerek yapıştırma işlemi yapılır. Makinenin en son kısmında üretimi bitmiş olan oluklu mukavva kolileri istiflenir. Makinelerin genel iş akışı şeması şekil 4.2’de ki gibidir.



Şekil 4.2. Makine1 ve Makine 2'nin iş akış şeması

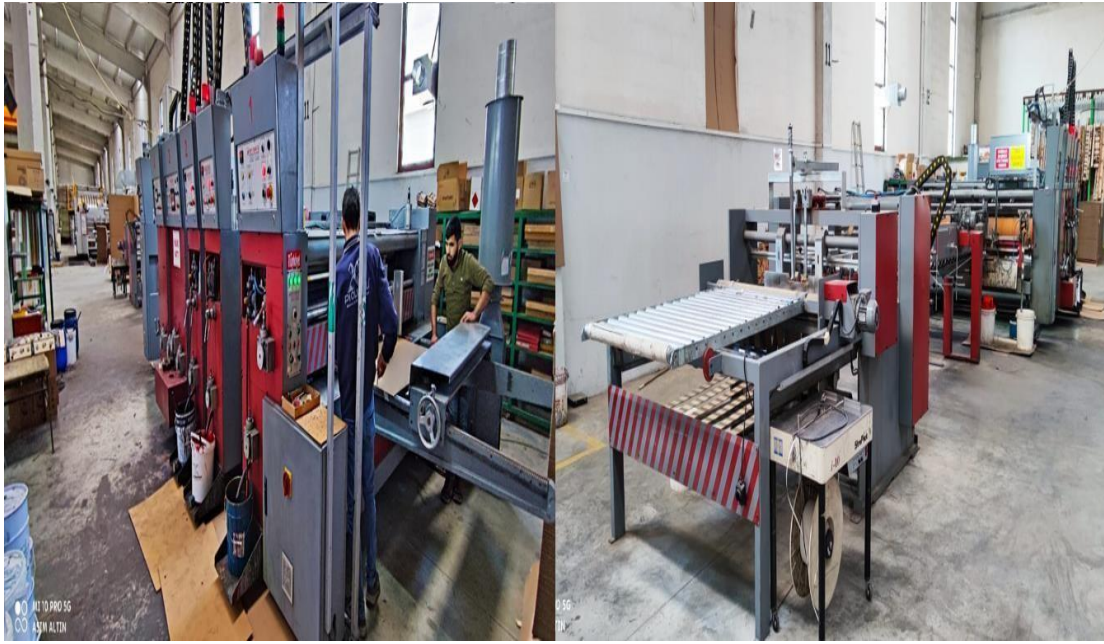
İki makine birbirleri ile özdeş olmamasına rağmen, aynı operasyonlarda kullanılabilirler. Makineler arası farklılıklar ise, hazırlık süreleri, üretim hızları, kapasiteleri ve bazı teknik (boya haznesi, bıçak ölçüsü) özelliklerdir. Planlama ekibi üretim yapılacağı zaman makine yoğunluğunu da göz önünde bulundurarak, gelen siparişin adetine, boyutuna ve kaç renk baskısı olduğuna bakmakta ve işleri uygun makinelerde üretime almaktadır.

Bu tez kapsamında özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. İşletmede iki adet özdeş olmayan paralel makine bulunmaktadır. Ele alınan problemler için matematiksel modeller oluşturulmuş ve işletmeden alınan ürün ve sipariş bilgileri kullanılarak, haftalık üretim çizelgesi, ILOG Cplex Optimization programı ile elde edilmiştir. Önerilen modelde, en büyük tamamlanma zamanını ( $C_{max}$ ) en aza indirmek amaçlanmıştır.

## 4.1. Problem 1: Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Çözümü

### 4.1.1. Problemin Tanımı

Bu problemde özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi hazırlık sürelerinin işlem sürelerine dahil edildiği varsayılarak, en büyük tamamlanma zamanının ( $C_{max}$ ) en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümünde kullanılmak için makineler, makine 1 ve makine 2 olarak adlandırılmıştır. Makine 1 ve makine 2'nin resimleri ve özellikleri aşağıda verilmiştir.



Resim 4.1. Makine 1

Makine 1 ürün ölçülerine bağlı olarak saatte 2000 – 2500 adet ürün üretmektedir. Makinenin mevcut operasyonu baskı, kesim ve yapıştırma şeklindedir. Makinenin maksimum üretebileceği safia boyutu 2700 cm'dir. Makine de üç adet renk haznesi bulunmaktadır. Siparişler geldiğinde ölçü ve renk kısıtları dikkate alınarak hangi makinede üretime alınması gerektiği kararı verilmektedir.



Resim 4.2. Makine 2

Makine 2 ise ürün ölçülerine bağlı olarak saatte 5000 – 6000 adet kutu üretmektedir. Makine 2’de, makine 1’in iş akışına sahiptir. Makine 2’nin üretebileceği maksimum safia boyutu ise 2400 cm olup, makinede dört adet renk haznesi mevcuttur. Her iki makinenin özellikleri dikkate alındığında, gelen siparişlerin ölçüleri 2400 cm ve üzeri olması durumunda siparişler makine 1’de, istenilen baskı rengi adedi üç rengin üzerinde ise de bu işler makine 2’de üretime alınmaktadır.

Makine 1 ve makine 2’nin özelliklerinin bulunduğu özet çizelge aşağıda verilmiştir.



Çizelge 4.1. Makine özellikleri

	Kesim	Baskı	Yapıştırma	Saatlik Üretim Miktarı (adet/saat)	Max Üreteceği Safya Boyu (mm)	Renk Haznesi Adet
<b>Makine 1</b>	Var	Var	Var	2000- 2500	2700	3
<b>Makine 2</b>	Var	Var	Var	5000- 6000	2400	4

#### 4.1.2. Problemin Verileri

Kuruluş haftanın 6 günü 10 saat üretim faaliyetlerine devam etmektedir. Pazar günleri ise çalışmamaktadır. Problemin çözümü için fabrikadan, 112 adet sipariş ve ürün bilgileri (ürün ölçüsü, baskı renk adedi) alınmıştır. Bu siparişlerin makinelerde gerçekleşen işlem süreleri hesaplanmıştır. İşletme çalışma saati ve işlem süreleri ile iki haftalık üretim çizelgesi elde etmek için kullanılan veriler çizelge 4.2. ve 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hafta 1 ürün ve sipariş bilgisi

Sipariş No	En (cm)	Boy (cm)	Sip. Mik.	1. Makine İşlem Süresi (dk)	2. Makine İşlem Süresi (dk)	Renk Sayısı
1	650	820	30000	950	390	0
2	790	1200	1080	0	40.8	4
3	826	2210	1000	76.7	40.9	0
4	2460	1200	1000	76.7	0	0
5	470	1400	1400	92	46.8	2
6	470	1415	350	60.5	34.2	2
7	850	2070	400	59.6	34	0
8	660	1510	1010	0	40.1	4
9	460	1270	2000	110	54	0
10	900	2730	420	62.6	0	1
11	421	1190	5000	200	90	1
12	436	1250	1120	83.6	43.4	1
13	476	1130	1120	83.6	43.4	1
14	451	1100	1250	87.5	45	1
15	495	1450	1410	92.3	46.9	1
16	428	557	350	60.5	34.2	0
17	350	300	15400	512	214.8	0
18	1016	2350	5500	196.7	90	1
19	950	1360	480	62.8	35.2	0
20	700	1430	3000	0	60	4

Çizelge 4.2. Hafta 1 ürün ve sipariş bilgisi (devamı)

21	1658	895	5000	170	80	1
22	924	1268	13750	380	167.5	1
23	642	936	95650	2919.5	1177.8	1
24	720	1095	63000	1940	786	0
25	1428	810	16800	453.2	198	0
26	560	895	16800	453.2	231.6	0
27	1658	895	15300	417.2	183	1
28	630	891	15300	509	213.6	1
29	630	891	10000	509	213.6	0

Çizelge 4.3. Hafta 2 ürün ve sipariş bilgisi

Sipariş No	En (cm)	Boy (cm)	Sip. Mik.	1. Makine İşlem Süresi (dk)	2. Makine İşlem Süresi (dk)	Renk Sayısı
1	630	891	1000	509	213.6	1
2	553	1690	3000	122	60	1
3	475	1450	2000	110	54	0
4	530	1390	2850	135.5	64.2	2
5	466	1310	3000	140	66	2
6	536	1450	1500	95	48	0
7	576	1430	1250	87.5	45	2
8	800	2030	1500	90	46.4	0
9	850	1005	20000	530	230	1
10	456	1434	5000	200	90	1
11	1005	964	4000	170	78	2
12	1005	964	4000	170	78	2
13	1005	964	5000	200	90	2
14	400	1940	20000	0	230	4
15	522	1456	20000	0	270	4
16	476	1654	20000	530	230	3
17	480	1130	2500	125	60	0
18	720	1100	3000	140	66	0
19	445	2060	7000	218	100	0
20	405	2060	3000	122	60	0
21	890	644	500	65	36	3
22	934	644	1000	80	42	3
23	1024	700	500	65	36	3
24	1123	704	500	65	36	3
25	1213	704	500	65	36	3
26	1198	754	300	59	33.6	3
27	1313	754	3000	140	66	3

Çizelge 4.1. Hafta 2 ürün ve sipariş bilgisi (devamı)

28	1383	754	1000	0	42	4
29	1532	771	300	57.2	33	3
30	1663	754	500	62	35	3
31	480	1130	3500	155	72	0
32	720	1100	3000	122	60	0
33	635	550	20000	530	230	2
34	620	845	20000	530	230	2
35	1000	2630	3000	130	0	0
36	450	750	8000	290	126	0
37	1026	1890	520	63.9	35.7	1
38	1235	1750	500	63.3	35.5	2
39	680	1350	2000	98	50	2
40	924	1268	3000	122	60	1
41	642	936	20000	650	270	1
42	560	895	3000	140	66	1
43	1428	810	3000	122	60	1
44	440	1045	2200	116	56.4	1
45	790	1250	10000	350	150	2
46	510	1280	10000	350	150	2
47	490	990	1700	101	50.4	0
48	426	1260	2000	110	54	1
49	426	1260	1500	95	48	1
50	924	1268	3000	140	66	1
51	642	936	20000	650	270	1
52	720	1095	20000	650	270	1

İşletmeden alınan haftalık çizelgelere baktığımızda, hafta 1 çizelgesinde 2, 8 ve 20 numaralı, hafta 2 çizelgesinde ise 14, 15 ve 28 numaralı siparişlerin baskı renginin dört renk olduğu ve bu siparişlerin makine 2’de üretime alınması gerektiğini görmekteyiz. Aynı şekilde hafta 1 siparişlerinden 4 ve 10 numaralı, hafta 2 siparişlerinden ise 35 numaralı siparişinin ölçülerinin makine 2’ye uygun olmadığı, makine 1’de sıraya alınması gerektiği görülmektedir.

#### 4.1.3. Problem için Matematiksel Modeli Kurulması

Bu bölümde, önerilen matematiksel model detaylı bir şekilde açıklanıp, çözümü ILOG Cplex Optimization programı ile elde edilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, en büyük tamamlanma zamanını ( $C_{max}$ ) en küçükmektir.

Aşağıda problemin sistem özellikleri, varsayımları ve modelin parametreleri ve karar değişkenleri verilmiştir.

Sistem özellikleri;

- Makinelerin sayısı biliniyor, 2 adet makine mevcut.

- Makine hazırlık süreleri farklıdır, biliniyor.
- Makine hızları birbirinden farklıdır, biliniyor.
- Kapasiteleri farklıdır, biliniyor.
- İşlem süreleri farklıdır, biliniyor.
- Boya hazneleri sayısı farklıdır, biliniyor.
- Sıradaki işin başlaması için, ondan önceki işin mutlaka bitmesi gerekmektedir.

Varsayımlar;

- Makineler çizelgeleme başlamadan önce boş olduğu kabul ediliyor
- Her iş belirli operasyonlardan oluşmuştur. Aynı işin iki işlemi aynı anda işlenemez.
- Kesinti yoktur. Operasyon başladığı makinede bitecektir.
- Tüm işlerin işlem süreleri ve hazırlık süreleri belirlidir.
- Hazırlık süreleri işlem süresine dahil edilmiştir.
- Erteleme yoktur. Her iş tamamlanıncaya kadar işlenecektir.
- Makineler işsiz (boş) olabilir.
- Hiçbir makine birden fazla iş yapamaz.
- Makineler bozulmamaktadır.
- İş tarifleri önceden bilinmektedir.

