

BİR OTOMOTİV YAN SANAYİ İŞLETMESİNDE HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ
TASARIMI VE ÇOK AMAÇLI ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ

SENA AYDOĞAN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Şafak KIRIŞ

Ağustos-2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sena AYDOĞAN tarafından hazırlanan “Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Hücreyel Üretim Sistemi Tasarımı ve Çok Amaçlı Çizelgeleme Problemi Çözümü” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

28/07/2020

Prof. Dr. Şahmurat ARIK

Enstitü Müdürü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah KEÇECİLER

Anabilim Dalı Başkanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Şafak KIRIŞ

Danışman, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Şafak KIRIŞ

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Özden ÜSTÜN

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Berna ULUTAŞ

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

BİR OTOMOTİV YAN SANAYİ İŞLETMESİNDE HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ÇOK AMAÇLI ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ

SENA AYDOĞAN

Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2020

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şafak KIRIŞ

ÖZET

Küreselleşen dünyada işletmeler, hem varlıklarını sürdürmek hem de müşteri gereksinimlerini karşılayabilmek için, maliyetlerini azaltma yoluna başvurmuşlardır. İşletmelerin maliyetlerinin büyük çoğunluğu, sanıldığı üzere genel giderler ve işçilik giderlerinden oluşmamaktadır. Kullanılan üretim sistemi ve uygulamadaki hatalar, göze batmayan bir maliyet olarak düşünülse de, yapılan çalışmalarda genellikle, bunun en yüksek maliyet kalemi olduğu düşünülmektedir. Artan rekabet ortamındaki işletmeler, tüm maliyet kalemlerinden kurtulmak ve karlılığını sürdürmek için tüm israflarını azaltmak hatta yok etmek isterler. Bu amaçla, üretim sistemlerinde uygun değişiklikler yapmak için çalışma yapmışlardır. Hücresel üretim sistemi, benzer parçaları ve makineleri gruplayarak ve her grupta bir parça ailesinin üretilmesini sağlayarak, verimlilik artışı, taşıma sürelerinde kısalma, süreç içi stoklarda azalma gibi avantajlara sebep olmaktadır. Bu sebeple, hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar için ilgi gören bir üretim sistemi olmuştur.

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayide faaliyet gösteren bir işletmedeki sürece göre yerleşime sahip olan bir üretim bölümü için hücresel üretim sistemi tasarım önerisi yapılmıştır. Çalışmanın amacı; ürünlerin benzerliklerine göre gruplandırılması ile tamamlanma sürelerinde kısalma sağlayarak müşterinin taleplerine hızlı cevap verebilmek ve aynı sürece sahip parçaların aynı akışı takip ederek üretim miktarında artış sağlamaktır. Parça ve makine atamasının yapılmasında Derece Sıralamasıyla Kümelenendirme (ROC) Yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra oluşturulan her hücre için çok amaçlı karma tam sayılı programlama modeli oluşturulmuş ve toplam gecikme ile ortalama tamamlanma zamanını enküçülemek amaçlanmıştır. Çok amaçlı problemin çözümünde ise epsilon kısıt ve ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi kullanılmıştır. Dinamik bir yapıya sahip olan problemin, işletme için kalıcı çözüm getirebilmesi ve kullanıcı kolaylığı sağlaması amacıyla bir bilgi sistemi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hücresel üretim sistemi, çizelgeleme, çok amaçlı programlama

**CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM DESIGN AND MULTI OBJECTIVE
SCHEDULING PROBLEM SOLUTION IN AN AUTOMOTIVE SUPPLIER INDUSTRY
ENTERPRISE**

SENA AYDOĞAN

Industrial Engineering, M.S. Thesis, 2020

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Şafak KIRIŞ

SUMMARY

In a globalizing world, enterprises are seeking to reduce their costs in order to sustain their assets and meet customer demands and complaints. The vast majority of the costs of the enterprises do not consist of general expenses and labor costs, as expected. Although the production system used and the errors in implementation are considered as an inconspicuous cost, it is generally thought that this is the highest cost item in the studies conducted. Enterprises in an increasingly competitive environment want to reduce or eliminate all their waste to minimize all cost items and maintain their profitability. To this end, they are working to make appropriate changes to their production systems. The cellular manufacturing system creates advantages such as increased productivity, shortened transport times, and reduced work-in-process stocks by grouping similar parts and machines and ensuring that a family of parts is produced in each group. For this reason, it has recently become a manufacturing system that has attracted attention for both researchers and practitioners.

In this study, a cellular manufacturing system has been designed for a manufacturing division based on the process in an enterprise operating in the automotive supplier industry. The aim of the study is to provide minimizing of completion times by grouping the products according to their similarities and to respond to customer demands quickly. Rank Order Clustering (ROC) Algorithm has been used in the assignment of parts and machines. Then, a multi-objective mixed integer programming model was created for each cell and it was aimed to minimize the total delay and mean completion time. In solving the multi-objective problem, epsilon constraint and weighted total scalarization method were used. A knowledge system has been proposed for the problem, which has a dynamic structure, to provide a permanent solution for the enterprise and to provide user convenience.

Key Words: Cellular manufacturing system, scheduling, multi-objective programming.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasında bana her türlü desteği ve kolaylığı sağlayan Sayın danışmanım Prof. Dr. Şafak KIRIŞ'a ve hayatımın her döneminde bana olan destek ve güvenlerinden dolayı sevgili aileme teşekkür ederim.

Ayrıca, tez konumun belirlenmesi ve uygulaması aşamasında desteklerinden dolayı değerli yöneticilerim ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xiv |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI | 3 |
| 2.1. Hücresel Üretim Sistemi ile İlgili Çalışmalar | 3 |
| 2.2. Çok Amaçlı Çizelgeleme Problemleri ile İlgili Çalışmalar | 9 |
| 3. ÜRETİM SİSTEMİ KAVRAMI | 17 |
| 3.1. Üretim ve Hizmet Sistemi Kavramı | 17 |
| 3.2. Hücresel Üretim Sistemi..... | 18 |
| 3.2.1. Hücresel üretim sistemi avantajları ve dezavantajları..... | 19 |
| 3.2.2. Hücre oluşturma yöntemleri..... | 20 |
| 4. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ VE ÇOK AMAÇLI PROGRAMLAMA ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ | 25 |
| 4.1. Çizelgeleme Problemleri | 25 |
| 4.2. Çok Amaçlı Programlama Problemleri için Çözüm Yöntemleri | 25 |
| 4.2.1. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi | 26 |
| 4.2.2. Epsilon (ϵ) kısıt yöntemi..... | 26 |
| 4.2.3. Konik skalerleştirme yöntemi..... | 27 |
| 4.2.4. Hedef programlama | 28 |

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

| | |
|--|----|
| 5. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ÇOK AMAÇLI ÇİZELGELEME | |
| PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ | 31 |
| 5.1. Çalışma Yapılan İşletme | 32 |
| 5.2. Hücresel Üretim Sistemi Tasarımında İzlenen Yol | 34 |
| 5.3. Hücre İçi Akış Tipi Çizelgeleme Problemi için Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Programlama Modeli Önerisi | 38 |
| 5.3.1. Epsilon (ϵ) kısıt yöntemi ile çok amaçlı karma tam sayılı programlama problemi çözümü | 39 |
| 5.3.2. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile çok amaçlı karma tam sayılı programlama problemi çözümü | 49 |
| 5.4. Bilgi Sistemi Önerisi | 59 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 65 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 67 |
| EKLER | |
| EK 1. Hücre 1 için Epsilon Kısıt Yöntemi Lingo Modeli ve Çözümü | |
| EK 2. Hücre 1 için Ağırlıklı Toplam Skalerleştirme Yöntemi Lingo Modeli ve Çözümü | |
| EK 3. Dinamik Ağırlıklı Toplam Skalerleştirme Yöntemi Excel Çözücü Kodlar | |
| ÖZGEÇMİŞ | |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.1. Epsilon kısıt yönteminin çözümü | 27 |
| 4.2. Konik skalerleştirme yönteminin geometrik izahı | 28 |
| 5.1. Kablo üretim bölümü..... | 32 |
| 5.2. KST üretim bölümü..... | 32 |
| 5.3. Mekanik ek işlemi..... | 33 |
| 5.4. Ultrasonik ek işlemi..... | 33 |
| 5.5. Montaj bölümü..... | 33 |
| 5.6. Hücre 1 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 43 |
| 5.7. Hücre 2 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 45 |
| 5.8. Hücre 3 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 47 |
| 5.9. Hücre 4 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 48 |
| 5.10. Hücre 1 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması..... | 52 |
| 5.11. Hücre 1 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 53 |
| 5.12. Hücre 2 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması..... | 54 |
| 5.13. Hücre 2 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 55 |
| 5.14. Hücre 3 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması..... | 56 |
| 5.15. Hücre 3 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 57 |
| 5.16. Hücre 4 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması..... | 58 |
| 5.17. Hücre 4 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu..... | 59 |
| 5.18. Hücre 1 için kullanıcı giriş sayfası..... | 60 |
| 5.19. Hücre 1 için TG amaç fonksiyonu çözüm sayfası..... | 61 |

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 5.20. Hücre 1 için OTZ amaç fonksiyonu çözüm sayfası..... | 61 |
| 5.21. Hücre 1 için çizelgeleme sonuçları..... | 62 |
| 5.22. İş sıralamaları ve tamamlanma zamanları..... | 62 |
| 5.23. Hücre 1 için çözücü ekranı..... | 63 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 5.1. Parça-makine matrisi | 34 |
| 5.2. ROC algoritmasının ilk matrisi | 35 |
| 5.3. ROC algoritmasının ikinci matrisi | 35 |
| 5.4. ROC algoritmasının üçüncü matrisi | 36 |
| 5.5. ROC algoritmasının dördüncü matrisi | 36 |
| 5.6. ROC algoritmasının beşinci matrisi..... | 37 |
| 5.7. ROC algoritmasının altıncı matrisi..... | 37 |
| 5.8. ROC algoritmasının yedinci matrisi..... | 38 |
| 5.9. Hücre 1 için parametre değerleri..... | 42 |
| 5.10. Hücre 1 için sonuç tablosu..... | 42 |
| 5.11. Hücre 1 için iterasyon sonuçları | 43 |
| 5.12. Hücre 2 için parametre değerleri..... | 44 |
| 5.13. Hücre 2 için sonuç tablosu..... | 44 |
| 5.14. Hücre 2 için iterasyon sonuçları | 44 |
| 5.15. Hücre 3 için parametre değerleri..... | 45 |
| 5.16. Hücre 3 için sonuç tablosu..... | 46 |
| 5.17. Hücre 3 için iterasyon sonuçları..... | 46 |
| 5.18. Hücre 4 için parametre değerleri..... | 47 |
| 5.19. Hücre 4 için sonuç tablosu..... | 47 |
| 5.20. Hücre 4 için iterasyon sonuçları..... | 48 |
| 5.21. Hücre 1 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları | 52 |

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 5.22. Hücre 1 için duyarlılık analizi sonuçları | 52 |
| 5.23. Hücre 2 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları..... | 54 |
| 5.24. Hücre 2 için duyarlılık analizi sonuçları..... | 54 |
| 5.25. Hücre 3 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları..... | 56 |
| 5.26. Hücre 3 için duyarlılık analizi sonuçları..... | 56 |
| 5.27. Hücre 4 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları | 58 |
| 5.28. Hücre 4 için duyarlılık analizi sonuçları..... | 58 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

Açıklama

| | |
|-----|------------------------------|
| CAD | Computer Aided Desing |
| CAM | Computer Aided Manufacturing |
| CNC | Computer Numerical Control |
| KST | Kesme-Sıyırma-Terminalleme |



1. GİRİŞ

Rekabetçi ortamdaki işletmelerin ilk amacı, sektörde ayakta kalabilmek, daha sonra büyümek ve gelişmektir. Başlarda ürün maliyetinin önemli olduğu işletmelerde, zamanla müşteri memnuniyeti için yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesi daha önemli olmuştur. Günümüz şartlarında ise, işletmelerde hem yüksek kalite hem de düşük maliyet aynı öneme sahiptir.

Global dünyadaki işletmeler, hızla değişen müşteri isteklerine cevap verebilmek, bilgi, malzeme ve işgücü akışını iyileştirmek, kaynakları daha verimli kullanmak ve işgücü motivasyonunu artırmak amacıyla, kullandıkları üretim sistemi ve tesis yerleşim düzenini değiştirmek zorunda kalabilmektedirler. Böyle durumlarda, işletme ve çalışılan müşteriler için en uygun olan üretim sistemi tasarımı uygulanmalı ve tüm yönetim kademeleri ile birlikte yeni uygulanan sistem benimsenmelidir.

Hücresele üretim sistemi, benzer parçaları ve makineleri, hücreler halinde gruplar ve her hücreyi yalnızca bir parça ailesini üretecek şekilde organize eder. Böylece verimlilik artışı, taşıma sürelerinde kısalma, süreç içi stoklarda azalma gibi avantajlar elde edilir. Sonuç olarak, israflar ortadan kaldırılır ve daha kısa sürede, daha az maliyetli ve kaliteli ürünler üretilebilir.

Bu çalışmada, sürece göre yerleşimin uygulandığı bir üretim bölümünde, hücresele üretim sistemi tasarımı yapılmıştır. Oluşturulan her hücre için ayrı ayrı, en az gecikme ile en kısa sürede ve sıra bağımlı hazırlık sürelerini de dikkate alan bir çizelgeleme problemi modellenmiştir.

Gerçek hayat problemlerinde yöneticiler, genellikle birden fazla amacın en iyilenmesini istemektedirler. Bu da klasik çizelgeleme problemlerinin yanı sıra çok amaçlı problemlerin kullanılmasını zorunlu tutmaktadır. Gerçek hayat problemlerine, literatürde mevcut olan birçok yöntem ile en iyi veya en iyiye yakın çözümler bulunabilmektedir.

Uygulama yapılan işletmede, hücresele üretim sistemi tasarımı için öncelikle parça makine matrisi oluşturulmuş ve Derece Sıralamasıyla Kümelendirme Yöntemi (ROC algoritması) ile hücreler belirlenmiştir. Daha sonra oluşturulan hücrelere yönelik çizelgeleme problemi tanımlanarak, toplam gecikme ve ortalama tamamlanma zamanı amaçları en iyilenmeye çalışılmıştır. Önerilen çizelgeleme modeli, sıra bağımlı hazırlık süresini dikkate almaktadır ve çok amaçlı olarak kurulmuştur. Çok amaçlı ve karma tam sayılı programlama modelini çözmek için, epsilon kısıt yöntemi ve ağırlık toplam yöntemi kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ele alınan problem ve sektör, yapısı gereği dinamik bir yapıya sahiptir. İşletme için kalıcı çözümlerin sağlanması amacıyla, kullanıcı kolaylığı sağlayan bir bilgi sistemi önerisi yapılmıştır.

Bu çalışmada yer alan bölümlerin içerikleri ise şöyledir: ikinci bölümde, hücresele üretim sistemi, ve çok amaçlı çizelgeleme problemleri ve çözüm yöntemleri ile ilgili literatür çalışmaları mevcuttur. Üçüncü bölümde, üretim sistemleri ve önerilen üretim sistemi olan hücresele üretim sistemi tasarımı, avantajları, dezavantajları ve hücre oluşturma yöntemleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Dördüncü bölümde, çizelgeleme problemleri ve çok amaçlı problemlerin çözüm yöntemlerine değinilmiştir. Beşinci bölümde, uygulama yapılan işletmede, hücresele üretim sistemi tasarımı ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Hücre içi akış tipi çizelgeleme problemi için kurulan çok amaçlı karma tam sayılı programlama modeli önerilmiş ve çözüm yöntemleri olan epsilon kısıt ve ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile çözüm aşamaları ele alınmıştır. Aynı bölümde, ele alınan problem ile ilgili bir bilgi sistemi tasarımı yapılmıştır. Altıncı bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Hücresel Üretim Sistemi ile İlgili Çalışmalar

Hücresel üretim sistemi ile ilgili literatürde birçok araştırma ve uygulama mevcuttur. Bu çalışma genel olarak, hücresel üretim sistemi avantajları, dezavantajları, uygulama alanları ve hücre oluşturma yöntemlerini içermektedir. Ele alınan konular ile ilgili özellikle son yıllarda yapılan uygulama çalışmaları ve literatür taramaları ele alınmaya çalışılmıştır.

King (1980), makine gruplarını ve parça ailelerini yeniden düzenleyerek, mümkün olduğunca çok ve küçük hücreler oluşturmaya çalışan hiyerarşik olmayan bir algoritma sunmuştur.

Greene vd. (1984), hücresel imalat sisteminin tarihçesi, amaçları, faydaları ve temel varsayımları ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Singh (1993), yaptığı çalışmada, hücresel üretim sisteminde hücre oluşturma yöntemlerinin incelemesini sunmuştur.

Offodile vd. (1994), hücresel üretim sistemlerinde hücre oluşturma yöntemlerini ayrıntılı bir şekilde incelemişler ve literatür taraması yapmışlardır.

Tanrıtanır (1994), standart mobilyalar üreten bir işletmede hücresel imalat sistemi üzerine çalışmıştır. Hücrelerin belirlenmesi kısmında Derece Sıralamasıyla Kümelenendirme Yöntemi kullanmıştır.

Agarwal ve Sarkis (1998), çalışmalarında, hücresel üretim ve fonksiyonel yerleşim sistemlerini kıyaslamışlardır.

Aydeniz (1998), hücresel üretim sistemi uygulanan 38 firmada yaptığı çalışmada, hücre oluşturma nedenleri, faydalar, hücre çeşitleri, hücre tasarımında kullanılan yöntemler, üretim planlama ve kontrol sistemleri üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Baykoç vd. (2002), bir hücresel üretim ortamında JIT üretim sisteminin farklı kanban sayıları ve değişken işlem süreleri altındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla Siman simülasyon dili kullanmışlardır. Bu çalışmada, hücrelerin oluşturulması için, Sundaram ve Liam (1990) tarafından önerilen sezgisel algoritma kullanılmıştır.

Nomak ve Durmuşoğlu (2003), hücresel imalat sistemlerinde üretim planlama ve kontrol sistemleri analizi üzerine çalışmışlardır. Kanban ve CONWIP üretim yönetim yaklaşımları

önerilerek, farklı senaryolar kurulmuştur ve benzetim yöntemi ile performans sonuçları değerlendirilmiştir.

Güven vd. (2003), yaptıkları çalışmada, tarım aletleri üreten bir fabrikada, hücresele imalat sistemi ile en iyi fabrika yerleşimine ulaşarak verimin artırılması, taşıma sürelerinin azaltılması gibi amaçları hedeflemişlerdir. Derece Sıralamasıyla Kümelendirme Yöntemi kullanarak sonuca ulaşmışlardır.

Durmuşoğlu vd (2003), hücresele üretim sisteminin Türkiye'deki durumunu değerlendirmişlerdir ve diğer ülkelerdeki uygulamalarda karşılaştırılmasını yapmışlardır. Bu karşılaştırma için bir saha analizi yapmışlardır. İncelemede toplamda 44 firma ve 207 hücre incelenmiştir.

Kulak ve Durmuşoğlu (2004), sürece göre yerleşime sahip bir firmada, hücresele üretim sistemi tasarlanmıştır. Bu amaç üzerine çalışan araştırmacılar için aksiyomlarla tasarım ilkesi sunulmuştur.

Cesani vd. (2005), hücre içi ve hücreler arası işgücü esnekliğini incelemişlerdir. Simülasyon modellemesi kullanarak gerçek hayat problemlerine uygunluk test edilmiştir.

Süer ve Dağlı (2005), hücre içi operatör hareketlerini en aza indirmeyi ve sahip oldukları makine ve ekipman benzerliklerine göre hücrelere işlerin atanmasını hedeflemişlerdir.

Başaran (2005), doktora tezinde, hücresele üretim sisteminde hücre oluşturma yöntemlerini ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, bulanık kümeleme yöntemi ile bir vinç atölyesinde uygulama çalışması yapmıştır.

Bozkurt vd. (2006), bir mobilya fabrikasında teslimat sürelerinin kısaltılması için hücresele üretim sisteminin kurulması gerektiğini önermişlerdir. Oluşturulan hücrelere operatör ataması için bir matematiksel model kullanılmıştır. Operatörlere yeteneklerine göre puanlar verilerek, operatörlerin not toplamalarının mutlak farklarının en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Öztürk (2007), doktora tezinde, bir otomotiv fabrikasında hücresele üretim sistemi önermiştir. Hücrelerin oluşturulması için matematiksel programlama modeli kullanmış ve tavlama benzetimi yoluyla çözüme ulaşmıştır.

Balakrishnan ve Cheng (2007), hücresele üretim sistemi tasarlarken, uzun planlama süreçlerinde değişen talep miktarları ve proses tasarımları sebebiyle ortaya çıkan belirsizlikleri ortadan kaldıran çalışmaların kapsamlı bir incelemesini yapmışlardır.

Özkırım ve Durmuşoğlu (2007) tarafından, mevcutta var olan hücrelerin yük dengesizliğinin tüm sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Problemin incelenmesi amacıyla üretim benzetimi yöntemi kullanılmıştır.

Hornig (2007), hücreli üretim sisteminde, operatörlerin iş paylaşımının sistem performansını nasıl etkilediğini araştırmaktadır.

Süer ve Tummaluri (2008), emek yoğun çalışan hücreli üretim sisteminde, operatör yetenek seviyeleri ve yeteneğe dayalı çalışma süreleri yöntemi kullanılmıştır.

Yurdakul vd. (2008), bir traktör fabrikasında hücreli üretim sistemi kurulması için ROC algoritması kullanılmıştır. Hücre içi makine yerleşimi için Hollier-2 yöntemi kullanılmıştır.

Ülker ve Başaran (2008), çalışmalarında, hücreli üretim sistemi kurulumunu faaliyet tabanlı maliyetleme modeli ile sunmuşlardır.

Atamtürk (2009), transformatör ve reaktör üretimi yapan bir firmada hücreli üretim sistemi önermiştir. Hücrelerin oluşturulması için, akış matrisi tabanlı sezgisel yöntem ve CASE algoritması kullanılmıştır.

Papaioannou ve Wilson (2010), 1997-2008 yılları arasında, hücreli üretim sisteminde hücre oluşturma problemlerine getirilen çözüm yaklaşımlarını incelemişlerdir. Tüm metodolojileri karşılaştırarak değerlendirmişler ve araştırmacılar için önerilerde bulunmuşlardır.

Arkat vd. (2012), çalışmalarında, hücreli üretim sisteminde, hücreler arası hareketin en küçüklenmesi ve makine kullanım oranlarının en büyüklenmesi amacıyla çok amaçlı bir matematiksel model kullanmışlardır. Çok amaçlı problemin tek amaçlı hale getirilmesi için epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için iki amaçlı genetik algoritma önerilmiştir.

Rafiei ve Dehghan (2012), hücreli üretim sisteminde esnek işgücü ataması için veri zarflama analizi metodunu kullanmışlardır.

Saraç ve Özçelik (2012), gruplama etkinliğini en üst düzeye çıkaracak bir hücre oluşumu incelemişlerdir. Makineler ve parçaların atanması için genetik algoritma kullanılmıştır.

Chattopadhyay vd. (2013), hücreli üretim sistemi tasarımında kullanılan Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritma yöntemlerinin hücre oluşturma üzerindeki etkisini inceleyen bir literatür taraması yapmışlardır.

Brown (2014), Shafer ve arkadaşlarının (1992) yapmış olduğu hücreler arası parça transferi odaklı çalışmasına, aktarılan hücredeki makine kapasitelerinin dikkate alınmasını eklemiştir. Bu amaçla matematiksel model kurmuştur ve Lingo ile çözmüştür.

Negahban ve Smith (2014), 2002-2013 yılları arasında üretim sistemi tasarımı ve işletimi alanında yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Çalışmalarında, hücresele üretim sisteminde, belirlenen yıllarda yapılan çalışmaları derlemişlerdir.

Aalaei ve Davoudpour (2015), tedarik zinciri ve dinamik sanal hücresele üretim sistemi tasarımı için iki amaçlı bir matematiksel model önermişlerdir. Model çözümü amacıyla, hedef programlama yöntemi kullanmışlardır.

Arumugam ve Saral (2015), istisnai eleman ve makineleri belirlemek için teorik grafik tekniği kullanmışlardır.

Neufeld vd. (2015), hücresele üretim sisteminde, akış tipi grup çizelgeleme problemleri ile ilgili detaylı bir literatür taraması yapmışlardır. İncelenen yayınlar, makine sayısı, kurulum süreleri ve çözüm yaklaşımlarına göre sınıflandırılmıştır.

Ulutaş (2015), çalışmasında, hücre oluşturma problemine, klonal seçim algoritması ile çözüm getirmeye çalışmıştır. Ele alınan çözüm yöntemi, 20 test problemi üzerinde denenmiş ve literatürdeki mevcut yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, hücre sayısının, çözüm yöntemlerinin geçerliliğinin değerlendirilmesinde kullanılması gerektiği gösterilmiştir.

Rabbani vd. (2016), yaptıkları çalışmada, operatör ataması ve hücre yüklemesi problemi üzerine çalışmışlardır. Hücrelerin oluşturulması için makinelerdeki işlem süreleri dikkate alınmıştır. Operatör atamaları için öğrenme ve eğitim politikalarını göz önüne almışlardır.

Cömert ve arkadaşları (2016), atölye tipi üretime sahip olan bir işletmede K-means algoritması ve genetik algoritma kullanarak hücresele üretim sistemi tasarlamışlardır.

İmran vd. (2016), çalışmalarında, hücresele üretim sisteminde, süreç içi stokları en küçükmek için matematiksel model kullanmışlardır. Model çözümü için, melez genetik algoritma kullanmışlardır.

Böhlhoff vd. (2016), hücresele üretim sistemi uygulanan talaşlı imalat ortamında, operatör hatalarının ürün kalitesine olan etkisini incelemişlerdir.

Şahin ve Alpay (2016), hücresele üretim sisteminde operatör atamalarının ayrıntılı bir incelemesi yapılmıştır.

Kuo vd. (2017), hücreler arası operatör transferinin incelendiği bir atama problemi ele almışlardır. Kullanılacak toplam operatör sayısının en aza indirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla iki aşamalı bir metodoloji kullanmışlardır. İlk aşamada, iş bileşenlerinin istasyonlara atanması için tamsayı programlama modeli kullanmışlardır. İkinci aşamada ise, birinci aşamanın sonuçlarından yola çıkarak gereken en az sayıda operatör ihtiyacını belirlemek için karışık tam sayılı programlama kullanmışlardır.

Mansour vd. (2017), bir hücrel üretim sistemi tasarımı için parça-makine-hücre atamasını aynı anda yapan, iki amaçlı bir matematiksel model önermiştir. Modelin çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır.

Aljuneidi ve Bulgak (2017), çalışmalarında, sürdürülebilir, yeniden yapılandırılabilir bir hibrit hücrel üretim sistemi tasarlamak için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır. Kurulan model IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.2 paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Yozgat ve Atmaca (2018), akışa göre yerleşime sahip bir mobilya fabrikasında, taşımalardan kaynaklı maliyetleri azaltmak ve verim artışı sağlamak amacıyla hücrel üretim sistemi kurmayı amaçlamışlardır. Grup etkinliğini amaçlayan bir matematiksel model kullanmışlar ve Gams programı Baron çözücü kullanılarak çözülmüştür.

Bychkov ve Batsyn (2018), hücrel üretim sisteminde hücrelerin oluşumu için değişken sayıda hücre içeren bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modeli Cplex çözücü kullanılmıştır.

Bortolini vd. (2018), yeniden yapılandırılabilir üretim sistemlerinin, uygulama alanları ve temel metodolojileri ile ilgili kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Bu bağlamda, yeniden yapılandırılabilir hücrel üretim sistemi tasarımı ve yönetimi ile ilgili literatürdeki çalışmalarını incelemişlerdir.

