

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Adem ERİK**

**DİNAMİK TESİS DÜZENLEME VE MALZEME TAŞIMA  
ARACI ATAMA KARARLARININ MATEMATİKSEL  
MODELLEMESİ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2019**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİNAMİK TESİS DÜZENLEME VE MALZEME TAŞIMA ARACI  
ATAMA KARARLARININ MATEMATİKSEL MODELLEMESİ**

**Adem ERİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KUVVETLİ  
DANIŞMAN

.....  
Doç. Dr. Cenk ŞAHİN  
ÜYE

.....  
Dr. Öğr. Üyesi Cansu DAĞSUYU  
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİNAMİK TESİS DÜZENLEME VE MALZEME TAŞIMA ARACI  
ATAMA KARARLARININ MATEMATİKSEL MODELLEMESİ**

Adem ERİK

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Yusuf KUVVETLİ  
Yıl: 2019, Sayfa:109  
Jüri : Dr. Öğretim Üyesi Yusuf KUVVETLİ  
: Doç. Dr. Cenk ŞAHİN  
: Dr. Öğretim Üyesi Cansu DAĞSUYU

Günümüzde değişen rekabet ortamında müşteri beklentilerinin karşılanması için kalitenin yanında düşük maliyet ve hızlı cevap verilebilirlik gibi kriterler de önem kazanmıştır. Bu durum, işletme maliyetlerinin azaltılması ihtiyacını doğurur. Çünkü ürünün üretilmesi sırasında işletme içerisindeki taşımalar, üretim süresi ve maliyetini artıran önemli etkenlerden biridir. Bu taşımalarla beraber taşıma araçlarının atanması önem kazanmaktadır. Bu çalışma, departmanlar arası malzeme taşıma maliyetlerini ve departmanların yer değiştirme maliyetlerini minimum yapmayı amaçlamaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda tesis içerisinde departmanların konumunu belirleyen Dinamik Tesis Düzenleme Problemi (DTDP) incelenmiştir. Paralel esnek bölme yapısı ve taşıma aracı atanması ile beraber ele alınan DTDP için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Departmanlar eşit olmayan alanlara sahip olup paralel bir bölmeye atanmaktadır. Önerilen yaklaşım, karma tam sayılı programlama ile modellenmiş olup literatürden alınan bazı problem örnekleri üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin bilinen problem örneklerinde etkin sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Buna göre, tesis düzenleme kararlarıyla birlikte malzeme taşıma araçlarının atanması kararlarının farklı tesis düzenlerinin oluşmasını sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik Tesis Düzenleme, Paralel Esnek Bölme Yapısı, Malzeme Taşıma Aracı Ataması, Karma Tamsayılı Programlama

## ABSTRACT

### MSc THESIS

# MATHEMATICAL MODELLING OF DYNAMIC FACILITY LAYOUT AND MATERIAL HANDLING DEVICES ASSIGNMENT DECISIONS

Adem ERİK

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Yusuf KUVVETLİ  
Year: 2019, Pages:109  
Jury : Asst. Prof. Dr. Yusuf KUVVETLİ  
: Assoc. Prof. Dr. Cenk ŞAHİN  
: Asst. Prof. Dr. Cansu DAĞSUYU

In order to meet customer expectations in today's changing competitive environment, criteria such as low cost and quick responsiveness have gained importance as well as quality. This leads to need of reducing operating costs. Because during the production, the material handling within the facility is one of the important factors that increase production time and cost. With these material handlings, the assignment of transport devices becomes important. This study aims to minimize inter-department material handling costs and displacement costs of departments. For this purpose, the Dynamic Facility Layout Problem (DFLP), which determines the location of departments within the facility, has been examined. A new mathematical model has been proposed for the DFLP, which is considered together with the parallel flexible bay structure and the assignment of material handling devices. Departments that have unequal areas are assigned to a parallel bay. The proposed approach is modeled by using mixed integer programming method and it has been tested on some problem instances from the literature. The results show that the proposed model solves to for known problem instances effectively. Accordingly, it has been seen that the assignment decisions of material handling devices along with layout decisions enables the different facility layouts.

**Key Words:** Dynamic Facility Layout, Parallel Flexible Bay Structure, Material Handling Devices Assignment, Mixed Integer Programming.