Parametreler:

n iş sayısı	$j=1,2,\dots,n.$
m makine sayısı	$i=1,2.$
s sıra sayısı	$k=1,2,\dots,s$
$p_{ji}$ işinin i. makinede işlem süresi	$i=1,2 \quad j=1,2,\dots,n$

Karar değişkenleri:

$$x_{jik} = \begin{cases} 1 & \text{j. iş i. makinede k. sıraya atanırsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad j=1,2,\dots,n \quad i=1,2 \quad k=1,2,\dots,s$$

$c_{ki}$  i. makinede k. sıradaki işin tamamlanma zamanı  $k=1,2,\dots,s \quad i=1,2$  Bu

tanımlara göre önerilen model şöyledir:

### Amaç fonksiyonu

$$\min C_{max} \quad (4.1)$$

### Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n x_{jik} \leq 1 \quad k=1, \dots, s \quad i=1,2 \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n x_{jik} = 1 \quad j=1, \dots, n \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jik} \geq \sum_{j=1}^n x_{ji,k+1} \quad k=1, \dots, s \quad i=1,2 \quad (4.4)$$

$$c_{ki} = c_{(k-1),i} + \sum_{j=1}^n x_{jik} * p_{ji} \quad k=2, \dots, s \quad i=1,2 \quad (4.5)$$

$$c_{1i} \geq \sum_{j=1}^n x_{jik} * p_{ji} \quad k=1, \dots, s \quad (4.6)$$

$$c_{ki} \leq C_{max} \quad k=1, \dots, s \quad i=1,2 \quad (4.7)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{2,1,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.8)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{8,1,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.9)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{20,1,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.10)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{14,1,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.11)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{15,1,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.12)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{28,1,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.13)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{4,2,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.14)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{10,2,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.15)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{35,2,k} = 0 \quad j=1, \dots, n \quad i=1,2 \quad (4.16)$$

Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu (4.1) en büyük tamamlanma zamanını en küçüklemeyi hedeflemektedir. Kısıt (4.2) her sıraya sadece bir işin atanması gerektiğini göstermektedir. Her işin sadece bir sıraya atanması ise (4.3) numaralı kısıtla sağlanmaktadır. Siparişlerin peşi sıra sıralanması (4.4) kısıtı ile gerçekleşmektedir. Kısıt (4.5) i. makineye k. sırada atanan işlerin tamamlanma

zamanını hesaplamaktadır. İlk işin tamamlanma zamanı ise kısıt (4.6) ile hesaplanmaktadır. En büyük tamamlanma zamanı ise (4.7) numaralı kısıt bulmaktadır. (4.8)'den (4.10) e kadar olan kısıtlar hafta 1 siparişlerinden, (4.11)'den (4.13)'e kadar olan kısıtlar ise hafta 2 siparişlerinden, 3 renk üzeri baskı istenilen siparişlerin makine 2'de sıraya alınmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde (4.14) ve (4.15) numaralı kısıtlar hafta 1'in, (4.16) numaralı kısıt ise hafta 2'nin ürün ölçüleri makine 2'ye uygun olmayan siparişleri makine 1'de işleme almaktadır.

#### 4.1.4. Problemin Model Sonuçları

Problem çözümleri için “Intel(R) Core (TM) i7-7700HQ CPU@2.80 GHz” işlemcisi, 16 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. Model sonucunu çözmek için ise ILOG Cplex optimization programı kullanılmış olup zaman sınırlı olarak iki saat çalıştırılmıştır. Elde edilen iki haftalık üretim çizelgeleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hafta 1 üretim çizelgesi

Makinelere Atanan İşler					
Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 2
1	7	11	21	1	15
2	6	12	22	2	2
3	11	13	12	3	8
4	4	14	14	4	28
5	27	15	16	5	24
6	19	16	10	6	17
7	26	17	3	7	29
8	18	18	9	8	23
9	25	19	5	9	1
10	13	20		10	20

Model çözümü sonucunda birinci haftanın en büyük tamamlanma zamanı ( $C_{max}$ ) 3186 olarak bulunmuştur. Bu sonuç optimal sonuçtur. Model önerilirken, makine özelliklerine (baskı rengi ve ölçü) bağlı olarak oluşturulan kısıtların gerçekleştiği görülmüştür. Siparişlerden baskı rengi üç renk üzeri olan siparişler (2, 8, 20) makine 2'de, aynı şekilde ölçüleri makine 2'ye uygun olmayan siparişler (4 ve 10) makine 1'de sıraya alınmıştır.

Çizelge 4.5. Hafta 2 üretim çizelgesi

Makinelere Atanan İşler					
Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 2
1	23	21	38	1	51
2	4	22	43	2	28
3	18	23	47	3	31
4	42	24	19	4	13
5	27	25	50	5	41
6	8	26	25	6	39
7	48	27	7	7	15
8	40	28	20	8	10
9	24	29	5	9	33
10	29	30	49	10	52
11	6	31	44	11	9
12	32	32	26	12	11
13	21			13	46
14	2			14	1
15	30			15	16
16	35			16	34
17	22			17	14
18	17			18	36
19	3			19	45
20	37			20	12

Elde edilen ikinci hafta çizelgesinde modelde belirtilen kısıtların sağlandığını görmekteyiz. Siparişlerden 14, 15 ve 28 numaralı siparişin baskı renginin üç renk üzeri olması sebebiyle makine 2’de, 35. siparişin ise ölçülerinden dolayı makine 1’de sıraya alınmıştır. Modelin  $C_{max}$  değeri ise 3369 olarak bulunmuştur. Bu sonuç ILOG Cplex programının zaman kısıtlı olarak iki saat çalışması sonucunda bulunmuştur.

## 4.2. Problem 2: Sıra Bağlı Hazırlık Süreli Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Çözümü

### 4.2.1. Problemin Tanımı

Problem 2’de özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi, sıra bağımlı hazırlık süreleri de dahil edilerek, en büyük tamamlanma zamanı ( $C_{max}$ ) en küçükleme hedeflenmiştir. Problem 1’de belirtilen renk haznesi ve ölçü kısıtları problemin bu kısmında da aynı olmaktadır. Kuruluş haftanın 6 günü 10 saat çalışmaktadır. Makine kapasiteleri dikkate alınarak, işletmenin haftalık 3600 dakika çalıştığı varsayılmıştır. Üretim çizelgesi oluşturulurken işler bu süreye göre haftalık olarak gruplandırılmıştır.

Makinelere hazırlık süreleri etkileyen unsurlar, ürün dalga boyu değişimi, baskı

rengi değişiminde boya haznesinin yıkanma süresi ve standart kutu (A Box) ve Özel kesim kutu değişimlerinde bıçak değişim süresi olarak belirlenmiştir. Belirtilen hazırlık süreleri ile birlikte yeni model kurularak haftalık üretim çizelgesi elde edilmiştir.

Ürünlerde bulunan dalgaların boylarının farklı olması sebebiyle ürün geçişlerinde makinenin hazırlanması gerekmektedir. Dalga çeşitleri kendi aralarında beş çeşide ayrılmaktadır. Bunlar, BC, C, B, EB ve E dalgadır.



Resim 4. 3. Dalga çeşitleri

Resimde de görüldüğü üzere dalga boyları ölçüleri birbirlerinden farklıdır. Dalga boylarının ölçüleri çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Dalga boyu ölçüleri

Dalga Çeşidi	Kalınlık Ölçüsü(mm)
BC	6
EB	4.2
C	3.5
B	2.3
E	1.5

Üretim esnasında gelen siparişte istenilen ürün dalga çeşidine göre makine 1 ve makine 2'de ürün geçişleri arası hazırlık yapılmaktadır. Makine 1'de bu ayar manuel



olarak yapılırken, makine 2’de otomatik olarak yapılmaktadır. Bu hazırlıklar için gereken dalga geçişleri arası hazırlık süreleri, çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Dalga geçişleri arası hazırlık süresi

Makine 1	Dalga Geçişleri Arası Hazırlık Süreleri (dakika)				
	BC	EB	C	B	E
BC	0	15	20	23	27
EB	15	0	12	20	25
C	20	12	0	17	23
B	23	20	17	0	10
E	27	25	23	10	0
Makine 2	Dalga Geçişleri Arası Hazırlık Süreleri (dakika)				
	BC	EB	C	B	E
BC	0	10	10	10	10
EB	10	0	10	10	10
C	10	10	0	10	10
B	10	10	10	0	10
E	10	10	10	10	0

Makinelerde gerçekleştirilen bir diğer hazırlık ise baskı rengi geçişleri arası boya haznesi yıkama süreleridir. Baskı rengi, siyah (koyu), ara renk (karışık) ve beyaz (açık) renk olarak üç kısımda ele alınmıştır. Her iki makinede de hazne yıkama süreleri aynıdır. Bu süreler çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Boya haznesi yıkama süreleri

Makine 1-2	Boya Haznesi Yıkama Süreleri (dakika)		
	Siyah	Ara Renk	Beyaz
Siyah	0	7	15
Ara Renk	5	0	10
Beyaz	4	8	0

Son olarak bir diğer hazırlık süresi ise bıçak değişimi esnasında gerçekleşmektedir. İşletmeye gelen siparişlerde kutu çeşitleri özel kesim kutu ve standart (A Box) kutu olarak sınıflandırılmıştır.



Resim 4. 4. Özel kesim kutu (örnek)

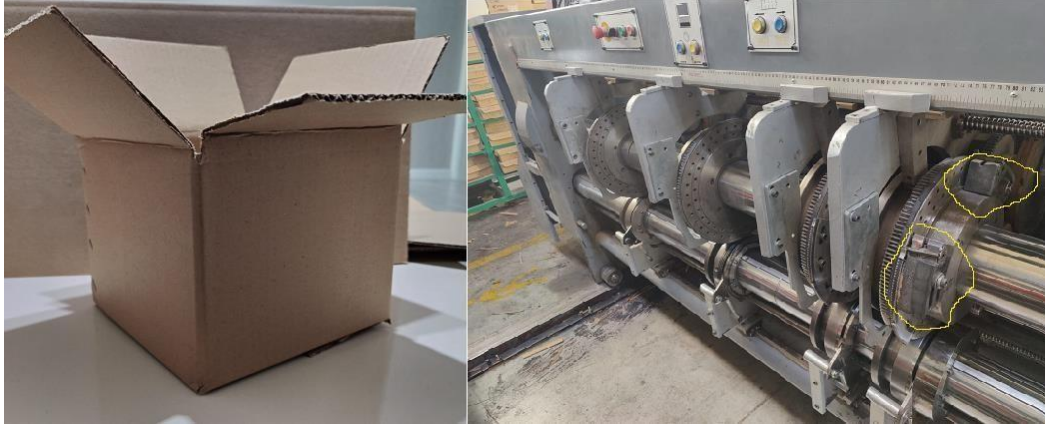
Resim 4.4’de özel kesim kutu örneği verilmiştir. Bu kutuları elde etmek için işletme her özel kutu için özel rotary bıçakları yaptırmaktadır. Bu bıçaklar makineye birçok noktadan manuel olarak vidalanarak tutturulmaktadır. Bu bıçakların kutuya özel olarak yapılması sebebiyle sıradaki sipariş işleme alındığında bıçağın değişmesi gerekmektedir. Bu değişim ise yaklaşık olarak otuz dakika sürmektedir. İşletmeden alınan özel kesim bıçağı örneği resmi 4.5’te gösterilmiştir.



Resim 4.5. Özel kutu kesim bıçağı (örnek)

Standart (A Box) kutu üretimlerinde ise bucaklar sabit olup makineye takılmaktadır. İstenilen ürünün ölçüsü değişikçe makinede manuel olarak genişletme, daraltma ve yükseltme hareketleri yaparak kutunun kesim ölçüsü ayarlanmaktadır. Peşi sıra gelen işlerden ikisinin Standart kutu olması durumunda sadece ölçü ayarı yapılmaktadır. Bu işlem yaklaşık olarak on dakika sürmektedir. Standart kutu üretilirken sıradaki işin özel kesim olması durumunda kalıp değişmesi gerektiği için bu işlem otuz

dakika sürecektir. Örnek standart (A Box) kutu ve bıçağı (sarı ile çizilmiş kısım) resim 4.6’da verilmiştir.



Resim 4. 6. Standart (A Box) kutu ve bıçağı (örnek)

Yukarda bahsedilen kutuların bıçak değişimleri ile ilgili hazırlık süreleri özet çizelgesi 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Bıçak değişim süreleri

Makine 1-2	Bıçak Değişim Süreleri (dakika)	
	Özel Kesim Kutu	A Box Kutu
A Box Kutu	30	10
Özel Kesim Kutu	30	30

#### 4.2.2. Problem Verileri

Uygulama çözümü için problem 1’de ki verilere ek olarak baskı rengi, dalga çeşidi ve kutu cinsi (standart/özel kesim) bilgileri işletmeden alınmış ve siparişler haftalık çalışma saatine göre gruplandırılmıştır.