Behnia vd. (2019), çok boyutlu hücrel üretim sisteminde, iki amaçlı iki seviyeli bir model önermişlerdir. Problemlerinin amacı, hücrelerdeki boşluk sayısının enazlanması ve hücrelerin iş yükünün dengelenmesidir. Modellerinin çözümleri için, parçacık sürü optimizasyonu ve tavlama benzetimi kullanmışlardır.

Bortolini vd. (2019), yaptıkları çalışmada, hücrel üretim sisteminde makine yerleşimi, üretim alanı optimizasyonu ve hücreler arası akışın azaltılması üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla tam sayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır. Kurdukları modeli AMPL dilinde kodlanmışlar ve Gurobi Optimizer © v.4.0.1.0 çözücüsü kullanılarak çözmüşlerdir.

Kesavan vd. (2019), çalışmalarında, hücre oluşturma için, NP-zor problemlerinin çözümünde kullanılan sezgisel ve meta sezgisel algoritmaları incelenmişlerdir.

Mejia-Moncayo ve Battaia (2019), hücreli üretim sistemindeki üç temel problem olan hücre oluşumu, iş yükü dengeleme ve hücre yerleşimine çözüm getirmek amacıyla, kesikli genetik bakteri algoritması adında melez bir algoritma geliştirmişlerdir.

Eligüzel ve Özceylan (2019), bir spor tesisinde, önceden belirlenmiş programlara göre, spor aletlerinin tesis içindeki yerleşiminin ve aralarındaki mesafelerin en iyilenmesi amacıyla, hücreli üretim sistemi yöntemlerini kullanmışlardır. ROC algoritması ve ALC algoritmaları ile hücreleri oluşturmuşlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir.

Sormaz ve Chakrabarty (2019), alternatif rotaların varlığında, hücre oluşturma probleminin çözümü için uzay arama algoritması önermişlerdir. Amaçları, hücreler arası hareketliliğin azaltılmasıdır. Literatürden dört farklı problem üzerinde önerilen algoritma test edilmiştir.

Danilovic ve Ilic (2019), hücre oluşum probleminin çözümü için yeni bir algoritma önermişlerdir. Karmaşık ve çok amaçlı hücre oluşum problemlerinin çözümü için geliştirilen hibrit algoritma, literatürde bilinen problemlerle kıyaslanmış ve daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Xue ve Offodile (2020), çalışmalarında, dinamik hücre oluşturma ve hiyerarşik üretim planlama problemlerini ele alan, doğrusal olmayan karma tam sayılı programlama modeli kullanmışlardır. Problemlerinde kullandıkları matematiksel model ile, farklı dönemlere göre değişen üretim miktarları ile hücrelerin yeniden yapılandırılması sağlanmıştır. Bir metal kalıp işletmesinde vaka çalışması yapmışlar ve Lingo 8 paket programı ile çözerek, uygun çözüm elde edildiğini göstermişlerdir.

Rostami vd. (2020), sanal hücreli üretim sistemi ile tedarik zincirinin eş zamanlı entegrasyonu ve yeni ürün geliştirme için çok amaçlı bir matematiksel model kullanmışlardır. Çok amaçlı olarak kurulan modelin tek amaçlı olarak ele alınıp çözülmesi için, fayda fonksiyonuna sahip çoktan seçmeli bir hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için, genetik algoritma ve değişken komşu arama algoritmalarının birleşimi olan hibrit genetik algoritma kullanmışlardır.

2.2. Çok Amaçlı Çizelgeleme Problemleri ile İlgili Çalışmalar

Çizelgeleme problemleri, araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından sıklıkla kullanılan bir çalışma alanıdır. Gerçek hayat problemlerinde genellikle birden fazla amaç en iyilenmek istenmektedir. Bu sebeple çok amaçlı problemler öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, özellikle son yıllarda üretim çizelgeleme alanında yapılan çok amaçlı çizelgeleme çalışmaları ve çözüm yöntemleri incelenmeye çalışılmıştır.

Lee ve Asllani (2004), sıra bağımlı hazırlık sürelerinin dikkate alındığı, toplam tamamlanma zamanını ve toplam gecikmeyi en küçükleyen bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli sunmuşlardır. Büyük boyutlu problemler için ise genetik algoritma önermişlerdir.

Eren ve Güner (2005), beklemenin olmadığı akış tipi çizelgeleme probleminin ele alındığı problemin amacı, toplam tamamlanma zamanının ve en büyük gecikmenin beraber en küçüklenmesidir. Bu amaçla bir matematiksel programlama modeli kurularak, büyük boyutlu problemler için tabu arama algoritması ve rassal arama algoritması kullanılmıştır.

Sağır ve Saraç (2007), çalışmalarında, akış tipi atölye çizelgeleme problemini ele almışlardır. Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu sistemde, hazırlık süresi kaynaklı maliyetleri ve geciken iş sayısını en küçüklemek amacıyla bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Algoritmalarını, Ms Excel VBA ile kodlayarak kullanılmasını önermişlerdir.

Eren ve Güner (2007), bir diğer çalışmalarında, sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Toplam tamamlanma zamanının ve en büyük akış süresinin en küçüklenmesinin hedeflendiği 0-1 karma tam sayılı programlama modelini, büyük boyutlu problemler için NEH yöntemi ile çözmüşlerdir. Ayrıca tabu arama ve rassal arama yöntemlerini de kullanmışlardır.

Saraç ve Sipahioğlu (2009), kalıp kullanımı açısından farklılık gösteren paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Sıraya bağlı hazırlık sürelerinin olduğu problemde, işlerin gecikmelerinin önlenmesi ve hazırlık zamanlarının küçültülmesi amaçlanmıştır. Çözüm için sırt çantası problemi temelli bir matematiksel model kullanılmış olup, Gams paket programı ile çözülmüştür.

Naderi vd. (2009), toplam tamamlanma zamanını ve toplam gecikmeyi en küçükmeye çalışan bir hibrit akış atölye çizelgelemesi oluşturmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak tavlama benzetimi yöntemini kullanmışlardır.

Kırış ve Saraç (2009), sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. İki amaçlı olarak kurulan modelin çözümü için, bulanık hedef programlama kullanmışlardır.

Çevikcan (2010), doktora tezinde, kablo takımı üreten bir firmada, ürün tasarımı ve hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi bir arada işlenmiştir. Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin göz önüne alındığı bir çizelgeleme problemi için bir metodoloji geliştirilmiştir. Kurulan metodolojinin uygulanabilmesi için Visual Basic programında Java programlama dili kullanılarak yazılan bir yazılım geliştirilmiştir.

Temiz (2010), permütasyon akış tipi çizelgeleme probleminde çok amaçlı programlama modeli kullanmıştır. Amaçları, tamamlanma zamanının, toplam akış zamanının ve en büyük gecikme zamanının en küçüklenmesidir. Çözüm yöntemi olarak, tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır.

Özçelik ve Saraç (2011), sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çok amaçlı olarak kurulan matematiksel modelde, genişletilmiş ağırlıklı Tchebycheff fonksiyonu kullanılarak amaçların birleştirilmesi sağlanmıştır.

Ahmedizar ve Hosseini (2012), zaman bağımlı öğrenme ve serbest bırakma etkilerinin olduğu tek makine çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Amaçları, ağırlıklı en büyük tamamlanma zamanlarının ve toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama problemini ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile tek amaçlı hale getirmişlerdir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır.

Gomes vd. (2013), esnek atölye çizelgeleme problemini ele almışlardır. Karma tam sayılı doğrusal programlama problemi çok amaçlı olarak kurulmuştur ve amaçlar, erken ve geç bitirme ağırlıklı cezalarını ve süreç içi stok süresini en küçüklemek olarak belirlenmiştir. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi kullanılarak çok amaçlı problem tek amaçlı olarak çözülmüştür.

Mozdgir vd. (2013), iki aşamalı özdeş olmayan atölye çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. En büyük tamamlanma zamanının ve ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaçları ile karma tam sayılı doğrusal programlama problemi kurulmuştur. Çok amaçlı problem ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile tek amaçlı olarak GAMS programı ile çözülmüştür. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için, değişken komşu arama algoritması ve hibrit değişken komşu arama algoritması kullanılmıştır.

Abedi vd. (2014), paralel yığın işleme makinelerine, keyfi iş büyüklüğü olan, eşit olmayan serbest bırakma süresine sahip ve kapasite sınırlarının üretim ortamlarına göre değiştiği düşünülen, çok amaçlı karma tamsayı doğrusal programlama problemi uygulamışlardır. Hedefleri, en büyük tamamlanma zamanının ve erken, geç bitirme cezalarının en küçüklenmesi olarak belirlenen model, epsilon kısıt yöntemi ile tek amaçlı hale getirilmiştir.

Li vd. (2014), sıra bağımlı hazırlık süreli, hücre içi akış tipi çizelgeleme problemi için, toplam gecikme ve ortalama toplam akış süresi amaçlarını en iyilemeye çalışmışlardır. Problem çözümü için, hibrit harmoni arama algoritması kullanılmıştır.

Cheng vd. (2014), işlem sürelerinin başlama zamanlarına bağlı olarak değiştiği bir esnek atölye çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çok amaçlı ve karma tam sayılı doğrusal programlama problemi çözümü için dal sınır algoritması kullanmışlardır. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile problem tek amaçlı hale getirilmiştir.

Rostami vd. (2015), teslimat maliyeti olan bir tek makine çizelgeleme problemi ele almışlardır. Amaçları, en büyük gecikmenin ve teslimat maliyetlerinin en aza indirilmesidir. Bu sebeple, bir karma tam sayılı programlama modeli önermişlerdir. İlk olarak Gams paket programı kullanılarak küçük boyutlu problemler için çözüm geliştirilmiştir. Daha sonra, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma kullanılarak büyük boyutlu problemlere çözüm getirilmiştir.

Thornblad vd. (2015), esnek atölye tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Amaçları, toplam tamamlanma zamanının ve geciken iş sayısının en küçüklenmesidir. Karışık tam sayılı doğrusal olmayan problemlerinin çözümü için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemini kullanmışlardır.

Gannon (2017), üç aşamadan oluşan bir tez çalışması yapmıştır. İlk aşamada operatör ataması yapmıştır, ikinci aşamada parçaların hücrelere atamasını gerçekleştirmiştir. Son aşamada ise hücrelere atanan parçaların çizelgelemesini gerçekleştirmiştir. Çözüm yöntemi olarak genetik algoritma kullanmıştır.

Rostami vd. (2018), tedarik zinciri yönetimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Amaçları, ağırlıklı tamamlanma zamanı ve teslimat süreleri toplamının en küçüklenmesidir. Bu amaçla, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Küçük boyutlu problemlerinin çözümü için, dal sınır algoritması önermişlerdir. Büyük boyutlu problemler için ise tavlama benzetimi kullanılmıştır.

Li vd. (2018), yaptıkları çalışmada, enerji tüketimini ve tamamlanma zamanını en aza indirmeyi amaçlayan çok amaçlı bir model kurmuşlardır. Model çözümü için adaptiv komşu arama algoritması kullanmışlardır.

Kellerer vd. (2018), ortak teslim tarihli ürünlerin olduğu bir tek makine çizelgeleme probleminde, ağırlık erken teslimat ve gecikmenin en aza indirilmesi problemi üzerine çalışmışlardır. Sorunlarına, Boolean programlama ile çözüm getirmeye çalışmışlardır.

Karabulut (2018), doktora tezinde, çok makineli ve çok ürünlü montaj hattı çizelgeleme probleminde, depolama maliyetini ve üretim maliyetini en küçükmeye çalışan bir doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli önermiştir. Çok amaçlı problemin tek amaçlı olarak çözülmesi için, amaçlar ağırlıklandırılmıştır. Mevcut problem çözümü için ağırlıklar eşit alınmıştır. Model çözümü için, yeni bir sezgisel yöntem kullanmıştır.

Cabo vd. (2018), aynı anda birden fazla ürünü işleyebilen bir makine çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. En büyük geciken işin en küçüklenmesi ve işlenecek ürün parti sayısının en küçüklenmesi amaçları taşıyan modellerini epsilon kısıt yöntemi ve genetik algoritma kullanmışlardır.

Deliktaş vd. (2019), esnek atölye tipi hücre çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Ele alınan problemde, istisnai parçalar, hücreler arası hareket ve taşıma süreleri, sıra bağımlı hazırlık süreleri ve tekrar çevrimler mevcuttur. İlk olarak en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaç fonksiyonu Lingo 11.0 programı ile çözülmüştür. Daha sonra modele toplam gecikmenin en küçüklenmesi amaç fonksiyonu eklenerek, epsilon kısıt yöntemi, ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ve konik skalerleştirme yöntemi kullanılarak tek amaçlı hale getirilmiştir.

Sara (2019), yüksek lisans tezinde, alüminyum sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede, tek makineli ve çok amaçlı çizelgeleme modeli çalışmıştır. Çalışmada, 5 karar verici, 5 amaç fonksiyonunu, 4 farklı ağırlıklandırma yöntemi ile ağırlıklandırmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Problem çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır.

Yüksel (2019), yüksek lisans tezinde, permütasyon akış tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Üç farklı amacı, karma tam sayılı doğrusal programlama ve kısıt programlama yöntemi ile ayrı ayrı en iyilemiştir. İkinci olarak, her amaç fonksiyonuna, toplam enerji tüketimini en küçükmeye çalışan bir amaç eklenerek, çok amaçlı bir problem elde edilmiştir. Küçük boyutlu problemler için, artırılmış epsilon kısıt yöntemi ile problem tek amaçlı hale getirilerek Cplex optimizasyon programı ile çözülmüştür. Büyük boyutlu problemler için, çok amaçlı ayrık yapay

arı kolonisi algoritması, çok amaçlı geleneksel genetik algoritma ve çok amaçlı genetik algoritma çeşidi kullanılmıştır.

Tarakçı (2019), doktora tezinde, tek makineli bir üretim sisteminde, sıra bağımlı hazırlık süresine sahip, toplam gecikme süresinin ve toplam enerji tüketiminin en küçüklenmesi amacıyla, karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli kullanmıştır. Problem çözümü için, Gams optimizasyon programında analitik çözüm kullanılmıştır. Çok amaçlı problemin tek amaçlı olarak ele alınması için Ağırlık Toplam Yöntemi kullanılmıştır. Büyük boyutlu problemler için genetik algoritma kullanılmıştır.

Topçam (2019), yüksek lisans tezinde, melez ateş böceği algoritmasını, çok amaçlı esnek akış tipi çizelgeleme probleminde kullanmıştır. İki amaçlı olan problemin tek amaçlı hale getirilmesi için Ağırlık Toplam Yöntemi kullanılmıştır.

Atmaz (2019), yüksek lisans tezinde, geçmiş sıra bağımlı zaman tabanlı öğrenme etkisi altında tek makineli çizelgeleme modelini ele almıştır. Üç amaçlı olan problem, Lingo 17.0 programında her amaç ayrı ayrı en iyilenerek çözülmüş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Büyük boyutlu problemler için tabu tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır.

Akargöl (2019), yüksek lisans tezinde, tek makine çizelgeleme problemini, en büyük tamamlanma zamanı, ortalama tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanlarının farkının toplamı, amaçları altında incelemiştir. Çalışmasında, geçmiş sıra bağımlı öğrenmesi etkisi altında iş tabanlı çizelgeleme problemini ele almıştır. Amaçlar ayrı ayrı Lingo 17.0 programı ile en iyilenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Büyük boyutlu problemler için tabu tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır.

Zhang vd. (2019), çalışmalarında, tek makine lotu çizelgeleme problemini incelemektedirler. Toplam ağırlıklı tamamlanma süresini ve toplam ağırlıklı indirgenmiş tamamlanma süresinin en küçüklemek amacıyla, ağırlıklı en kısa işlem süresi kuralını uygulamışlardır.

Xu vd. (2019), üretim çizelgeleme ve önleyici bakım planlamasının beraber ele alındığı bir çalışma yapmışlardır. Kutu paketleme problemini ele alan altı model, iki amaç için ele alınmıştır. Amaçlar, tamamlanma zamanı ve toplam akış süresinin en az küçüklenmesidir.

Haskılıç (2019), doktora tezi olarak sunduğu çalışmasında, otoklav yükleme ve çizelgeleme problemi üzerine çalışmıştır. Bu amaçla kurduğu matematiksel modelinde, otoklavların kullanılmayan alan yüzdesinin ve karşılanmayan toplam talep yüzdesinin en

küçüklenmesi üzerine çalışmıştır. Model çözümü için IBM ILOG Cplex optimizasyon programı kullanılmıştır.

Ceylan vd. (2019), beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren firmada, sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Son ürünün tamamlanma zamanının ve toplam gecikmenin en aza indirilmesi amaçlanan model, hedef programlama yöntemi ile çözülmüştür. Büyük boyutlu problemler için ise Gams/Cplex programı kullanılmıştır.

Önemli (2019), yüksek lisans tezinde, iki aşamalı bir makine çizelgeleme problemini ele almıştır. İlk aşamada ürünlerin günlere atanması yapılmıştır, ikinci aşamada ise gün içinde ürünlerin üretim sırasının belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. İlk aşamada, hem bir hem iki makineli olarak günlere ürün ataması yapılmıştır. Her iki aşamada da matematiksel modeller kullanılmıştır. İlk aşamanın çözümü için Gams programı kullanılmıştır. İkinci aşamanın çözümü için epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır.

Duffuaa vd. (2019), üretim planlama, bakım ve süreç kontrolü birlikte optimize edilmeye çalışıldığı bir tek makine çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Amaçları, toplam maliyetin en küçüklenmesi, üretim çizelgelemesi, stok tutma, bakım faaliyetleri ve kalitenin kontrol altında olabilmesidir.

Safarzadeh ve Niaki (2019), çalışmalarında, paralel makine çizelgeleme problemini çevre kirliliğini de dikkate alarak incelemişlerdir. Problemlerindeki amaç, üretim maliyetlerini düşürmenin yanında çevre kirliliği maliyetini de düşürmektir. Bu amaçla, karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlar ve epsilon kısıt yöntemi ile tek amaç fonksiyonlu duruma getirmişlerdir.

Zheng ve Sui (2019), atöyle çizelgeleme probleminin bir çeşidi olan farklı rotalara sahip atölye çizelgeleme probleminde, tamamlanma zamanını ve seçilecek rotanın proses zamanlarını en küçükmeye çalıştıkları, iki amaçlı tam sayılı programlama modeli kurmuşlardır. Küçük boyutlu problemlerin çözümü için epsilon kısıt yöntemi kullanırlarken, büyük boyutlu problemler için ise genetik algoritma kullanmışlardır.

Vaez vd. (2019), parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini beraber ele almışlardır. Toplam karlılığın en büyükleştiği ve CO₂ emisyonlarının en küçükmeye çalışıldığı bir matematiksel model kullanmışlardır. Gerçek hayat problemini ele aldıkları çalışmayı epsilon kısıt yöntemi ile çözmüşlerdir.

Zheng ve Wang (2019), endüstri 4.0 ile beraber, ardışık işlemlere sahip işlerin aynı anda yapılabilir olduğu, esnek atölye çizelgeleme problemini ele almışlardır. Tamamlanma zamanının

ve çakışan işlerin getirdiği maliyetin en küçüklenmesinin amaçlandığı matematiksel model, epsilon kısıt yöntemi ile çözülmüştür.

Vahedi-Nouri vd. (2019), endüstri 4.0 kapsamında olan bulut üretim sisteminde bir çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Hem müşteriler hem de bulut sisteminde olan fabrikalar arasında eşitlik kurmak ve sağladıkları faydayı en büyükmek amacıyla, 3 amaçlı bir matematiksel model kurmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak epsilon kısıt yöntemi kullanmışlardır.

Saraç ve Sağır (2019), bir kağıt fabrikasında, toplam firenin ve kullanılacak bobin çeşitliliğinin azaltılmasıyla amacıyla, tam sayılı doğrusal matematiksel model geliştirmişlerdir. Problem çözümünde epsilon kısıt yöntemi kullanılarak en iyi çözüm elde edilmiştir. Çözüm aşamasında Gams paket programı kullanılmıştır.

Mohammadi vd. (2020), üretim ve dağıtım kararlarının beraber ele alındığı bir esnek atölye çizelgeleme problemi üzerinde durmuşlardır. İki amaçlı olan karışık tam sayılı programlama modelinde, ilk amaçları, üretim ve dağıtım maliyetlerinin en küçüklenmesi, ikinci amaçları ise erken ve geç teslimat maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Küçük boyutlu problem çözümlerinde epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır. Büyük boyutlu problemler için ise parçacık sürü optimizasyonu yöntemi kullanılmıştır.

Önal (2020), yüksek lisans çalışmasında, çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme modelini ele almıştır. Problem çözümü için, çok amaçlı genetik algoritma ve çok amaçlı karınca kolonisi algoritmasını kullanmış ve farklı boyuttaki problemlerin çözümlerinde algoritmaların performanslarını kıyaslamıştır. Amaçların ağırlıklarının belirlenmesinde, ortalama yöntemi kullanılmıştır.

Hücreli üretim sistemi ve çok amaçlı çizelgeleme problemleri literatürde çok sayıda çalışmada uygulama alanı bulmuş olup, üretim sistemi tasarımı, hücre içi çizelgeleme ve dinamik yapıya uyum sağlayacak bilgi sistemi tasarımı içeren bütünleşik yaklaşıma çok sayıda çalışmada rastlanmamıştır. Bu sebeple yapılan çalışmanın hem gelecek problemlere ışık tutacak olması, hem de benzer problemlerin çözümünde faydalı olacağı düşünülmektedir.



3. ÜRETİM SİSTEMİ KAVRAMI

3.1. Üretim ve Hizmet Sistemi Kavramı

Üretim sistemleri, malzeme, makine ve işgücü gibi üretim faktörlerini kullanarak, belirli girdilerden mal veya hizmet üreten sistemlerdir (Erozan, 2017:1). Üretim, en genel tanımıyla değer yaratmak olarak bilinir. Üretim, işletmeciler ve mühendisler tarafından ürün meydana getirme olarak tanımlanır fakat ekonomistler, topluma faydalı olan fiziki ya da fiziki olmayan tüm süreçleri üretim olarak tanımlamaktadırlar.

Hizmet üretimi, toplumun yararına olan soyut bir faydanın meydana getirilme süreci olarak tanımlanabilir. Hizmet sistemleri, fiziki bir ürün üretimine dayalı olmayan ve birçok sektörü içine alan sistemlerdir. Bu sektörler eğitim, sağlık, lojistik, bankacılık ve finans, temizlik ve bilişim sektörleri örnek gösterilebilir.

Her işletmenin ürettiği ürün çeşidine ve müşteri taleplerine göre değişen ihtiyaçları mevcuttur. Bu sebeple kullandıkları üretim sistemi de değişiklik göstermektedir. Üretim sistemleri genellikle, geleneksel ve modern üretim sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Geleneksel üretim sistemi, kesikli üretim sistemi ve sürekli üretim sistemi olarak ikiye ayrılabilir.

Geleneksel üretim sistemlerinin “geleneksel” sıfatı ile nitelendirilmesinin temel nedenleri olarak; uzun süredir kullanılmaları, genelde yüksek teknolojinin kullanılmaması ve yaklaşım olarak günümüzün ihtiyaçlarından doğmaması gösterilebilir (Erozan, 2017:44). Geleneksel üretim sistemleri kesikli ve sürekli üretim sistemleri olarak ayrılabilir.

Kesikli üretim sistemleri; üretilen ürünün genellikle bir tane ve benzersiz olduğu, tüm üretim ekipmanlarının ürünün imal edileceği yere taşındığı üretim sistemi olan proje tipi üretimi, farklı müşteri taleplerini karşılamak için genellikle sabit ekipmanlar kullanılan ve orta ve küçük hacimli ürünler üretilen atölye tipi üretimi ve sınırlı sayıda ve aynı tip ürünlerden oluşan çıktıları üreten parti tipi üretim sistemlerini içine almaktadır.

Sürekli üretim sistemleri ise, standart ve yüksek hacimde ürün üreten kitlesel üretim sistemini ve sabit ürün talebi olan, nihai ürünlerin stoklanmadığı veya yüksek maliyetli olduğu ve ilk yatırım ve kurulum maliyetlerinin çok yüksek olduğu akış tipi üretim sistemini kapsamaktadır.

Modern üretim sistemleri, globalleşen dünyada müşteri taleplerinin değişmesi ve ürün çeşitliliğinin artması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu üretim sistemlerinde genellikle, sürece özgü ürünler, üretim yöntemleri ve ekipmanlar mevcuttur. Modern üretim sistemleri içinde genellikle,

bilgisayar bütünleşik üretim sistemi, yalın üretim sistemi, çevik üretim sistemi ve hücresele üretim sistemi yer almaktadır.

Bilgisayar bütünleşik üretim sisteminde, ürünün tasarımı, üretimi, kalite kontrolü ve taşınması bilgisayar sistemleri ile kontrol edilir ve üretilen ürünler yüksek hassasiyete sahip ürünlerdir. Bu üretim sisteminde CAD ve CAM yazılımları ve CNC makineleri sıklıkla kullanılır.

Yalın üretim sistemi, ilk olarak Japonya'da ikinci dünya savaşı sonrası ortaya çıkmıştır. Müşterinin değişken taleplerini asgari israf ve azami ekipman kullanımı ile gerçekleştirmeyi hedefleyen bir üretim sistemidir. İlk olarak Toyota'da üretim mühendisi olarak çalışan Taiichi Ohno tarafından ortaya atılmıştır ve Toyota üretim sistemi olarak anılmıştır. Daha sonra batı ülkelerine yayılan bu üretim sistemi, yalın üretim sistemi adını almıştır. Amacı, tüm israfların ortadan kaldırılması, istenilen ürünün istenilen zamanda ve istenilen adette müşteriye ulaştırılmasının sağlanması, üretimin daha verimli gerçekleştirilmesi, üretim sürelerinin ve maliyetlerin azaltılması ve operatörün işe olan bağlılığının artırılması olarak sıralanabilir.

Çevik üretim sistemi, yalın üretim sisteminin çoğu özelliğini ve araçlarını kullanmanın yanı sıra, müşterilerin değişen talepleri karşısında rekabetçi ortamda ayakta kalabilmeyi hedeflemektedir. Yalın üretim sistemi, değişken ortamlarda çok iyi performans göstermemektedir ve kaynakların en yüksek oranda kullanılmasına odaklanmaktadır. Çevik üretim sistemi ise, değişikliklere hızlı çözüm üretme ve müşterilerinin gelecekteki taleplerini yerine getirmeye odaklanır.

3.2. Hücresele Üretim Sistemi

Benzer parçalardan oluşan bir aile üretmek için benzer olmayan makineleri ve bir operatör grubunu bir hücrede gruplama stratejisine hücresele üretim denir (Askın ve Zhou, 1998).

Hücresele üretim, benzer süreçlere sahip olan parçaların bir araya getirilerek, üretimde verimlilik artışı, teslim sürelerinde kısalma ve süreç içi stoklarda azalmanın hedeflendiği üretim sistemi olarak tanımlanabilir.

Hücresele üretim, günümüzde büyük ve orta büyüklükte parti tipi üretim yapan üretim sistemlerinin hız ve verimlilik sorunlarına çözüm sunan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, proses tipi üretimin esnekliği ile akış tipi üretimin yüksek performansını bir araya getirerek süreç içi stok, hazırlık ve akış süreleri gibi anahtar değerleri düşürmekte, talepteki değişikliklere kısa sürede yanıt verebilmektedir (Kaya vd.,2012).

Hücresele üretim, üretim hücrelerini oluşturmak için grup teknolojisini kullanan üretim sistemi tasarımıdır. Bir üretim sisteminde, grup teknolojisi felsefesi, hücrele ile ürün aileleri

oluşturmak için kullanılır. Böylece, benzer parçaların işlendiği az sayıda makine ile üretim hücreleri oluşturur (Gannon, 2017).