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Günümüz işletmeleri müşteri memnuniyetini ve isteklerini hızlı ve piyasa şartlarındaki fiyatlarla karşılamak zorundadır. Değişen ve artan rekabet ortamı işletmeleri düşük maliyet ve yüksek esnekliğe zorlamıştır. Bir ürünün düşük maliyette üretebilmesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden birisi de tesis düzenidir. Müşteriye sağlanan hizmet ve ürünün büyük bir kısmının geçtiği tesisin içerisindeki işlemlerin hızı, kalitesi ve maliyeti iyi bir tesis düzeninin olmasına bağlıdır. Tüm bu nedenler göz önüne alındığında tesis düzenlemenin önemi ortaya çıkmaktadır.

Tesis düzenleme, işgücü makine, malzeme ve işletmedeki diğer kaynakların etkin kullanımı için tesislerin fiziksel olarak optimum yerleşiminin sağlanmasıdır. Tesis düzenlemesi; toplam üretim zamanını ve malzeme hareketini azaltmak, tesis alanını verimli kullanmak, tesis esnekliğini sağlamak, makine ve teçhizat yatırımlarını azaltmak, çalışan güvenliği ve ergonomik çalışma ortamı sağlamak, üretimin kolaylıkla yapılmasını sağlamak, ara stokları olabildiğince azaltmak, çalışan performansını artırmak ve geriye taşımayı azaltmak gibi amaçlar göz önüne alınarak yapılır.

Bu çalışmada, öncelikle tesis planlama ve tesis düzenleme kavramları detaylıca ele alınarak bu konuların önemi ortaya konmuştur. Ayrıca çalışmanın yapılma amacı ve nedenleri yine bu bölümde verilmiştir. Tesis düzenleme kavramının açıklanmasından sonra bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar sistematik olarak ortaya konmuştur. İncelenen önceki çalışmalarla beraber tesis düzenleme konusunda son senelerde çalışılan ve günümüz üretim sistemlerine uygulanması daha gerçekçi bulunan dinamik tesis düzenleme problemi üzerinde durulmuştur.

Dinamik tesis düzenleme problemi, talep değişkenlikleri ile beraber tesis içinde malzeme akışlarının da değişmesini göz önüne alarak belli periyotlar boyunca oluşan malzeme taşıma ve departmanların yerdeğiştirme maliyetlerini minimize

etmeye çalışan, en uygun departman yerlerinin saptanması ile ilgilidir. Günümüzdeki rekabet koşulları talep dalgalanmalarına karşı esnekliği gerektirdiği için dinamik tesis düzenlemesi bir gereklilik olmaya başlamıştır.

Dinamik tesis düzenleme problemi literatürde esnek bölme yapısı ve taşıma aracı atama kararları ile ele alınmasına rağmen bu iki önemli konuyu bir arada ele alan çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, dinamik tesis düzenleme problemi esnek bölme yapısı ve taşıma aracı atama kararları ile birlikte ele alınarak yeni bir matematiksel model ortaya konulmuştur. Oluşturulan modelde malzeme akış maliyetleri, departmanların yer değiştirme maliyetleri, yeni alınan, kullanılan ve kullanılmayan taşıma araçlarının oluşturduğu maliyetler en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Geliştirilen model literatürden alınan bazı test problem örneklerine uygulanmıştır. Daha önce benzer şekilde esnek bölme yapısı ile taşıma aracı atama kararlarını birlikte ele alan çalışmanın bulunmaması modelin uygulanması için malzeme akış maliyetleri, taşıma araçlarının maliyetleri, taşıma araçlarının kapasiteleri, taşıma araçlarının çalışma oranı gibi verilerin rastgele oluşturulmasını gerektirmiştir. Oluşturulan maliyetler ile daha önce benzer çalışmalardaki toplam maliyetler arasında çok fark oluşmamış ve çıkan sonuçların maliyet yönelimi benzer çıkmıştır. Buna ek olarak, senaryo analizleri tasarlanarak parametrelerde oluşacak değişkenliği göz önüne almak için seçilen bir test problemi örneği üzerinde modelin farklı durumlardaki çözümleri incelenmiştir. Bu incelemeler rekabet ortamında meydana gelen dalgalanmaların işletme düzenini nasıl etkilediğini göstermek için önemlidir. Geliştirilen model sayesinde piyasadaki dalgalanmalara karşı tesis düzeni ve taşıma araçlarının atanma kararlarının değişimi gözlenebilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda taşıma aracı atama kararlarının tesis düzenlemesi üzerinde etkisi olduğu ve tesis düzenlemesinin de taşıma aracı atama kararlarını etkilediği ortaya çıkmıştır. Tesis tasarımının taşıma aracı atama kararları ile birlikte ele alınması hali hazırda var olan işletme yapılarına uygun bir

yaklaşımıdır. Bu nedenle bu çalışmanın gerçeğe uygun olarak işletmelerdeki tesis düzenlemesini ortaya koymak için iyi bir referans oluşturabileceği düşünülmektedir.







## TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen, değerli yönlendirmeleriyle her daim yanımda ve destekçim olan sevgili danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Yusuf KUVVETLİ'ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tezimin değerlendirmesini yapan, değerli yorum ve önerilerini benden esirgemeyen jüri hocalarım Doç. Dr. Cenk ŞAHİN ve Dr. Öğretim Üyesi Cansu DAĞSUYU'na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman ve her konuda bana güvenip destek olan ve beni yürüdüğüm bu yolda hiç yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Sakine ERİK ve babam Bedel ERİK'e minnet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim hayatımdaki tüm aşamaları benimle aynı heyecanla paylaşan kardeşlerime teşekkür ederim.

Tezimin düzeltmelerinde büyük emeği geçen sevgili hocam Arş. Gör. Pınar MİÇ'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni motive eden bütün hocalarım ve arkadaşlarıma, özellikle teşekkür ederim.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET.....	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER .....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİSAYFA .....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tesis Planlaması.....	2
1.1.1. Tesis Planlamasının Önemi.....	3
1.1.2. Tesis Planlamasının Amaçları.....	4
1.1.3. Tesis Planlama Süreci .....	5
1.1.4. Tesis Planlama Stratejileri.....	5
1.2. Tesis Düzenlenmesi .....	6
1.2.1. Tesis Düzenlemesinin Önemi .....	7
1.2.2. Tesis Düzenlemesini Gerektiren Faktörler.....	8
1.2.3. Tesis Düzenlemesinin Amaçları .....	9
1.2.4. Tesis Düzenlemesinin Nedenleri.....	10
1.2.5. Tesis Düzenleme Problemi .....	11
1.2.6. Tesis Düzenleme Problemlerinin Sınıflandırılması .....	12
1.2.7. Tesis Düzenlemesi Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler .....	13
1.2.8. Tesis Düzenlemesinde Taşıma Araçlarının Atanması ve Esnek Bölme Yapısı.....	16

1.3. Çalışmanın Amacı.....	18
1.4. Çalışmanın Kapsamı .....	19
1.5. Çalışmanın Özgün Katkısı .....	20
1.6. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu .....	21
1.6.1. Çalışmanın Adımları .....	21
1.6.2. Çalışmanın Organizasyonu .....	22
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	23
2.1. Statik Tesis Düzenleme Problemi .....	30
2.2. Dinamik Tesis Planlama Problemi .....	33
2.3. Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi .....	35
3. MATERYAL METOT.....	37
3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Problemden Kullanılan Veriler.....	37
3.2. Metot.....	38
3.2.1. Problemin Tanımı .....	38
3.2.2. Problemin Karakteristiği .....	40
3.2.3. Problemden Kullanılan Varsayımlar .....	41
3.2.4. Matematiksel Programlama Modeli .....	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	51
4.1. Örnek Problemlerin Çözümüyle Modelin Test Edilmesi .....	51
4.1.1. FBS-DFLP-1 Problem Örneği.....	52
4.1.1.1. Problemden Kullanılan Veriler.....	52
4.1.1.2. Problemin Çözümü .....	54
4.1.2. FBS-DFLP-2 Problem Örneği.....	56
4.1.2.1. Problemden Kullanılan Veriler.....	56
4.1.2.2. Problemin Çözümü .....	57

4.1.3. FBS-DFLP-3 Problem Örneği .....	60
4.1.3.1. Problemdede Kullanılan Veriler .....	60
4.1.3.2. Problemin Çözümü .....	61
4.1.4. FBS-DFLP-4 Problem Örneği .....	65
4.1.4.1. Problemdede Kullanılan Veriler .....	65
4.1.4.2. Problemin Çözümü .....	66
4.2. Senaryo Analizi .....	69
4.3. Önerilen Modelin İki Aşamalı Model Çözümü ile Karşılaştırılması	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR .....	83
ÖZGEÇMİŞ .....	91
EKLER .....	93