Çizelge 4.10. Hafta 1 sipariş-ürün bilgileri

Sipariş No	En (cm)	Boy (cm)	Sip. Mik.	1. Makine İşlem Süresi (dk)	2. Makine İşlem Süresi (dk)	Renk Sayısı	Dalga Çeşidi	Baskı Rengi	Koli Tipi
1	650	820	30000	900	360	0	C	RENKSİZ	KESİMLİ
2	790	1200	1080	0	10.8	4	EB	SİYAH	A BOX
3	826	2210	1000	26.7	10.9	0	BC	RENKSİZ	A BOX
4	2460	1200	1000	26.7	0	0	C	RENKSİZ	A BOX
5	470	1400	1400	42	16.8	2	BC	ARA RENK	A BOX
6	470	1415	350	10.5	4.2	2	BC	ARA RENK	A BOX
7	850	2070	400	9.6	4	0	BC	RENKSİZ	A BOX

Çizelge 4.10. Hafta 1 sipariş-ürün bilgileri (devamı)

8	660	1510	1010	0	10.1	4	C	ARA RENK	A BOX
9	460	1270	2000	60	24	0	BC	RENKSİZ	A BOX
10	900	2730	420	12.6	0	1	BC	BEYAZ	A BOX
11	421	1190	5000	150	60	1	C	BEYAZ	A BOX
12	436	1250	1120	33.6	13.4	1	C	BEYAZ	A BOX
13	476	1130	1120	33.6	13.4	1	C	SİYAH	A BOX
14	451	1100	1250	37.5	15	1	C	SİYAH	A BOX
15	495	1450	1410	42.3	16.9	1	EB	ARA RENK	A BOX
16	428	557	350	10.5	4.2	0	C	RENKSİZ	KESİMLİ
17	350	300	15400	462	184.8	0	B	RENKSİZ	KESİMLİ
18	1016	2350	5500	146.7	60	1	BC	BEYAZ	A BOX
19	950	1360	480	12.8	5.2	0	C	RENKSİZ	A BOX
20	700	1430	3000	0	30	4	BC	ARA RENK	A BOX
21	1658	895	5000	120	50	1	B	ARA RENK	KESİMLİ
22	924	1268	13750	330	137.5	1	E	SİYAH	KESİMLİ
23	642	936	95650	2869.5	1147.8	1	E	SİYAH	KESİMLİ
24	720	1095	63000	1890	756	0	E	RENKSİZ	KESİMLİ
25	1428	810	16800	403.2	168	0	B	RENKSİZ	KESİMLİ
26	560	895	16800	403.2	201.6	0	B	RENKSİZ	KESİMLİ
27	1658	895	15300	367.2	153	1	B	BEYAZ	KESİMLİ
28	630	891	15300	459	183.6	1	B	BEYAZ	KESİMLİ
29	630	891	10000	459	183.6	0	B	BEYAZ	KESİMLİ

Çizelge 4.11. Hafta 2 sipariş-ürün bilgileri

Sipariş No	En (cm)	Boy (cm)	Sip. Mik.	1. Makine İşlem Süresi (dk)	2. Makine İşlem Süresi (dk)	Renk Sayısı	Dalga Çeşidi	Baskı Rengi	Koli Tipi
1	630	891	1000	459	183.6	1	B	BEYAZ	KESİMLİ
2	553	1690	3000	72	30	1	B	ARA RENK	A BOX
3	475	1450	2000	60	24	0	EB	RENKSİZ	A BOX
4	530	1390	2850	85.5	34.2	2	EB	SİYAH	A BOX
5	466	1310	3000	90	36	2	EB	SİYAH	A BOX
6	536	1450	1500	45	18	0	EB	RENKSİZ	A BOX
7	576	1430	1250	37.5	15	2	BC	BEYAZ	A BOX
8	800	2030	1500	40	16.4	0	BC	RENKSİZ	A BOX
9	850	1005	20000	480	200	1	E	BEYAZ	KESİMLİ
10	456	1434	5000	150	60	1	BC	BEYAZ	A BOX
11	1005	964	4000	120	48	2	EB	ARA RENK	KESİMLİ
12	1005	964	4000	120	48	2	EB	ARA RENK	KESİMLİ
13	1005	964	5000	150	60	2	EB	ARA RENK	KESİMLİ
14	400	1940	20000	0	200	4	BC	SİYAH	A BOX

Çizelge 4.11. Hafta 2 sipariş-ürün bilgileri (devamı)

15	522	1456	20000	0	240	4	BC	SİYAH	A BOX
16	476	1654	20000	480	200	3	BC	SİYAH	A BOX
17	480	1130	2500	75	30	0	C	RENKSİZ	KESİMLİ
18	720	1100	3000	90	36	0	BC	RENKSİZ	KESİMLİ
19	445	2060	7000	168	70	0	EB	RENKSİZ	A BOX
20	405	2060	3000	72	30	0	EB	RENKSİZ	A BOX
21	890	644	500	15	6	3	C	SİYAH	KESİMLİ
22	934	644	1000	30	12	3	C	BEYAZ	KESİMLİ
23	1024	700	500	15	6	3	C	BEYAZ	KESİMLİ
24	1123	704	500	15	6	3	C	BEYAZ	KESİMLİ
25	1213	704	500	15	6	3	C	ARA RENK	KESİMLİ
26	1198	754	300	9	3.6	3	C	ARA RENK	KESİMLİ
27	1313	754	3000	90	36	3	C	ARA RENK	KESİMLİ
28	1383	754	1000	0	12	4	C	ARA RENK	KESİMLİ
29	1532	771	300	7.2	3	3	C	ARA RENK	KESİMLİ
30	1663	754	500	12	5	3	C	SİYAH	KESİMLİ
31	480	1130	3500	105	42	0	C	RENKSİZ	A BOX
32	720	1100	3000	72	30	0	BC	RENKSİZ	KESİMLİ
33	635	550	20000	480	200	2	E	SİYAH	KESİMLİ
34	620	845	20000	480	200	2	E	SİYAH	KESİMLİ
35	1000	2630	3000	80	0	0	BC	RENKSİZ	A BOX
36	450	750	8000	240	96	0	B	RENKSİZ	KESİMLİ
37	1026	1890	520	13.9	5.7	1	BC	BEYAZ	A BOX
38	1235	1750	500	13.3	5.5	2	BC	BEYAZ	A BOX
39	680	1350	2000	48	20	2	BC	BEYAZ	A BOX
40	924	1268	3000	72	30	1	E	SİYAH	KESİMLİ
41	642	936	20000	600	240	1	E	SİYAH	KESİMLİ
42	560	895	3000	90	36	1	B	ARA RENK	KESİMLİ
43	1428	810	3000	72	30	1	B	ARA RENK	KESİMLİ
44	440	1045	2200	66	26.4	1	B	ARA RENK	KESİMLİ
45	790	1250	10000	300	120	2	E	SİYAH	KESİMLİ
46	510	1280	10000	300	120	2	BC	BEYAZ	A BOX
47	490	990	1700	51	20.4	0	BC	RENKSİZ	A BOX
48	426	1260	2000	60	24	1	C	ARA RENK	A BOX
49	426	1260	1500	45	18	1	C	ARA RENK	A BOX
50	924	1268	3000	90	36	1	E	ARA RENK	KESİMLİ
51	642	936	20000	600	240	1	E	ARA RENK	KESİMLİ
52	720	1095	20000	600	240	1	E	ARA RENK	KESİMLİ
53	648	962	15000	450	180	3	C	SİYAH	KESİMLİ
54	648	1122	2000	60	24	3	C	BEYAZ	KESİMLİ
55	990	1550	6000	144	60	2	E	ARA RENK	KESİMLİ
56	660	1280	1270	38.1	15.2	2	BC	ARA RENK	A BOX
57	990	1250	2000	48	20	3	EB	ARA RENK	KESİMLİ
58	650	1020	10000	300	120	0	E	RENKSİZ	KESİMLİ
59	806	2030	550	13.2	5.5	2	BC	BEYAZ	A BOX

Çizelge 4.11. Hafta 2 sipariş-ürün bilgileri (devamı)

60	1006	2635	1250	33.3	0	2	BC	BEYAZ	A BOX
61	376	1050	2000	0	24	4	EB	SİYAH	A BOX
62	406	1050	2000	60	24	1	C	SİYAH	A BOX
63	481	1230	3000	90	36	1	BC	SİYAH	A BOX
64	620	1290	2000	60	24	1	C	ARA RENK	KESİMLİ

Problem 1’de belirttiğimiz renk ve ölçü kısıtı, problem 2’de oluşturulacak 2 haftalık çizelge siparişlerinde de geçerli olmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda haftalık işlerin hazırlık süreleri matrisi oluşturulmuştur. Hafta 1 matrisleri aşağıda verilmiştir. Hafta 2 matrisleri ise (Bkz. Ek-1)’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Hafta 1’deki işlerin Makine 1’de hazırlık süreleri matrisi

HAFTA 1 HAZIRLIK SÜRELERİ MATRİSİ - MAKİNE 1																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	0	49	50	30	60	60	50	40	50	53	33	33	37	37	52	30	47	53	30	60	57	60	60	53	47	47	50	50	50
2	60	0	43	40	32	32	43	29	43	40	37	37	22	22	17	60	68	40	40	32	57	55	55	73	68	68	65	65	65
3	50	32	0	30	21	21	10	41	10	13	33	33	37	37	36	50	53	13	30	21	64	64	64	57	53	53	56	56	56
4	30	29	30	0	41	41	30	21	30	33	13	13	17	17	33	30	47	33	10	41	58	64	64	57	47	47	50	50	50
5	63	30	23	43	0	10	23	30	23	20	40	40	35	35	25	63	66	20	43	10	53	62	62	70	66	66	63	63	63
6	63	30	23	43	10	0	23	30	23	20	40	40	35	35	25	63	66	20	43	10	63	62	62	70	66	66	63	63	63
7	50	32	10	30	21	21	0	41	10	13	33	33	37	37	36	50	53	13	30	21	64	64	64	57	53	53	56	56	56
8	43	27	43	23	30	30	43	0	43	40	20	20	15	15	22	43	60	40	23	30	47	58	58	66	60	60	57	57	57
9	50	32	10	30	21	21	10	41	0	13	33	33	37	37	36	50	53	13	30	21	64	64	64	57	53	53	56	56	56
10	53	29	13	33	18	18	13	38	13	0	30	30	34	34	33	53	56	10	33	18	61	61	61	60	56	56	53	53	53
11	33	26	33	13	38	38	33	18	33	30	0	10	14	14	30	33	50	30	13	38	55	57	57	56	50	50	47	47	47
12	33	26	33	13	38	38	33	18	33	30	10	0	14	14	30	33	50	30	13	38	55	57	57	56	50	50	47	47	47
13	48	22	48	28	37	37	48	17	48	45	25	25	0	10	29	48	65	45	28	37	54	53	53	71	65	65	62	62	62
14	48	22	48	28	37	37	48	17	48	45	25	25	10	0	29	48	65	45	28	37	54	53	53	71	65	65	62	62	62
15	55	15	38	35	25	25	38	22	38	35	32	32	27	27	0	55	63	35	35	25	50	60	60	68	63	63	60	60	60
16	30	49	50	30	60	60	50	40	50	53	33	33	37	37	52	0	47	53	30	60	57	60	60	53	47	47	50	50	50
17	47	55	53	47	64	64	53	58	53	56	50	50	54	54	61	47	0	56	47	64	41	45	45	40	30	30	38	38	38
18	53	29	13	33	18	18	13	38	13	10	30	30	34	34	33	53	56	0	33	18	61	61	61	60	56	56	53	53	53
19	30	29	30	10	41	41	30	21	30	33	13	13	17	17	33	30	47	33	0	41	58	64	64	57	47	47	50	50	50
20	63	30	23	43	10	10	23	30	23	20	40	40	35	35	25	63	66	20	43	0	53	62	62	70	66	66	63	63	63
21	60	55	66	60	53	53	66	47	66	63	57	57	52	52	50	60	43	63	60	53	0	53	53	53	43	43	40	40	40
22	71	55	75	71	64	64	75	64	75	72	68	68	53	53	62	71	58	72	71	64	47	0	30	48	58	58	55	55	55
23	71	55	75	71	64	64	75	64	75	72	68	68	53	53	62	71	58	72	71	64	47	30	0	48	58	58	55	55	55
24	53	62	57	53	68	68	57	64	57	60	56	56	60	60	66	53	40	60	53	68	51	37	37	0	40	40	48	48	48
25	47	55	53	47	64	64	53	58	53	56	50	50	54	54	61	47	30	56	47	64	41	45	45	40	0	30	38	38	38
26	47	55	53	47	64	64	53	58	53	56	50	50	54	54	61	47	30	56	47	64	41	45	45	40	0	38	38	38	38
27	55	54	56	55	61	61	56	50	56	53	47	47	51	51	58	55	33	53	55	61	48	44	44	43	33	33	0	30	30
28	55	54	56	55	61	61	56	50	56	53	47	47	51	51	58	55	33	53	55	61	48	44	44	43	33	33	30	0	30
29	55	54	56	55	61	61	56	50	56	53	47	47	51	51	58	55	33	53	55	61	48	44	44	43	33	33	30	30	0