Grup teknolojisi, benzer süreçlere sahip ürünlerin ve makinelerin bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilen bir tesis yerleşimi yaklaşımıdır. Grup teknolojisi birçok yeni üretim yaklaşımı ile doğrudan ilişkili olmasına rağmen bu sistemlerin doğru çalışması için de bir gerekliliktir.

Grup teknolojisi temelde, farklı özellikler ile benzer verilerin gruplanmasını veya kümelenmesini amaçlar. Çok sayıdaki veriyi az sayıdaki benzer gruba dönüştürmek, kullanıcılara daha az sayıdaki sınıflandırılmış veri ile işlem yapma kolaylığı sağlar (Erozan, 2017:167).

3.2.1. Hücresel üretim sistemi avantajları ve dezavantajları

Hücresel üretim sisteminin her üretim sisteminde olduğu gibi avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Avantajlarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Orta seviyede ürün ve hacim esnekliğine sahip işletmeler için uygundur.
- Üretilen ürünlerin talebi, çok yüksek olmamak kaydı ile değişken olan ortamlarda yüksek performans gösterir.
- Süreç içi stok miktarlarını düşürür.
- Süreç içi stoklardaki taşıma süreleri de azalır.
- Toplam üretim sürelerinde kısalma sağlanır.
- Siparişe göre üretim ve parti tipi üretimdeki gibi işlenecek parçalar belirli partilerle bir istasyondan diğerine taşınmaz. Sürekli üretim sistemlerine benzer akıcı bir hareket bu üretim sisteminin etkinliğini artırır (Erozan, 2017:176).
- Hazırlık sürelerinde kısalmalara neden olur.
- Küçük üretim bölümleri oluşturduğu için yönetilebilirlik artar.
- Hücrelerde çizelgeleme işlemi kolaylaşır.
- Makine ve parça atamasının yanında işgücü atamasının da yapıldığı hücrede, operatörlerin sorumlulukları ve aidiyet duyguları artar.
- Benzer ürünlerin işlenmesinden dolayı, ürün kalitesinde artış görülür.
- Ürün birim maliyetinde düşüşe sebep olur.

Hücresel üretim sistemi uygulamadaki dezavantajlar ise şöyle sıralanabilir:

- Hücresel üretime geçiş aşamasında yatırım maliyetleri oluşabilir.
- Çok farklı ürünlerin üretildiği ortamlarda verimli çalışma sağlanamayabilir.

- Hücre içindeki tüm makineler arasında hat dengeleme çalışması güzel yapılmalıdır aksi takdirde dar boğazlar oluşup, süreç içi stoklar artabilir.
- Parti büyüklükleri azalır, hücre etkinliği azalır.
- Hücrelere atanan makine sayısı arttıkça hücrelerin etkinliği azalır.
- Hücresel üretimde, sürece göre yerleşim sistemine göre daha düşük ekipman ve işgücü verimliliği görülür.

3.2.2. Hücre oluşturma yöntemleri

Hücresel üretimde ilk adım hücreleri oluşturmaktır. Bu amaçla çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Üretim sistemlerinin farklılıkları, hedeflenen amaçlar ve karmaşıklık düzeylerinin farklılığı sebebi ile araştırmacılar tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Hücreler oluşturulurken öncelikle, problemin yapısı ve karmaşıklığı incelenmelidir. Çözüm süresinin kısalığı ve kullanımının basitliği sebebi ile geleneksel ve görsel yöntemlerin kullanımına öncelik verilmelidir. Eğer problem, NP-hard (non-deterministic polynomial-time) sınıfında değerlendiriliyorsa ilk olarak matris formülasyonları veya matematiksel model yöntemleri kullanılmalıdır. Ele alınan problem boyutu ve karmaşıklığı sebebiyle kabul edilebilir bir sürede çözüme ulaşamıyorsa algoritmalar ve yapay zeka yöntemleri kullanılabilir.

Görsel tanımlayıcı yöntemler

Geleneksel bir yöntem olan görsel tanımlayıcı yöntemlerde, ürün sayısı az ve görsel kontrol ile ayırt edilebilir özelliktedir. Bu metodun maliyetsiz olması ve kolay uygulanır olması tercih sebebi olabilir.

Kişisel değerlendirme yapılarak parçaların ve makinelerin hücrelere atandığı bu yöntemde uygulayıcı kişinin ürün hakkındaki bilgisi önemlidir. Bu sebeple değerlendirme için ürün fotoğrafları veya master parçalar kullanılabilir.

Parça kodlama analizi yöntemleri

Parça kodlama sistemleri, H.Opitz (1970) tarafından, rakam ve harf gibi semboller aracılığı ile parçaların tasarım ve üretim özelliklerini belirleyen şemalar olarak geliştirilmiştir (Erozan, 2017:191).

Parça aileleri kodlar kullanılarak belirlenebilir. İlk olarak, parça ailesi uygulama hedefleri belirlenmelidir. Tasarım uygulamaları için parça aileleri genellikle üretim uygulamaları için olanlardan oldukça farklı parça özelliklerine dayanır, dolayısıyla, parça ailelerin oluşturulmasının nedenleri açıklığa kavuşturulmalıdır. Hedefler belirlendikten sonra, ilgili parça ailesi özellikleri

belirlenir ve bu özelliklere karşılık gelen kodlar belirtilir. Kodlanmış parçaların veri tabanı daha sonra parça ailesi üyelerini saklamak için kullanılır (Tatikonda ve Wemmerlöv, 1992).

Bu yöntem, hiyerarşik kodlar, hiyerarşik olmayan kodlar ve karma kodlar olarak üç grupta toplanmaktadır. Literatürde tanımlanan birçok parça kodlama analizi yöntemi bulunmaktadır. Bunların en önemlisi Opitz tarafından kendi adıyla anılan kodlama analizi yöntemi olarak görülmektedir. Bu yöntem, ürünlerin tasarım ve üretim aşamalarının incelenmesini gerektirdiğinden aynı zamanda maliyetli ve uzun süren bir analiz süreci olmasından dolayı çok tercih edilen bir yöntem değildir.

Dizi tabanlı yöntemler

Hücre oluşturma yöntemlerinde kullanıcılar için önemli olan kısa zamanda sonuç vermesi ve maliyetsiz olmasıdır. Bu sebeple bazı yöntemleri kullanmanın çok avantajlı olmadığı düşünülmektedir. Boyutları belirli büyüklüğün üstünde olan problemler için kısa zamanda hesaplamak olanaksızdır.

Daha az hesaplama gerektiren, daha kısa zamanda en iyi çözümü bulan veya ona çok yaklaşır yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aslında “parça-makine görünüm matrisinin” permütasyonlarının arasından “blok-köşegen yapının” oluşmasında uygun olmayanların büyük bir kısmını hızlı bir şekilde ortadan kaldırmaya yararlar. Bu da zaman ve hesaplama kolaylığı sağlar (Başaran, 2005). Bu avantajlarının yanı sıra, hücre oluşum sürecinde herhangi başka bir veri kullanılmaması, gerçek sonuçların oluşmasını tehlikeye atabilmektedir.

Dizi tabanlı yöntemler için literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Derece Sıralaması ile Kümeleme Yöntemi (ROC algoritması) ve Bond Enerji Analizi Yöntemidir.

Hesaplama ve analiz kolaylığı sağlayan ROC algoritması, daha sonra hem yazarın kendisi hem de başka araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Algoritma adımları ilk geliştirildiği şekli ile izleyen şekilde gösterilebilir (King, 1980; Başaran, 2005):

Adım 1: Her sütuna bir öncekinin iki katı olacak şekilde ağırlıklar atanır. Her sütun k ile toplam sütun sayısı m ile ve ağırlıklar A ile gösterilecek olursa bu, eşitlik 3.1 ile hesaplanır.

$$A_k = 2^{m-k} \quad (3.1)$$

Adım 2: Satırlardaki “1” girdileri ile, sütunların ağırlık değerleri çarpılarak, satırların karşılıklarına yazılır. Satırlara l , sütunlara k , matristeki ikili girdilere b_{lk} ve ağırlıkların toplamlarına TA_l denilecek olursa bu, eşitlik 3.2 ile hesaplanır.

$$TA_l = \sum_{k=1}^m 2^{m-k} b_{lk} \quad (3.2)$$

Adım 3: Satırlar TA_l değerlerinin azalan düzeninde yeniden sıralanır.

Adım 4: Her satıra bir öncekinin iki katı olacak şekilde ağırlıklar atanır. Satırlar l ile toplam satır sayısı n ile gösterildiğinde ağırlıklar, eşitlik 3.3 ile hesaplanır.

$$A_l = 2^{n-l} \quad (3.3)$$

Adım 5: Sütunlardaki “1” girdileri ile, satırların ağırlık değerleri çarpılarak, sütunların karşılıklarına yazılır. Bu ağırlıklar toplamına TA_k denirse bu, eşitlik 3.4 ile hesaplanır.

$$TA_k = \sum_{l=1}^n 2^{n-l} b_{lk} \quad (3.4)$$

Adım 6: Sütunlar TA_k değerinin azalan düzeninde yeniden sıralanır.

Adım 7: Bu adımda blok köşegen yapı oluşma durumu kontrol edilir. Eğer oluşmamış ise adım 1'e dönülür ve blok köşegen yapı oluşana kadar algoritma tekrarlanır. Sonucun bir önceki ile aynı çıkması durumunda algoritma durdurulur.

İlk olarak 1972 yılında McCormick, Schweitzer ve White tarafından geliştirilen Bond Enerji Analizi Yöntemi, parça-makine matrisinde blok köşegen yapı oluşturmak için enerji değerlerini hesaplamaya çalışan bir yöntemdir.

Satır bond enerjisi, alt alta gelen iki satırın, karşılıklı aynı sütunda bulunan elemanları eğer aynı değere sahip iseler, “1” bond enerji değeri verilerek bunların toplamalarının alınmasıyla bulunur. Yani, ikili sistemde alt alta gelen iki tane “0” veya iki tane “1” elemanı, “1” bond enerji değerine sahiptir (Başaran, 2005).

Bond enerjisini hesaplamakta kullanılan algoritmanın amacı, matristeki bütün satır ve sütun permütasyonlarının bond enerjilerinin toplamını en büyükmeye çalışmaktır. Matematiksel olarak eşitlik 3.5 ile en büyükmeye çalışılır (McCormick vd., 1972; Başaran, 2005).

$$\sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^n b_{lk} [b_{l,k+1} + b_{l,k-1} + b_{l+1,k} + b_{l-1,k}] \quad (3.5)$$

Bond enerjisi yönteminde kullanılan algoritmanın adımları şunlardır:

Adım 1: $l=1$ değeri verilir ve başlangıç matrisinde rastgele bir satır seçilir. Seçilen satırın altına yine başlangıç matrisinden rastgele seçilen satırlardan biri eklenir ve böylece iki satırdan oluşan bir matris elde edilir. Aynı işlem, başlangıç matrisinin kalan tüm satırları, bu seçilen satırın altına yazılarak iki satırlı matrisler oluşturulur. $l=1$ değeri, oluşturulan her iki satırlı matristeki satırlardan birinin her zaman başta seçilen satır olacağını göstermektedir.

Adım 2: Oluşturulan matrislerin satır bond enerjileri hesaplanır. Kullanılan eşitlik 3.6'da gösterilmiştir.

$$\sum_{l=1}^{l+1} \sum_{k=1}^m b_{lk} (b_{l-1,k} + b_{l+1,k}) \quad (3.6)$$

Bu matrislerden bond enerjisi en yüksek olanı seçilir.

Adım 3: Başlangıç matrisindeki geriye kalan tüm satırlar, bond enerjisi en yüksek olan bu matristeki satırların bir altına ve bir üstüne yerleştirilerek $l = l + 1$ satırdan oluşan yeni matrisler oluşturulur. $l < m$ ise adım 2'ye, değilse adım 4'e gidilir.

Adım 4: $k = 1$ değeri verilir ve başlangıç matrisinde rastgele bir satır seçilir. Seçilen sütunun yanına yine başlangıç matrisinden rastgele seçilen sütunlardan biri eklenir ve böylece iki sütundan oluşan bir matris elde edilir. Aynı işlem, başlangıç matrisinin kalan tüm sütunları, bu seçilen sütunun yanına yazılarak iki sütunlu matrisler oluşturulur. $k = 1$ değeri, oluşturulan her iki sütunlu matristeki sütunlardan birinin her zaman başta seçilen sütun olacağını göstermektedir.

Adım 5: Oluşturulan matrislerin sütun bond enerjileri eşitlik 3.7 ile hesaplanır.

$$\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^{k+1} b_{lk} (b_{l,k-1} + b_{l,k+1}) \quad (3.7)$$

Bu matrislerden bond enerjisi en yüksek olanı seçilir.

Adım 6: Başlangıç matrisindeki geriye kalan tüm sütunlar, bond enerjisi en yüksek olan bu matristeki sütunların bir sağına, bir soluna yerleştirilerek $k = k + 1$ sütundan oluşan yeni matrisler oluşturulur. $k < n$ ise adım 5'e gidilir değilse algoritma durdurulur.

Matematiksel programlama yöntemleri

Hücreyel üretim sisteminde, hücre oluşturmak için kolay ve sık kullanılan geleneksel yöntemler, bazı dezavantajlara sahiptir. Problem boyutunun büyüdüğü ve geleneksel yöntemler ile çözülemeyecek karmaşıklıkta olan uygulamalarda matematiksel programlama yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Matematiksel programlama yöntemleri, genellikle bir amacın en büyüklenmesi veya en küçüklenmesi ile ilgilenirler. Bu amaçlar, hücre içi ve hücreler arası malzeme hareketinin en küçüklenmesi, grup etkinliğinin en büyüklenmesi ve darboğaz maliyetlerinin en küçüklenmesi olabilmektedir.

Kurulan matematiksel modeller, çözüm süresinin kısalığı ve kolaylığı sebebiyle genellikle tek amaçlı ve doğrusal olarak kurulmaktadır fakat gerçek hayat problemlerinde

genellikle iki veya daha fazla amaç yöneticiler tarafından en iyilenmeye çalışılmaktadır. Bu sebeple çok amaçlı ve doğrusal olmayan modeller ile de çalışmalar yapılmaktadır.

Algoritmalar

Problem boyutu büyüdüğünde ve amaç sayıları arttığında matematiksel programlama modelleri ile kabul edilebilir zamanda çözüme ulaşılamamaktadır. Bu gibi durumlarda sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalar uygun zamanlar içinde en iyiye yakın çözümler getirebilmektedir.

Sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar, klasik algoritmaların ve matematiksel programlama yaklaşımlarının belirtilen eksiklerinden ve dezavantajlarından kaçınmak için geliştirilmiştir. Her ne kadar belirtilen eksikleri giderebilirler bile bu algoritmaların hiç biri en iyi veya en iyiye çok yakın çözüm üretmeyi garanti etmezler. Ancak makul bir sürede en iyiye yakın çözümler üretirler (Erozan, 2014).

Hücre oluşturma problemlerinde sıklıkla kullanılan algoritmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Genetik algoritma
- Tavlama benzetimi algoritması
- Tabu arama algoritması
- Parçacık sürü algoritması
- Karınca kolonisi algoritması

4. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ VE ÇOK AMAÇLI PROGRAMLAMA ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

4.1. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme problemlerinin genel amacı, pazar taleplerini karşılamak için işletme kaynaklarının en yüksek seviyede kullanımını sağlayarak, çıktı oranını artırmak ve karlılığı yükseltmektir.

Çizelgeleme, imalat ve hizmet endüstrisinde sıklıkla kullanılan bir karar verme sürecidir. Verilen sürelerde kaynakların görevlere tahsisi ile ilgilenilir ve bir veya daha fazla amaç en iyilenmeye çalışılır (Pinedo, 2008:1).

Üretim sistemlerinde çizelgelemenin amacı, üretilecek işlerin hangi sırayla hangi makinede işleneceğinin belirlenmesidir. Hizmet sektöründe ise, müşterilerin istek ve şikayetleri problem girdisi olarak kullanılıp, memnuniyet düzeyi artırılmış müşteri, çıktı olarak kullanılır.

Çizelgeleme problemleri sınıflandırılırken temel alınan ölçütler en önemlisi üretim ortamının türüdür. Günümüzde farklı yapı ve özelliklere sahip üretim ortamlarına rastlanmaktadır. Çizelgeleme probleminde ele alınan üretim ortamının türü, problemin kısıtlarını ve kaynakların özelliklerini etkileyecektir. Üretim ortamının çeşitliliğine göre çizelgeleme problemleri de çeşitlilik göstermektedir. Çizelgeleme problemi, tek makineli birden fazla işin sıralandığı problemlerden, çok makineli karmaşık atölye yapısının olduğu boyutlara kadar farklılıklar gösterebilmektedir (Kaya ve Karaçizmeli, 2018).

Üretim sisteminde kullanılan çizelgeleme, tek makine çizelgeleme, paralel makine çizelgeleme, akış tipi çizelgeleme, esnek akış tipi çizelgeleme, atölye tipi çizelgeleme, esnek atölye çizelgeleme ve açık atölye çizelgeleme problemleri olarak sınıflandırılabilir.

Gerçek hayat problemlerine uygulanan çizelgeleme problemlerinde, işletme yöneticileri aynı anda birden fazla amacın en iyilenmesini istemektedirler. Bu sebeple matematiksel modeller, iki veya daha fazla amaçlı olarak kurulur.

4.2. Çok Amaçlı Programlama Problemleri için Çözüm Yöntemleri

Çok amaçlı problemlerin yapısı gereği tek en iyi karar bulmak olanaksızdır. Genellikle amaçlar birbirleriyle kıyaslanarak karar vericiler için kabul edilebilir sonuçlar bulunmaya çalışılır.

4.2.1. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi

Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi, bilinen en eski ve en yaygın kullanılan skalerleştirme yöntemlerinden biri olarak kabul edilir. Karar verici her amaç için farklı ağırlık değerleri vererek, farklı pareto çözümler elde etmeye çalışır. Böylece çok amaçlı problem, amaç fonksiyonlarına farklı ağırlıklar verilerek tek amaçlı hale getirilir.

Her çok amaçlı model, eşitlik 4.1 ile tanımlanabilir.

$$\text{enk}(f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)), x \in S \quad (4.1)$$

w_k, k . Amaç fonksiyonuna karar verici tarafından verilen pozitif ağırlık olmak üzere, skaler amaç fonksiyonu eşitlik 4.2 ile verilebilir.

$$\text{enk}_{x \in X} \sum_{k=1}^p w_k f_k(x) \quad (4.2)$$

Sabit ağırlıklar ayarlanarak, çözüm algoritmasının, çözüm uzayını arama yönü ayarlanabilir. Sabit ağırlıklı amaç fonksiyonu yönteminde bir veya birden fazla amacın ağırlık değeri yüksek verilerek, arama uzayında belirli bir yönde hareket etmesi sağlanabilir. Burada karar verici en önemli gördüğü amacın ağırlık değerini daha yüksek tutarak, elde etmek istediği sonuçlara ulaşacak şekilde arama uzayının taranmasını sağlayabilir (Kaya ve Fırlı, 2016).

4.2.2. Epsilon (ϵ) kısıt yöntemi

İlk olarak 1971 yılında Haines ve arkadaşları tarafından önerilen yöntem daha sonra 1983 yılında Chankong ve Haines tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde amaçlardan biri karar verici tarafından seçilir ve diğer amaçlar kısıt olarak modele eklenir.

Epsilon kısıt yönteminin en büyük avantajı, çok amaçlı programlama üzerinde dışbükeylik şartına ihtiyaç duymamasıdır. Bununla birlikte, karar vericinin amaç fonksiyonları arasındaki ağırlık tercihlerini göz önüne almaması, yöntemin daha çok analiz temelli bir yöntem olmasına sebep olmaktadır (Üstün, 2007).

Bu yöntemde, karar verici tarafından bir epsilon (ϵ) değeri belirlenir ve kısıtlanan amaçlar bu ϵ değeri ile çalıştırılarak pareto etkin kümede arama yapılmaktadır.

$$\text{enk} f_1(x) \quad (4.3)$$

$$f_2(x) \leq \epsilon_2 \quad (4.4)$$

$$f_3(x) \leq \epsilon_3 \quad (4.5)$$

...

$$f_k(x) \leq \varepsilon_k \quad (4.6)$$

$$x \in S$$

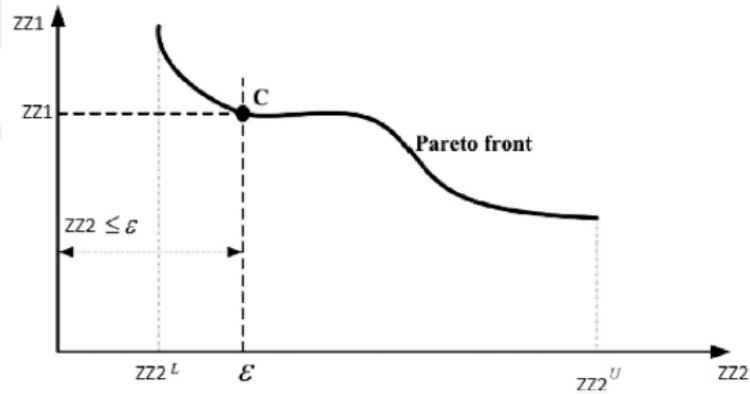
Buna göre epsilon kısıt yöntemi eşitlik 4.7, eşitlik 4.8 ve eşitlik 4.9 ile gösterilebilir.

$$enkp_1 \quad (4.7)$$

$$p \leq \varepsilon_2 \quad (4.8)$$

$$p_3 \leq \varepsilon_3 \quad (4.9)$$

Ağırlıklı toplam skalerleştirme yönteminin yanı sıra, epsilon kısıt yöntemi muhtemelen çok kriterli optimizasyon problemlerini çözmek için en iyi bilinen tekniktir. Kriterlerin bir araya getirilmesi söz konusu değildir, bunun yerine orijinal hedeflerden sadece biri en küçüklenirken, diğerleri kısıtlamalara dönüştürülür (Ehrgott, 2005:98). Epsilon kısıt yönteminin grafik gösterimi Şekil 4.1 ile gösterilebilir (Attari ve Torkayesh, 2018).



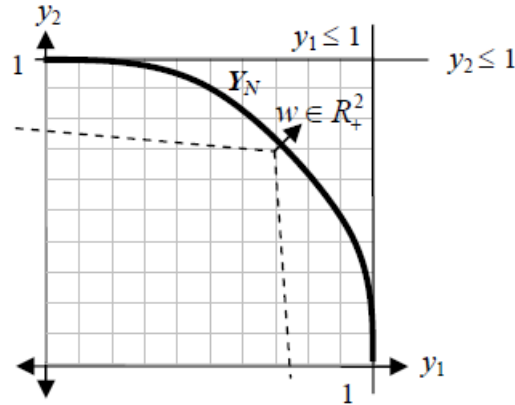
Şekil 4.1. Epsilon kısıt yöntemi çözümü.

4.2.3. Konik skalerleştirme yöntemi

Çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan bir diğer yöntem olan konik skalerleştirme, ilk olarak Gasimov tarafından geliştirilmiştir. (Gasimov, 2001). Gasimov'un skalerleştirme tekniğinin dayandığı temel fikir, pareto etkin değerlerin bulunmasında destek konilerin kullanılmasıdır. Yöntemin en büyük üstünlüğü de çok büyük bir problem sınıfına hitap etmesidir. Konik skalerleştirme yöntemi, birçok dışbükey olmayan çok amaçlı programlama problemlerine uyarlanmış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir, konik skalerleştirme yönteminin geometrik izahı Şekil 4.2 ile gösterilebilir (Üstün, 2007).

$(a, w) \in W = \{(a, w) | 0 < a \in \text{enk}\{w_1, w_2, \dots, w_p\}\}$ şeklinde tanımlanmış olup, konik skalerleştirme yönteminin matematiksel modeli eşitlik 4.10 ile verilebilir.

$$\text{enk}_{x \in X} a \sum_{k=1}^p |f_k(x) - a_k| + \sum_{k=1}^p W_k (f_k(x) - a_k) \quad (4.10)$$



Şekil 4.2. Konik skalerleştirme yönteminin geometrik izahı.

4.2.4. Hedef programlama

İlk olarak Charnes ve arkadaşları tarafından 1955 yılında yönetici maaşlarını belirlemek için, hedef programlama yöntemi geliştirilmiştir (Charnes vd., 1955). Hedef programlama, hiçbir hedef gerçekleştirilebilir olmasa bile, her zaman karar vericiye bir çözüm sağlar ve çok ölçütlü problemi tek ölçütlü problemler için geliştirilmiş yazılımları kullanacak şekilde getirir. Bu avantajlarının yanı sıra, öncelik, ağırlık, hedef değeri gibi karar verici tercihlerini gerektirir ve etkin çözümleri garanti etmez (Üstün, 2007).

Bu yöntem ile çelişen amaçların ağırlıklarına uygun bir çözüm elde edilir ve hedeflere ulaşılma durumu sapma değişkenleri ile kontrol edilir. Amaç, sapma değişkenlerinin en küçüklenmesidir (Dağdeviren vd., 2004).

x , karar değişkeni vektörü, X , uygun çözüm kümesi, $f_k(x)$, k . amaç fonksiyonu; d_k^+ ve d_k^- , çözümün hedefin altında veya üstünde gerçekleştiğini ölçen sapma değişkenleri; P_l , l . öncelik sınıfı J_l 'i gösteren simge; w_k^+ ve w_k^- , sapma değişkenlerinin göreceli önem ağırlıkları ve t_k , k . hedef değeri olmak üzere hedef programlamanın genel matematiksel modeli:

$$f_k(x) + d_k^- - d_k^+ = t_k, \quad k = 1, 2, \dots, p, \quad (4.11)$$

$$x \in X,$$

$$x, d_k^-, d_k^+ \geq 0; d_k^- d_k^+ = 0; k = 1, 2, \dots, p, \quad (4.12)$$

Kısıtları altında

$$\text{enk } \sum_{i=1}^l P_i [\sum_{k \in J_i} (w_k^- d_k^- + w_k^+ d_k^+)] \quad (4.13)$$

şeklinde verilir. Eşitlik 4.13 amaç fonksiyonu, birinci öncelik sınıfı J_1 'den başlayarak karar vericinin amaç fonksiyonlarıyla ilgili hedeflediği değerler t_k 'dan istemediği ağırlıklı sapmaların toplamını en küçükler. Amaç fonksiyonu, aynı öncelik sınıfında yer alan istenmeyen sapmalar arasında karar vericinin göreceli önem ağırlıkları vasıtasıyla bir ödünleşime izin verirken farklı öncelik sınıfında yer alan sapmalar arasında ödünleşime izin vermez. Modelin eşitlik kısıtları, k. amaç fonksiyonununun hedeflenen değeri, t_k 'dan negatif ve pozitif sapmaları belirler (Üstün, 2007).



5. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ÇOK AMAÇLI ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ

İşletme yöneticileri; kaliteli, müşterilerin isteklerine istedikleri an cevap verebilen, maliyetleri düşük ve doğaya duyarlı bir tesis istemektedirler. Bunu sağlayabilmenin yollarından biri ise, geleneksel üretim sistemlerinin yerine, teknolojiye ayak uydurarak, yeni üretim stratejilerini hayata geçirmektir.

Grup teknolojisi, üretimde benzer özellikler taşıyan ürünlerin bir araya getirilip gruplandırılması ile yüksek derecede ekonomik fayda sağlayan ve verimliliği artıran bir kavramdır (Yozgat ve Atmaca, 2018). Hücresel üretim ise grup teknolojisi prensiplerinin üretim sistemi tasarımı ve yönetimine uygulanmasıdır (Özkırım ve Durmuşoğlu, 2007). Hücresel üretim oluşturulurken amaç; üretim maliyetini, işlem süresini ve/veya alan kaybını azaltmaktır (Cömert vd., 2016).