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 2.1. Tesis Düzenlemesi ile İlgili Çalışmalar .....	25
Çizelge 4.1. FBS-DFLP-1 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi.....	53
Çizelge 4.2. FBS-DFLP-1 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler.....	53
Çizelge 4.3. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi.....	55
Çizelge 4.4. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi.....	55
Çizelge 4.5. FBS-DFLP-2 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi.....	57
Çizelge 4.6. FBS-DFLP-2 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler.....	57
Çizelge 4.7. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi.....	58
Çizelge 4.8. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi.....	59
Çizelge 4.9. FBS-DFLP-3 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi.....	60
Çizelge 4.10. FBS-DFLP-3 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler.....	61
Çizelge 4.11. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi.....	63
Çizelge 4.12. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi .....	64
Çizelge 4.13. FBS-DFLP-4 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi.....	65
Çizelge 4.14. FBS-DFLP-4 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler.....	66

Çizelge 4.15. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi.....	68
Çizelge 4.16. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi .....	68
Çizelge 4.17. Taşıma Aracı Kapasitesi Değişimi ( $\pm 30\%$ ) .....	70
Çizelge 4.18. Departmanlar Arası Birim Malzeme Taşıma Maliyeti Değişimi( $\pm 30\%$ ) .....	71
Çizelge 4.19. Departmanlar Arası Malzeme Akış Miktarı Değişimi ( $\pm 30\%$ ).....	72
Çizelge 4.20. Önerilen Yaklaşım İçin Toplam Maliyetin Dağılımı.....	73
Çizelge 4.21. Önerilen Yaklaşım ile İki Aşamalı Yaklaşımın Maliyetlerinin Karşılaştırılması.....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1. Tesis Planlamasının Hiyerarşisi.....	2
Şekil 1.2. İşletmedeki Taşıma Maliyetleri ve Tesis Planlamasının Etkisi.....	3
Şekil 1.3. Esnek bölme yapısına bir örnek.....	17
Şekil 1.4. Taşıma araçları dikkate alınarak oluşturulan tesis düzenleri .....	17
Şekil 4.1. FBS-DFLP-1 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni.....	54
Şekil 4.2. FBS-DFLP-1 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni Modeli).....	54
Şekil 4.3. FBS-DFLP-1 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri.....	56
Şekil 4.4. FBS-DFLP-2 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni.....	58
Şekil 4.5. FBS-DFLP-2 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni Modeli).....	58
Şekil 4.6. FBS-DFLP-2 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri.....	59
Şekil 4.7. FBS-DFLP-3 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni.....	62
Şekil 4.8. FBS-DFLP-3 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni Modeli).....	62
Şekil 4.9. FBS-DFLP-3 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri.....	64
Şekil 4.10. FBS-DFLP-4 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni.....	67
Şekil 4.11. FBS-DFLP-4 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni Modeli).....	67
Şekil 4.12. FBS-DFLP-4 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri.....	69
Şekil 4.13. FBS-DFLP-1 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması .....	75
Şekil 4.14. FBS-DFLP-2 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması .....	76
Şekil 4.15. FBS-DFLP-3 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması .....	77



Şekil 4.16. FBS-DFLP-4 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin  
Karşılaştırılması ..... 78



## SİMGELER VE KISALTMALAR

ALDEP	: Automated Layout Design Programme
Alg.	: Algoritma
COFAD	: Computerized Facility Design
COL	: Computerized Model for Official Layout
CORELAP	: Computerized Relationship Layout Planning
CRAFT	: Computerized Relative Allocating of Facilities Technique
DTDP	: Dinamik Tesis Düzenleme Problemi
LAYOPT	: Layout Optimizing Programme
NSGA-II	: Elitist Çok Amaçlı Genetik Algoritma
Prob.	: Problem
Prog.	: Programlama
PLANET	: Computerized Plant Layout Analysis
TAM	: Taşıma Araçları Maliyeti
TM	: Taşıma Maliyeti
TDP	: Tesis Düzenleme Problemi
YDM	: Yeniden Düzenleme Maliyeti



## 1. GİRİŞ

Günümüzde işletmeler müşteri memnuniyetini sağlamaya çalışırken minimum maliyet ile ürün veya hizmet üretmeye çalışmaktadır. İşletmeler katma değeri olmayan işlemleri minimum seviyede tutarak maliyetleri düşürmek, işgücünü verimli kullanmak, makine ve teçhizat yatırımını düşük seviyede tutmak isterler. İşletme içerisinde katma değeri olmayan en yaygın işlemlerden biri malzeme taşımalarıdır. Malzeme taşıma işlemleri işletmeler için oluşturduğu maliyetler dışında tesis alanının verimli kullanılmasını engellemekte ve tesis içerisinde karmaşıklık yaratmaktadır. Bu nedenle tesis içerisindeki malzeme taşımaların en az seviyede olması istenmektedir.