Şekil 4.13. Hafta 1'deki işlerin Makine 2'deki hazırlık süreleri matrisi

HAFTA 1 HAZIRLIK SÜRELERİ MATRİSİ - MAKİNE 2																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	0	47	40	30	51	51	40	41	40	43	33	33	37	37	51	30	40	43	30	51	51	47	47	40	40	40	43	43	43
2	58	0	38	38	27	27	38	27	38	35	35	35	20	20	17	58	58	35	38	27	47	40	40	58	58	58	55	55	55
3	40	27	0	20	21	21	10	31	10	13	23	23	27	27	31	40	40	13	20	21	51	47	47	40	40	40	43	43	43
4	30	27	20	0	31	31	20	21	20	23	13	13	17	17	31	30	40	23	10	31	51	47	47	40	40	40	43	43	43
5	43	25	23	33	0	10	23	20	23	20	30	30	25	25	20	53	53	20	33	10	40	45	45	53	53	53	50	50	50
6	43	25	23	33	10	0	23	20	23	20	30	30	25	25	20	53	53	20	33	10	40	45	45	53	53	53	50	50	50
7	40	27	10	20	21	21	0	31	10	13	23	23	27	27	31	40	40	13	20	21	51	47	47	40	40	40	43	43	43
8	43	30	33	23	20	20	33	0	33	30	20	20	15	15	20	43	53	30	23	20	40	45	45	53	53	53	50	50	50
9	40	27	10	20	21	21	10	31	0	13	23	23	27	27	31	40	40	13	20	21	51	47	47	40	40	40	43	43	43
10	43	24	13	23	18	18	13	28	13	0	20	20	24	24	28	43	43	10	23	18	48	44	44	43	43	43	40	40	40
11	33	24	23	13	28	28	23	18	23	20	0	10	14	14	28	33	43	20	13	28	48	44	44	43	43	43	40	40	40
12	33	24	23	13	28	28	23	18	23	20	10	0	14	14	28	33	43	20	13	28	48	44	44	43	43	43	40	40	40
13	48	20	38	28	27	27	38	17	38	35	25	25	0	10	27	48	58	35	28	27	47	40	40	58	58	58	55	55	55
14	48	20	38	28	27	27	38	17	38	35	25	25	10	0	27	48	58	35	28	27	47	40	40	58	58	58	55	55	55
15	53	15	33	33	20	20	33	20	33	30	30	30	25	25	0	53	53	30	33	20	40	45	45	53	53	53	50	50	50
16	30	47	40	30	51	51	40	41	40	43	33	33	37	37	51	0	40	43	30	51	51	47	47	40	40	40	43	43	43
17	40	45	40	40	51	51	40	51	40	43	43	43	47	47	51	40	0	43	40	51	41	45	45	40	30	30	38	38	38
18	43	24	13	23	18	18	13	28	13	10	20	20	24	24	28	43	43	0	23	18	48	44	44	43	43	43	40	40	40
19	30	27	20	10	31	31	20	21	20	23	13	13	17	17	31	30	40	23	0	31	51	47	47	40	40	40	43	43	43
20	43	25	23	33	10	10	23	20	23	20	30	30	25	25	20	53	53	20	33	0	40	45	45	53	53	53	50	50	50
21	53	45	53	53	40	40	53	40	53	50	50	50	45	45	40	53	43	50	53	40	0	45	45	53	43	43	40	40	40
22	58	40	58	58	47	47	58	47	58	55	55	55	40	40	47	58	58	55	58	47	47	0	30	48	58	58	55	55	55
23	58	40	58	58	47	47	58	47	58	55	55	55	40	40	47	58	58	55	58	47	47	30	0	48	58	58	55	55	55
24	40	47	40	40	51	51	40	51	40	43	43	43	47	47	51	40	40	43	40	51	51	37	37	0	40	40	48	48	48
25	40	45	40	40	51	51	40	51	40	43	43	43	47	47	51	40	30	43	40	51	41	45	45	40	0	30	38	38	38
26	40	45	40	40	51	51	40	51	40	43	43	43	47	47	51	40	30	43	40	51	41	45	45	40	30	0	38	38	38
27	48	44	43	48	48	48	43	43	43	40	40	40	44	44	48	48	33	40	48	48	48	44	44	43	33	33	0	30	30
28	48	44	43	48	48	48	43	43	43	40	40	40	44	44	48	48	33	40	48	48	48	44	44	43	33	33	30	0	30
29	48	44	43	48	48	48	43	43	43	40	40	40	44	44	48	48	33	40	48	48	48	44	44	43	33	33	30	30	0

#### 4.2.3. Matematiksel Modelin Kurulması

Bu problem içinde; problem 1'de kabul edilen sistem özellikleri ve varsayımlardan biri hariç hepsi geçerli sayılmıştır. Bu varsayım;

- Hazırlık süreleri işlem süresine dahil edilmemiştir.

Amaç fonksiyonu problem 1'de olduğu gibi en büyük tamamlanma zamanını ( $C_{max}$ ) en küçüklemeektir.

Parametreler:

n: İş sayısı

$j=1,2,\dots,n$

m: Makine sayısı

$k=1,2.$

V: Büyük sayı

$P_{jk}$ : j işinin k. makinede işlem süresi

$k=1,2 \quad j=1,2,\dots,n$

$S_{kij}$ : k. makinde i işinden sonra j işinin hazırlık süresi

$k=1,2 \quad j,i=1,2,\dots,n$

Karar Değişkenleri:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{1k.makineye işindensonra işi atanırsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad i, j=1,2,\dots,n \quad k=1,2$$

$$C_j: j \text{ işinin tamamlanma zamanı} \quad j=1,2,\dots,n$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\min C_{max} \quad (4.17)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n x_{ijk} = 1 \quad j=1,\dots,n \quad (4.18)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1 \quad k=1,\dots,m \quad (4.19)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ihk} - \sum_{j=0}^n x_{hjk} = 0 \quad (i, j \neq h) \quad k=1,\dots,m, h=1,\dots,n \quad (4.20)$$

$$C_j - [C_i + \sum_{k=1}^m x_{ijk} (S_{kij} + P_{jk}) + V \sum_{k=1}^m x_{ijk} - 1] \geq 0 \quad i=0,\dots,n, j=1,\dots,n \quad (4.21)$$

$$C_0 = 0 \quad (4.22)$$

$$C_j \leq C_{max} \quad j=1,\dots,n \quad (4.23)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,2,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.24)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,8,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.25)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,20,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.26)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,14,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.27)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,15,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.28)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,28,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.29)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,61,1} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.30)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{i,4,2} = 0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.31)$$



$$\sum_{k=1}^n x_{i,10,2}=0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.32)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{i,35,2}=0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.33)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{i,60,2}=0 \quad k=1,2, j=1,\dots,n \quad (4.34)$$

Önerilen modelin amaç fonksiyonu (4.17) en büyük tamamlanma zamanını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kısıt (4.18), her işin yalnızca bir kez, bir makinede planlanmasını sağlamaktadır. İşlerin birden fazla sıraya alınmaması (4.19) numaralı kısıt ile gerçekleştirilmektedir. İşlemi bitmiş olan işten sonraki işin sıraya alınması, kısıt (4.20) ile yapılmaktadır. Kısıt (4.21) ile hazırlık zamanları da dikkate alınarak işin tamamlanma süresi hesaplanmaktadır. (4.22) kısıtı başlangıç değeri ataması için kullanılmıştır. (4.23) numaralı kısıt ise en büyük tamamlanma zamanının bir işin tamamlanma zamanından büyük olması gerektiğini göstermektedir. Baskı rengi, üç rengin üzerinde olan siparişlerin hafta 1’de ve hafta 2’de, makine 1’de sıraya alınmaması gerektiğini (4.24), (4.25), (4.26), (4.27), (4.28), (4.29) ve (4.30) numaralı kısıtlar göstermektedir. Aynı şekilde ürün ölçüleri makine 2’ye uygun olmayan siparişlerin makine 1’de sıraya alan kısıtlar ise (4.31), (4.32), (4.33) ve (4.34) numaralı kısıtlardır.

#### 4.2.4. Modelin Sonuçları

Bu modelde özdeş olmayan paralel makine problemi, hazırlık süreleri dikkate alınarak en büyük tamamlanma zamanını en küçükleme amaçlanmıştır. Modelin çözümü için ILOG Cplex optimization programı kullanılmış olup işletme için iki haftalık üretim çizelgesi oluşturulmuştur. Problem çözümleri için “Intel(R) Core (TM) i7-7700HQ [CPU@2.80](#) GHz” işlemcisi, 16 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. Çözüme ulaşmak için program iki saat olarak zaman sınırlı olarak çalışmıştır ve bu zaman bitiminde iki hafta için üretim çizelge sonuçları alınmıştır. İşlerin iki haftalık olarak makine 1 ve makine 2’de sıraya alınmış şekli çizelge 4.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Hafta 1 iş çizelgesi

Makinelere Atanan İşler					
Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 2
1	26	12	7	1	23
2	28	13	11	2	22
3	29	14	13	3	1
4	25	15	15	4	17
5	21	16	12	5	8
6	9	17	10	6	2
7	6	18	18	7	27
8	19	19	3	8	24
9	4	20	16	9	20
10	5				
11	14				

Birinci hafta için model çözümü sonucunda  $C_{max}$  değeri 3082 olarak bulunmuştur. Elde edilen çizelgeye baktığımızda, baskı rengi dört renk olan siparişler (2, 8 ve 20) makine 2’de sıraya alınmıştır. Ürün ölçüsü makine 2’ye uygun olmayan siparişler (4,10) ise makine 1’de sıraya alınmıştır.

İkinci hafta için elde edilen haftalık çizelge 4.15 aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Hafta 2 iş çizelgesi

Makinelere Atanan İşler							
Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 1	Sıra	Makine 2	Sıra	Makine 2
1	8	20	13	1	16	20	52
2	49	21	38	2	57	21	51
3	50	22	55	3	33	22	54
4	35	23	11	4	32	23	1
5	17	24	23	5	53	24	43
6	7	25	25	6	28	25	41
7	6	26	64	7	27	26	56
8	31	27	12	8	36		
9	37	28	47	9	9		
10	60	29	26	10	15		
11	18	30	21	11	58		
12	2	31	20	12	46		
13	22	32	63	13	34		
14	10	33	24	14	45		
15	48	34	29	15	59		
16	30	35	44	16	14		
17	19	36	40	17	4		
18	5	37	39	18	3		
19	62	38	42	19	61		

İkinci hafta için elde edilen çizelgeye baktığımızda, 14, 15, 28 ve 61 numaralı siparişlerin makine 2’de, 35 ve 60 numaralı siparişlerin ise makine 1’de sıraya alındığını görmekteyiz. En büyük tamamlanma zamanını en küçüklemeyi hedeflediğimiz çizelgede amaç fonksiyon değeri ise 3768 olarak bulunmuştur.

Her iki çizelgede de iş yükleri haftalık olarak eşit şekilde dağıtılmıştır.

### **4.3. Yöneticilere Öneriler**

Oluklu mukavva üretimi gerçekleştiren işletmede yapılan sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi, aynı sektörde yapılacak çalışmalar için örnek bir çalışma olacaktır. Böyle bir çalışmanın yapılması için işletmeler bünyelerinde bulunan makineler, işler, sistem özellikleri vb. hakkında bilgi sahibi olmalıdırlar. Makineler özellikleri bakımından incelendiğinde, aynı operasyonlarda kullanılabilir ama hızları, kapasiteleri, işlem süreleri, hazırlık süreleri vb. farklı olmalıdır. Veri toplama kısmında ise işletmeden, ürün bilgileri, işler arası hazırlık sürelerini etkileyen faktörler ve süreleri, sipariş adetleri, saatlik üretim miktarı alınmalıdır. Alınan sipariş adetleri ve üretim miktarları kullanılarak işlerin işlem süreleri hesaplanmalıdır. Hazırlık süreleri için ise ürün geçişlerinde makinelere uygulanan hazırlıklar belirlenerek, süreleri hesaplanmalı ve matris oluşturulmalıdır. Bütün bu hesaplamalar ve veriler sonucunda çözüme gidilecek matematiksel model kurulmalıdır. Çalışmada oluşturulan model, bir paket programı kullanılarak çözüm sonucuna ulaşıla bilinir. Problemin yapısının daha büyük olması durumunda sezgisel yöntemlere başvurulması gerekmektedir.

## 5. SONUÇ

Çizelgeleme problemi hizmet, üretim sektörlerinde tercih edilen konular arasına girmektedir. Özellikle üretim ortamlarında verimlilik artışı, kapasite artışı, müşterilere hızlı cevap verebilmek adına makine, üretim çizelgelemesi gibi konular üzerinde çalışmalar yürütmektedirler. Literatür araştırmalarında özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi ile ilgili teorik ve uygulamalı çalışmalar bulunmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmanın sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme probleminin oluklu mukavva sektörüne yön vereceği düşünülmektedir. Bu çalışma oluklu mukavva üretimi gerçekleştiren işletmede bulunan iki adet özdeş olmayan paralel makineye atanan işlerin çizelgenmesi için yapılmıştır. Hazırlık sürelerinin işlem sürelerine dahil edildiği ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin işlem sürelerine dahil edilmeyerek hesaplandığı iki problem incelenmiştir. İki problemin çözümünde işletmeden sipariş adetleri, ürün bilgileri, hazırlık süreleri vb. veriler alınarak kullanılmıştır. Birinci problemde özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi işlem süreleri dikkate alınarak matematiksel model çözülmüştür. İkinci problemde ise sıra bağımlı hazırlık süreleri dikkate alınarak yeni bir model oluşturulup çözüme ulaşılmıştır. İki problem için de iki haftalık üretim çizelgesi, ILOG Cplex Optimization programı kullanılarak, en büyük tamamlanma zamanını ( $C_{max}$ ) en küçükleyen haftalık üretim çizelgeleri elde edilmiştir. İşletme haftanın 6 günü 10 saat çalışmaktadır. Elde ettiğimiz çizelgeler bu süreyi aşmamaktadır.

Sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme probleminin sanayi sektöründe karşılaşıma ihtimali yüksek olup matematiksel model kurularak ilgili işletmelerde problemlerin çözülmesi mümkündür. Problemler için belirlenecek olan farklı kısıt, amaçlar ile işletmeler bünyelerinde bulunan makine ve kaynaklarını daha etkin şekilde kullanarak verimlilik artışı, müşteri memnuniyeti gibi konulara hızlı cevap verebileceklerdir.

Bundan sonraki çalışmalarda işletmenin talebi üzerine parametreleri, kısıtları, amaçları ve verileri değiştirerek veya ekleyerek problemler tekrar çözülmeye çalışılabilir ve kıyaslama yapılabilir.



## KAYNAKLAR

Akyol, E., & Saraç, T. (2012). Plastik Parçalar Üreten Bir Fabrikanın Montaj Hatlarının Çizelgelenmesi. *Journal Of Industrial Engineering (Turkish Chamber Of Mechanical Engineers)*, 23(2).