Yapılan çalışmanın adımları, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1.Çalışma yapılan üretim bölümünün incelenmesi ve problemlerin belirlenmesi
- 2.İlgili bölümde kullanılan makinelerin ve üretilen parçaların incelenmesi
- 3.Uygulama yapılan bölüm için en uygun üretim sistemine karar verilmesi
- 4.Üretilen ürünlerin üretim akışlarının belirlenmesi
- 5.Parça makine matrisinin oluşturulması
- 6.Hücre oluşturmak için ROC algoritması kullanılması
- 7.Oluşturulan hücelere çizelgeleme probleminin tanımlanması ve modellenmesi
- 8.Çizelgeleme probleminin, amaçlarının, kısıtlarının ve karar değişkenlerinin, işletme öncelikleri doğrultusunda belirlenmesi
- 9.Kurulan çok amaçlı karma tam sayılı matematiksel modelin çözümü için epsilon kısıt ve ağırlıklı toplam skalerleştirme yönteminin kullanılması ve sonuçların değerlendirilmesi
- 10.İşletme için kullanım kolaylığı sağlanması ve dinamik yapıya cevap verebilmesi amacıyla bilgi sistemi tasarımının yapılması

5.1. Çalışma Yapılan İşletme

Hücresel üretim sistemi uygulaması yapılacak olan işletme, binek ve ticari araçlar için kablo donanımlarını üreten şirkettir. İşletme, kablo üretim bölümü, kesme-sıyırma-terminalleme (KST) bölümü, ek bölümü ve montaj bölümü adı altında dört ana bölümden oluşmaktadır. Kablo üretim bölümü Şekil 5.1 ile, KST bölümü Şekil 5.2 ile, ek bölümüne ait iki proses olan ultrasonik ek işlemi ve mekanik ek işlemi sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ile son olarak montaj bölümü ise Şekil 5.5 ile gösterilebilir.



Şekil 5.1. Kablo üretim bölümü.

Kablo üretim bölümünde, 0.22 mm² ile 10.00 mm² arasındaki tüm kesitlerde kablo üretimi yapılmakta ve 10.00 mm² ile 90.00 mm² arasındaki kesitlerde akü kablolarının üretimi yapılmaktadır. 5 adet ekstrüzyon hattı ile yıllık 450.000 araçlık kapasitesi mevcuttur.



Şekil 5.2. KST üretim bölümü.

KST bölümünde, otomatik olarak terminalleme yapabilen, conta takabilen, burğu ve birleşme işlemi yapabilen, yıllık 450.000 araçlık kapasiteye sahip 41 adet otomatik pres bulunmaktadır.



Şekil 5.3. Mekanik ek işlemi.



Şekil 5.4. Ultrasonik ek işlemi.

Ek bölümünde, hem mekanik ek hem de ultrasonik ek işlemleri yapılabilmektedir. Birden fazla kablonun iletken kısımlarına ek terminali ile kaynak yapılması işlemi mekanik ek işlemi olarak geçmektedir. Mekanik ek uygulanan bölümler, ya ek bantları ile ya da ısı ile daralan makaronlar ile korunmaktadır. Ultrasonik ek işleminde ise, elektrik enerjisinin çok yüksek frekans altında titreşime dönüşmesi ile ani ısı artışı gerçekleşir ve kabloların iletken kısımları birbirlerine tutunur.



Şekil 5.5. Montaj bölümü.

Montaj alanında, 16 adet 18-22 montaj masalı T konveyör ve 7 adet 6 masalı T konveyör bulunmaktadır. Çalışılan projeye ve yıllık üretim adedine göre kapasite analizi ile belirlenen montaj masa sayısı ve konveyör sayısı ile müşteri isteklerine %100 cevap verilmektedir.

Ek bölümünde, herhangi bir tekniğe veya analize dayanmadan, ürünler düzensiz şekilde üretilmekte, bu nedenle beklentiler, yığılmalar veya gecikmeler meydana gelmektedir. Bu gibi problemlerin önüne geçmek amacıyla, bölümde hücresel üretim sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. Örnek teşkil etmesi amacıyla uygulama, araçların motor tesisatlarının üretildiği montaj hattının ek kablolarına yapılacaktır. 14 adet makine, bu kabloların üretimi için kullanılmaktadır. Motor tesisatında kullanılan 14 adet farklı parça mevcuttur.

Yapılan incelemeler, işletme öncelikleri, müşteri bölümlerin şikayetleri ve uygulama yapılan bölümün gereksinimleri göz önüne alındığında, ilgili bölüm için en uygun üretim sisteminin hücresel üretim sistemi olduğu belirlenmiştir.

5.2. Hücresel Üretim Sistemi Tasarımında İzlenen Yol

Bu çalışmada, hücrelerin oluşturulması için ilk olarak King (1980) tarafından geliştirilen, “Derece Sıralamasıyla Kümelendirme Yöntemi (ROC algoritması)” kullanılmıştır. Derece Sıralamasıyla Kümelendirme Algoritması, makine satırlarını ve parça sütunlarını yeniden düzenleyerek blok diyagonal matris elde etmeye çalışan hiyerarşik olmayan bir kümelendirme metodudur (Atamtürk, 2009).

Uygulama yapılan aile grubu incelendiğinde, 14 adet farklı parçadan oluştuğu ve toplamda 14 adet makine kullanımı olduğu görülmüştür. Hücrelerin oluşturulması için öncelikle olarak, makine-parça matrisi oluşturulmuştur. İşletme bilgilerinin gizliliği açısından, makine ve parça isimlerinde kodlamaya gidilmiştir.

Çizelge 5.1. Parça-makine matrisi.

| | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | p8 | p9 | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| m1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| m2 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m3 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m4 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m5 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m6 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | |
| m7 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m8 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | |
| m9 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m10 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m11 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m12 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m13 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| m14 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | |

Çizelge 5.1'deki parça-makine matrisinde, satırlar makineleri, sütunlar parçaları temsil etmektedir. Seçilen parçanın ilgili makinede işlem görme durumu "1" olarak belirtilmiştir.

Uygulamada hücre oluşturmak için kullanılan ROC algoritması, hesaplama kolaylığı sağlayan, hiyerarşik olmayan bir yöntemdir. 7 adımdan oluşan ROC algoritması adımları izleyen çizelgeler ile verilmiştir.

Çizelge 5.2. ROC algoritmasının ilk matrisi.

| | 8192 | 4096 | 2048 | 1024 | 512 | 256 | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | p8 | p9 | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 |
| m1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| m2 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m3 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m4 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m5 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m6 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | |
| m7 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m8 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | |
| m9 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m10 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m11 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| m12 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 |
| m13 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| m14 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | |

Çizelge 5.2 ile Adım 1 verilmiştir. Her sütun için bir öncekinin iki katı olacak şekilde değerler verilmiştir.

Çizelge 5.3. ROC algoritmasının ikinci matrisi.

| | 8192 | 4096 | 2048 | 1024 | 512 | 256 | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | p8 | p9 | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 |
| m1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | 10250 |
| m2 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1280 |
| m3 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | 676 |
| m4 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1280 |
| m5 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | 676 |
| m6 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | 4176 |
| m7 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | 676 |
| m8 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | 4176 |
| m9 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | 676 |
| m10 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1280 |
| m11 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | 676 |
| m12 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1280 |
| m13 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | 10250 |
| m14 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | 10250 |

Çizelge 5.3 ile Adım 2 verilmiştir. Bu adımda, her satırdaki “1”lere karşılık gelen değerler, satırların yanlarına yazılarak toplanır.

Çizelge 5.4. ROC algoritmasının üçüncü matrisi.

| | 8192 | 4096 | 2048 | 1024 | 512 | 256 | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | |
|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | p8 | p9 | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 | |
| m1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 10250 |
| m13 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 10250 |
| m14 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 10250 |
| m6 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 4176 |
| m8 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 4176 |
| m2 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 1280 |
| m10 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 1280 |
| m12 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 1280 |
| m4 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 1280 |
| m5 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 676 |
| m3 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 676 |
| m7 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 676 |
| m9 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 676 |
| m11 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 676 |

Çizelge 5.4 ile Adım 3 verilmiştir ve değerleri bulunan satırlar, azalan sıra ile sıralanmıştır.

Çizelge 5.5. ROC algoritmasının dördüncü matrisi.

| | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | p8 | p9 | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| m1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 8192 |
| m13 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 4096 |
| m14 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 2048 |
| m6 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 1024 |
| m8 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 512 |
| m2 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 256 |
| m10 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 128 |
| m12 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 64 |
| m4 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 32 |
| m5 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 16 |
| m3 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 8 |
| m7 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 4 |
| m9 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 2 |
| m11 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 1 |

Çizelge 5.5 ile Adım 4 verilmiştir. Her satır için bir öncekinin iki katı olacak şekilde değerler verilmiştir.

Çizelge 5.6. ROC algoritmasının beşinci matrisi.

| | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | p8 | p9 | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 | |
|-----|-------|------|-------|-----|----|-----|----|------|----|------|-------|-----|-------|-----|------|
| m1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 8192 |
| m13 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 4096 |
| m14 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | 2048 |
| m6 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 1024 |
| m8 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 512 |
| m2 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 256 |
| m10 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 128 |
| m12 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 64 |
| m4 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 32 |
| m5 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 16 |
| m3 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 8 |
| m7 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 4 |
| m9 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 2 |
| m11 | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| | 14336 | 1536 | 14336 | 480 | 31 | 480 | 31 | 1536 | 31 | 1536 | 14336 | 31 | 14336 | 480 | |

Çizelge 5.6'da Adım 5 verilmiştir. Her sütundaki “1”lere karşılık gelen değerler, sütunların altlarına yazılarak toplanmıştır.

Çizelge 5.7. ROC algoritmasının altıncı matrisi.

| | p1 | p3 | p11 | p13 | p2 | p8 | p10 | p4 | p6 | p14 | p5 | p7 | p9 | p12 | |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|------|
| m1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 8192 |
| m13 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 4096 |
| m14 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 2048 |
| m6 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | 1024 |
| m8 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | 512 |
| m2 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 256 |
| m10 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 128 |
| m12 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 64 |
| m4 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 32 |
| m5 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 |
| m3 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| m7 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| m9 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| m11 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 14336 | 14336 | 14336 | 14336 | 1536 | 1536 | 1536 | 480 | 480 | 480 | 31 | 31 | 31 | 31 | |

Çizelge 5.7 ile Adım 6 verilmiş, değerleri bulunan sütunlar, azalan sıra ile sıralanmıştır.

Çizelge 5.8. ROC algoritmasının yedinci matrisi.

| | p1 | p3 | p11 | p13 | p2 | p8 | p10 | p4 | p6 | p14 | p5 | p7 | p9 | p12 |
|-----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|
| m1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| m13 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| m14 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| m6 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| m8 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| m2 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| m10 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| m12 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| m4 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| m5 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| m3 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| m7 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| m9 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| m11 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |

Çizelge 5.8'de Adım 7 verilmiş ve köşegen yapı oluşma durumu incelenmiştir. Eğer köşegen yapı oluşmadıysa Adım 1'e dönülür. Bu algoritmanın ikinci tekrarının da aynı sonucu verdiği görüldüğünden, algoritma durdurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre dört hücrenin oluştuğu görülmüştür.

Birinci hücre; p1, p3, p11 ve p13 parçalarından ve m1, m13 ve m14 makinelerinden oluşmaktadır. İkinci hücre; p2, p8 ve p10 parçalarından ve m6 ve m8 makinelerinden oluşmaktadır. Üçüncü hücre; p4, p6 ve p14 parçalarından ve m2, m10, m12 ve m4 makinelerinden oluşmaktadır. Dördüncü hücre ise, p5, p7, p9 ve p12 parçalarından ve m5, m3, m7, m9 ve m11 makinelerinden oluşmaktadır.

5.3. Hücre İçi Akış Tipi Çizelgeleme Problemi için Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Programlama Modeli Önerisi

Bu bölümde, oluşturulan hücreler için, hücre içi akış tipi çizelgeleme amaçlı bir model ele alınacaktır. Oluşturulan hücreler, iç müşteri olan montaj bölümünün motor tesisatlarının üretildiği üretim hatlarını besleyeceklerdir. Nihai müşteri çevrim süresi 2,15 dakika olarak hesaplanan projede, stok ise 3 saattir, bu da 83 ürüne ve 178,45 dakikaya karşılık gelmektedir. Bu sebeple, yapılan tüm çizelgelenmeler, bu kısıtları sağlamak üzerine kurulmak zorundadır.

Oluşturulan hücrelerde akış tipi üretim gerçekleşmekte olup, her parçanın işlem süresi için hücredeki tüm makinelerin işlem sürelerinin toplamı kullanılmıştır. Parçaların hazırlık süreleri ise her hücrenin ilk makinesinde mevcut olup, diğer makinelerde hazırlık süresi yoktur. Hücrelere atanan her parça, aynı akış sırasına ve farklı hazırlık süresine sahiptir.

Nihai müşterinin uygulama yapılan işletmeden talep ettiği ürünler değişmemektedir fakat ürünleri istedikleri zamanlar değişmektedir. Bu sebeple, işlem süreleri sabit, teslim süreleri değişkendir.

Kurulacak matematiksel model, nihai müşterinin her gün siparişlerini değiştirdiği için günlük çizelgeleme yapılacak şekilde kurulmuştur. Çok amaçlı olarak kurulan modelin amaçları, işletme yöneticilerinin fikirleri ve öncelikleri doğrultusunda belirlenmiştir. İlk amaç, toplam gecikmenin (TG) en küçüklenmesi, ikinci amaç ise, ortalama tamamlanma zamanının (OTZ) en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Kurulan matematiksel model, Lee ve Asllani'nin 2004 yılında önerdikleri, sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme probleminden uyarlanmıştır.

5.3.1. Epsilon (ϵ) kısıt yöntemi ile çok amaçlı karma tam sayılı programlama problemi çözümü

Önerilen modelde iki amaçlı bir çizelgeleme hedeflenmiştir. Epsilon kısıt yöntemi ile problemin tek amaçlı hale dönüştürülmesi hedeflenmiştir. İlk olarak, her amaç en iyilenerek, sonuç tablosu oluşturulmuştur. Daha sonra, uygulama yapılan işletme yöneticilerinin fikir ve önerileri doğrultusunda, kriter amaç fonksiyonu, toplam gecikmenin en küçüklenmesi olarak seçilmiştir. Ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesi amaç fonksiyonu ise kısıt olarak yazılarak uzlaşık çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Karma tam sayılı ve çok amaçlı olarak önerilen çizelgeleme modeli izleyen şekilde verilmiştir.

İndisler

$$i = j = \text{işler} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$k = \text{sıra} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Karar Değişkenleri

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ işi } k. \text{ sraya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & j \text{ işi } k. \text{ sraya atanırsa ve } i \text{ işinden sonra çizelgelenecekse} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

$$T(k) = k. \text{ sıradaki işin tamamlanma zamanı}$$

$$A(k) = k. \text{ sıradaki işin hazırlık süresi}$$

$$B(k) = k. \text{ sıradaki işin işlem süresi}$$

$C(k) = k.$ sıradaki işin teslim süresi

$g_j = j$ işinin gecikmesi

$TG =$ toplam gecikme

$OTZ =$ ortalama tamamlanma zamanı

Parametreler

$p_j = j$ işinin işlem süresi

$d_j = j$ işinin teslim süresi

$h_j =$ ilk sıradaki işin hazırlık süresi

$s_{ij} = i$ işi j işinden önce sıralandığında, j işinin hazırlık süresi

$n =$ iş sayısı

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } N1 = TG \quad (5.1)$$

$$\text{Min } N2 = OTZ \quad (5.2)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.3)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ijk} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, n, i \neq j \quad (5.5)$$

$$x_{jk} + x_{ik-1} - 1 \leq y_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, k = 2, \dots, n, i \neq j \quad (5.6)$$

$$A1 = \sum_{j=1}^n h_j x_{j1} \quad (5.7)$$

$$A(k) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n s_{ij} y_{ijk} \quad k = 2, \dots, n, i \neq j \quad (5.8)$$

$$B(k) = \sum_{j=1}^n x_{jk} p_j \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.9)$$

$$t(1) = A(1) + B(1) \quad (5.10)$$

$$t(k) = t(k - 1) + A(1) + B(1) \quad k = 2, \dots, n \quad (5.11)$$

$$C(k) = \sum_{j=1}^n h_{jk} d_j \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.12)$$

$$g_j \geq t_j - C_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.13)$$

$$\sum g_j = TG \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.14)$$

$$(\sum t_j)/n = OTZ \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.15)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n, k = 2, \dots, n \quad (5.16)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad (5.17)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, n \quad (5.17)$$

$$t_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.18)$$

$$g_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.19)$$

$$A_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.20)$$

$$B_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.21)$$

$$C_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.22)$$

Eşitlik (5.1) ve (5.2) amaç fonksiyonlarıdır. Eşitlik (5.1), ürünlerin toplam gecikmesinin en küçüklenmesini hedeflemektedir. Eşitlik (5.2) ise, ortalama tamamlanma zamanlarının en küçüklenmesini hedeflemektedir. Kısıt (5.3) her sıraya yalnızca bir işin atanabilmesini sağlar. Kısıt (5.4) her işin yalnızca bir sıraya atanabilmesini sağlar. Kısıt (5.5) ve kısıt (5.6) ile i işini takip eden yalnızca bir j işi olmasını sağlar. Kısıt (5.7), ilk sıradaki işin hazırlık süresini temsil eder. Kısıt (5.8), k . sıradaki işin hazırlık süresini temsil eder. Kısıt (5.9), k . sıradaki işin işlem süresini temsil eder. Kısıt (5.10) ile ilk işin tamamlanma zamanı hesaplanır. Kısıt (5.11) ile k . sıradaki işin tamamlanma zamanı hesaplanır. Kısıt (5.12) ile k . sıradaki işin teslim süresi hesaplanır. Kısıt (5.13) ile j işinin gecikmesi bulunur. Kısıt (5.14) ile toplam gecikmenin, tüm j işlerinin gecikmelerinin toplamı olduğu gösterilir. Kısıt (5.15) ile ortalama tamamlanma zamanı hesaplanır. Kısıt (16) – (22), karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarını temsil etmektedir.

Kurulan matematiksel model, çok amaçlı yapıda olduğu için, epsilon kısıt yöntemi kullanılarak, tek amaçlı hale getirilmiştir. Ürünlerin teslim süreleri, nihai müşteri tarafından günlük olarak değiştirildiğinden, dinamik bir çizelgeleme amaçlanmıştır. Bu sebeple bu değerler,

müşteriden gönderilen zamanlar doğrultusunda Lingo 11.0 programına Excel dosyasından çekilmiş ve en iyi değerler bulunmuştur. Karar verici için anlaşılmasının kolay olması nedeniyle, her hücrenin en iyilenen değerleri ve parça sıralamaları Excel dosyasına raporlanmıştır. Hücre 1 için Lingo modeli ve epsilon kısıt yöntemine göre çözümü Ek 1’de verilmiştir.

Nihai müşteri çevrim süresi, seçilen projede 2,15 dakikadır. Bu sebeple, iterasyonların bu değer baz alınarak yapılmasına karar verilmiştir. Nihai müşteride 3 saatlik stok bulunmaktadır. Bu da 83 ürüne karşılık gelmektedir. *TG* değişkenimiz, 83 ürüne karşılık gelen 178,45 dakikanın altında olmak zorundadır. Bu değerın altında kalan tüm gecikmeler stok ile telafi edilebilmektedir. Tüm hücreler için işletme yöneticileri tarafından yapılan seçimler, bu doğrultuda yapılmıştır.

Hücre 1 için parametre değerleri olan işlem süresi ve hazırlık süresi değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir. Bu hücreye tanımlanan 4 adet ürün vardır. Bunlar p1, p3, p11 ve p13’tür.

Çizelge 5.9. Hücre 1 için parametre değerleri.

| | İşlem Süresi(dk) | Hazırlık Süresi(dk) |
|-----|------------------|---------------------|
| p1 | 74,29 | 3,20 |
| p3 | 82,68 | 2,70 |
| p11 | 101,40 | 3,20 |
| p13 | 83,20 | 1,99 |

Çok amaçlı olarak kurulan model, epsilon kısıt yöntemi ile tek amaçlı hale döndürülmüştür. Epsilon kısıt yönteminin ilk adımı olarak her amaç fonksiyonu ayrı ayrı en iyilenmiştir ve sonuç tablosu oluşturulmuştur. Daha sonra, nihai müşteri çevrim süresi olan 2,15 dakika değeri baz alınarak, *OTZ* değişkeni en iyi değerine kadar çalıştırılmıştır. Sonuç tablosu ve iterasyon tablosu sırasıyla Çizelge 5.10 ve 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.10. Hücre 1 için sonuç tablosu.

| | TG | OTZ |
|----|--------|--------|
| F1 | 84,63 | 220,10 |
| F2 | 203,40 | 210,22 |

Çizelge 5.11. Hücre 1 için iterasyon sonuçları.

| | TG | OTZ |
|---|--------|--------|
| 1 | 84,63 | 220,10 |
| 2 | 129,46 | 217,95 |
| 3 | 129,46 | 215,80 |
| 4 | 129,46 | 213,65 |
| 5 | 203,40 | 211,50 |
| 6 | 203,40 | 210,22 |

1. hücre için 6 iterasyon yapılmıştır. 5. ve 6. iterasyonda nihai müşteri stoğu koşulu sağlanamamaktadır. 4. iterasyonda *TG* değişkeni 129,46 ve *OTZ* değişkeni 213,65 değerini almaktadır. Bu iterasyonda *OTZ* değişkeninin en iyi çözümünüyle arasında 3,43 dakika fark vardır. *TG* değişkeni ise en iyi çözüme göre 44,83 dakika artmıştır fakat nihai müşteri stoğu değerini karşılamasından dolayı olurlu bir çözüm olarak görülmüştür. Bu sebeple 4. iterasyon seçilmiştir. Bu durumda parçaların sıralaması p13, p3, p1, p11 şeklindedir.

Hücre 1 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.6'da mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 1 | |
|---------|---|
| x11 | 0 |
| x12 | 0 |
| x13 | 1 |
| x14 | 0 |
| x21 | 0 |
| x22 | 1 |
| x23 | 0 |
| x24 | 0 |
| x31 | 0 |
| x32 | 0 |
| x33 | 0 |
| x34 | 1 |
| x41 | 1 |
| x42 | 0 |
| x43 | 0 |
| x44 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| TG | 129,46 |
| OTZ | 213,32 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 13 |
| 2 | PARÇA 3 |
| 3 | PARÇA 1 |
| 4 | PARÇA 11 |

Şekil 5.6. Hücre 1 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu.

Hücre 2 için parametre değerleri olan işlem süresi ve hazırlık süresi değerleri Çizelge 5.12’de verilmiştir. Bu hücreye tanımlanan 3 adet ürün vardır. Bunlar p2, p10 ve p8’dir.

Çizelge 5.12. Hücre 2 için parametre değerleri

| | İşlem Süresi(dk) | Hazırlık Süresi(dk) |
|-----|------------------|---------------------|
| p2 | 154,70 | 2,50 |
| p10 | 124,50 | 2,70 |
| p8 | 142,40 | 2,50 |

Epsilon kısıt yönteminin ilk adımı olarak her amaç fonksiyonu ayrı ayrı en iyilenmiştir ve sonuç tablosu oluşturulmuştur. Bu hücrede de, nihai müşteri çevrim süresi olan 2,15 dakika değeri baz alınarak, *OTZ* değişkeni en iyi değerine kadar çalıştırılmıştır. Sonuç tablosu ve iterasyon tablosu sırasıyla Çizelge 5.13 ve 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Hücre 2 için sonuç tablosu.

| | TG | OTZ |
|----|--------|--------|
| F1 | 26,80 | 294,53 |
| F2 | 196,80 | 275,37 |

Çizelge 5.14. Hücre 2 için iterasyon sonuçları.

| | TG | OTZ |
|----|--------|--------|
| 1 | 26,80 | 294,33 |
| 2 | 79,30 | 292,18 |
| 3 | 131,20 | 290,03 |
| 4 | 131,20 | 287,88 |
| 5 | 131,20 | 285,73 |
| 6 | 131,20 | 283,58 |
| 7 | 131,20 | 281,43 |
| 8 | 196,80 | 279,28 |
| 9 | 196,80 | 277,13 |
| 10 | 196,80 | 275,37 |

2.hücre için 10 iterasyon yapılmıştır. 8. ve sonraki iterasyonlarda, nihai müşteri stoğu koşulu sağlanamamaktadır. 7. iterasyonda *TG* değişkeni 131,2 ve *OTZ* değişkeni 281,43 değerini almaktadır. Bu iterasyonda *OTZ* değişkeninin en iyi çözümüyle arasında 6,06 dakika fark vardır. *TG* değişkeni ise en iyi çözüme göre 104,40 dakika artmıştır fakat nihai müşteri stoğunu karşılayabileceğinden, olurlu bir çözüm olarak görülmüştür. Bu sebeple 7. iterasyon seçilmiştir. Bu durumda parçaların sıralaması p10, p2 ve p8 şeklindedir.

Hücre 2 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.7'de mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 2 | |
|---------|---|
| x11 | 0 |
| x12 | 1 |
| x13 | 0 |
| x21 | 1 |
| x22 | 0 |
| x23 | 0 |
| x31 | 0 |
| x32 | 0 |
| x33 | 1 |

| | |
|------------|--------|
| TG | 131,20 |
| OTZ | 279,47 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 10 |
| 2 | PARÇA 2 |
| 3 | PARÇA 8 |

Şekil 5.7. Hücre 2 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu.

Hücre 3 için parametre değerleri olan işlem süresi ve hazırlık süresi değerleri Çizelge 5.15'de verilmiştir. Bu hücreye tanımlanan 3 adet ürün vardır. Bunlar p14, p4 ve p6'dır.

Çizelge 5.15. Hücre 3 için parametre değerleri.

| | İşlem Süresi(dk) | Hazırlık Süresi(dk) |
|-----|------------------|---------------------|
| p14 | 114,00 | 2,45 |
| p4 | 134,31 | 2,45 |
| p6 | 97,00 | 2,87 |

Epsilon kısıt yönteminin ilk adımı olarak her amaç fonksiyonu ayrı ayrı en iyilenmiştir ve sonuç tablosu oluşturulmuştur. Bu hücrede de, nihai müşteri çevrim süresi olan 2,15 dakika

değeri baz alınarak, *OTZ* değişkeni en iyi değerine kadar çalıştırılmıştır. Sonuç tablosu ve iterasyon tablosu sırasıyla Çizelge 5.16 ve 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.16. Hücre 3 için sonuç tablosu.

| | TG | OTZ |
|----|-------|--------|
| F1 | 11,32 | 228,60 |
| F2 | 46,32 | 222,27 |

Çizelge 5.17. Hücre 3 için iterasyon sonuçları.

| | TG | OTZ |
|---|-------|--------|
| 1 | 11,32 | 228,60 |
| 2 | 46,32 | 226,45 |
| 3 | 46,32 | 224,30 |
| 4 | 46,32 | 222,27 |

3.hücre için 4 iterasyon yapılmıştır. Bu hücrede nihai müşteri stoğunu etkileyen bir iterasyon yoktur. Yani, *TG* değişkeni her durumda müşteri stoğu değerinin altında kalmaktadır. Bu sebeple *OTZ* değişkeninin en iyi değeri olan 4. iterasyon seçilmiştir. Bu iterasyonda *TG* değişkeni en iyi çözüme göre 35 dakika artmıştır fakat nihai müşteri stoğu değerini karşılayabileceğinden olurlu bir çözümdür. Bu durumda parçaların sıralaması p6, p14 ve p4 olmuştur.