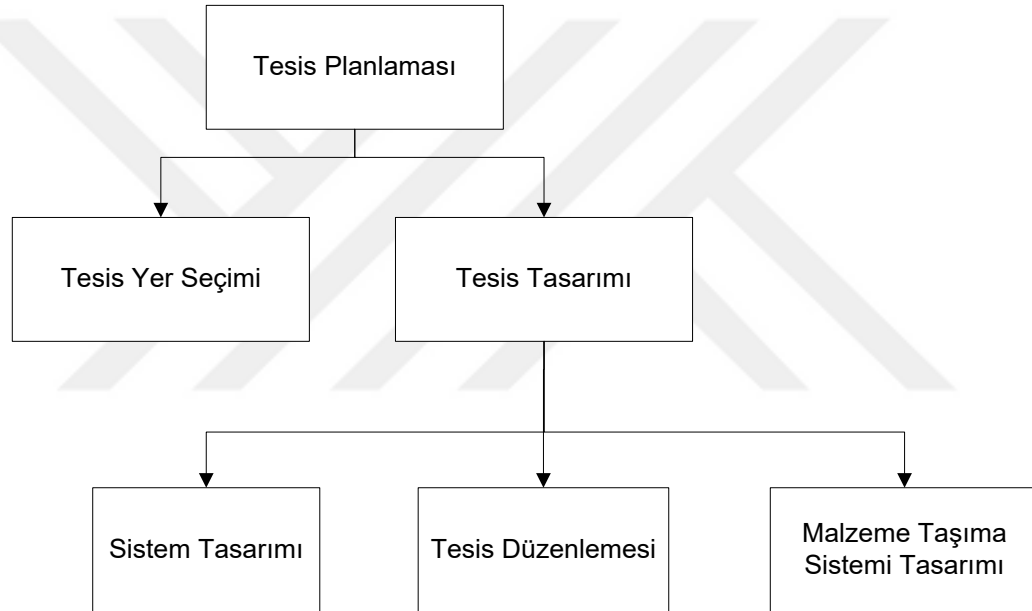
Malzeme taşıma maliyetlerini düşürmek ve işletmedeki diğer tüm kaynakları verimli kullanmak için tesis planlama oldukça önemli bir araçtır. Tesis planlama kavramına geçilmeden önce “Tesis” kavramının bilinmesi gerekmektedir. Tesisin sözlük anlamına bakıldığında “Kurulmuş olan, yapılmış, meydana gelen şey, kurum” dur ([www.tdk.gov.tr](http://www.tdk.gov.tr), Erişim tarihi: 10 Mayıs 2019).

Tesisler, tedarik zincirinde çok önemli bir yere sahiptir. Tedarik zincirinde genellikle proseslerin gerçekleştiği yerleri ifade eden tesisler, tedarik zincirlerinin kusursuz bir şekilde işleyebilmesini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle tesislerde gerçekleşen tüm olaylar tedarik zinciri işleyişini aksatmayacak şekilde planlanmalı ve uygulanmalıdır (Baki, 2014).

Tesisler yapı bakımından içerisinde hem organizasyonu hem de doğrudan üretimi barındırmaktadır. Bundan dolayı yapılan her işleme ve üretilen her ürüne tesislerin fiziki ve organizasyon gücü etki etmektedir. Tesisin tedarik zinciri yönetimindeki bu önemli rolü, tesiste yapılacak her işlemin planlamasını ve bu planların birbirine uygun olarak entegre edilmesini gerektirmektedir. Planlamanın yapılabilmesi ve yönetilebilmesi tesis planlamasının çok iyi bilinmesine bağlıdır.

### 1.1. Tesis Planlaması

Belirlenen bir amacın gerçekleştirilebilmesi için yapılacak işlerin belirlenmesi, nasıl, ne zaman ve hangi sırada yapılacağını gösteren tasarıya “*plan*” denir. Tesis planlama çok geniş kapsama sahip bir kavramdır. İçerisinde birçok işlem barındıran tesis planlama, kurumsal bir yapının ilk düşünce aşamasından işlevini görene kadar geçen aşamaları kapsayan faaliyetler topluluğudur (Kulkarni ve ark., 2015).