Alagöz, O., & Azizoğlu, M. (2003). Rescheduling Of Identical Parallel Machines Under Machine Eligibility Constraints. *European Journal Of Operational Research*, 149(3), 523-532.

Alcan, P., & Başlıgil, H. (2012). A Genetic Algorithm Application Using Fuzzy Processing Times İn Non-Identical Parallel Machine Scheduling Problem. *Advances İn Engineering Software*, 45(1), 272-280.

Allahverdi A, Gupta Jnd, Aldowaisan, T. "A Review Of Scheduling Research Involving Setup Considerations". *Omega*, 27(2), 219-239, 1999.

Allahverdi, A., Ng, C. T., Cheng, T. E., & Kovalyov, M. Y. (2008). A Survey Of Scheduling Problems With Setup Times Or Costs. *European Journal Of Operational Research*, 187(3), 985-1032.

Anghinolfi, D., & Paolucci, M. (2007). Parallel Machine Total Tardiness Scheduling With A New Hybrid Metaheuristic Approach. *Computers & Operations Research*, 34(11), 3471-3490.

Arnaut, J. P., Rabadi, G., & Musa, R. (2010). A Two-Stage Ant Colony Optimization Algorithm To Minimize The Makespan On Unrelated Parallel Machines With Sequence-Dependent Setup Times. *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 21(6), 693-701.

Bank, J., & Werner, F. (2001). Heuristic Algorithms For Unrelated Parallel Machine Scheduling With A Common Due Date, Release Dates, And Linear Earliness And Tardiness Penalties. *Mathematical And Computer Modelling*, 33(4-5), 363-383.

- Başlıgil, H., (1988), “Sıralama Ve Programlama”, Yıldız Üniversitesi, 1. Baskı, İstanbul
- Bilge, Ü., Kırac, F., Kurtulan, M., & Pekgün, P. (2004). A Tabu Search Algorithm For Parallel Machine Total Tardiness Problem. *Computers & Operations Research*, 31(3), 397-414.
- Biskup, D., Herrmann, J., & Gupta, J. N. (2008). Scheduling Identical Parallel Machines To Minimize Total Tardiness. *International Journal Of Production Economics*, 115(1), 134-142.
- Chen, C. L., & Chen, C. L. (2009). Hybrid Metaheuristics For Unrelated Parallel Machine Scheduling With Sequence-Dependent Setup Times. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 43(1-2), 161.
- Chen, J. F. (2009). Scheduling On Unrelated Parallel Machines With Sequence-And Machine-Dependent Setup Times And Due-Date Constraints. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 44(11), 1204-1212.
- Chen, Z. L., & Powell, W. B. (1999). A Column Generation Based Decomposition Algorithm For A Parallel Machine Just-In-Time Scheduling Problem. *European Journal Of Operational Research*, 116(1), 220-232.
- Cheng, T. C. E., & Sin, C. C. S. (1990). A State-Of-The-Art Review Of Parallel-Machine Scheduling Research. *European Journal Of Operational Research*, 47(3), 271-292.
- Deane, R. H., & White, E. R. (1975). Balancing Workloads And Minimizing Set-Up Costs In The Parallel Processing Shop. *Journal Of The Operational Research Society*, 26(1), 45-53.
- Drießel, R., & Moench, L. (2009, July). Scheduling Jobs On Parallel Machines With Sequence-Dependent Setup Times, Precedence Constraints, And Ready Times Using Variable Neighborhood Search. In *2009 International Conference On Computers & Industrial Engineering* (Pp. 273-278). Ieee.

Dunstall, S., & Wirth, A. (2005). Heuristic Methods For The Identical Parallel Machine Flowtime Problem With Set-Up Times. *Computers & Operations Research*, 32(9), 2479-2491.

Erođlu, D. Y., Özmütlu, H. C., & Köksal, S. A. (2014). A Genetic Algorithm For The Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem With Job Splitting And Sequence-Dependent Setup Times-Loom Scheduling. *Textile And Apparel*, 24(1), 66-73.

Fanjul-Peyro, L., Ruiz, R., & Perea, F. (2019). Reformulations And An Exact Algorithm For Unrelated Parallel Machine Scheduling Problems With Setup Times. *Computers & Operations Research*, 101, 173-182.

French, S. (1982). Sequencing And Scheduling: An Introduction To The Mathematics Of The Job-Shop. *New York: Ellis Horwood Series*.

Furugi, A. (2021). A Tabu Search Algorithm For The Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem With Machine Availability Constraint And Sequence-Dependent Setup Time. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 36(3), 1539-1549.

Furugi, A. (2021). Makine Uygunluk Kısıtlaması ve Sıra Bağımlı Kurulum Süresi İle Özdeş Olmayan Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İçin Tabu Arama Algoritması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1539-1550.

Gairing, M., Monien, B., & Woelaw, A. (2007). A Faster Combinatorial Approximation Algorithm For Scheduling Unrelated Parallel Machines. *Theoretical Computer Science*, 380(1-2), 87-99. Gomes\*, M. C., Barbosa-Povoa, A. P., & Novais, A. Q. (2005). Optimal Scheduling For Flexible Job Shop Operation. *International Journal Of Production Research*, 43(11), 2323-2353.

Ghirardi, M., & Potts, C. N. (2005). Makespan Minimization For Scheduling Unrelated Parallel Machines: A Recovering Beam Search Approach. *European Journal Of Operational*



*Research*, 165(2), 457-467.

Gupta, J. N., & Ruiz-Torres, A. J. (2000). Minimizing Makespan Subject To Minimum Total Flow-Time On Identical Parallel Machines. *European Journal Of Operational Research*, 125(2), 370-380.

Hall, N. G., Potts, C. N., & Sriskandarajah, C. (2000). Parallel Machine Scheduling With A Common Server. *Discrete Applied Mathematics*, 102(3), 223-243.

Heady, R. B., & Zhu, Z. (1998). Minimizing The Sum Of Job Earliness And Tardiness In A Multimachine System. *International Journal Of Production Research*, 36(6), 1619-1632.

Herr, O., & Goel, A. (2016). Minimising Total Tardiness For A Single Machine Scheduling Problem With Family Setups And Resource Constraints. *European Journal Of Operational Research*, 248(1), 123-135.

Huang, S., Cai, L., & Zhang, X. (2010). Parallel Dedicated Machine Scheduling Problem With Sequence-Dependent Setups And A Single Server. *Computers & Industrial Engineering*, 58(1), 165-174.

Hulett, M., Damodaran, P., & Amouie, M. (2017). Scheduling Non-Identical Parallel Batch Processing Machines To Minimize Total Weighted Tardiness Using Particle Swarm Optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 425-436.

Montoya-Torres, J. R., Soto-Ferrari, M., Gonzalez-Solano, F., & Alfonso-Lizarazo, E. H. (2009, July). Machine Scheduling With Sequence-Dependent Setup Times Using A Randomized Search Heuristic. In *2009 International Conference On Computers & Industrial Engineering* (Pp. 28-33). Ieee.

Joo, C. M., & Kim, B. S. (2012). Parallel Machine Scheduling Problem With Ready Times, Due Times And Sequence-Dependent Setup Times Using Meta-Heuristic Algorithms. *Engineering Optimization*, 44(9), 1021-1034.

Kashan, A. H., Karimi, B., & Jenabi, M. (2008). A Hybrid Genetic Heuristic For Scheduling Parallel Batch Processing Machines With Arbitrary Job Sizes. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1084-1098.

Kolahan, F., & Liang, M. (1998). An Adaptive Ts Approach To Jit Sequencing With Variable Processing Times And Sequence-Dependent Setups. *European Journal Of Operational Research*, 109(1), 142-159.

Kyparisis, G. J., & Koulamas, C. (2006). Flexible Flow Shop Scheduling With Uniform Parallel Machines. *European Journal Of Operational Research*, 168(3), 985-997.

Lawler, E. L., & Labetoulle, J. (1978). On Preemptive Scheduling Of Unrelated Parallel Processors By Linear Programming. *Journal Of The Acm (Jacm)*, 25(4), 612-619.

Lee, S. M., & Asllani, A. A. (2004). Job Scheduling With Dual Criteria And Sequence-Dependent Setups: Mathematical Versus Genetic Programming. *Omega*, 32(2), 145-153.

Li, K., & Yang, S. L. (2009). Non-Identical Parallel-Machine Scheduling Research With Minimizing Total Weighted Completion Times: Models, Relaxations And Algorithms. *Applied Mathematical Modelling*, 33(4), 2145-2158.

Liao, T. W., Chang, P. C., Kuo, R. J., & Liao, C. J. (2014). A Comparison Of Five Hybrid Metaheuristic Algorithms For Unrelated Parallel-Machine Scheduling And Inbound Trucks Sequencing In Multi-Door Cross Docking Systems. *Applied Soft Computing*, 21, 180-193.

Liaw, C. F., Lin, Y. K., Cheng, C. Y., & Chen, M. (2003). Scheduling Unrelated Parallel Machines To Minimize Total Weighted Tardiness. *Computers & Operations Research*, 30(12), 1777-1789.

Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C., & Lu, C. C. (2011). Minimization Of Maximum Lateness On Parallel Machines With Sequence-Dependent Setup Times And Job Release Dates. *Computers & Operations Research*, 38(5), 809-815.

Lin, Y. K., & Hsieh, F. Y. (2014). Unrelated Parallel Machine Scheduling With Setup Times And Ready Times. *International Journal Of Production Research*, 52(4), 1200-1214.

Low, C., & Wu, G. H. (2016). Unrelated Parallel-Machine Scheduling With Controllable Processing Times And Eligibility Constraints To Minimize The Makespan. *Journal Of Industrial And Production Engineering*, 33(4), 286-293.

Min, L., & Cheng, W. (1999). A Genetic Algorithm For Minimizing The Makespan In The Case Of Scheduling Identical Parallel Machines. *Artificial Intelligence In Engineering*, 13(4), 399-403.

Mokotoff, E., & Chrétienne, P. (2002). A Cutting Plane Algorithm For The Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem. *European Journal Of Operational Research*, 141(3), 515-525.

Moukrim, A., & Quilliot, A. (2005). Optimal Preemptive Scheduling On A Fixed Number Of Identical Parallel Machines. *Operations Research Letters*, 33(2), 143-150.

Naderi, B., Ghomi, S. F., & Aminnayeri, M. (2010). A High Performing Metaheuristic For Job Shop Scheduling With Sequence-Dependent Setup Times. *Applied Soft Computing*, 10(3), 703-710.

Nessah, R., Yalaoui, F., & Chu, C. (2008). A Branch-And-Bound Algorithm To Minimize Total Weighted Completion Time On Identical Parallel Machines With Job Release Dates. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1176-1190.

Omar, M. K., & Teo, S. C. (2006). Minimizing The Sum Of Earliness/Tardiness In Identical Parallel Machines Schedule With Incompatible Job Families: An Improved Mip Approach. *Applied Mathematics And Computation*, 181(2), 1008-1017.

Perez-Gonzalez, P., Fernandez-Viagas, V., García, M. Z., & Framinan, J. M. (2019). Constructive Heuristics For The Unrelated Parallel Machines Scheduling Problem With

Machine Eligibility And Setup Times. *Computers & Industrial Engineering*, 131, 131-145.

Rabadi, G., Mollaghasemi, M., & Anagnostopoulos, G. C. (2004). A Branch-And-Bound Algorithm For The Early/Tardy Machine Scheduling Problem With A Common Due-Date And Sequence-Dependent Setup Time. *Computers & Operations Research*, 31(10), 1727-1751.

Raja, K., Arumugam, C., & Selladurai, V. (2008). Non-Identical Parallel-Machine Scheduling Using Genetic Algorithm And Fuzzy Logic Approach. *International Journal Of Services And Operations Management*, 4(1), 72-101.

Rezaeian, J., Mohammad-Hosseini, S., Zabihzadeh, S., & Shokoufi, K. (2020). Fuzzy Scheduling Problem On Unrelated Parallel Machine In Jit Production System. *Artificial Intelligence Evolution*, 17-33.

Rocha, P. L., Ravetti, M. G., Mateus, G. R., & Pardalos, P. M. (2008). Exact Algorithms For A Scheduling Problem With Unrelated Parallel Machines And Sequence And Machine-Dependent Setup Times. *Computers & Operations Research*, 35(4), 1250-1264.

Rodriguez, F. J., Lozano, M., Blum, C., & García-Martínez, C. (2013). An Iterated Greedy Algorithm For The Large-Scale Unrelated Parallel Machines Scheduling Problem. *Computers & Operations Research*, 40(7), 1829-1841.

Sarıçiçek, İ. (2018). Özdeş Olmayan Paralel Makina Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Bir Karar Destek Sistemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 108-116.

Sarıçiçek, İ. (2018). Özdeş Olmayan Paralel Makina Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü İçin Bir Karar Destek Sistemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 108-116.

Shim S.O., Kim Y.D., (2006), "A Branch And Bound Algorithm For An Identical Parallel

Machine Scheduling Problem With A Job Splitting Property". *Computers & Operations Research*, 134-222.

Silva, C., & Magalhaes, J. M. (2006). Heuristic Lot Size Scheduling On Unrelated Parallel Machines With Applications In The Textile Industry. *Computers & Industrial Engineering*, 50(1-2), 76-89.

Silva, C. A., Sousa, J. M., Runkler, T. A., Palm, R., & Da Costa, J. S. (2002, September). Scheduling In Manufacturing Systems Using The Ant Colonies Optimization Algorithm. In *Proceedings Of Fifth Portuguese Conference On Automatic Control*.