Hücre 3 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.8’de mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 3 | |
|---------|---|
| x11 | 0 |
| x12 | 1 |
| x13 | 0 |
| x21 | 0 |
| x22 | 0 |
| x23 | 1 |
| x31 | 1 |
| x32 | 0 |
| x33 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| TG | 46,32 |
| OTZ | 222,27 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 6 |
| 2 | PARÇA 14 |
| 3 | PARÇA 4 |

Şekil 5.8. Hücre 3 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu.

Hücre 4 için parametre değerleri olan işlem süresi ve hazırlık süresi değerleri Çizelge 5.18’de verilmiştir. Bu hücreye tanımlanan 4 adet ürün vardır. Bunlar p7, p9, p12 ve p5’tir.

Çizelge 5.18. Hücre 4 için parametre değerleri

| | İşlem Süresi(dk) | Hazırlık Süresi(dk) |
|-----|------------------|---------------------|
| p7 | 124,13 | 2,30 |
| p9 | 115,65 | 2,80 |
| p12 | 136,73 | 3,10 |
| p5 | 32,40 | 2,30 |

Epsilon kısıt yönteminin ilk adımı olarak her amaç fonksiyonu ayrı ayrı en iyilenmiştir ve sonuç tablosu oluşturulmuştur. Bu hücrede de, nihai müşteri çevrim süresi olan 2,15 dakika değeri baz alınarak, *OTZ* değişkeni en iyi değerine kadar çalıştırılmıştır. Sonuç tablosu ve iterasyon tablosu sırasıyla Çizelge 5.19 ve 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.19. Hücre 4 için sonuç tablosu.

| | TG | OTZ |
|----|--------|--------|
| F1 | 19,40 | 232,40 |
| F2 | 169,41 | 221,71 |

Çizelge 5.20. Hücre 4 için iterasyon sonuçları.

| | TG | OTZ |
|---|--------|--------|
| 1 | 19,40 | 232,40 |
| 2 | 65,76 | 230,25 |
| 3 | 65,76 | 228,10 |
| 4 | 112,38 | 225,95 |
| 5 | 167,11 | 223,80 |
| 6 | 169,41 | 221,71 |

4.hücre için 6 iterasyon yapılmıştır. Bu hücrede nihai müşteri stoğunu etkileyen bir iterasyon yoktur. Yani *TG* değişkeni her durumda müşteri stoğu değerinin altında kalmaktadır. Bu sebeple *OTZ* değişkeninin en iyi değeri olan 6. iterasyon seçilmiştir. Bu iterasyonda *TG* değişkeni en iyi çözüme göre 150,01 dakika artmıştır fakat nihai müşteri stoğu değerini karşılamasından dolayı olurlu bir çözümdür. Bu durumda parçaların sıralaması p5, p9, p7 ve p12 olmuştur.

Hücre 4 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.9'da mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 4 | |
|---------|---|
| x11 | 0 |
| x12 | 0 |
| x13 | 1 |
| x14 | 0 |
| x21 | 0 |
| x22 | 1 |
| x23 | 0 |
| x24 | 0 |
| x31 | 0 |
| x32 | 0 |
| x33 | 0 |
| x34 | 1 |
| x41 | 1 |
| x42 | 0 |
| x43 | 0 |
| x44 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| TG | 169,41 |
| OTZ | 221,71 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 5 |
| 2 | PARÇA 9 |
| 3 | PARÇA 7 |
| 4 | PARÇA 12 |

Şekil 5.9. Hücre 4 için epsilon kısıt yöntemine göre çizelgeleme raporu.

5.3.2. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile çok amaçlı karma tam sayılı programlama problemi çözümü

Kurulan model iki amaçlı bir yapıya sahiptir. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile tek amaçlı hale döndürülen matematiksel model ile uzlaşık çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının amacı, karar vericiye, amaç fonksiyonları arasındaki tercihlerini belirtme imkanı vermesi ve amaçların bir arada değerlendirilmesinin sağlanmasıdır. İlk olarak, her amaç fonksiyonuna normalleştirme işlemi yapılmıştır. Daha sonra karar vericiden, amaç fonksiyonu ağırlık değerleri ve teslim süreleri istenmiştir. Girilen değerler, Lingo 11.0 programına aktarılmış ve en iyi değerler elde edilmiştir. Karar verici için anlaşılmasının kolay olması nedeniyle, her hücrenin en iyilenen değerleri, ağırlıklar ve parça sıralamaları Excel dosyasına aktarılmıştır. Hücre 1 için Lingo modeli ve ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çözümü Ek 2'de verilmiştir. Karma tam sayılı ve çok amaçlı olarak önerilen çizelgeleme modeli izleyen şekildedir.

İndisler

$$i = j = \text{işler} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$k = \text{sıra} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$l = \text{amaç fonksiyonları} \quad l = 1, 2$$

Karar Değişkenleri

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ işi } k. \text{ sıraya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & j \text{ işi } k. \text{ sıraya atanırsa ve } i \text{ işinden sonra çizelgelenecekse} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

$$T(k) = k. \text{ sıradaki işin tamamlanma zamanı}$$

$$A(k) = k. \text{ sıradaki işin hazırlık süresi}$$

$$B(k) = k. \text{ sıradaki işin işlem süresi}$$

$$C(k) = k. \text{ sıradaki işin teslim süresi}$$

$$g_j = j \text{ işinin gecikmesi}$$

$$TG = \text{toplam gecikme}$$

$$OTZ = \text{ortalama tamamlanma zamanı}$$

$Z =$ ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu

Parametreler

$p_j = j$ işinin işlem süresi

$d_j = j$ işinin teslim süresi

$h_j =$ ilk sıradaki işin hazırlık süresi

$s_{ij} = i$ işi j işinden önce sıralandığında, j işinin hazırlık süresi

$n =$ iş sayısı

$w_l = l.$ amaç fonksiyonu ağırlığı

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } N1 = Z \quad (5.23)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.24)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.25)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ijk} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, n, i \neq j \quad (5.26)$$

$$x_{jk} + x_{ik-1} - 1 \leq y_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, k = 2, \dots, n, i \neq j \quad (5.27)$$

$$A1 = \sum_{j=1}^n h_j x_{j1} \quad (5.28)$$

$$A(k) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n s_{ij} y_{ijk} \quad k = 2, \dots, n, i \neq j \quad (5.29)$$

$$B(k) = \sum_{j=1}^n x_{jk} p_j \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.30)$$

$$t(1) = A(1) + B(1) \quad (5.31)$$

$$t(k) = t(k-1) + A(k) + B(k) \quad k = 2, \dots, n \quad (5.32)$$

$$C(k) = \sum_{j=1}^n h_{jk} d_j \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.33)$$

$$g_j \geq t_j - C_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.34)$$

$$\sum g_j = TG \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.35)$$

$$(\sum t_j)/n = OTZ \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.36)$$

$$Z = w_l * TG + w_{l+1} * OTZ \quad l = 1, 2 \quad (5.37)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n, k = 2, \dots, n \quad (5.38)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, n \quad (5.39)$$

$$t_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.40)$$

$$g_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.41)$$

$$A_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.42)$$

$$B_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.43)$$

$$C_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.44)$$

$$0 \geq w_l \geq 1 \quad l = 1, 2 \quad (5.45)$$

Eşitlik (5.23) kurulan modelin amaç fonksiyonudur. Kısıt (5.24) her sıraya yalnızca bir işin atanabilmesini sağlar. kısıt (5.25) her işin yalnızca bir sıraya atanabilmesini sağlar. Kısıt (5.26) ve kısıt (5.27) ile i işini takip eden yalnızca bir j işi olmasını sağlar. Kısıt (5.28), ilk sıradaki işin hazırlık süresini temsil eder. Kısıt (5.29), k . sıradaki işin hazırlık süresini temsil eder. Kısıt (5.30), k . sıradaki işin işlem süresini temsil eder. Kısıt (5.31) ile ilk işin tamamlanma zamanı hesaplanır. Kısıt (5.32) ile k . sıradaki işin tamamlanma zamanı hesaplanır. Kısıt (5.33) ile k . sıradaki işin teslim süresi hesaplanır. Kısıt (5.34) ile j işinin gecikmesi bulunur. Kısıt (5.35) ile toplam gecikmenin, tüm j işlerinin gecikmelerinin toplamı olduğu gösterilir. Kısıt (5.36) ile ortalama tamamlanma zamanı hesaplanır. Kısıt (5.37) ile ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır. Kısıt (38) – (45), karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarını temsil etmektedir.

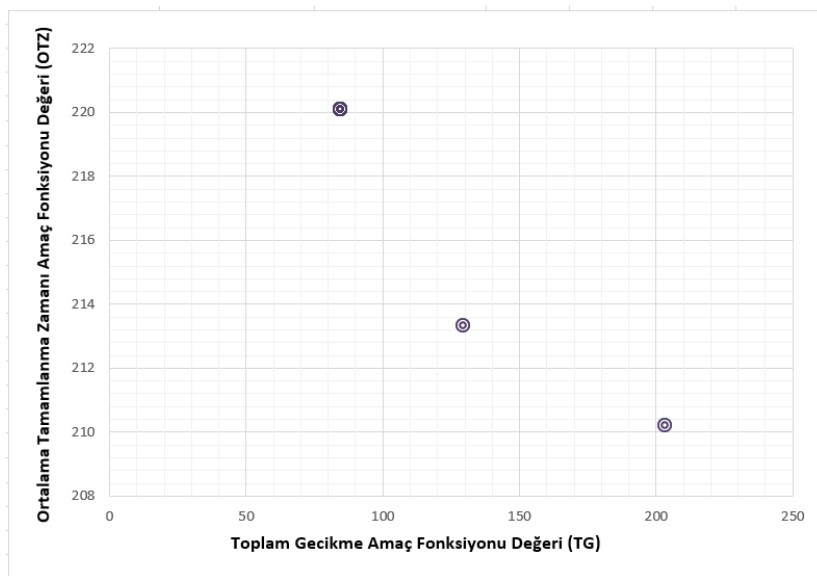
Hücre 1 için mevcut parametre değerleri, ağırlıklar ve teslim sürelerine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.21’de verilmiştir. Hücre 1 için duyarlılık analizi ile verilen ağırlıkların amaç fonksiyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.22 ile duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir. Şekil 5.10 ile mevcut ağırlıklar ve teslim sürelerine göre amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.21. Hücre 1 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 0,60 | 0,40 | 0,57 | 84,63 | 220,10 |

Çizelge 5.22. Hücre 1 için duyarlılık analizi sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|----|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 1,00 | 0,00 | 0,31 | 84,63 | 220,10 |
| 2 | 0,90 | 0,10 | 0,37 | 84,63 | 220,10 |
| 3 | 0,80 | 0,20 | 0,44 | 84,63 | 220,10 |
| 4 | 0,70 | 0,30 | 0,50 | 84,63 | 220,10 |
| 5 | 0,60 | 0,40 | 0,57 | 84,63 | 220,10 |
| 6 | 0,50 | 0,50 | 0,63 | 84,63 | 220,10 |
| 7 | 0,40 | 0,60 | 0,70 | 84,63 | 220,10 |
| 8 | 0,30 | 0,70 | 0,76 | 84,63 | 220,10 |
| 9 | 0,20 | 0,80 | 0,83 | 84,63 | 220,10 |
| 10 | 0,10 | 0,90 | 0,88 | 129,46 | 213,32 |
| 11 | 0,00 | 1,00 | 0,91 | 203,40 | 210,22 |

**Şekil 5.10.** Hücre 1 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması.

Hücre 1 için kullanıcı tarafından belirlenen ağırlıklar ve teslim süreleri ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, *TG* değişkeni ve *OTZ* değişkeni, epsilon kısıt yönteminde kullanılan, *TG* değişkeninin en iyilendiği sonuçlar ile aynı çıktığı görülmüştür. Parçaların sıralaması ise, p13, p3, p11 ve p1 şeklinde olmaktadır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, *TG* değişkenine 0,10 ve 0,00 değerleri dışındaki verilen tüm ağırlıklarda, sonuçların etkilenmediği görülmüştür. *TG* değişkenine 0,10 ağırlık değeri ve *OTZ* değişkenine 0,90 verildiğinde, *TG* değerinin, en iyi çözümüne göre 44,83 dakika, *OTZ* değişkeninin ise en iyi çözümüne göre 3,10 dakika arttığı görülmüştür. Epsilon kısıt yöntemi ile çözülen problem sonuçlarına göre yapılan karşılaştırmada, *TG* değerinin 44,83 dakika azaldığı, *OTZ* değişkeninin ise 6,45 dakika arttığı tespit edilmiştir.

Hücre 1 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.11’de mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 1 | |
|---------|---|
| x11 | 0 |
| x12 | 0 |
| x13 | 0 |
| x14 | 1 |
| x21 | 0 |
| x22 | 1 |
| x23 | 0 |
| x24 | 0 |
| x31 | 0 |
| x32 | 0 |
| x33 | 1 |
| x34 | 0 |
| x41 | 1 |
| x42 | 0 |
| x43 | 0 |
| x44 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| w1 | 0,60 |
| w2 | 0,40 |
| TG | 84,63 |
| OTZ | 220,10 |
| Z | 0,57 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 13 |
| 2 | PARÇA 3 |
| 3 | PARÇA 11 |
| 4 | PARÇA 1 |

Şekil 5.11. Hücre 1 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu.

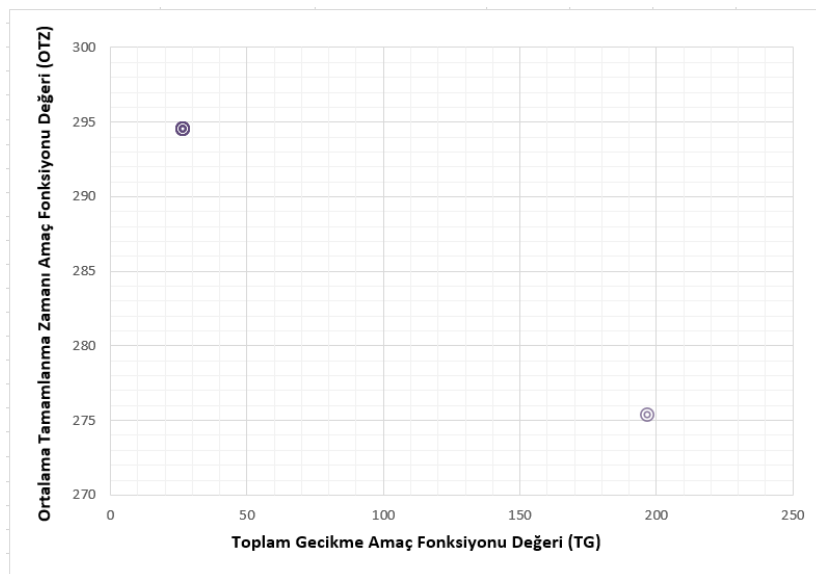
Hücre 2 için mevcut parametre değerleri, ağırlıklar ve teslim sürelerine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.23’de verilmiştir. Hücre 1 için duyarlılık analizi ile verilen ağırlıkların amaç fonksiyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.24 ile duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir. Şekil 5.12 ile mevcut ağırlıklar ve teslim sürelerine göre, amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.23. Hücre 2 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 0,60 | 0,40 | 0,50 | 26,80 | 294,53 |

Çizelge 5.24. Hücre 2 için duyarlılık analizi sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|----|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 1,00 | 0,00 | 0,13 | 26,80 | 294,53 |
| 2 | 0,90 | 0,10 | 0,25 | 26,80 | 294,53 |
| 3 | 0,80 | 0,20 | 0,32 | 26,80 | 294,53 |
| 4 | 0,70 | 0,30 | 0,41 | 26,80 | 294,53 |
| 5 | 0,60 | 0,40 | 0,50 | 26,80 | 294,53 |
| 6 | 0,50 | 0,50 | 0,59 | 26,80 | 294,53 |
| 7 | 0,40 | 0,60 | 0,68 | 26,80 | 294,53 |
| 8 | 0,30 | 0,70 | 0,77 | 26,80 | 294,53 |
| 9 | 0,20 | 0,80 | 0,86 | 26,80 | 294,53 |
| 10 | 0,10 | 0,90 | 0,95 | 26,80 | 294,53 |
| 11 | 0,00 | 1,00 | 0,98 | 196,80 | 275,37 |

**Şekil 5.12.** Hücre 2 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması.

Hücre 2 için kullanıcı tarafından belirlenen ağırlıklar ve teslim süreleri ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, *TG* değişkeni ve *OTZ* değişkeni; epsilon kısıt yönteminde kullanılan, *TG* değişkeninin en iyilendiği sonuçlar ile aynı çıktığı görülmüştür. Parçaların sıralaması ise, p2, p8 ve p10 şeklinde olmaktadır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, *TG* değişkenine yalnızca 0,00 değeri dışındaki verilen tüm ağırlıklarda, sonuçların etkilenmediği görülmüştür. Epsilon kısıt yöntemi ile çözülen problem sonuçlarına göre yapılan karşılaştırmada, *TG* değerinin 104,40 dakika azaldığı, *OTZ* değişkeninin ise 13,10 dakika arttığı tespit edilmiştir.

Hücre 2 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.13'de mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 2 | |
|---------|---|
| x11 | 1 |
| x12 | 0 |
| x13 | 0 |
| x21 | 0 |
| x22 | 0 |
| x23 | 1 |
| x31 | 0 |
| x32 | 1 |
| x33 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| w1 | 0,60 |
| w2 | 0,40 |
| TG | 26,8 |
| OTZ | 294,53 |
| Z | 0,50 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 2 |
| 2 | PARÇA 8 |
| 3 | PARÇA 10 |

Şekil 5.13. Hücre 2 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu.

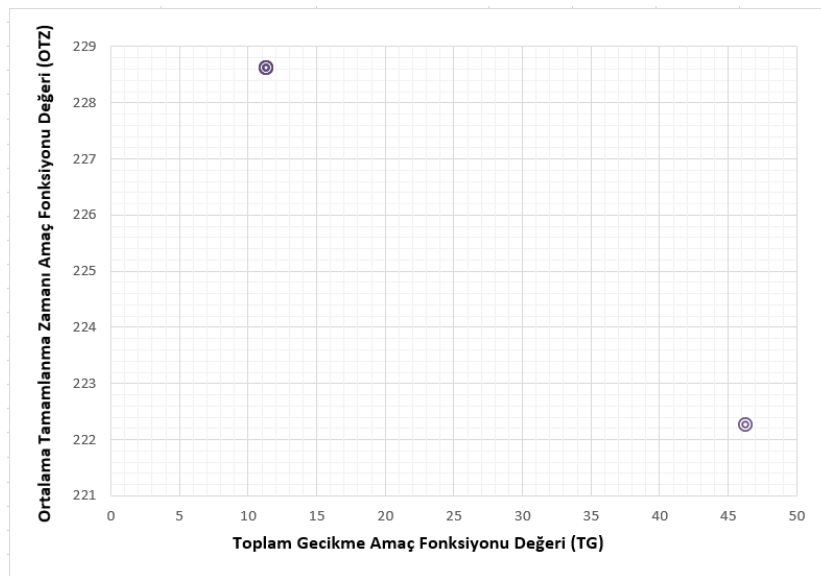
Hücre 3 için mevcut parametre değerleri, ağırlıklar ve teslim sürelerine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.25'de verilmiştir. Hücre 1 için duyarlılık analizi ile verilen ağırlıkların amaç fonksiyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.26 ile duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir. Şekil 5.14 ile mevcut ağırlıklar ve teslim sürelerine göre, amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.25. Hücre 3 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 0,60 | 0,40 | 0,40 | 11,32 | 228,62 |

Çizelge 5.26. Hücre 3 için duyarlılık analizi sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|----|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 1,00 | 0,00 | 0,05 | 11,32 | 228,62 |
| 2 | 0,90 | 0,10 | 0,14 | 11,32 | 228,62 |
| 3 | 0,80 | 0,20 | 0,22 | 11,32 | 228,62 |
| 4 | 0,70 | 0,30 | 0,31 | 11,32 | 228,62 |
| 5 | 0,60 | 0,40 | 0,40 | 11,32 | 228,62 |
| 6 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | 11,32 | 228,62 |
| 7 | 0,40 | 0,60 | 0,58 | 11,32 | 228,62 |
| 8 | 0,30 | 0,70 | 0,66 | 11,32 | 228,62 |
| 9 | 0,20 | 0,80 | 0,75 | 11,32 | 228,62 |
| 10 | 0,10 | 0,90 | 0,83 | 46,32 | 222,27 |
| 11 | 0,00 | 1,00 | 0,90 | 46,32 | 222,27 |

**Şekil 5.14.** Hücre 3 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması.

Hücre 3 için kullanıcı tarafından belirlenen ağırlıklar ve teslim süreleri ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, *TG* değişkeni ve *OTZ* değişkeni; epsilon kısıt yönteminde kullanılan, *TG* değişkeninin en iyilendiği sonuçlar ile aynı çıktığı görülmüştür. Parçaların sıralaması ise, p14, p6 ve p4 şeklinde olmaktadır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, *TG* değişkenine yalnızca 0,10 ve 0,00 değerleri dışındaki verilen tüm ağırlıklarda, sonuçların etkilenmediği görülmüştür. *TG* değişkenine 0,10 ve 0,00 değeri verildiğinde çıkan sonuçlarda ise, *TG* değişkeni en iyi çözümüne göre 35 dakika artmıştır, *OTZ* değişkeni en iyi değerini almıştır. Epsilon kısıt yöntemi ile çözülen problem sonuçlarına göre yapılan karşılaştırmada, *TG* değerinin 35 dakika azaldığı, *OTZ* değişkeninin ise 6,35 dakika arttığı tespit edilmiştir.

Hücre 3 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.15’de mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 3 | |
|---------|---|
| x11 | 1 |
| x12 | 0 |
| x13 | 0 |
| x21 | 0 |
| x22 | 0 |
| x23 | 1 |
| x31 | 0 |
| x32 | 1 |
| x33 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| w1 | 0,60 |
| w2 | 0,40 |
| TG | 11,32 |
| OTZ | 228,62 |
| Z | 0,40 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 14 |
| 2 | PARÇA 6 |
| 3 | PARÇA 4 |

Şekil 5.15. Hücre 3 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu.

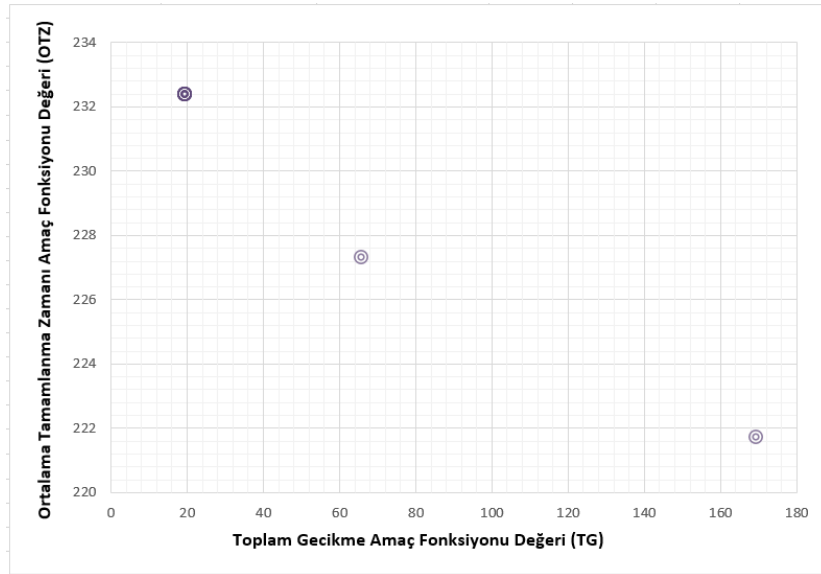
Hücre 4 için mevcut parametre değerleri, ağırlıklar ve teslim sürelerine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.27’de verilmiştir. Hücre 1 için duyarlılık analizi ile verilen ağırlıkların amaç fonksiyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.28 ile duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir. Şekil 5.16 ile mevcut ağırlıklar ve teslim sürelerine göre, amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.27. Hücre 4 için ağırlıklı toplam skalerleştirme sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 0,60 | 0,40 | 0,34 | 19,41 | 232,40 |

Çizelge 5.28. Hücre 4 için duyarlılık analizi sonuçları.

| | TG Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | OTZ Amaç Fonksiyonu Ağırlığı | Z Amaç Fonksiyonu Değeri | TG Değeri | OTZ Değeri |
|----|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | 1,00 | 0,00 | 0,05 | 19,41 | 232,40 |
| 2 | 0,90 | 0,10 | 0,12 | 19,41 | 232,40 |
| 3 | 0,80 | 0,20 | 0,19 | 19,41 | 232,40 |
| 4 | 0,70 | 0,30 | 0,27 | 19,41 | 232,40 |
| 5 | 0,60 | 0,40 | 0,34 | 19,41 | 232,40 |
| 6 | 0,50 | 0,50 | 0,41 | 19,41 | 232,40 |
| 7 | 0,40 | 0,60 | 0,48 | 19,41 | 232,40 |
| 8 | 0,30 | 0,70 | 0,56 | 19,41 | 232,40 |
| 9 | 0,20 | 0,80 | 0,63 | 19,41 | 232,40 |
| 10 | 0,10 | 0,90 | 0,70 | 65,76 | 227,32 |
| 11 | 0,00 | 1,00 | 0,74 | 169,41 | 221,71 |

**Şekil 5.16.** Hücre 4 için amaç fonksiyonlarının önem ağırlıklarının karşılaştırılması.

Hücre 4 için kullanıcı tarafından belirlenen ağırlıklar ve teslim süreleri ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, *TG* değişkeni ve *OTZ* değişkeni; epsilon kısıt yönteminde kullanılan, *TG* değişkeninin en iyilendiği sonuçlar ile aynı çıktığı görülmüştür. Parçaların sıralaması ise, p5, p12, p7 ve p9 şeklinde olmaktadır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, *TG* değişkenine yalnızca 0,10 ve 0,00 değerleri dışındaki verilen tüm ağırlıklarda, sonuçların etkilenmediği görülmüştür. *TG* değişkenine 0,1 ağırlık değeri ve *OTZ* değişkenine 0,9 verildiğinde, *TG* değerinin, en iyi çözümüne göre 46,36 dakika, *OTZ* değişkeninin ise en iyi çözümüne göre 5,61 dakika arttığı görülmüştür. Epsilon kısıt yöntemi ile çözülen problem sonuçlarına göre yapılan karşılaştırmada, *TG* değerinin 150 dakika azaldığı, *OTZ* değişkeninin ise 10,69 dakika arttığı tespit edilmiştir.

Hücre 4 sonuçlarının kullanıcı ve yöneticiler için anlaşılabilir olması amacıyla Lingo 11.0 programından Excel dosyasına raporlama yapılmıştır. Oluşturulan rapor, her çizelgeleme döneminde Lingo programından güncel verileri almaktadır. Şekil 5.17'de mevcut çizelgeleme dönemindeki sonuçlar verilmiştir.

| HÜCRE 4 | |
|---------|---|
| x11 | 0 |
| x12 | 0 |
| x13 | 1 |
| x14 | 0 |
| x21 | 0 |
| x22 | 0 |
| x23 | 0 |
| x24 | 1 |
| x31 | 0 |
| x32 | 1 |
| x33 | 0 |
| x34 | 0 |
| x41 | 1 |
| x42 | 0 |
| x43 | 0 |
| x44 | 0 |

| | |
|-----|--------|
| w1 | 0,60 |
| w2 | 0,40 |
| TG | 19,41 |
| OTZ | 232,40 |
| Z | 0,34 |

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|----------|
| 1 | PARÇA 5 |
| 2 | PARÇA 12 |
| 3 | PARÇA 7 |
| 4 | PARÇA 9 |

Şekil 5.17. Hücre 4 için ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemine göre çizelgeleme raporu.

5.4. Bilgi Sistemi Önerisi

Uygulamanın yapıldığı üretim bölümünde, üretilecek parçalar hücrelere atanmıştır. Atanan parçalara çizelgeleme problemi tanımlanmış ve modellenmiştir. Ele alınan problem dinamik bir yapıya sahiptir. Nihai müşterinin sipariş ettiği ürünler değişmemekte fakat her parçayı talep ettiği zamanlar değişmektedir. Üretim bölümündeki kullanıcıların kullanım kolaylığı sağlaması, dinamik yapıya kalıcı çözüm getirmesi ve yeni yazılım maliyetleri yaratmaması amacıyla Excel çözücü üzerinde bir bilgi sistemi önerilmiştir. Çözücü tasarlanırken, işletme

öncelikleri ve talepleri değerlendirilmiştir. Değişken teslim sürelerinin varlığı ve amaç fonksiyonları arasındaki önem ağırlıklarının zamanla değişme durumu göz önüne alındığında, ağırlıklı toplam skalerleştirme yönteminin kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Ağırlıklı toplam skalerleştirme yönteminde, amaç fonksiyonlarının normalleştirme işleminin yapılması gerekmektedir. Normalleştirme işleminde, her amaç fonksiyonu, maliyet yapılı problemlerde en büyük değerine, kazanç problemlerinde en küçük değerine bölünür. Ele alınan problem, maliyet yapılı bir problem olmasından dolayı, her amaç fonksiyonu en büyük değerine bölünmelidir. Çözücüde, *TG* ve *OTZ* amaç fonksiyonlarının en büyük değerlerinin bulunması amacıyla, iki ayrı Excel çözücü sekmesi oluşturulmuştur. Kullanıcının, parça sıralamasını elde edebilmesi için öncelikle *TG* ve *OTZ* sekmelerindeki çözümleri çalıştırması gerekmektedir. Bu sekmelerde, ilgili hücrelere atanan parçaların, parametre değerleri olan işlem süresi ve hazırlık süresi değerleri ve her çizelgeleme döneminde değişecek olan teslim süresi değerleri mevcuttur. Teslim süreleri, kullanıcıyı elle giriş yaptığı hücrelerden dinamik olarak çekilmektedir. İşlem süresi ve hazırlık süresi değerleri, hücrelere atanan parçaların değişmemesinden dolayı sabittir. Bu hücrelere kullanıcı müdahalesi engellenmiştir. Her hücreye ayrı kullanıcı giriş sayfası, *TG* ve *OTZ* sekmeleri tanımlanmıştır. Hücre 1 için oluşturulan sekmelerin ekranları Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de verilmiştir. Dört hücrenin iş sıralamaları ve tamamlanma zamanları Şekil 5.22’de gösterilmiştir.

| HÜCRE 1 | | | |
|----------|--------------|-----------------|---------------|
| Parça No | İşlem Süresi | Hazırlık Süresi | Teslim Süresi |
| PARÇA 1 | 74,29 | 3,20 | |
| PARÇA 3 | 82,68 | 2,70 | |
| PARÇA 11 | 101,40 | 3,20 | |
| PARÇA 13 | 83,20 | 1,99 | |

Teslim sürelerini giriniz.

| AĞIRLIKLAR | |
|---|--|
| Toplam Gecikme Amacı için Ağırlık | |
| Ortalama Tamamlanma Zamanı Amacı için Ağırlık | |

Amaç fonksiyonu ağırlıklarını giriniz.

Her çizelgeleme öncesinde hücreler temizlenmelidir.

| | |
|------------------------|------------------|
| HÜCRE TEMİZLEME | ÇİZELGELE |
|------------------------|------------------|

| ÜRETİM SIRALAMASI | |
|-------------------|--|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |

Şekil 5.18. Hücre 1 için kullanıcı giriş sayfası.

| HÜCRE 1 | | | |
|----------|--------------|-----------------|---------------|
| Parça No | İşlem Süresi | Hazırlık Süresi | Teslim Süresi |
| PARÇA 1 | 74,29 | 3,20 | 320 |
| PARÇA 3 | 82,68 | 2,70 | 180 |
| PARÇA 11 | 101,40 | 3,20 | 220 |
| PARÇA 13 | 83,20 | 1,99 | 160 |

Her çözüm öncesinde hücreler temizlenmelidir.

HÜCRE TEMİZLEME

EN BÜYÜK TG HESAPLA

Şekil 5.19. Hücre 1 için TG amaç fonksiyonu çözüm sayfası.

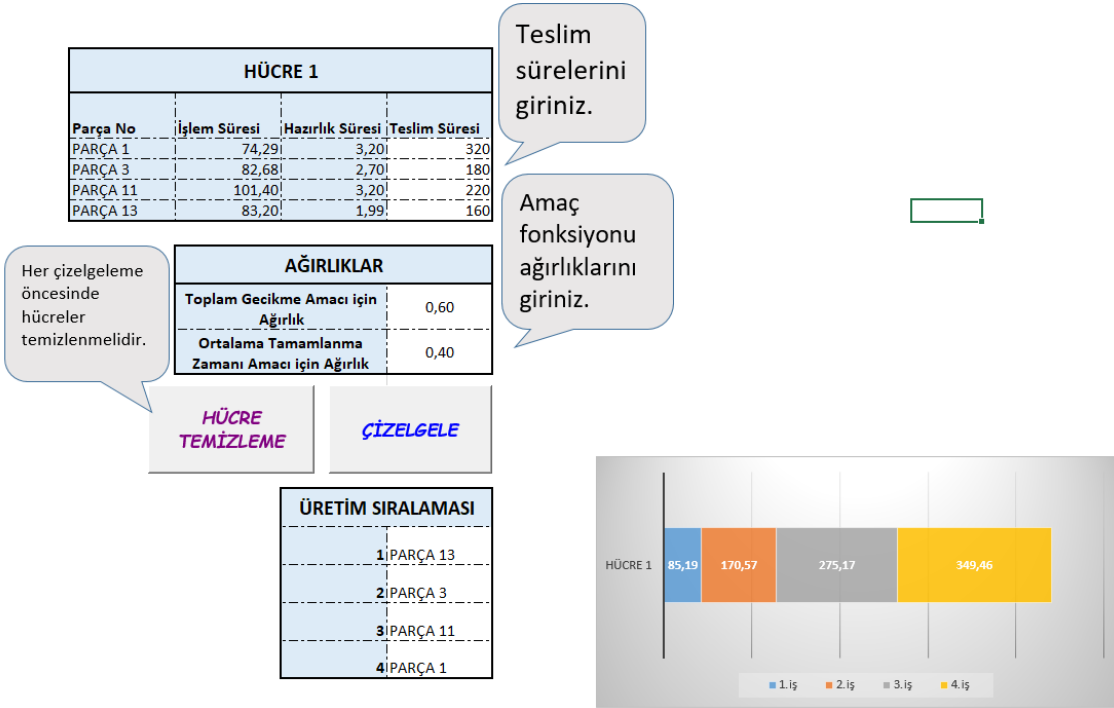
| HÜCRE 1 | | | |
|----------|--------------|-----------------|---------------|
| Parça No | İşlem Süresi | Hazırlık Süresi | Teslim Süresi |
| PARÇA 1 | 74,29 | 3,20 | 320 |
| PARÇA 3 | 82,68 | 2,70 | 180 |
| PARÇA 11 | 101,40 | 3,20 | 220 |
| PARÇA 13 | 83,20 | 1,99 | 160 |

Her çözüm öncesinde hücreler temizlenmelidir.

HÜCRE TEMİZLEME

EN BÜYÜK OTZ HESAPLA

Şekil 5.20. Hücre 1 için OTZ amaç fonksiyonu çözüm sayfası.



Şekil 5.21. Hücre 1 için çizelgeleme sonuçları.



Şekil 5.22. İş sıralamaları ve tamamlanma zamanları.

Ele alınan problemdeki amaç fonksiyonu, kısıtlar ve karar değişkenlerinin yer aldığı çözücü ekranı Şekil 5.23'de verilmiştir. Her hücrenin *TG* ve *OTZ* amaçlarının en büyük

değerlerinin hesaplanması için ayrı ayrı oluşturulan sekmelerdeki çözücüler, sayfalardaki butonlara atanmıştır.

Şekil 5.23. Hücre 1 için çözücü ekranı.

Çalışma yapılan her hücreye ayrı olarak modellenen çizelgeleme problemi için, ayrı Excel sekmelerine çözücüler tanımlanmış ve dinamik bir yapı sağlanmıştır. Çözücü içerikleri aynı olup, işlem süresi ve hazırlık süresi her hücreye atanan parçaların parametre değerleridir. Teslim sürelerini ve amaç fonksiyonu ağırlıklarını kullanıcı elle giriş yapacak ve her amaç fonksiyonunun en büyük sürelerini bulmak için *TG* ve *OTZ* sekmelerindeki butonlardan çözümleri çalıştıracaktır. Oluşturulan Excel çözücü sayfası kodları Ek 3’de verilmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rekabetin her geçen gün arttığı günümüz dünyasında işletmeler, hem karlılığını hem de müşteri memnuniyetini artırıcı hamleler yapmak zorundadırlar. Bu amaçlar doğrultusunda, her işletme, problemlerini belirleyerek çözüm yolları arar fakat istenilen sonuçların elde edilebilmesi için birden çok amacın en iyilenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, çok amaçlı programlama giderek önem kazanmaktadır.

Çok amaçlı programlama, karar vericinin birden çok amacı en iyilemek istediği durumda, amaçları birleştirerek, karar vericiye kabul edilebilir çözümler sunmaktadır. Çok amaçlı problemlerin tek amaçlı olarak ele alınıp, en iyi veya en iyiye yakın çözümler elde edebilmesi için, skalerleştirme yöntemleri önerilmiştir.

Ağırlıklı toplam skalerleştirme ve epsilon kısıt yöntemi, skalerleştirme yöntemlerindedir. Her iki yöntemde de çok amaçlı olarak ele alınan problem, uzlaşık çözüm elde edilmesi amacıyla, tek amaçlı hale döndürülerek karar vericiye tatmin edici sonuçlar sunmaktadır. Ağırlıklı toplam skalerleştirme yönteminde karar verici, amaç fonksiyonları arasındaki önem ağırlıklarını kendi belirleyerek, problemin çözüm uzayını istediği yönde hareket ettirebilir. Epsilon kısıt yönteminde ise karar verici, amaçlardan birini en iyilerken, diğer amaçları kısıt olarak problemine ekler. Epsilon kısıt yöntemi, kullanıcı kararlarını dikkate almadığı için, daha çok analiz tabanlı bir yöntemdir.

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede, sürece göre yerleşimin uygulandığı bir üretim bölümüne, iç müşteri konumundaki üretim bölümünden gelen şikayetler doğrultusunda incelemeler yapılmıştır. İlgili bölümde, herhangi bir çizelgeleme yöntemi veya teknik analiz olmadan, yalnızca sorumluların tecrübelerine dayanarak üretim gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, iç müşterilerin siparişlerinde gecikme, bitmiş ürün stok seviyelerinde ve süreç içi stoklarda artış, taşıma ve bekleme sürelerinde artış sebebiyle, parçaların tamamlanma zamanlarında gecikme meydana geldiği görülmüştür. Tespit edilen problemlerin çözümü için, öncelikli olarak, üretim sistemi değişikliği yapılmasının gerekliliği tespit edilmiştir.

Hücresele üretim sistemi, parçaları ve makineleri, hücreler halinde bir araya getirerek, yalnızca ilgili hücreye atanan parçaların üretilmesine imkan vermesi nedeniyle, süreç içi stok seviyelerinde düşüş, tamamlanma zamanlarında azalma ve israfların ortadan kaldırılmasında etkin rol oynar.

Çalışma yapılan üretim bölümündeki problemlerin ve israfların ortadan kaldırılması amacıyla, hücresele üretim sistemi tasarımı yapılmış, oluşturulan hücrelere atanan parçaların çizelgelemesi amacıyla çok amaçlı çizelgeleme modeli önerilmiştir. Önerilen model, toplam gecikmenin ve ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesini hedeflemektedir. Problemde, işlem ve hazırlık süreleri parametre değerleri olup, teslim süreleri her çizelgeleme döneminde, nihai müşteri taleplerine göre değişiklik göstermektedir. Bunun yanında, problemdeki hazırlık süreleri sıra bağımlı bir yapıya sahiptir.

Kurulan çok amaçlı matematiksel modelin çözümü için, ağırlıklı toplam skalerleştirme ve epsilon kısıt yöntemi kullanılmış, çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir ve en iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Ele alınan problem, gerçek hayat problemi olması sebebiyle, dinamik bir yapıya sahiptir. İşletme için kalıcı çözüm getirmesi amacıyla, Excel çözücü üzerinde bir bilgi sistemi önerilmiştir.

Oluşturulan bilgi sisteminde, çok amaçlı olarak ele alınan problemin tek amaçlı hale getirilip en iyi çözümünün elde edilmesi amacıyla, ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, karar vericinin amaç fonksiyonları arasındaki ağırlıkları, değişen koşulları göz önünde bulundurarak değiştirebilmesi ve her iki amacın da beraber değerlendirilerek uzlaşık çözüm elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Ele alınan problem için, hücre oluşturma yöntemi olarak, diğer dizi tabanlı yöntemler de kullanılabilir. Problem boyutu büyüdüğünde, matris tabanlı yöntemler, matematiksel programlama yöntemleri veya sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak sonuçlar değerlendirilebilir.

Modellenen çizelgeleme problemi, gelişen sektörde işletme önceliklerinin değişmesi durumunda, amaçların artırılması veya değiştirilmesi ile karar vericiye farklı çözümler sunabilir. Aynı zamanda, çok amaçlı olarak oluşturulan problemin çözüm yöntemi olarak farklı skalerleştirme yöntemleri ile çözümler incelenerek sonuçlar karşılaştırılabilir. İncelenecek problemin yapısına bağlı olarak, hem epsilon kısıt hem de ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemlerini beraber kullanan melez yöntem kullanılabilir. Hücre içi akış tipi çizelgeleme probleminde hücreler arası istisnai veya artık parçaların varlığı söz konusu olması durumunda, bu durumları göz önünde bulunduracak çizelgeleme problemleri modellenmelidir. Problem boyutunun büyümesi durumunda, polinim zamanda olurlu çözümlerin elde edilmesi için sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalara başvurmak gerekebilir.

Çalışmaya konu olan problem bütünleşik bir yaklaşım gerektirmektedir. Üretim sistemi tasarımı, hücre içi çizelgeleme ve dinamik yapıya uyum sağlayacak bilgi sistemi tasarımı, literatürde çok sayıda çalışmada ele alınmış bir konu değildir. Bu sebeple yapılan çalışma, gelecekte incelenecek problemlere ışık tutmanın yanında, benzer problemlerin çözümü için uygulayıcılara yol gösterici olacaktır. Aynı zamanda, önerilen bilgi sistemi ile karar vericinin müşterilerine hızlı cevap verebilmesi ve dinamik yapıyı kolay ve etkin bir şekilde yönetebilmesi sebebiyle, faydalı olacağı düşünülmektedir.





KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aalaei, A., Davoudpour, H. (2016). Revised multi-choice goal programming for incorporated dynamic virtual cellular manufacturing into supply chain management: A case study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 47, 3-15.
- Abedi, M., Seidgar, H., Fazlollahtabar, H., Bijani, R. (2015). Bi-objective optimisation for scheduling the identical parallel batch-processing machines with arbitrary job sizes, unequal job release times and capacity limits. *International Journal of Production Research*. 53(6), 1680-1711.
- Ahmedizar, F., Hosseini, L. (2012). Bi-criteria single machine scheduling with a time-dependent learning effect and release times. *Applied Mathematical Modelling*. 36(12), 6203-6214.
- Agarwal, A., Sarkis, J. (1998). A review and analysis of comparative performance studies on functional and cellular manufacturing layouts. *Computers & Industrial Engineering*. 34(1), 77-89.
- Akargöl, İ. (2019). Sıra Bağımlı ve İş Tabanlı Öğrenme Etkisi Altında Çizelgeleme Problemleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 85s.
- Aljuneidi, T., Bulgak, A. A. (2017). Designing a cellular manufacturing system featuring remanufacturing, recycling, and disposal options: a mathematical modeling approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 419, 1-11.
- Alver, Ö. K., Ayvaz, B., Çatay, B. (2018). Atık elektrikli ve elektronik eşyalar için çok amaçlı bir tersine lojistik ağ tasarımı: İstanbul uygulaması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 4(23), 41-54.
- Altunay, H., Eren, T. (2017). Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23(1), 55-70.
- Arkat, J., Farahani, M. H., Hosseini, L. (2012). Integrating cell formation with cellular layout and operations scheduling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 61, 637-647.
- Arumugan, S., Saral, J. (2015). Identification of bottleneck elements in cellular manufacturing problem. *Procedia Computer Science*. 74, 181-185.
- Askın, G. R., Zhou, M. (1998). Formation of independent flow-line cells based on operation requirements and machine capabilities. *IIE Transactions*, 30, 319-329.
- Atamtürk, A. (2009). Hücresel imalat sisteminde hücre ve yerleşim düzeni tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 158s.
- Atmaz, M. (2019). Geçmiş Sıra Bağımlı Zaman Tabanlı Öğrenme Etkisi Altında Çizelgeleme Problemleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 71s.
- Attari, M. Y. N., Torkayesh, A. E. (2018). Developing benders decomposition algorithm for a green supply chain network of mine industry: case of Iranian mine industry. *Operations Research Perspectives*, 5, 371-382.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Aydeniz, N. (1998). Tam zamanında yönetimin amaçladığı bir üretim sistemi: hücresele üretim uygulamaları ve üretim yönetimi teknikleri üzerine etkileri-kullanıcılar için bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 12(1-2), 257-278.

Balakrishnan, J., Cheng, C.H. (2007). Multi-period planning and uncertainty issues in cellular manufacturing: A review and future directions. *European Journal of Operational Research*. 117(1), 281-309.

Başaran, B. (2005). Hücresele üretim: Hücrelerin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin analizi ve bir vinç atölyesinde uygulama, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 216s.

Baykoç, Ö. F., Ege, Y., Shahla, R. A. (2002). Kanban sayısı ve işlem zamanı dağılımlarının hücresele imalat ortamındaki bir jit sisteminin performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 2(4), 17-27.

Behnia, B., Mahdavi, I., Shirazi, B., Paydar, M. M. (2019). A bi-objective bi-level mathematical model for cellular manufacturing system applying evolutionary algorithms. *Scientia Iranica*. 26(4), 2541-2560.

Bortolini, M., Galizia, F. G., Mora, C. (2018). Reconfigurable manufacturing systems: Literature review and research trend. *Journal of Manufacturing Systems*. 49, 93-106.

Bortolini, M., Ferrari, E., Galizia, F. G., Mora, C., Pilati, F. (2019). Optimal redesign of Cellular Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems. *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 81, 1435-1440.

Bozkurt, C. H., Çınar, Y., Kayayurt, B., Sevinçli, B., Tamer, O., Usluoğlu, A. D., Aktürk, M. S. (2006). Tepe mobilya'da hücresele üretimle teslimat sürelerinin kısaltılması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 3(17), 16-30.

Böllhoff, J., Metternich, J., Frick, N., Kruczek, M. (2016). Evaluation of the Human Error Probability in Cellular Manufacturing. *Procedia CIRP*. 55, 218-223.

Brown, J. R. (2015). A capacity constrained mathematical programming model for cellular manufacturing with exceptional elements. *Journal of Manufacturing Systems*. 37(1), 227-232.

Bychkov, I., Batsyn, M. (2018). An efficient exact model for the cell formation problem with a variable number of production cells. *Computers and Operations Research*. 91, 112-120.

Cabo, M., Gonzalez-Velarde, J. Possani, E., Rios-Solis, Y. A. (2018). Bi-objective scheduling on a restricted batching machine. *Computers & Operations Research*. 201-210.

Cesani, V. I., Steudel, H. J. (2005). A study of labor assignment flexibility in cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*. 48(3), 571-591.

Ceylan, Z., Karan, R. E., Bakırcı, Ç., Sabuncu, S. (2019). Sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemi: beyaz eşya sektöründe bir uygulama. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*. 1(3), 14-21.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Chankong, V., Haimes, Y.Y. (1983). *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*, USA: Elsevier Science Publishing Co.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Ferguson, R.O. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming, *Management Science*, 1(8), 138–151.
- Chattopadhyay, M., Sengupta, S., Ghosh, T., Dan, P.K., Mazumdar, S. (2013). Neuro-genetic impact on cell formation methods of Cellular Manufacturing System design: A quantitative review and analysis. *Computers & Industrial Engineering*. 64(1), 256-272.
- Chen, L., Wang, J., Xu, X. (2019). An energy-efficient single machine scheduling problem with machine reliability constraints. *Computers & Industrial Engineering*. 137, 1-8.
- Chen, R., Yuan, J., Lu, L. (2019). Single-machine scheduling with positional due indices and positional deadlines. *Discrete Optimization*. 34, 1-22.
- Cheng, M.B, Tadikamalla, P.R., Shang, J., Zhang, B.X. (2015). Two-machine flow shop scheduling with deteriorating jobs: minimizing the weighted sum of makespan and total completion time. *Journal of the Operational Research Society*. 66(5), 709-719.
- Cömert, S. E., Gökler, S. H., Yazgan, H. R. (2016). Hücresel imalat sistemlerinin k-means algoritması ve genetik algoritma ile tasarlanması: bir uygulama. *Apjes*, iv-iii, 41-47.
- Çevikcan, E. (2010). Paralel makinalarda iş yüküne yönelik üretim kontrolü ilkesi altında ürün tasarımı ile iş çizelgelemenin bütünleştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 226s.
- Çetin, E. (2019). Üretim sistemlerinde çizelgeleme ve yapay arı kolonisi algoritması ile sektörel uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 77s.
- Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt M. (2004). İş değerlendirme, faktör derece puanlarının belirlenmesinde hedef programlama yönteminin kullanılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19, 89-95.
- Danilovic, M., Ilic, O. (2019). A novel hybrid algorithm for manufacturing cell formation problem. *Expert Systems With Applications*. 135, 327-350.
- Deliktaş, D., Torkul, O., Ustun, O. (2019). A flexible job shop cell scheduling with sequence-dependent family setup times and intercellular transportation times using conic scalarization method. *International Transactions in Operational Research*. 26, 2410-2431.
- Duffuaa, S., Kolus, A., Al-Turki, U., El-Khalifa, A. (2019). An Integrated Model of Production Scheduling, Maintenance and Quality for a Single Machine. *Computers & Industrial Engineering*. 1-42.
- Durmaz, T. (2011). Açık atölye çizelgeleme problemlerinin paralel kanguru algoritması ile çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 49s.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Durmuşoğlu, M. B., Kulak, O., Balcı, H. H. (2003). Türkiye’de hücreli üretim uygulamalarının analizi ve değerlendirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 6(3), 33-46.

Eligüzel, İ. M., Özceylan, E. (2019). Comparison of Different Clustering Methods for Cellular Manufacturing: A Case of Gym Centre. *Procedia Computer Science*. 158, 1-8.

Eren, T., Güner, E. (2007). Sıra-bağımlı hazırlık zamanlı iki ölçütlü çizelgeleme problemi: toplam tamamlanma zamanı ve maksimum erken bitirme. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 23(1-2), 95-105).

Eren T., Güner, E. (2005). İki ölçütlü beklemez akış tipi çizelgeleme problemi: toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme. *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi*. 231-236.

Eren T., Güner, E. (2005). Öğrenme etkili çizelgeleme probleminde maksimum gecikmenin en küçüklenmesi için çözüm yaklaşımları. *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi*. 243-248.

Eren T., Güner, E. (2007). Hazırlık zamanlarının öğrenme etkili olduğu durumda bir akış tipi çizelgeleme problemi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2(22), 353-361.

Eren, T. (2011). Hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu tek makineli çizelgeleme problemi: Geciken iş sayısı minimizasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2(3), 34-36.

Erozan, İ., (2017). *Geleneksel ve Modern Üretim Sistemleri* (1.Baskı). Türkiye: Monopol Kitabevi, 1-191.

Erozan, İ. (2014). Mevcut atölye tipi üretim sisteminin tasarlanacak bir hücreli imalat sistemi ile karşılaştırılması ve çok amaçlı bir model, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 133s.

Ehrgott M. (2005). *Multicriteria Optimization* (2.Baskı). USA: Springer Science+Business Media, 97-98.

Gannon, J. P. (2017). Three-phase approach for worker allocation and flowshop scheduling in a multistage cellular manufacturing company, Yüksek Lisans Tezi, The Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, Ohio, 148s.

Gasimov, R.N. (2001). Characterization of the Benson proper efficiency and scalarization in nonconvex vector optimization, *Multiple Criteria Decision Making in the New Millenium*, 507, 189-198.

Gomes, M.C., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2013). Reactive scheduling in a make-to-order flexible job shop with reentrant process and assembly: a mathematical programming approach. *International Journal of Production Research*. 51(17), 5120-5141.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Greene, J. T., Sadowski R.P. (1984). A review of cellular manufacturing assumptions, advantages and design techniques. *Journal of Operations Management*, 4(2), 85-97.

Güven, Y., Kayışoğlu, B., Tanrıtanır, E., Bayhan, Y. (2003). Tarım alet ve makineleri üreten örnek bir fabrikada hücreli imalat sistemi ile grup teknolojisinin bilgisayar destekli uygulaması. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 10(2), 163-168.

Haimes, Y.Y., Wismer, D.A., Lasdon, L.S. (1971). On bicriterion, formulation of the integrated systems identification and system optimization, *IEEE Transactions on Systems*, SMC-1, 296-297.

Haskılıç, V. (2019). Kompozit Üretiminde Otoklav Yükleme ve Çizelgeleme için Yeni Bir Model Önerisi: Savunma Sanayii Uygulaması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 169s.

Hornig S. M. (2007). A study of labor assignments in cellular manufacturing systems. *19th International Conference on Production Research*. 64(2).

İmran, M., Kang, C., Lee, Y. H., Jahanzaib, M., Aziz, H. (2017). Cell formation in a cellular manufacturing system using simulation integrated hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. 105, 123-135.

Karabulut, A. (2018). Conflicting weighted cost minimisation heuristic method for an assembly line scheduling problem, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 92s.

Kaya, T., Aydın, K., Sevinç, Ö. (2012). Hücreli üretim sistemleri kapsamında u tipi üretim hatları ve bir benzetim uygulaması. *Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 12.

Kaya, S., Karaçizmeli, İ. H. (2018). Hazırlık zamanlı ortak teslim tarihli özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin çok amaçlı çözümü. *Harran üniversitesi mühendislik dergisi*. 3(3), 205-213.

Kaya S., Fıçlalı, N. (2016). Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde pareto optimal kullanımı. *Social sciences research journal*. 5(2), 9-18.

Kaya, S. (2006). Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinin genetik algoritmalar ile çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 83s.

Kır, S. (2011). Sıra bağımlı hazırlık zamanlı tek makineli çizelgeleme problemleri: gıda sektöründe bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 105s.

Kellerer, H., Rustogi, K., Strusevich, V. A. (2018). A Fast FPTAS for Single Machine Scheduling Problem of Minimizing Total Weighted Earliness and Tardiness about a Large Common Due Date. *The International Journal of Management Science*. 1-11.

Kesavan, V., Kamalakannan, R., Sudhakarapandian, R., Sivakumar, P. (2019). Heuristic and meta-heuristic algorithms for solving medium and large scale sized cellular manufacturing system NP-hard problems: A comprehensive review. *Materials Today: Proceedings*. 1-17.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

King, J. R. (1980). Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*. 18:2, 213-232.

Kulak, O., Durmuşoğlu, M. B. (2004). Hücresel üretim sistemleri tasarımı için aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı bütünsel bir yöntem. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 6(3), 33-46.

Kırış, Ş. (2008). Hizmet Sektörü için Bir Tepkisel Çizelgeleme Sistem Önerisi Acil Servis Kontrol Sistemi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 229s.