Sun, H., & Wang, G. (2003). Parallel Machine Earliness And Tardiness Scheduling With Proportional Weights. *Computers & Operations Research*, 30(5), 801-808.

Tahar, D. N., Yalaoui, F., Chu, C., & Amodeo, L. (2006). A Linear Programming Approach For Identical Parallel Machine Scheduling With Job Splitting And Sequence-Dependent Setup Times. *International Journal Of Production Economics*, 99(1-2), 63-73.

Eren, T. & Güner, E. (2006). Paralel Makineli Çizelgelemede Toplam Tamamlanma Zamanı ve Maksimum Gecikmenin En Küçüklenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21(1), 21-32.

Tekbaş, H., 2011. Esnek sipariş tipi Üretim Sistemlerinde Müşteri Siparişlerinin Çizelgelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Toksarı, M. D., & Güner, E. (2009). Parallel Machine Earliness/Tardiness Scheduling Problem Under The Effects Of Position Based Learning And Linear/Nonlinear Deterioration. *Computers & Operations Research*, 36(8), 2394-2417.

Tran, T. T., Araujo, A., & Beck, J. C. (2016). Decomposition Methods For The Parallel Machine Scheduling Problem With Setups. *Infoms Journal On Computing*, 28(1), 83-95.

Turkcan, A., Akturk, M. S., & Storer, R. H. (2003). Non-Identical Parallel Cnc Machine Scheduling. *International Journal Of Production Research*, 41(10), 2143-2168.

Vallada, E., & Ruiz, R. (2011). A Genetic Algorithm For The Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem With Sequence Dependent Setup Times. *European Journal Of Operational Research*, 211(3), 612-622.

Villa, F., Vallada, E., & Fanjul-Peyro, L. (2018). Heuristic Algorithms For The Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem With One Scarce Additional Resource. *Expert Systems With Applications*, 93, 28-38.

Weng, M. X., Lu, J., & Ren, H. (2001). Unrelated Parallel Machine Scheduling With Setup Consideration And A Total Weighted Completion Time Objective. *International Journal Of Production Economics*, 70(3), 215-226.

Yalaoui, F., & Chu, C. (2002). Parallel Machine Scheduling To Minimize Total Tardiness. *International Journal Of Production Economics*, 76(3), 265-279.

Yang, S. J. (2013). Unrelated Parallel-Machine Scheduling With Deterioration Effects And Deteriorating Multi-Maintenance Activities For Minimizing The Total Completion Time. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 2995-3005.

Yeh, W. C., Lai, P. J., Lee, W. C., & Chuang, M. C. (2014). Parallel-Machine Scheduling To Minimize Makespan With Fuzzy Processing Times And Learning Effects. *Information Sciences*, 269, 142-158.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sümeyye ÜNLU

Yabancı Dil : İyi

Eğitim Durumu : (Kurum ve Yıl) Lisans  
: İstanbul Üniversitesi, 2015

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, - 2022

Yayımları (SCI) :

Yayımları (Diğer) : Özdeş Olmayan Paralel Makine  
Çizelgeleme Problemi: Mukavva  
Fabrikasında Bir Uygulama

Araştırma Alanları : Üretim, Üretim Planlama, Çizelgeleme





Ek-1

HAFTA 2 HAZIRLIK SÜRELERİ MATRİSİ - MAKİNE 1

İşler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	48	53	54	54	53	53	56	40	53	58	58	58	57	57	57	55	56	53	53	51	47	47	47	50	50	50	50	50	51
2	40	0	43	35	35	43	43	46	50	43	50	50	50	38	38	38	60	66	43	43	52	57	57	57	47	47	47	47	47	52
3	53	41	0	17	17	10	28	25	58	28	41	41	41	32	32	32	42	45	10	10	49	45	45	45	53	53	53	53	53	49
4	65	37	28	0	10	28	40	43	70	40	37	37	37	25	25	25	60	63	28	28	42	57	57	57	49	49	49	49	49	42
5	65	37	28	10	0	28	40	43	70	40	37	37	37	25	25	25	60	63	28	28	42	57	57	57	49	49	49	49	49	42
6	53	41	10	17	17	0	28	25	58	28	41	41	41	32	32	32	42	45	10	10	49	45	45	45	53	53	53	53	53	49
7	53	41	28	29	29	28	0	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
8	56	44	25	32	32	25	13	0	60	13	56	56	56	17	17	17	50	30	25	25	57	53	53	53	61	61	61	61	61	57
9	40	48	58	59	59	58	57	60	0	57	63	63	63	61	61	61	56	60	58	58	57	53	53	53	61	61	61	61	61	57
10	53	41	28	29	29	28	10	13	57	0	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
11	60	50	43	35	35	43	55	58	65	55	0	30	30	50	50	50	55	58	43	43	47	52	52	52	42	42	42	42	42	47
12	60	50	43	35	35	43	55	58	65	55	30	0	30	50	50	50	55	58	43	43	47	52	52	52	42	42	42	42	42	47
13	60	50	43	35	35	43	55	58	65	55	30	30	0	50	50	50	55	58	43	43	47	52	52	52	42	42	42	42	42	47
14	68	40	43	25	25	43	25	28	72	25	52	52	52	0	10	10	68	48	43	43	50	65	65	65	57	57	57	57	57	50
15	68	40	43	25	25	43	25	28	72	25	52	52	52	10	0	10	68	48	43	43	50	65	65	65	57	57	57	57	57	50
16	68	40	43	25	25	43	25	28	72	25	52	52	52	10	10	0	68	48	43	43	50	65	65	65	57	57	57	57	57	50
17	50	57	45	49	49	42	53	50	56	53	52	52	52	57	57	57	0	50	42	42	37	33	33	33	40	40	40	40	40	37
18	56	64	45	52	52	45	33	30	60	33	56	56	56	37	37	37	50	0	45	45	57	53	53	53	61	61	61	61	61	57
19	53	41	10	17	17	10	28	25	58	28	41	41	41	32	32	32	42	45	0	10	49	45	45	45	53	53	53	53	53	49
20	53	41	10	17	17	10	28	25	58	28	41	41	41	32	32	32	42	45	10	0	49	45	45	45	53	53	53	53	53	49
21	62	54	60	42	42	60	65	68	68	65	49	49	49	50	50	50	48	68	60	60	0	45	45	45	37	37	37	37	37	30
22	47	55	45	46	46	45	50	53	53	50	50	50	50	54	54	54	33	53	45	45	34	0	30	30	38	38	38	38	38	34
23	47	55	45	46	46	45	50	53	53	50	50	50	50	54	54	54	33	53	45	45	34	30	0	30	38	38	38	38	38	34
24	47	55	45	46	46	45	50	53	53	50	50	50	50	54	54	54	33	53	45	45	34	30	30	0	38	38	38	38	38	34
25	57	47	55	47	47	55	60	63	63	60	42	42	42	55	55	55	43	63	55	55	35	40	40	40	0	30	30	30	30	35
26	57	47	55	47	47	55	60	63	63	60	42	42	42	55	55	55	43	63	55	55	35	40	40	40	30	0	30	30	30	35

<b>27</b>	57	47	55	47	47	55	60	63	63	60	42	42	42	55	55	55	43	63	55	55	35	40	40	40	30	30	0	30	30	35
<b>28</b>	57	47	55	47	47	55	60	63	63	60	42	42	42	55	55	55	43	63	55	55	35	40	40	40	30	30	30	0	30	35
<b>29</b>	57	47	55	47	47	55	60	63	63	60	42	42	42	55	55	55	43	63	55	55	35	40	40	40	30	30	30	30	0	35
<b>30</b>	62	54	60	42	42	60	65	68	68	65	49	49	49	50	50	50	48	68	60	60	30	45	45	45	37	37	37	37	37	0
<b>31</b>	50	38	22	29	29	22	33	30	60	33	53	53	53	37	37	37	30	50	22	22	37	33	33	33	41	41	41	41	41	37
<b>32</b>	56	64	45	52	52	45	33	30	60	33	56	56	56	37	37	37	50	30	45	45	57	53	53	53	61	61	61	61	61	57
<b>33</b>	55	47	73	55	55	73	72	75	45	72	62	62	62	57	57	57	71	75	73	73	53	68	68	68	64	64	64	64	64	53
<b>34</b>	55	47	73	55	55	73	72	75	45	72	62	62	62	57	57	57	71	75	73	73	53	68	68	68	64	64	64	64	64	53
<b>35</b>	56	44	25	32	32	25	13	10	60	13	56	56	56	17	17	17	50	30	25	25	57	53	53	53	61	61	61	61	61	57
<b>36</b>	38	41	50	55	55	50	56	53	43	56	61	61	61	60	60	60	47	53	50	50	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>37</b>	53	41	28	29	29	28	10	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>38</b>	53	41	28	29	29	28	10	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>39</b>	53	41	28	29	29	28	10	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>40</b>	55	47	73	55	55	73	72	75	45	72	62	62	62	57	57	57	71	75	73	73	53	68	68	68	64	64	64	64	64	53
<b>41</b>	55	47	73	55	55	73	72	75	45	72	62	62	62	57	57	57	71	75	73	73	53	68	68	68	64	64	64	64	64	53
<b>42</b>	40	30	63	55	55	63	63	66	50	63	50	50	50	58	58	58	60	66	63	63	52	57	57	57	47	47	47	47	47	52
<b>43</b>	40	30	63	55	55	63	63	66	50	63	50	50	50	58	58	58	60	66	63	63	52	57	57	57	47	47	47	47	47	52
<b>44</b>	40	30	63	55	55	63	63	66	50	63	50	50	50	58	58	58	60	66	63	63	52	57	57	57	47	47	47	47	47	52
<b>45</b>	55	47	73	55	55	73	72	75	45	72	62	62	62	57	57	57	71	75	73	73	53	68	68	68	64	64	64	64	64	53
<b>46</b>	53	41	28	29	29	28	10	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>47</b>	56	44	25	32	32	25	13	10	60	13	56	56	56	17	17	17	50	30	25	25	57	53	53	53	61	61	61	61	61	57
<b>48</b>	57	27	35	27	27	35	40	43	63	40	42	42	42	35	35	35	43	63	35	35	35	40	40	40	30	30	30	30	30	35
<b>49</b>	57	27	35	27	27	35	40	43	63	40	42	42	42	35	35	35	43	63	35	35	35	40	40	40	30	30	30	30	30	35
<b>50</b>	50	40	68	60	60	68	67	70	40	67	55	55	55	62	62	62	66	70	68	68	58	63	63	63	53	53	53	53	53	58
<b>51</b>	50	40	68	60	60	68	67	70	40	67	55	55	55	62	62	62	66	70	68	68	58	63	63	63	53	53	53	53	53	58
<b>52</b>	50	40	68	60	60	68	67	70	40	67	55	55	55	62	62	62	66	70	68	68	58	63	63	63	53	53	53	53	53	58
<b>53</b>	62	54	60	42	42	60	65	68	68	65	49	49	49	50	50	50	48	68	60	60	30	45	45	45	37	37	37	37	37	30
<b>54</b>	47	55	45	46	46	45	50	53	53	50	50	50	50	54	54	54	33	53	45	45	34	30	30	30	38	38	38	38	38	34
<b>55</b>	50	40	68	60	60	68	67	70	40	67	55	55	55	62	62	62	66	70	68	68	58	63	63	63	53	53	53	53	53	58
<b>56</b>	63	33	38	30	30	38	20	23	67	20	45	45	45	15	15	15	63	43	38	38	55	60	60	60	50	50	50	50	50	55
<b>57</b>	60	50	43	35	35	43	55	58	65	55	30	30	30	50	50	50	55	58	43	43	47	52	52	52	42	42	42	42	42	47

<b>58</b>	48	51	55	62	62	55	60	57	33	60	66	66	66	64	64	64	53	57	55	55	60	56	56	56	64	64	64	64	64	60
<b>59</b>	53	41	28	29	29	28	10	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>60</b>	53	41	28	29	29	28	10	13	57	10	53	53	53	14	14	14	53	33	28	28	54	50	50	50	58	58	58	58	58	54
<b>61</b>	65	37	28	10	10	28	40	43	70	40	37	37	37	25	25	25	60	63	28	28	42	57	57	57	49	49	49	49	49	42
<b>62</b>	62	34	37	22	22	37	45	48	68	45	49	49	49	30	30	30	48	68	37	37	30	45	45	45	37	37	37	37	37	30
<b>63</b>	68	40	43	25	25	43	25	28	72	25	52	52	52	10	10	10	68	48	43	43	50	65	65	65	57	57	57	57	57	50
<b>64</b>	57	47	55	47	47	55	60	63	63	60	42	42	42	55	55	55	43	63	55	55	35	40	40	40	30	30	30	30	30	35

**HAFTA 2 HAZIRLIK SÜRELERİ MATRİSİ - MAKİNE 1- DEVAMI**

<b>İşler</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>63</b>	<b>64</b>
<b>1</b>	55	56	44	44	56	33	53	53	53	44	44	48	48	48	44	53	56	50	50	48	48	48	51	47	48	61	58	43	53	53	54	51	57	50
<b>2</b>	40	66	45	45	46	43	43	43	43	45	45	30	30	30	45	43	46	27	27	40	40	40	52	57	40	33	50	53	43	43	35	32	38	47
<b>3</b>	22	45	62	62	25	50	28	28	28	62	62	61	61	61	62	28	25	33	33	66	66	66	49	45	66	36	41	55	28	28	17	29	32	53
<b>4</b>	40	63	55	55	43	68	40	40	40	55	55	57	57	57	55	40	43	29	29	62	62	62	40	57	62	32	37	73	40	40	10	22	25	49
<b>5</b>	40	63	55	55	43	68	40	40	40	55	55	57	57	57	55	40	43	29	29	62	62	62	40	57	62	32	37	73	40	40	10	22	25	49
<b>6</b>	22	45	62	62	25	50	28	28	28	62	62	61	61	61	62	28	25	33	33	66	66	66	49	45	66	36	41	55	28	28	17	29	32	53
<b>7</b>	33	33	60	60	13	56	10	10	10	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	10	29	34	14	58
<b>8</b>	30	30	64	64	10	53	13	13	13	64	64	64	64	64	64	13	10	41	41	68	68	68	57	53	68	21	56	57	13	13	32	37	17	61
<b>9</b>	56	60	34	34	60	43	57	57	57	34	34	48	48	48	34	57	60	61	61	38	38	38	57	53	38	65	63	33	57	57	59	57	61	61
<b>10</b>	33	33	60	60	13	56	10	10	10	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	10	29	34	14	58
<b>11</b>	55	58	60	60	58	63	55	55	55	60	60	50	50	50	60	55	58	42	42	55	55	55	47	52	55	45	30	68	55	55	35	47	50	42
<b>12</b>	55	58	60	60	58	63	55	55	55	60	60	50	50	50	60	55	58	42	42	55	55	55	47	52	55	45	30	68	55	55	35	47	50	42
<b>13</b>	55	58	60	60	58	63	55	55	55	60	60	50	50	50	60	55	58	42	42	55	55	55	47	52	55	45	30	68	55	55	35	47	50	42
<b>14</b>	48	48	57	57	28	71	25	25	25	57	57	60	60	60	57	25	28	37	37	64	64	64	50	65	64	17	52	75	25	25	25	30	10	57
<b>15</b>	48	48	57	57	28	71	25	25	25	57	57	60	60	60	57	25	28	37	37	64	64	64	50	65	64	17	52	75	25	25	25	30	10	57
<b>16</b>	48	48	57	57	28	71	25	25	25	57	57	60	60	60	57	25	28	37	37	64	64	64	50	65	64	17	52	75	25	25	25	30	10	57

<b>17</b>	30	50	60	60	50	47	53	53	53	60	60	57	57	57	60	53	50	40	40	63	63	63	37	33	63	60	52	53	53	53	49	37	57	40
<b>18</b>	50	30	64	64	30	53	33	33	33	64	64	64	64	64	52	33	30	61	61	68	68	68	57	53	68	41	56	57	33	33	52	57	37	61
<b>19</b>	22	45	62	62	25	50	28	28	28	62	62	61	61	61	62	28	25	33	33	66	66	66	49	45	66	36	41	55	28	28	17	29	32	53
<b>20</b>	22	45	62	62	25	50	28	28	28	62	62	61	61	61	62	28	25	33	33	66	66	66	49	45	66	36	41	55	28	28	17	29	32	53
<b>21</b>	48	68	53	53	68	65	65	65	65	53	53	74	74	74	53	65	68	37	37	60	60	60	30	45	60	57	49	71	65	65	42	30	50	37
<b>22</b>	33	53	57	57	53	50	50	50	50	57	57	55	55	55	57	50	53	38	38	61	61	61	34	30	61	58	50	56	50	50	46	34	54	38
<b>23</b>	33	53	57	57	53	50	50	50	50	57	57	55	55	55	57	50	53	38	38	61	61	61	34	30	61	58	50	56	50	50	46	34	54	38
<b>24</b>	33	53	57	57	53	50	50	50	50	57	57	55	55	55	57	50	53	38	38	61	61	61	34	30	61	58	50	56	50	50	46	34	54	38
<b>25</b>	43	63	58	58	63	60	60	60	60	58	58	47	47	47	58	60	63	30	30	53	53	53	35	40	53	50	42	66	60	60	47	35	55	30
<b>26</b>	43	63	58	58	63	60	60	60	60	58	58	47	47	47	58	60	63	30	30	53	53	53	35	40	53	50	42	66	60	60	47	35	55	30
<b>27</b>	43	63	58	58	63	60	60	60	60	58	58	47	47	47	58	60	63	30	30	53	53	53	35	40	53	50	42	66	60	60	47	35	55	30
<b>28</b>	43	63	58	58	63	60	60	60	60	58	58	47	47	47	58	60	63	30	30	53	53	53	35	40	53	50	42	66	60	60	47	35	55	30
<b>29</b>	43	63	58	58	63	60	60	60	60	58	58	47	47	47	58	60	63	30	30	53	53	53	35	40	53	50	42	66	60	60	47	35	55	30
<b>30</b>	48	68	53	53	68	65	65	65	65	53	53	74	74	74	53	65	68	37	37	60	60	60	30	45	60	57	49	71	65	65	42	30	50	37
<b>31</b>	0	50	64	64	30	47	33	33	33	64	64	58	58	58	64	33	30	21	21	64	64	64	37	33	64	41	53	57	33	33	29	17	37	41
<b>32</b>	50	0	64	64	30	53	33	33	33	64	64	64	64	64	52	33	30	61	61	68	68	68	57	53	68	41	56	57	33	33	52	57	37	61
<b>33</b>	71	75	0	30	75	58	72	72	72	30	30	47	47	47	30	72	75	64	64	37	37	37	53	68	37	64	62	48	72	72	55	53	57	64
<b>34</b>	71	75	30	0	75	58	72	72	72	30	30	47	47	47	30	72	75	64	64	37	37	37	53	68	37	64	62	48	72	72	55	53	57	64
<b>35</b>	30	30	64	64	0	53	13	13	13	64	64	64	64	64	64	13	10	41	41	68	68	68	57	53	68	21	56	57	13	13	32	37	17	61
<b>36</b>	47	53	45	45	53	0	56	56	56	45	45	41	41	41	45	56	53	58	58	51	51	51	54	50	51	64	61	40	56	56	55	54	60	58
<b>37</b>	33	33	60	60	13	56	0	10	10	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	10	29	34	14	58
<b>38</b>	33	33	60	60	13	56	10	0	10	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	10	29	34	14	58
<b>39</b>	33	33	60	60	13	56	10	10	0	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	10	29	34	14	58
<b>40</b>	71	75	30	30	75	58	72	72	72	0	30	47	47	47	30	72	75	64	64	37	37	37	53	68	37	64	62	48	72	72	55	53	57	64
<b>41</b>	71	75	30	30	75	58	72	72	72	30	0	47	47	47	30	72	75	64	64	37	37	37	53	68	37	64	62	48	72	72	55	53	57	64

<b>42</b>	60	66	53	53	66	43	63	63	63	53	53	0	30	30	53	63	66	47	47	40	40	40	52	57	40	53	50	53	63	63	55	52	58	47
<b>43</b>	60	66	53	53	66	43	63	63	63	53	53	30	0	30	53	63	66	47	47	40	40	40	52	57	40	53	50	53	63	63	55	52	58	47
<b>44</b>	60	66	53	53	66	43	63	63	63	53	53	30	30	0	53	63	66	47	47	40	40	40	52	57	40	53	50	53	63	63	55	52	58	47
<b>45</b>	71	75	30	30	75	58	72	72	72	30	30	47	47	47	0	72	75	64	64	37	37	37	53	68	37	64	62	48	72	72	55	53	57	64
<b>46</b>	33	33	60	60	13	56	10	10	10	60	60	61	61	61	60	0	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	10	29	34	14	58
<b>47</b>	30	30	64	64	10	53	13	13	13	64	64	64	64	64	64	13	0	41	41	68	68	68	57	53	68	21	56	57	13	13	32	37	17	61
<b>48</b>	23	63	58	58	43	60	40	40	40	58	58	47	47	47	58	40	43	0	10	53	53	53	35	40	53	30	42	66	40	40	27	15	35	30
<b>49</b>	23	63	58	58	43	60	40	40	40	58	58	47	47	47	58	40	43	10	0	53	53	53	35	40	53	30	42	66	40	40	27	15	35	30
<b>50</b>	66	70	35	35	70	53	67	67	67	35	35	40	40	40	35	67	70	53	53	0	30	30	58	63	30	57	55	43	67	67	60	58	62	53
<b>51</b>	66	70	35	35	70	53	67	67	67	35	35	40	40	40	35	67	70	53	53	30	0	30	58	63	30	57	55	43	67	67	60	58	62	53
<b>52</b>	66	70	35	35	70	53	67	67	67	35	35	40	40	40	35	67	70	53	53	30	30	0	58	63	30	57	55	43	67	67	60	58	62	53
<b>53</b>	48	68	53	53	68	65	65	65	65	53	53	74	74	74	53	65	68	37	37	60	60	60	0	45	60	57	49	71	65	65	42	30	50	37
<b>54</b>	33	53	57	57	53	50	50	50	50	57	57	55	55	55	57	50	53	38	38	61	61	61	34	0	61	58	50	56	50	50	46	34	54	38
<b>55</b>	66	70	35	35	70	53	67	67	67	35	35	40	40	40	35	67	70	53	53	30	30	30	58	63	0	57	55	43	67	67	60	58	62	53
<b>56</b>	43	43	62	62	23	66	20	20	20	62	62	53	53	53	62	20	23	30	30	57	57	57	55	60	57	0	45	70	20	20	30	35	15	50
<b>57</b>	55	58	60	60	58	63	55	55	55	60	60	50	50	50	60	55	58	42	42	55	55	55	47	52	55	45	0	68	55	55	35	47	50	42
<b>58</b>	53	57	37	37	57	40	60	60	60	37	37	51	51	51	37	60	57	64	64	41	41	41	60	56	41	68	66	0	60	60	62	60	64	64
<b>59</b>	33	33	60	60	13	56	10	10	10	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	0	10	29	34	14	58
<b>60</b>	33	33	60	60	13	56	10	10	10	60	60	61	61	61	60	10	13	38	38	65	65	65	54	50	65	18	53	60	10	0	29	34	14	58
<b>61</b>	40	63	55	55	43	68	40	40	40	55	55	57	57	57	55	40	43	29	29	62	62	62	40	57	62	32	37	73	40	40	0	22	25	49
<b>62</b>	28	68	53	53	48	65	45	45	45	53	53	54	54	54	53	45	48	17	17	60	60	60	30	45	60	37	49	71	45	45	22	0	30	37
<b>63</b>	48	48	57	57	28	71	25	25	25	57	57	60	60	60	57	25	28	37	37	64	64	64	50	65	64	17	52	75	25	25	25	30	0	57
<b>64</b>	43	63	58	58	63	60	60	60	60	58	58	47	47	47	58	60	63	30	30	53	53	53	35	40	53	50	42	66	60	60	47	35	55	0

**HAFTA 2 HAZIRLIK SÜRELERİ MATRİSİ- MAKİNE 2**

İşler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	48	43	44	44	43	40	43	40	40	48	48	48	44	44	44	48	43	43	43	44	40	40	40	43	43	43	43	43	44
2	40	0	33	25	25	33	30	33	50	30	40	40	40	25	25	25	53	53	33	33	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
3	43	31	0	17	17	10	23	20	43	23	41	41	41	27	27	27	40	40	10	10	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
4	55	27	28	0	10	28	35	38	55	35	37	37	37	20	20	20	58	58	28	28	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
5	55	27	28	10	0	28	35	38	55	35	37	37	37	20	20	20	58	58	28	28	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
6	43	31	10	17	17	0	23	20	43	23	41	41	41	27	27	27	40	40	10	10	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
7	40	28	23	24	24	23	0	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
8	43	31	20	27	27	20	13	0	43	13	51	51	51	17	17	17	40	30	20	20	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
9	40	48	43	44	44	43	40	43	0	40	48	48	48	44	44	44	43	43	43	43	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
10	40	28	23	24	24	23	10	13	40	0	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
11	50	40	43	35	35	43	50	53	50	50	0	30	30	45	45	45	53	53	43	43	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
12	50	40	43	35	35	43	50	53	50	50	30	0	30	45	45	45	53	53	43	43	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
13	50	40	43	35	35	43	50	53	50	50	30	30	0	45	45	45	53	53	43	43	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
14	55	27	38	20	20	38	25	28	55	25	47	47	47	0	10	10	58	48	38	38	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
15	55	27	38	20	20	38	25	28	55	25	47	47	47	10	0	10	58	48	38	38	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
16	55	27	38	20	20	38	25	28	55	25	47	47	47	10	10	0	58	48	38	38	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
17	43	51	40	47	47	40	43	40	43	43	51	51	51	47	47	47	0	40	40	40	37	33	33	33	41	41	41	41	41	37
18	43	51	40	47	47	40	33	30	43	33	51	51	51	37	37	37	40	0	40	40	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
19	43	31	10	17	17	10	23	20	43	23	41	41	41	27	27	27	40	40	0	10	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
20	43	31	10	17	17	10	23	20	43	23	41	41	41	27	27	27	40	40	10	0	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
21	55	47	58	40	40	58	55	58	55	55	47	47	47	40	40	40	48	58	58	58	0	45	45	45	37	37	37	37	37	30
22	40	48	43	44	44	43	40	43	40	40	48	48	48	44	44	44	33	43	43	43	34	0	30	30	38	38	38	38	38	34
23	40	48	43	44	44	43	40	43	40	40	48	48	48	44	44	44	33	43	43	43	34	30	0	30	38	38	38	38	38	34
24	40	48	43	44	44	43	40	43	40	40	48	48	48	44	44	44	33	43	43	43	34	30	30	0	38	38	38	38	38	34
25	50	40	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	43	53	53	53	35	40	40	40	0	30	30	30	30	35