Kırış, Ş., Saraç, T. (2009). Modeling the fuzzy goal programming for scheduling problem of single machine with sequence dependent set-up times. *1st International fuzzy systems symposium*. 34-40.

Kuo, Y., Liu, C. C. (2017). Operator assignment in a labor-intensive manufacturing cell considering inter-cell manpower transfer. *Computers & Industrial Engineering*. 110, 83-91.

Kurz, M. E., Askin, R. G. (2004). Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*. 159, 66-82.

Koulamas, C., Kyparisis, G. J. (2019). New results for single-machine scheduling with past-sequence-dependent setup times and due date-related objectives. *European Journal of Operational Research*. 278, 149-159.

Lee, S. M., Asllani, A. A., Job scheduling with dual criteria and sequence-dependent setups: mathematical versus genetic programming. *Omega The International Journal of Management Science*. 32, 145-153.

Li, Y., Li, X., Gupta, J. N. D. (2014). Solving the multi-objective flowline manufacturing cell scheduling problem by hybrid harmony search. *Expert Systems with Applications*.

Li, J., Sang, H., Han, Y., Wang, C., Gao, K. (2018). Efficient multi-objective optimization algorithm for hybrid flow shop scheduling problems with setup energy consumptions. *Journal of Cleaner Production*. 181, 584-598.

Lokman, B. (2017). Çok amaçlı tamsayı programlama problemleri için temsili çözüm üreten yaklaşımların ve kalite ölçülerinin incelenmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 1(28), 19-39.

Madenoğlu, F. S. (2019). Solving the hybrid flow shop scheduling problem using heuristic algorithms. *Business & Management Studies: An International Journal*. 3(7), 14-25.

Mansour, H., Mohib, A., FahmyAly, M., Attia, H. (2017). A bi-objective model for worker assignment in cellular manufacturing system design. *International Journal of Engineering and Management Research*. 7(4), 191-200.

McCormick, W. T., Schweitzer P. J., White, W. T. (1972). Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique. *Operations Research*. 20(5), 993-1009.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Mejia-Moncayo, C., Battaia, O. (2019). A hybrid optimization algorithm with genetic and bacterial operators for the design of cellular manufacturing systems. *IFAC PapersOnLine*. 52(13), 1409-1414.
- Miettinen K. (1998). *Nonlinear Multiobjective Optimization*. (1.Baskı). USA: Springer Science+Business Media.
- Mirsanei, H. S., Zandieh, M., Moayed, M. J. (2011). A simulated annealing algorithm approach to hybrid flow shop scheduling with sequence-dependent setup times. *J Intell Manuf*. 22, 965-978.
- Mocellin, J. V., Nagano, M. S., Neto, A. R. P., Prata, B. A. (2018). Heuristic algorithms for scheduling hybrid flow shops with machine blocking and setup times. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 40, 1-11.
- Mohammedi, S., Al-e-Hashem, S. M. J. M., Rekik, Y. (2020). An integrated production scheduling and delivery route planning with multi-purpose machines: A case study from a furniture manufacturing company. *International Journal of Production Economics*. 219, 347-359.
- Mozdgir, A., Ghomi, S.M.T.F., Jolai, F., Navaei, J. (2013). Two-stage assembly flow-shop scheduling problem with nonidentical assembly machines considering setup times. *International Journal of Production Research*. 51(12), 3625-3642.
- Naderi, B., Zandieh, M., Balagh, A. K. G., Roshanaei, V. (2009). An improved simulated annealing for hybrid flowshops with sequence-dependent setup and transportation times to minimize total completion time and total tardiness. *Expert Systems with Applications*. 36, 9625-9633.
- Neufeld, J. S., Gupta, J. N. D., Buscher, U. (2014). Minimising makespan in flowshop group scheduling with sequence-dependent family set-up times using inserted idle times. *International Journal of Production Research*. 53, 1791-1806.
- Negahban, A., Smith, J. S. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*. 33(2), 241-261.
- Nomak, A., Durmuşoğlu, M. B. (2003). Bir hücreli üretim ortamında, üretim planlama ve kontrol sistemlerinin benzetim analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 5(2), 43-52.
- Offodile, O. F., Mehrez, A., Grznar, J. (1994). Cellular manufacturing: A taxonomic review framework. *Journal of Manufacturing Systems*. 13(3), 196-220.
- Önal, Z. (2020). Çok Amaçlı Esnek Atölye Tipi Çizelgelemenin Meta-Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri İle Çözümü Ve Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 115s.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Önemli, B. C. (2019). Kutu Ambalaj Sektörü İçin Müşteri Siparişi Çizelgeleme Problemi: Bir İşletme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankarai 92s.

Özkırım M., Durmuşoğlu, M. B. (2007). Dışsal rota esnekliğine sahip hücreli üretim sistemlerinin benzetim analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(6), 41-52.

Özçelik, F., Saraç, T. (2011). Sıra bağımlı hazırlık süreli iki ölçütlü tek makine çizelgeleme problemi için sezgisel bir çözüm yöntemi. *Journal of Industrial Engineering*. 4(22), 48-57.

Öztürk, Ö. (2007). Tasarlanan hücreli üretim sisteminin mevcut üretim sistemi ile karşılaştırılması: ford otosan fabrikası şanzuman üretim bölümü için bir uygulama, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 142s.

Öztürk, Ö. (2013). Bir otomobil fabrikasının şanzuman üretim bölümü için hücreli üretim sistemi önerisi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 4(13), 77-100.

Pan, Q., Gao, L., Li, X., Gao, K. (2017). Effective metaheuristics for scheduling a hybrid flowshop with sequence-dependent setup times. *Applied Mathematics and Computation*. 303, 89-112.

Papaioannou, G., Wilson, J.M. (2010). The evolution of cell formation problem methodologies based on recent studies (1997–2008): Review and directions for future research. *European Journal of Operational Research*. 206(3), 509-521.

Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems* (3.Baskı). USA: Springer Science+Business Media, 1.

Rabbani, M., Akbari, E., Dolatkah, M. (2017). Manpower allocation in a cellular manufacturing system considering the impact of learning, training and combination of learning and training in operator skills. *Management Science Letters*. 7, 9-22.

Rafiei, F. M., Dehghan, A. (2012). Flexible Labor Assignment in Cellular Manufacturing System (A Simulation and DEA Approach). *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 952-960.

Rostami, M., Kheirandish, O., Ansari, N. (2015). Minimizing maximum tardiness and delivery costs with batch delivery and job release times. *Applied Mathematical Modelling*. 1, 1-36.

Rostami M., Nikraves S., Shahin M. (2018). Minimizing total weighted completion and batch delivery times with machine deterioration and learning effect: a case study from wax production. *Operational Research*. 1-33.

Rostami, A., Paydar, M. M., Asadi-Gangraj, E. (2020). A hybrid genetic algorithm for integrating virtual cellular manufacturing with supply chain management considering new product development. *Computers & Industrial Engineering*. 145.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Ruiz, R., Rodriguez, J. A. V. (2010). The hybrid flow shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*. 205, 1-18.
- Safarzadeh, H., Niaki, S. T. A. (2019). Bi-objective green scheduling in uniform parallel machine environments. *Journal of Cleaner Production*. 217, 559-572.
- Sağır, M., Saraç, T. (2007). Hazırlık zamanı kaynaklı üretim kayıplarını enazlayan çok amaçlı bir çizelgeleme algoritması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 4(18), 14-25.
- Sara, D. M. (2019). Tek makineli çok ölçütlü iş sıralama ve çizelgeleme probleminin genetik algoritma ile çözülmesi: alüminyum sektöründe uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 184s.
- Saraç, T., Sipahioğlu, A. (2009). Plastik enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi. *Journal of Industrial Engineering*. 2(20), 2-14.
- Saraç, T., Özçelik, F. (2012). A genetic algorithm with proper parameters for manufacturing cell formation problems. *Springer Science+Business Media*. 23, 1047-1061.
- Saraç, T., Sağır, M. (2019). Bir Oluklu Mukavva Kutu Fabrikasında Standart Bobin Enlerinin Belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 27(1), 47-59.
- Singh, N. (1993). Design of cellular manufacturing systems: An invited review. *European Journal of Operational Research*. 69(3), 284-291.
- Sormaz, D., Chakrabarty, N. (2019). Comparative Analysis of Cell formation Algorithms with Alternative Routing. *25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing*. 39, 1029-1037.
- Süer, G. A., Tummaluri, R. R. (2007). Multi-period operator assignment considering skills, learning and forgetting in labour-intensive cells. *International Journal of Production Research*. 46:2, 469-493.
- Süer, G. A., Dağlı, C. (2005). Intra-cell manpower transfers and cell loading in labor-intensive manufacturing cells. *Computers & Industrial Engineering*. 48, 643-655.
- Şahin, Y. B., Alpay, S. (2016). A metaheuristic approach for a cubic cell formation problem. *Expert Systems with Applications*. 65, 40-51.
- Tanrıtanır, E. (1994). Hüresel imalat sistemi ve bir mobilya fabrikasında bilgisayar destekli uygulaması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 2(44), 79-92.
- Tarakçı, E. (2019). Üretim Sistemlerinde Enerji Odaklı Çizelgeleme Optimizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 138s.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Tatikonda, M. V., Wemmerlöw, U. (1992). Adoption and implementation of group technology classification and coding systems: insights from seven case studies. *International Journal of Production Research*. 30:9, 2087-2110.

Temiz, İ. (2010), Çok kriterli permütasyon akış tipi çizelgeleme problemi için bir tavlama benzetimi yaklaşımı. *Çankaya University Journal of Science and Engineering*. 2(7), 141-153.

Thornblad, K., Stromberg, A.B., Patriksson, M., Almgren, T. (2015). Scheduling optimisation of a real flexible job shop including fixture availability and preventive maintenance. *European Journal of Industrial Engineering*. 9(1), 126-145.

Topçam, F. (2019). Melez Ateşböceği Algoritması ile Çok Amaçlı Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 57s.

Ulutaş, B. (2015). Assessing the number of cells for a cell formation problem. *IFAC-PapersOnLine*. 48(3), 1122-1127.

Ülker, Y., Başaran, B. (2008). Bir grup teknolojisi modeli olarak hücreli imalat sistemi ve faaliyet tabanlı maliyetleme sistemiyle bütünleştirilmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*. 37, 152-163.

Üstün, Ö. (2007). Çok Amaçlı portföy optimizasyon problemi ve çözüm yaklaşımları, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 178s.

Vakhania, N. (2019). Fast solution of single-machine scheduling problem with embedded jobs. *Theoretical Computer Science*. 782, 91-106.

Xu, S., Dong, W., Jin, M., Wang, L. (2019). Single-Machine Scheduling with Fixed or Flexible Maintenance. *Computers & Industrial Engineering*. -25.

Xue, G., Offodile, F. (2020). Integrated optimization of dynamic cell formation and hierarchical production planning problems. *Computers & Industrial Engineering*. 139.

Vahedi-Nouri, B., Moghaddam, R.T., Rohaninejad, M. (2019). A Multi-Objective Scheduling Model for a Cloud Manufacturing System with Pricing, Equity, and Order Rejection. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13), 2177-2182.

Yozgat, S., Atmaca, E. (2018). Bir mobilya fabrikasında hücre tasarımı ve hücre etkinliğinin belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(22), 377-390.

Yurdakul, M., Güçlü, K. G., İç, Y. T. (2008). Bir traktör fabrikasında hücreli imalat uygulaması. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*. 1(10), 41-56.

Yüksel, D. (2019). Bi-objective no-wait permutation flowshop scheduling problems, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 168s.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Zandieh, M., Ghomi, S. M. T. F., Husseini, S. M. M. (2006). An immune algorithm approach to hybrid flow shops scheduling with sequence-dependent setup times. *Applied Mathematics and Computation*. 180, 111-127.

Zhang, E., Liu, M., Zheng, F., Xu, Y. (2019). Single machine lot scheduling to minimize the total weighted (discounted) completion time. *Information Processing Letters*. 18, 1-16.

Zheng, F., Jin, K. (2019). An improved heuristic for single machine lot scheduling problem. *IFAC PapersOnLine*. 52(13), 217-222.

Zheng, F, Sui, Y. (2019). Bi-objective Optimization of Multiple-route Job Shop Scheduling with Route Cost. *IFAC-PapersOnLine*. 52(13), 881-886.

EKLER

EK 1. Hücre 1 için Epsilon Kısıt Yöntemi Lingo Modeli ve Çözümü

Model:

```
!toplam gecikmenin en küçüklenmesini ister;
min=TG;
!ortalama tamamlanmanın en küçüklenmesini ister;
!min=OTZ;

!j işi k. sıraya atanırsa 1 dd 0;
@bin(x11);@bin(x12);@bin(x13);@bin(x14);@bin(x21);@bin(x22);@bin(x23);
@bin(x24);@bin(x31);@bin(x32);@bin(x33);@bin(x34);@bin(x41);@bin(x42);
@bin(x43);@bin(x44);

!j işi k. Sıraya atanırsa ve i işinden hemen sonra ise 1 dd 0;
@bin(y211);@bin(y212);@bin(y213);@bin(y214);@bin(y311);@bin(y312);@bin
(y313);@bin(y314);@bin(y411);@bin(y412);@bin(y413);@bin(y414);@bin(y12
1);@bin(y122);@bin(y123);@bin(y124);@bin(y321);@bin(y322);@bin(y323);@
bin(y324);@bin(y421);@bin(y422);@bin(y423);@bin(y424);@bin(y131);@bin(
y132);@bin(y133);@bin(y134);@bin(y231);@bin(y232);@bin(y233);@bin(y234
);@bin(y431);@bin(y432);@bin(y433);@bin(y434);@bin(y141);@bin(y142);@b
in(y143);@bin(y144);@bin(y241);@bin(y242);@bin(y243);@bin(y244);@bin(y
341);@bin(y342);@bin(y343);@bin(y344);

!j işinin tamamlanma zamanı;
@free(t1);@free(t2);@free(t3);@free(t4);

!j işinin gecikmesi;
@free(g1);@free(g2);@free(g3);@free(g4);

!toplam gecikme değişkeni;
@free(TG);
!ortalama tamamlanma zamanı değişkeni;
@free(OTZ);

!k. sırada olan işin hazırlık zamanı;
@free(A1);@free(A2);@free(A3);@free(A4);

!k. sırada olan işin proses zamanı;
@free(B1);@free(B2);@free(B3);@free(B4);

!k. sırada olan işin teslim zamanı;
@free(C1);@free(C2);@free(C3);@free(C4);

!j işinin proses zamanı;
p1=74.29;p2=82.68;p3=101.4;p4=83.2;

data:
!i işinin teslim zamanı;
d1=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat
zamanları.xlsx','A1');
d2=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat
zamanları.xlsx','B1');
```

```
d3=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat zamanları.xlsx','C1');
d4=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat zamanları.xlsx','D1');
end data
```

```
!ilk işin hazırlık zamanı;
h1=3.2;h2=2.7;h3=3.2;h4=1.99;
```

```
!i. İşten j. İşe geçerken gerekli hazırlık zamanı;
s12=2.7;s13=0;s14=1.99;s21=3.2;s23=3.2;s24=1.99;s31=0;s32=2.7;s34=1.99
;s41=3.2;s42=2.7;s43=3.2;
```

```
OTZ<=213.65;
```

```
!her sıraya yalnızca bir iş atanabilir;
x11+x21+x31+x41=1;
x12+x22+x32+x42=1;
x13+x23+x33+x43=1;
x14+x24+x34+x44=1;
```

```
!her iş yalnızca bir sıraya atanabilir;
x11+x12+x13+x14=1;
x21+x22+x23+x24=1;
x31+x32+x33+x34=1;
x41+x42+x43+x44=1;
```

```
y121+y131+y141+y211+y231+y241+y311+y321+y341+y411+y421+y431=1;
y122+y132+y142+y212+y232+y242+y312+y322+y342+y412+y422+y432=1;
y123+y133+y143+y213+y233+y243+y313+y323+y343+y413+y423+y433=1;
y124+y134+y144+y214+y234+y244+y314+y324+y344+y414+y424+y434=1;
```

```
x22+x11-1<=y122;
x32+x11-1<=y132;
x42+x11-1<=y142;
x23+x12-1<=y123;
x33+x12-1<=y133;
x43+x12-1<=y143;
x24+x13-1<=y124;
x34+x13-1<=y134;
x44+x13-1<=y144;
x12+x21-1<=y212;
x32+x21-1<=y232;
x42+x21-1<=y242;
x13+x22-1<=y213;
x33+x22-1<=y233;
x43+x22-1<=y243;
x14+x23-1<=y214;
x34+x23-1<=y234;
x44+x23-1<=y244;
x12+x31-1<=y312;
x22+x31-1<=y322;
x42+x31-1<=y342;
x13+x32-1<=y313;
x23+x32-1<=y323;
x43+x32-1<=y343;
```


$x_{14}+x_{33}-1 \leq y_{314};$
 $x_{24}+x_{33}-1 \leq y_{324};$
 $x_{44}+x_{33}-1 \leq y_{344};$
 $x_{12}+x_{41}-1 \leq y_{412};$
 $x_{22}+x_{41}-1 \leq y_{422};$
 $x_{32}+x_{41}-1 \leq y_{432};$
 $x_{13}+x_{42}-1 \leq y_{413};$
 $x_{23}+x_{42}-1 \leq y_{423};$
 $x_{33}+x_{42}-1 \leq y_{433};$
 $x_{14}+x_{43}-1 \leq y_{414};$
 $x_{24}+x_{43}-1 \leq y_{424};$
 $x_{34}+x_{43}-1 \leq y_{434};$

!1.sıradaki işin hazırlık zamanı;
 $A_1=h_1*x_{11}+h_2*x_{21}+h_3*x_{31}+h_4*x_{41};$

!k.sıradaki işin hazırlık zamanı;
 $A_2=s_{12}*y_{122}+s_{32}*y_{322}+s_{42}*y_{422}+s_{21}*y_{212}+s_{31}*y_{312}+s_{41}*y_{412}+s_{13}*y_{132}+s_{23}*y_{232}+s_{43}*y_{432}+s_{14}*y_{142}+s_{24}*y_{242}+s_{34}*y_{342};$
 $A_3=s_{12}*y_{123}+s_{32}*y_{323}+s_{42}*y_{423}+s_{21}*y_{213}+s_{31}*y_{313}+s_{41}*y_{413}+s_{13}*y_{133}+s_{23}*y_{233}+s_{43}*y_{433}+s_{14}*y_{143}+s_{24}*y_{243}+s_{34}*y_{343};$
 $A_4=s_{12}*y_{124}+s_{32}*y_{324}+s_{42}*y_{424}+s_{21}*y_{214}+s_{31}*y_{314}+s_{41}*y_{414}+s_{13}*y_{134}+s_{23}*y_{234}+s_{43}*y_{434}+s_{14}*y_{144}+s_{24}*y_{244}+s_{34}*y_{344};$

!k.sıradaki proses zamanı;
 $B_1=x_{11}*p_1+x_{21}*p_2+x_{31}*p_3+x_{41}*p_4;$
 $B_2=x_{12}*p_1+x_{22}*p_2+x_{32}*p_3+x_{42}*p_4;$
 $B_3=x_{13}*p_1+x_{23}*p_2+x_{33}*p_3+x_{43}*p_4;$
 $B_4=x_{14}*p_1+x_{24}*p_2+x_{34}*p_3+x_{44}*p_4;$

!1. sıradaki işin tamamlanma zamanı;
 $t_1=A_1+B_1;$

!k. sıradaki işin tamamlanma zamanı;
 $t_2=t_1+A_2+B_2;$
 $t_3=t_2+A_3+B_3;$
 $t_4=t_3+A_4+B_4;$

!k. sıradaki işin teslim zamanı;
 $C_1=x_{11}*d_1+x_{21}*d_2+x_{31}*d_3+x_{41}*d_4;$
 $C_2=x_{12}*d_1+x_{22}*d_2+x_{32}*d_3+x_{42}*d_4;$
 $C_3=x_{13}*d_1+x_{23}*d_2+x_{33}*d_3+x_{43}*d_4;$
 $C_4=x_{14}*d_1+x_{24}*d_2+x_{34}*d_3+x_{44}*d_4;$

!j. İşin gecikmesi;
 $g_1 \geq t_1 - C_1;$
 $g_2 \geq t_2 - C_2;$
 $g_3 \geq t_3 - C_3;$
 $g_4 \geq t_4 - C_4;$

!toplam gecikme, tüm gecikmelerin toplamıdır;
 $g_1+g_2+g_3+g_4=TG;$

!ortalama tamamlanmanın en küçüklenmesini ister;
 $(t_1+t_2+t_3+t_4)/4=OTZ;$

$t_1 \geq 0; t_2 \geq 0; t_3 \geq 0; t_4 \geq 0;$
 $g_1 \geq 0; g_2 \geq 0; g_3 \geq 0; g_4 \geq 0;$

A1>=0; A2>=0; A3>=0; A4>=0;
B1>=0; B2>=0; B3>=0; B4>=0;
C1>=0; C2>=0; C3>=0; C4>=0;

data:

| | | |
|---|---------|----------------------|
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B2')=X11; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B3')=X12; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B4')=X13; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B5')=X14; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B6')=X21; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B7')=X22; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B8')=X23; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B9')=X24; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B10')=X31; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B11')=X32; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B12')=X33; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B13')=X34; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B14')=X41; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B15')=X42; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B16')=X43; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','B17')=X44; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','E3')=TG; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |
| @ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ zamanları\epsilononuç.xlsx','E4')=OTZ; | TEZ\tez | çalışmaları\teslimat |

end data

Çözüm:

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Global optimal solution found. | |
| Objective value: | 129.4600 |
| Objective bound: | 129.4600 |
| Infeasibilities: | 0.2842171E-13 |
| Extended solver steps: | 0 |
| Total solver iterations: | 225 |

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B2
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B3
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B4
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B5
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B6

Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B7
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B8
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B9
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B10
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar

Ranges Specified: 1
B11
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B12
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B13
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B14
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B15
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B16
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B17
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
E3
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
E4
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

| Variable | Value | Reduced Cost |
|----------|----------|--------------|
| TG | 129.4600 | 0.000000 |
| X11 | 0.000000 | 77.49000 |
| X12 | 0.000000 | 74.29000 |
| X13 | 1.000000 | 74.29000 |
| X14 | 0.000000 | -245.7100 |
| X21 | 0.000000 | 85.38000 |
| X22 | 1.000000 | 82.68000 |
| X23 | 0.000000 | 82.68000 |
| X24 | 0.000000 | -97.32000 |
| X31 | 0.000000 | 104.6000 |
| X32 | 0.000000 | 101.4000 |

| | | |
|------|----------|-----------|
| X33 | 0.000000 | 101.4000 |
| X34 | 1.000000 | -118.6000 |
| X41 | 1.000000 | 85.19000 |
| X42 | 0.000000 | 83.20000 |
| X43 | 0.000000 | 83.20000 |
| X44 | 0.000000 | -76.80000 |
| Y211 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y212 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y213 | 1.000000 | 3.200000 |
| Y214 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y311 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y312 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y313 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y314 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y411 | 1.000000 | 0.000000 |
| Y412 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y413 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y414 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y121 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y122 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y123 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y124 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y321 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y322 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y323 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y324 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y421 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y422 | 1.000000 | 2.700000 |
| Y423 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y424 | 0.000000 | 2.700000 |
| Y131 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y132 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y133 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y134 | 1.000000 | 0.000000 |
| Y231 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y232 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y233 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y234 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y431 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y432 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y433 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y434 | 0.000000 | 3.200000 |
| Y141 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y142 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y143 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y144 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y241 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y242 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y243 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y244 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y341 | 0.000000 | 0.000000 |
| Y342 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y343 | 0.000000 | 1.990000 |
| Y344 | 0.000000 | 1.990000 |
| T1 | 85.19000 | 0.000000 |
| T2 | 170.5700 | 0.000000 |
| T3 | 248.0600 | 0.000000 |
| T4 | 349.4600 | 0.000000 |

| | | |
|-----|----------|----------|
| G1 | 0.000000 | 0.000000 |
| G2 | 0.000000 | 0.000000 |
| G3 | 0.000000 | 0.000000 |
| G4 | 129.4600 | 0.000000 |
| OTZ | 213.3200 | 0.000000 |
| A1 | 1.990000 | 0.000000 |
| A2 | 2.700000 | 0.000000 |
| A3 | 3.200000 | 0.000000 |
| A4 | 0.000000 | 0.000000 |
| B1 | 83.20000 | 0.000000 |
| B2 | 82.68000 | 0.000000 |
| B3 | 74.29000 | 0.000000 |
| B4 | 101.4000 | 0.000000 |
| C1 | 160.0000 | 0.000000 |
| C2 | 180.0000 | 0.000000 |
| C3 | 320.0000 | 0.000000 |
| C4 | 220.0000 | 0.000000 |
| P1 | 74.29000 | 0.000000 |
| P2 | 82.68000 | 0.000000 |
| P3 | 101.4000 | 0.000000 |
| P4 | 83.20000 | 0.000000 |
| D1 | 320.0000 | 0.000000 |
| D2 | 180.0000 | 0.000000 |
| D3 | 220.0000 | 0.000000 |
| D4 | 160.0000 | 0.000000 |
| H1 | 3.200000 | 0.000000 |
| H2 | 2.700000 | 0.000000 |
| H3 | 3.200000 | 0.000000 |
| H4 | 1.990000 | 0.000000 |
| S12 | 2.700000 | 0.000000 |
| S13 | 0.000000 | 0.000000 |
| S14 | 1.990000 | 0.000000 |
| S21 | 3.200000 | 0.000000 |
| S23 | 3.200000 | 0.000000 |
| S24 | 1.990000 | 0.000000 |
| S31 | 0.000000 | 0.000000 |
| S32 | 2.700000 | 0.000000 |
| S34 | 1.990000 | 0.000000 |
| S41 | 3.200000 | 0.000000 |
| S42 | 2.700000 | 0.000000 |
| S43 | 3.200000 | 0.000000 |

| Row | Slack or Surplus | Dual Price |
|-----|------------------|------------|
| 1 | 129.4600 | -1.000000 |
| 2 | 0.000000 | -1.000000 |
| 3 | 0.000000 | -1.000000 |
| 4 | 0.000000 | -1.000000 |
| 5 | 0.000000 | -1.000000 |
| 6 | 0.000000 | 0.000000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 0.000000 | 0.000000 |
| 9 | 0.000000 | -1.000000 |
| 10 | 0.000000 | 0.000000 |
| 11 | 0.000000 | -1.000000 |
| 12 | 0.000000 | 0.000000 |
| 13 | 0.000000 | -1.000000 |
| 14 | 0.000000 | 0.000000 |
| 15 | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|----|----------|-----------|
| 16 | 0.000000 | 0.000000 |
| 17 | 0.000000 | 0.000000 |
| 18 | 0.000000 | 0.000000 |
| 19 | 0.000000 | 0.000000 |
| 20 | 0.000000 | -1.000000 |
| 21 | 0.000000 | 0.000000 |
| 22 | 0.330000 | 0.000000 |
| 23 | 0.000000 | 0.000000 |
| 24 | 0.000000 | 0.000000 |
| 25 | 0.000000 | 0.000000 |
| 26 | 0.000000 | 0.000000 |
| 27 | 0.000000 | 0.000000 |
| 28 | 0.000000 | 0.000000 |
| 29 | 0.000000 | 0.000000 |
| 30 | 0.000000 | 0.000000 |
| 31 | 0.000000 | 0.000000 |
| 32 | 0.000000 | 0.000000 |
| 33 | 0.000000 | 0.000000 |
| 34 | 0.000000 | 0.000000 |
| 35 | 0.000000 | 0.000000 |
| 36 | 1.000000 | 0.000000 |
| 37 | 1.000000 | 0.000000 |
| 38 | 1.000000 | 0.000000 |
| 39 | 1.000000 | 0.000000 |
| 40 | 1.000000 | 0.000000 |
| 41 | 0.000000 | 0.000000 |
| 42 | 0.000000 | 0.000000 |
| 43 | 0.000000 | 0.000000 |
| 44 | 1.000000 | 0.000000 |
| 45 | 1.000000 | 0.000000 |
| 46 | 1.000000 | 0.000000 |
| 47 | 0.000000 | 0.000000 |
| 48 | 0.000000 | 0.000000 |
| 49 | 0.000000 | 0.000000 |
| 50 | 1.000000 | 0.000000 |
| 51 | 0.000000 | 0.000000 |
| 52 | 1.000000 | 0.000000 |
| 53 | 1.000000 | 0.000000 |
| 54 | 0.000000 | 0.000000 |
| 55 | 1.000000 | 0.000000 |
| 56 | 0.000000 | 0.000000 |
| 57 | 1.000000 | 0.000000 |
| 58 | 1.000000 | 0.000000 |
| 59 | 1.000000 | 0.000000 |
| 60 | 1.000000 | 0.000000 |
| 61 | 1.000000 | 0.000000 |
| 62 | 0.000000 | 0.000000 |
| 63 | 0.000000 | 0.000000 |
| 64 | 0.000000 | 0.000000 |
| 65 | 0.000000 | 0.000000 |
| 66 | 1.000000 | 0.000000 |
| 67 | 1.000000 | 0.000000 |
| 68 | 1.000000 | 0.000000 |
| 69 | 1.000000 | 0.000000 |
| 70 | 0.000000 | 0.000000 |
| 71 | 0.000000 | -1.000000 |
| 72 | 0.000000 | -1.000000 |
| 73 | 0.000000 | -1.000000 |

| | | |
|-----|----------|-----------|
| 74 | 0.000000 | -1.000000 |
| 75 | 0.000000 | -1.000000 |
| 76 | 0.000000 | -1.000000 |
| 77 | 0.000000 | -1.000000 |
| 78 | 0.000000 | -1.000000 |
| 79 | 0.000000 | -1.000000 |
| 80 | 0.000000 | -1.000000 |
| 81 | 0.000000 | -1.000000 |
| 82 | 0.000000 | -1.000000 |
| 83 | 0.000000 | 0.000000 |
| 84 | 0.000000 | 0.000000 |
| 85 | 0.000000 | 0.000000 |
| 86 | 0.000000 | 1.000000 |
| 87 | 74.81000 | 0.000000 |
| 88 | 9.430000 | 0.000000 |
| 89 | 71.94000 | 0.000000 |
| 90 | 0.000000 | -1.000000 |
| 91 | 0.000000 | 1.000000 |
| 92 | 0.000000 | 0.000000 |
| 93 | 85.19000 | 0.000000 |
| 94 | 170.5700 | 0.000000 |
| 95 | 248.0600 | 0.000000 |
| 96 | 349.4600 | 0.000000 |
| 97 | 0.000000 | -1.000000 |
| 98 | 0.000000 | -1.000000 |
| 99 | 0.000000 | -1.000000 |
| 100 | 129.4600 | 0.000000 |
| 101 | 1.990000 | 0.000000 |
| 102 | 2.700000 | 0.000000 |
| 103 | 3.200000 | 0.000000 |
| 104 | 0.000000 | 0.000000 |
| 105 | 83.20000 | 0.000000 |
| 106 | 82.68000 | 0.000000 |
| 107 | 74.29000 | 0.000000 |
| 108 | 101.4000 | 0.000000 |
| 109 | 160.0000 | 0.000000 |
| 110 | 180.0000 | 0.000000 |
| 111 | 320.0000 | 0.000000 |
| 112 | 220.0000 | 0.000000 |