26	50	40	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	43	53	53	53	35	40	40	40	30	0	30	30	30	35
27	50	40	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	43	53	53	53	35	40	40	40	30	30	0	30	30	35
28	50	40	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	43	53	53	53	35	40	40	40	30	30	30	0	30	35
29	50	40	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	43	53	53	53	35	40	40	40	30	30	30	30	0	35
30	55	47	58	40	40	58	55	58	55	55	47	47	47	40	40	40	48	58	58	58	30	45	45	45	37	37	37	37	37	0
31	43	31	20	27	27	20	23	20	43	23	51	51	51	27	27	27	30	40	20	20	37	33	33	33	41	41	41	41	41	37
32	43	51	40	47	47	40	33	30	43	33	51	51	51	37	37	37	40	30	40	40	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
33	55	47	58	40	40	58	55	58	45	55	47	47	47	40	40	40	58	58	58	58	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
34	55	47	58	40	40	58	55	58	45	55	47	47	47	40	40	40	58	58	58	58	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
35	43	31	20	27	27	20	13	10	43	13	51	51	51	17	17	17	40	30	20	20	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
36	38	41	40	45	45	40	43	40	43	43	51	51	51	47	47	47	40	40	40	40	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
37	40	28	23	24	24	23	10	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
38	40	28	23	24	24	23	10	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
39	40	28	23	24	24	23	10	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
40	55	47	58	40	40	58	55	58	45	55	47	47	47	40	40	40	58	58	58	58	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
41	55	47	58	40	40	58	55	58	45	55	47	47	47	40	40	40	58	58	58	58	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
42	40	30	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
43	40	30	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
44	40	30	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
45	55	47	58	40	40	58	55	58	45	55	47	47	47	40	40	40	58	58	58	58	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
46	40	28	23	24	24	23	10	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
47	43	31	20	27	27	20	13	10	43	13	51	51	51	17	17	17	40	30	20	20	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
48	50	20	33	30	30	33	30	33	50	30	40	40	40	25	25	25	43	53	33	33	35	40	40	40	30	30	30	30	30	35
49	50	20	33	30	30	33	30	33	50	30	40	40	40	25	25	25	43	53	33	33	35	40	40	40	30	30	30	30	30	35
50	50	40	53	45	45	53	50	53	40	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
51	50	40	53	45	45	53	50	53	40	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
52	50	40	53	45	45	53	50	53	40	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45

53	55	47	58	40	40	58	55	58	55	55	47	47	47	40	40	40	48	58	58	58	30	45	45	45	37	37	37	37	37	30
54	40	48	43	44	44	43	40	43	40	40	48	48	48	44	44	44	33	43	43	43	34	30	30	30	38	38	38	38	38	34
55	50	40	53	45	45	53	50	53	40	50	40	40	40	45	45	45	53	53	53	53	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
56	50	20	33	25	25	33	20	23	50	20	40	40	40	15	15	15	53	43	33	33	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
57	50	40	43	35	35	43	50	53	50	50	30	30	30	45	45	45	53	53	43	43	45	50	50	50	40	40	40	40	40	45
58	48	51	30	47	47	30	43	40	33	43	51	51	51	47	47	47	40	40	30	30	47	43	43	43	51	51	51	51	51	47
59	40	28	23	24	24	23	10	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
60	40	28	23	24	24	23	10	13	40	10	48	48	48	14	14	14	43	33	23	23	44	40	40	40	48	48	48	48	48	44
61	55	27	28	10	10	28	35	38	55	35	37	37	37	20	20	20	58	58	28	28	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
62	55	27	35	20	20	35	35	38	55	35	47	47	47	20	20	20	48	58	35	35	30	45	45	45	37	37	37	37	37	30
63	55	27	38	20	20	38	25	28	55	25	47	47	47	10	10	10	58	48	38	38	40	55	55	55	47	47	47	47	47	40
64	50	40	53	45	45	53	50	53	50	50	40	40	40	45	45	45	43	53	53	53	35	40	40	40	30	30	30	30	30	35

**HAFTA 2 HAZIRLIK SÜRELERİ MATRİSİ- MAKİNE 2 - DEVAMI**

İşler	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
1	48	43	44	44	43	33	40	40	40	44	44	48	48	48	44	40	43	43	43	48	48	48	44	40	48	48	48	43	40	40	44	44	44	43
2	33	53	45	45	33	43	30	30	30	45	45	30	30	30	45	30	33	20	20	40	40	40	45	50	40	20	40	53	30	30	25	25	25	40
3	20	40	47	47	20	40	23	23	23	47	47	51	51	51	47	23	20	31	31	51	51	51	47	43	51	31	41	40	23	23	17	27	27	51
4	38	58	40	40	38	58	35	35	35	40	40	47	47	47	40	35	38	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	35	35	10	20	20	47
5	38	58	40	40	38	58	35	35	35	40	40	47	47	47	40	35	38	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	35	35	10	20	20	47
6	20	40	47	47	20	40	23	23	23	47	47	51	51	51	47	23	20	31	31	51	51	51	47	43	51	31	41	40	23	23	17	27	27	51
7	23	33	44	44	13	43	10	10	10	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	10	24	24	14	48
8	20	30	47	47	10	40	13	13	13	47	47	51	51	51	47	13	10	31	31	51	51	51	47	43	51	21	51	40	13	13	27	27	17	51
9	43	43	34	34	43	43	40	40	40	34	34	48	48	48	34	40	43	48	48	38	38	38	44	40	38	48	48	33	40	40	44	44	44	48
10	23	33	44	44	13	43	10	10	10	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	10	24	24	14	48
11	53	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	30	53	50	50	35	45	45	40
12	53	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	30	53	50	50	35	45	45	40



13	53	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	30	53	50	50	35	45	45	40
14	38	48	40	40	28	58	25	25	25	40	40	47	47	47	40	25	28	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	25	25	20	20	10	47
15	38	48	40	40	28	58	25	25	25	40	40	47	47	47	40	25	28	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	25	25	20	20	10	47
16	38	48	40	40	28	58	25	25	25	40	40	47	47	47	40	25	28	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	25	25	20	20	10	47
17	30	40	47	47	40	40	43	43	43	47	47	51	51	51	47	43	40	41	41	51	51	51	37	33	51	51	51	40	43	43	47	37	47	41
18	40	30	47	47	30	40	33	33	33	47	47	51	51	51	47	33	30	51	51	51	51	51	47	43	51	41	51	40	33	33	47	47	37	51
19	20	40	47	47	20	40	23	23	23	47	47	51	51	51	47	23	20	31	31	51	51	51	47	43	51	31	41	40	23	23	17	27	27	51
20	20	40	47	47	20	40	23	23	23	47	47	51	51	51	47	23	20	31	31	51	51	51	47	43	51	31	41	40	23	23	17	27	27	51
21	48	58	40	40	58	58	55	55	55	40	40	67	67	67	40	55	58	37	37	47	47	47	30	45	47	47	47	58	55	55	40	30	40	37
22	33	43	44	44	43	43	40	40	40	44	44	48	48	48	44	40	43	38	38	48	48	48	34	30	48	48	48	43	40	40	44	34	44	38
23	33	43	44	44	43	43	40	40	40	44	44	48	48	48	44	40	43	38	38	48	48	48	34	30	48	48	48	43	40	40	44	34	44	38
24	33	43	44	44	43	43	40	40	40	44	44	48	48	48	44	40	43	38	38	48	48	48	34	30	48	48	48	43	40	40	44	34	44	38
25	43	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	30	30	40	40	40	35	40	40	40	40	53	50	50	45	35	45	30
26	43	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	30	30	40	40	40	35	40	40	40	40	53	50	50	45	35	45	30
27	43	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	30	30	40	40	40	35	40	40	40	40	53	50	50	45	35	45	30
28	43	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	30	30	40	40	40	35	40	40	40	40	53	50	50	45	35	45	30
29	43	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	30	30	40	40	40	35	40	40	40	40	53	50	50	45	35	45	30
30	48	58	40	40	58	58	55	55	55	40	40	67	67	67	40	55	58	37	37	47	47	47	30	45	47	47	47	58	55	55	40	30	40	37
31	0	40	47	47	20	40	23	23	23	47	47	51	51	51	47	23	20	21	21	51	51	51	37	33	51	31	51	40	23	23	27	17	27	41
32	40	0	47	47	30	40	33	33	33	47	47	51	51	51	47	33	30	51	51	51	51	51	47	43	51	41	51	40	33	33	47	47	37	51
33	58	58	0	30	58	58	55	55	55	30	30	47	47	47	30	55	58	47	47	37	37	37	40	55	37	47	47	48	55	55	40	40	40	47
34	58	58	30	0	58	58	55	55	55	30	30	47	47	47	30	55	58	47	47	37	37	37	40	55	37	47	47	48	55	55	40	40	40	47
35	20	30	47	47	0	40	13	13	13	47	47	51	51	51	47	13	10	31	31	51	51	51	47	43	51	21	51	40	13	13	27	27	17	51
36	40	40	45	45	40	0	43	43	43	45	45	41	41	41	45	43	40	51	51	51	51	51	47	43	51	51	51	40	43	43	45	47	47	51
37	23	33	44	44	13	43	0	10	10	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	10	24	24	14	48
38	23	33	44	44	13	43	10	0	10	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	10	24	24	14	48
39	23	33	44	44	13	43	10	10	0	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	10	24	24	14	48
40	58	58	30	30	58	58	55	55	55	0	30	47	47	47	30	55	58	47	47	37	37	37	40	55	37	47	47	48	55	55	40	40	40	47

41	58	58	30	30	58	58	55	55	55	30	0	47	47	47	30	55	58	47	47	37	37	37	40	55	37	47	47	48	55	55	40	40	40	47
42	53	53	53	53	53	43	50	50	50	53	53	0	30	30	53	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	40	53	50	50	45	45	45	40
43	53	53	53	53	53	43	50	50	50	53	53	30	0	30	53	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	40	53	50	50	45	45	45	40
44	53	53	53	53	53	43	50	50	50	53	53	30	30	0	53	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	40	53	50	50	45	45	45	40
45	58	58	30	30	58	58	55	55	55	30	30	47	47	47	0	55	58	47	47	37	37	37	40	55	37	47	47	48	55	55	40	40	40	47
46	23	33	44	44	13	43	10	10	10	44	44	48	48	48	44	0	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	10	24	24	14	48
47	20	30	47	47	10	40	13	13	13	47	47	51	51	51	47	13	0	31	31	51	51	51	47	43	51	21	51	40	13	13	27	27	17	51
48	23	53	45	45	33	53	30	30	30	45	45	40	40	40	45	30	33	0	10	40	40	40	35	40	40	20	40	53	30	30	30	15	25	30
49	23	53	45	45	33	53	30	30	30	45	45	40	40	40	45	30	33	10	0	40	40	40	35	40	40	20	40	53	30	30	30	15	25	30
50	53	53	35	35	53	53	50	50	50	35	35	40	40	40	35	50	53	40	40	0	30	30	45	50	30	40	40	43	50	50	45	45	45	40
51	53	53	35	35	53	53	50	50	50	35	35	40	40	40	35	50	53	40	40	30	0	30	45	50	30	40	40	43	50	50	45	45	45	40
52	53	53	35	35	53	53	50	50	50	35	35	40	40	40	35	50	53	40	40	30	30	0	45	50	30	40	40	43	50	50	45	45	45	40
53	48	58	40	40	58	58	55	55	55	40	40	67	67	67	40	55	58	37	37	47	47	47	0	45	47	47	47	58	55	55	40	30	40	37
54	33	43	44	44	43	43	40	40	40	44	44	48	48	48	44	40	43	38	38	48	48	48	34	0	48	48	48	43	40	40	44	34	44	38
55	53	53	35	35	53	53	50	50	50	35	35	40	40	40	35	50	53	40	40	30	30	30	45	50	0	40	40	43	50	50	45	45	45	40
56	33	43	45	45	23	53	20	20	20	45	45	40	40	40	45	20	23	20	20	40	40	40	45	50	40	0	40	53	20	20	25	25	15	40
57	53	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	40	40	40	40	40	45	50	40	40	0	53	50	50	35	45	45	40
58	40	40	37	37	40	40	43	43	43	37	37	51	51	51	37	43	40	51	51	41	41	41	47	43	41	51	51	0	43	43	47	47	47	51
59	23	33	44	44	13	43	10	10	10	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	0	10	24	24	14	48
60	23	33	44	44	13	43	10	10	10	44	44	48	48	48	44	10	13	28	28	48	48	48	44	40	48	18	48	43	10	0	24	24	14	48
61	38	58	40	40	38	58	35	35	35	40	40	47	47	47	40	35	38	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	35	35	0	20	20	47
62	28	58	40	40	38	58	35	35	35	40	40	47	47	47	40	35	38	17	17	47	47	47	30	45	47	27	47	58	35	35	20	0	20	37
63	38	48	40	40	28	58	25	25	25	40	40	47	47	47	40	25	28	27	27	47	47	47	40	55	47	17	47	58	25	25	20	20	0	47
64	43	53	45	45	53	53	50	50	50	45	45	40	40	40	45	50	53	30	30	40	40	40	35	40	40	40	40	53	50	50	45	35	45	0