EK 2. Hücre 1 için Ağırlıklı Toplam Skalerleştirme Yöntemi Lingo Modeli ve Çözümü

Model:

```
!amaç fonksiyonu;
min=Z;

!j işi k.sıraya atanırsa 1 dd 0;
@bin(x11);@bin(x12);@bin(x13);@bin(x14);@bin(x21);@bin(x22);@bin(x23);
@bin(x24);@bin(x31);@bin(x32);@bin(x33);@bin(x34);@bin(x41);@bin(x42);
@bin(x43);@bin(x44);

!j işi k. Sıraya atanırsa ve i işinden hemen sonra ise 1 dd 0;
@bin(y211);@bin(y212);@bin(y213);@bin(y214);@bin(y311);@bin(y312);@bin
(y313);@bin(y314);@bin(y411);@bin(y412);@bin(y413);@bin(y414);@bin(y12
1);@bin(y122);@bin(y123);@bin(y124);@bin(y321);@bin(y322);@bin(y323);@
bin(y324);@bin(y421);@bin(y422);@bin(y423);@bin(y424);@bin(y131);@bin(
y132);@bin(y133);@bin(y134);@bin(y231);@bin(y232);@bin(y233);@bin(y234
);@bin(y431);@bin(y432);@bin(y433);@bin(y434);@bin(y141);@bin(y142);@b
in(y143);@bin(y144);@bin(y241);@bin(y242);@bin(y243);@bin(y244);@bin(y
341);@bin(y342);@bin(y343);@bin(y344);

!j işinin tamamlanma zamanı;
@free(t1);@free(t2);@free(t3);@free(t4);

!j işinin gecikmesi;
@free(g1);@free(g2);@free(g3);@free(g4);

!toplam gecikme değişkeni;
@free(TG);
!ortalama tamamlanma zamanı değişkeni;
@free(OTZ);
!ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu;
@free(Z);

!k.sırada olan işin hazırlık zamanı;
@free(A1);@free(A2);@free(A3);@free(A4);

!k.sırada olan işin proses zamanı;
@free(B1);@free(B2);@free(B3);@free(B4);

!k.sırada olan işin teslim zamanı;
@free(C1);@free(C2);@free(C3);@free(C4);

!j işinin proses zamanı;
p1=74.29;p2=82.68;p3=101.4;p4=83.2;
data:
!i işinin teslim zamanı;
d1=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat
zamanları.xlsx','A1');
d2=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat
zamanları.xlsx','B1');
d3=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat
zamanları.xlsx','C1');
d4=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat
zamanları.xlsx','D1');
```

end data

```
!ilk işin hazırlık zamanı;  
h1=3.2;h2=2.7;h3=3.2;h4=1.99;  
!i. İşten j. İşe geçerken gerekli hazırlık zamanı;  
s12=2.7;s13=0;s14=1.99;s21=3.2;s23=3.2;s24=1.99;s31=0;s32=2.7;s34=1.99  
;s41=3.2;s42=2.7;s43=3.2;
```

data:

!ağırlıklar;

w1=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat zamanları.xlsx','A2');

w2=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat zamanları.xlsx','B2');

end data

data:

!en büyük süreler;

m1=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat zamanları.xlsx','A3');

m2=@ole('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\teslimat zamanları.xlsx','B3');

end data

!her sıraya yalnızca bir iş atanabilir;

x11+x21+x31+x41=1;

x12+x22+x32+x42=1;

x13+x23+x33+x43=1;

x14+x24+x34+x44=1;

!her iş yalnızca bir sıraya atanabilir;

x11+x12+x13+x14=1;

x21+x22+x23+x24=1;

x31+x32+x33+x34=1;

x41+x42+x43+x44=1;

y121+y131+y141+y211+y231+y241+y311+y321+y341+y411+y421+y431=1;

y122+y132+y142+y212+y232+y242+y312+y322+y342+y412+y422+y432=1;

y123+y133+y143+y213+y233+y243+y313+y323+y343+y413+y423+y433=1;

y124+y134+y144+y214+y234+y244+y314+y324+y344+y414+y424+y434=1;

x22+x11-1<=y122;

x32+x11-1<=y132;

x42+x11-1<=y142;

x23+x12-1<=y123;

x33+x12-1<=y133;

x43+x12-1<=y143;

x24+x13-1<=y124;

x34+x13-1<=y134;

x44+x13-1<=y144;

x12+x21-1<=y212;

x32+x21-1<=y232;

x42+x21-1<=y242;

x13+x22-1<=y213;

x33+x22-1<=y233;

x43+x22-1<=y243;

$x_{14}+x_{23}-1 \leq y_{214};$
 $x_{34}+x_{23}-1 \leq y_{234};$
 $x_{44}+x_{23}-1 \leq y_{244};$
 $x_{12}+x_{31}-1 \leq y_{312};$
 $x_{22}+x_{31}-1 \leq y_{322};$
 $x_{42}+x_{31}-1 \leq y_{342};$
 $x_{13}+x_{32}-1 \leq y_{313};$
 $x_{23}+x_{32}-1 \leq y_{323};$
 $x_{43}+x_{32}-1 \leq y_{343};$
 $x_{14}+x_{33}-1 \leq y_{314};$
 $x_{24}+x_{33}-1 \leq y_{324};$
 $x_{44}+x_{33}-1 \leq y_{344};$
 $x_{12}+x_{41}-1 \leq y_{412};$
 $x_{22}+x_{41}-1 \leq y_{422};$
 $x_{32}+x_{41}-1 \leq y_{432};$
 $x_{13}+x_{42}-1 \leq y_{413};$
 $x_{23}+x_{42}-1 \leq y_{423};$
 $x_{33}+x_{42}-1 \leq y_{433};$
 $x_{14}+x_{43}-1 \leq y_{414};$
 $x_{24}+x_{43}-1 \leq y_{424};$
 $x_{34}+x_{43}-1 \leq y_{434};$

!1.sıradaki işin hazırlık zamanı;
 $A_1=h_1*x_{11}+h_2*x_{21}+h_3*x_{31}+h_4*x_{41};$

!k.sıradaki işin hazırlık zamanı;
 $A_2=s_{12}*y_{122}+s_{32}*y_{322}+s_{42}*y_{422}+s_{21}*y_{212}+s_{31}*y_{312}+s_{41}*y_{412}+s_{13}*y_{132}+s_{23}*y_{232}+s_{43}*y_{432}+s_{14}*y_{142}+s_{24}*y_{242}+s_{34}*y_{342};$
 $A_3=s_{12}*y_{123}+s_{32}*y_{323}+s_{42}*y_{423}+s_{21}*y_{213}+s_{31}*y_{313}+s_{41}*y_{413}+s_{13}*y_{133}+s_{23}*y_{233}+s_{43}*y_{433}+s_{14}*y_{143}+s_{24}*y_{243}+s_{34}*y_{343};$
 $A_4=s_{12}*y_{124}+s_{32}*y_{324}+s_{42}*y_{424}+s_{21}*y_{214}+s_{31}*y_{314}+s_{41}*y_{414}+s_{13}*y_{134}+s_{23}*y_{234}+s_{43}*y_{434}+s_{14}*y_{144}+s_{24}*y_{244}+s_{34}*y_{344};$

!k.sıradaki proses zamanı;
 $B_1=x_{11}*p_1+x_{21}*p_2+x_{31}*p_3+x_{41}*p_4;$
 $B_2=x_{12}*p_1+x_{22}*p_2+x_{32}*p_3+x_{42}*p_4;$
 $B_3=x_{13}*p_1+x_{23}*p_2+x_{33}*p_3+x_{43}*p_4;$
 $B_4=x_{14}*p_1+x_{24}*p_2+x_{34}*p_3+x_{44}*p_4;$

!1. sıradaki işin tamamlanma zamanı;
 $t_1=A_1+B_1;$

!k. sıradaki işin tamamlanma zamanı;
 $t_2=t_1+A_2+B_2;$
 $t_3=t_2+A_3+B_3;$
 $t_4=t_3+A_4+B_4;$

!k. sıradaki işin teslim zamanı;
 $C_1=x_{11}*d_1+x_{21}*d_2+x_{31}*d_3+x_{41}*d_4;$
 $C_2=x_{12}*d_1+x_{22}*d_2+x_{32}*d_3+x_{42}*d_4;$
 $C_3=x_{13}*d_1+x_{23}*d_2+x_{33}*d_3+x_{43}*d_4;$
 $C_4=x_{14}*d_1+x_{24}*d_2+x_{34}*d_3+x_{44}*d_4;$

!j. İşin gecikmesi;
 $g_1 \geq t_1 - C_1;$
 $g_2 \geq t_2 - C_2;$
 $g_3 \geq t_3 - C_3;$
 $g_4 \geq t_4 - C_4;$

!toplam gecikme, tüm gecikmelerin toplamıdır;
g1+g2+g3+g4=TG;

!ortalama tamamlanmanın en küçüklenmesini ister;
(t1+t2+t3+t4)/4=OTZ;

!ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu;
Z= (w1* (TG/m1)) + (w2* (OTZ/m2)) ;

t1>=0;t2>=0;t3>=0;t4>=0;
g1>=0;g2>=0;g3>=0;g4>=0;
A1>=0;A2>=0;A3>=0;A4>=0;
B1>=0;B2>=0;B3>=0;B4>=0;
C1>=0;C2>=0;C3>=0;C4>=0;

data:

@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B2')=X11;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B3')=X12;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B4')=X13;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B5')=X14;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B6')=X21;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B7')=X22;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B8')=X23;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B9')=X24;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B10')=X31;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B11')=X32;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B12')=X33;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B13')=X34;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B14')=X41;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B15')=X42;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B16')=X43;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','B17')=X44;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','E3')=w1;

```
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','E4')=w2;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','E5')=TG;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','E6')=OTZ;
@ole ('C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez çalışmaları\teslimat zamanları\Ağırlıklıtoplamsonuç.xlsx','E7')=Z;
end data
```

Çözüm:

Global optimal solution found.

| | |
|--------------------------|---------------|
| Objective value: | 0.5674896 |
| Objective bound: | 0.5674896 |
| Infeasibilities: | 0.4263256E-13 |
| Extended solver steps: | 0 |
| Total solver iterations: | 88 |

Export Summary Report

```
-----
Transfer Method:      OLE BASED
Workbook:            C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified:    1
    B2
Ranges Found:        1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred:  1
```

Export Summary Report

```
-----
Transfer Method:      OLE BASED
Workbook:            C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified:    1
    B3
Ranges Found:        1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred:  1
```

Export Summary Report

```
-----
Transfer Method:      OLE BASED
Workbook:            C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified:    1
    B4
Ranges Found:        1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred:  1
```

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B5
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B6
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B7
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B8
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B9
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0

Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B10
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B11
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B12
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1
B13
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
çalışmalar
Ranges Specified: 1

B14
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B15
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B16
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
B17
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez

çalışmalar

Ranges Specified: 1
E3
Ranges Found: 1
Range Size Mismatches: 0
Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED

Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
 çalışmalar
 Ranges Specified: 1
 E4
 Ranges Found: 1
 Range Size Mismatches: 0
 Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
 Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
 çalışmalar
 Ranges Specified: 1
 E5
 Ranges Found: 1
 Range Size Mismatches: 0
 Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
 Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
 çalışmalar
 Ranges Specified: 1
 E6
 Ranges Found: 1
 Range Size Mismatches: 0
 Values Transferred: 1

Export Summary Report

Transfer Method: OLE BASED
 Workbook: C:\Users\AYDOGSE1\Desktop\YENİ TEZ\tez
 çalışmalar
 Ranges Specified: 1
 E7
 Ranges Found: 1
 Range Size Mismatches: 0
 Values Transferred: 1

| Variable | Value | Reduced Cost |
|----------|-----------|--------------|
| Z | 0.5674896 | 0.000000 |
| X11 | 0.000000 | 0.4743838 |
| X12 | 0.000000 | 0.4225715 |
| X13 | 0.000000 | -0.3115590 |
| X14 | 1.000000 | -0.5067337 |
| X21 | 0.000000 | 0.5226853 |
| X22 | 1.000000 | 0.4702950 |
| X23 | 0.000000 | 0.3961028E- |
| X24 | 0.000000 | -0.1776066 |
| X31 | 0.000000 | 0.6403477 |
| X32 | 0.000000 | 0.5767769 |

| | | | |
|----|------|----------|-------------|
| 01 | X33 | 1.000000 | 0.5023409E- |
| | X34 | 0.000000 | -0.2161639 |
| | X41 | 1.000000 | 0.5215222 |
| | X42 | 0.000000 | 0.4732528 |
| | X43 | 0.000000 | 0.8621183E- |
| 01 | X44 | 0.000000 | -0.1323712 |
| | Y211 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y212 | 0.000000 | 0.1820203E- |
| 01 | Y213 | 0.000000 | 0.1681408E- |
| 01 | Y214 | 0.000000 | 0.8407038E- |
| 02 | Y311 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y312 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y313 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y314 | 1.000000 | 0.000000 |
| | Y411 | 1.000000 | 0.000000 |
| | Y412 | 0.000000 | 0.1820203E- |
| 01 | Y413 | 0.000000 | 0.1681408E- |
| 01 | Y414 | 0.000000 | 0.8407038E- |
| 02 | Y121 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y122 | 0.000000 | 0.1535796E- |
| 01 | Y123 | 0.000000 | 0.1418688E- |
| 01 | Y124 | 0.000000 | 0.7093439E- |
| 02 | Y321 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y322 | 0.000000 | 0.1535796E- |
| 01 | Y323 | 0.000000 | 0.1418688E- |
| 01 | Y324 | 0.000000 | 0.7093439E- |
| 02 | Y421 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y422 | 1.000000 | 0.1535796E- |
| 01 | Y423 | 0.000000 | 0.1418688E- |
| 01 | Y424 | 0.000000 | 0.7093439E- |
| 02 | Y131 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y132 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y133 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y134 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y231 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y232 | 0.000000 | 0.1820203E- |
| 01 | Y233 | 1.000000 | 0.1681408E- |
| 01 | Y234 | 0.000000 | 0.8407038E- |
| 02 | | | |

| | | | |
|----|------|----------|-------------|
| | Y431 | 0.000000 | 0.000000 |
| 01 | Y432 | 0.000000 | 0.1820203E- |
| | Y433 | 0.000000 | 0.1681408E- |
| 01 | Y434 | 0.000000 | 0.8407038E- |
| 02 | Y141 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y142 | 0.000000 | 0.1131939E- |
| 01 | Y143 | 0.000000 | 0.1045625E- |
| 01 | Y144 | 0.000000 | 0.5228127E- |
| 02 | Y241 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y242 | 0.000000 | 0.1131939E- |
| 01 | Y243 | 0.000000 | 0.1045625E- |
| 01 | Y244 | 0.000000 | 0.5228127E- |
| 02 | Y341 | 0.000000 | 0.000000 |
| | Y342 | 0.000000 | 0.1131939E- |
| 01 | Y343 | 0.000000 | 0.1045625E- |
| 01 | Y344 | 0.000000 | 0.5228127E- |
| 02 | T1 | 85.19000 | 0.000000 |
| | T2 | 170.5700 | 0.000000 |
| | T3 | 275.1700 | 0.000000 |
| | T4 | 349.4600 | 0.000000 |
| | G1 | 0.000000 | 0.000000 |
| | G2 | 0.000000 | 0.000000 |
| | G3 | 55.17000 | 0.000000 |
| | G4 | 29.46000 | 0.000000 |
| | TG | 84.63000 | 0.000000 |
| | OTZ | 220.0975 | 0.000000 |
| | A1 | 1.990000 | 0.000000 |
| | A2 | 2.700000 | 0.000000 |
| | A3 | 3.200000 | 0.000000 |
| | A4 | 0.000000 | 0.000000 |
| | B1 | 83.20000 | 0.000000 |
| | B2 | 82.68000 | 0.000000 |
| | B3 | 101.4000 | 0.000000 |
| | B4 | 74.29000 | 0.000000 |
| | C1 | 160.0000 | 0.000000 |
| | C2 | 180.0000 | 0.000000 |
| | C3 | 220.0000 | 0.000000 |
| | C4 | 320.0000 | 0.000000 |
| | P1 | 74.29000 | 0.000000 |
| | P2 | 82.68000 | 0.000000 |
| | P3 | 101.4000 | 0.000000 |
| | P4 | 83.20000 | 0.000000 |
| | D1 | 320.0000 | 0.000000 |
| | D2 | 180.0000 | 0.000000 |
| | D3 | 220.0000 | 0.000000 |
| | D4 | 160.0000 | 0.000000 |

| | | | |
|----|-----|------------------|--------------|
| | H1 | 3.200000 | 0.000000 |
| | H2 | 2.700000 | 0.000000 |
| | H3 | 3.200000 | 0.000000 |
| | H4 | 1.990000 | 0.000000 |
| | S12 | 2.700000 | 0.000000 |
| | S13 | 0.000000 | 0.000000 |
| | S14 | 1.990000 | 0.000000 |
| | S21 | 3.200000 | 0.000000 |
| | S23 | 3.200000 | 0.000000 |
| | S24 | 1.990000 | 0.000000 |
| | S31 | 0.000000 | 0.000000 |
| | S32 | 2.700000 | 0.000000 |
| | S34 | 1.990000 | 0.000000 |
| | S41 | 3.200000 | 0.000000 |
| | S42 | 2.700000 | 0.000000 |
| | S43 | 3.200000 | 0.000000 |
| | W1 | 0.600000 | 0.000000 |
| | W2 | 0.400000 | 0.000000 |
| | M1 | 273.5400 | 0.000000 |
| | M2 | 230.5550 | 0.000000 |
| | Row | Slack or Surplus | Dual Price |
| | 1 | 0.5674896 | -1.000000 |
| 02 | 2 | 0.000000 | -0.2627199E- |
| 02 | 3 | 0.000000 | -0.5688135E- |
| 02 | 4 | 0.000000 | -0.5254399E- |
| 02 | 5 | 0.000000 | -0.6121871E- |
| | 6 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 7 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 8 | 0.000000 | 0.000000 |
| 02 | 9 | 0.000000 | -0.6121871E- |
| | 10 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 11 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 12 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 13 | 0.000000 | 0.000000 |
| 02 | 14 | 0.000000 | -0.5254399E- |
| | 15 | 0.000000 | 0.000000 |
| 02 | 16 | 0.000000 | -0.2627199E- |
| | 17 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 18 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 19 | 0.000000 | 0.000000 |
| 02 | 20 | 0.000000 | -0.5688135E- |
| | 21 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 22 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 23 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 24 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 25 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 26 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 27 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 28 | 0.000000 | 0.000000 |

| | | | |
|----|----|----------|--------------|
| | 29 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 30 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 31 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 32 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 33 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 34 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 35 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 36 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 37 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 38 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 39 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 40 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 41 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 42 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 43 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 44 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 45 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 46 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 47 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 48 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 49 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 50 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 51 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 52 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 53 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 54 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 55 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 56 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 57 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 58 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 59 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 60 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 61 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 62 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 63 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 64 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 65 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 66 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 67 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 68 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 69 | 1.000000 | 0.000000 |
| | 70 | 0.000000 | -0.6121871E- |
| 02 | | | |
| | 71 | 0.000000 | -0.5688135E- |
| 02 | | | |
| | 72 | 0.000000 | -0.5254399E- |
| 02 | | | |
| | 73 | 0.000000 | -0.2627199E- |
| 02 | | | |
| | 74 | 0.000000 | -0.6121871E- |
| 02 | | | |
| | 75 | 0.000000 | -0.5688135E- |
| 02 | | | |
| | 76 | 0.000000 | -0.5254399E- |
| 02 | | | |
| | 77 | 0.000000 | -0.2627199E- |
| 02 | | | |

| | | | |
|----|-----|----------|--------------|
| 02 | 78 | 0.000000 | -0.6121871E- |
| 02 | 79 | 0.000000 | -0.5688135E- |
| 02 | 80 | 0.000000 | -0.5254399E- |
| 02 | 81 | 0.000000 | -0.2627199E- |
| | 82 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 83 | 0.000000 | 0.000000 |
| 02 | 84 | 0.000000 | 0.2193463E- |
| 02 | 85 | 0.000000 | 0.2193463E- |
| | 86 | 74.81000 | 0.000000 |
| | 87 | 9.430000 | 0.000000 |
| 02 | 88 | 0.000000 | -0.2193463E- |
| 02 | 89 | 0.000000 | -0.2193463E- |
| 02 | 90 | 0.000000 | 0.2193463E- |
| 02 | 91 | 0.000000 | 0.1734944E- |
| | 92 | 0.000000 | -1.000000 |
| | 93 | 85.19000 | 0.000000 |
| | 94 | 170.5700 | 0.000000 |
| | 95 | 275.1700 | 0.000000 |
| | 96 | 349.4600 | 0.000000 |
| 02 | 97 | 0.000000 | -0.2193463E- |
| 02 | 98 | 0.000000 | -0.2193463E- |
| | 99 | 55.17000 | 0.000000 |
| | 100 | 29.46000 | 0.000000 |
| | 101 | 1.990000 | 0.000000 |
| | 102 | 2.700000 | 0.000000 |
| | 103 | 3.200000 | 0.000000 |
| | 104 | 0.000000 | 0.000000 |
| | 105 | 83.20000 | 0.000000 |
| | 106 | 82.68000 | 0.000000 |
| | 107 | 101.4000 | 0.000000 |
| | 108 | 74.29000 | 0.000000 |
| | 109 | 160.0000 | 0.000000 |
| | 110 | 180.0000 | 0.000000 |
| | 111 | 220.0000 | 0.000000 |
| | 112 | 320.0000 | 0.000000 |

EK 3. Dinamik Ağırlıklı Toplam Skalerleştirme Yöntemi Excel Çözücü Kodları

Sub hücre1ÇÖZME()

SOLVERSOLVE Userfinish:=True

End Sub

Sub hücre2ÇÖZME()

SOLVERSOLVE Userfinish:=True

End Sub

Sub hücre1TEMİZLEME()

Sheets("1").Range("m4:p7").ClearContents

Sheets("1").Range("c12:c59").ClearContents

Sheets("1").Range("aa5:aa8").ClearContents

Sheets("1").Range("aa11:aa12").ClearContents

End Sub

Sub hücre2TEMİZLEME()

Sheets("2").Range("m4:o6").ClearContents

Sheets("2").Range("c12:c29").ClearContents

Sheets("2").Range("aa5:aa7").ClearContents

Sheets("2").Range("aa10:aa11").ClearContents

End Sub

Sub hücre1TGTEMİZLEME()

Sheets("HÜCRE1 TG").Range("m4:p7").ClearContents

Sheets("HÜCRE1 TG").Range("c12:c59").ClearContents

End Sub

Sub hücre1TGÇÖZME()

SOLVERSOLVE Userfinish:=True

End Sub

Sub hücre1OTZÇÖZME()

SOLVERSOLVE Userfinish:=True

End Sub

Sub hücre1OTZTEMİZLEME()

Sheets("HÜCRE1 OTZ").Range("m4:p7").ClearContents

Sheets("HÜCRE1 OTZ").Range("c12:c59").ClearContents

End Sub

Sub hücre2TGÇÖZME()

```
SOLVERSOLVE Userfinish:=True
```

```
End Sub
```

```
Sub hücre2TGTEMİZLEME()
```

```
Sheets("HÜCRE2 TG").Range("m4:O6").ClearContents
```

```
Sheets("HÜCRE2 TG").Range("c12:c29").ClearContents
```

```
End Sub
```

```
Sub hücre2OTZÇÖZME()
```

```
SOLVERSOLVE Userfinish:=True
```

```
End Sub
```

```
Sub hücre2OTZTEMİZLEME()
```

```
Sheets("HÜCRE2 OTZ").Range("m4:O6").ClearContents
```

```
Sheets("HÜCRE2 OTZ").Range("c12:c29").ClearContents
```

```
End Sub
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDOĞAN, Sena
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1994 / Eskişehir
E-mail : senaaydogan26@gmail.com

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|-------------------------------------|------------------|
| Yüksek Lisans | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi | - |
| Lisans | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi | 2016 |
| Lise | Eskişehir Salih Zeki Anadolu Lisesi | 2012 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|----------|--------------------------|-----------------|
| 2016-... | Nursan Kablo Donanımları | Metot Mühendisi |

Yabancı Dil

İngilizce İyi