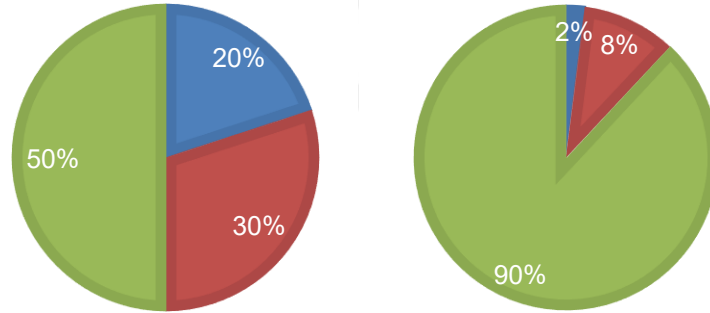


Şekil 1.1. Tesis Planlamasının Hiyerarşisi (Tompkins ve ark., 2010)

Tesis planlaması Şekil 1.1’de görüldüğü üzere genellikle tesis yeri ve tesis tasarımı olmak üzere iki ana yapı altında incelenmekte ve belli bir hiyerarşik yapıda ilerlemektedir. Öncelikle tesis yeri seçimi yapılarak kurulacak tesis için belli kriterler altında genelden özele indirgeyecek şekilde en uygun yerleşim yeri seçilmeye çalışılır. Bu seçim ile eş zamanlı olarak tesis tasarımına geçilerek yapı, yerleşim ve taşıma araçlarının tasarımı gibi alt başlıklarda tesis planlanması yapılmaktadır.

### 1.1.1. Tesis Planlamasının Önemi

İşletmenin temel amacı her zaman en az kaynakla en fazla verimi sağlayarak yüksek kârlar elde edebilmektir. Bu açıdan tesis planlamasının doğru olması birçok maliyeti elimine edebilmektedir. İyi bir tesis planlamasına sahip olan işletmeler tesisi daha etkin ve basit kullanmaktadır. Bu etkili kullanım verimi artırırken kaynak kullanımının da doğru olmasını sağlamaktadır. Böylece makine bakımlarının sayısında da azalmalar görülebilmektedir. Bakımların azalması sermaye yatırımları gibi işletme maliyetleri arasında önemli bir yere sahip olan maliyetleri azlatmaktadır. Sermaye maliyetleri gibi işletmede yer alan birçok maliyet tesis planlamasından etkilenebilmektedir. Tesis planlaması yatırımın önemini ortaya koymaktadır. Sermaye, tesis planlaması göz önüne alınarak kullanıldığı için yanlış planlama yanlış yatırımlar doğurabilmektedir (Duman, 2007).



Şekil 1.2. İşletmedeki Taşıma Maliyetleri ve Tesis Planlamanın Etkisi (Tompkins ve ark., 2010)

Şekil 1.2.'de işletme maliyetlerinin %20 ile %50 arasında değişen kısmını taşıma maliyetleri oluştururken bu taşıma maliyetlerinin %2 ile %10'luk kısmı iyi bir tesis planlaması ile azaltılabilmektedir (Tompkins ve ark., 2010).

Piyasa şartları çoğu tesisin sık sık değişiklik yapmasını ve yeni düzenler oluşturmasını gerektirmektedir. Tesisin ilerde karşılaşılabilecek sorunlara karşı çözüm üretebilmesi plan aşamasında ne kadar esnek olarak tasarlandığına bağlı olarak değişmektedir (Kılınç, 2018).

Tesis planlaması, tesis yönetimi içinde oldukça önemlidir. Yapılan tesis planlaması işletmenin etkin yönetilebilmesine elverişli olmalıdır. Kolay kontrol sağlanacak şekilde tasarlanan departmanlar verimi artıracacağı gibi yapılacak olası müdahaleleri de hızlandırır.

### 1.1.2. Tesis Planlamasının Amaçları

Tesis planlama, tedarik zincirinde bulunan diğer tüm elemanların her birinde olduğu gibi müşteri memnuniyetini sağlama amacı güder. Bu amaca ulaşmak için tesis planlaması aşağıda belirtilen amaçları sağlamalıdır (Duman, 2007; Şahin, 2008; Baki, 2014).

Tesis planlamasının amaçları;

- Yapılan işleri kolaylaştırarak müşteriye olan vaatlerini yerine getirmek,
- Stok miktarını en az olacak şekilde tutup, stok devir hızının yüksek olmasını sağlamak,
- Sürekli iyileştirmeyi sağlayarak varlık getirilerini artırmak,
- Müşteri istek ve şikâyetlerine hızlı cevap vermek,
- Maliyetleri düşürerek kârlılığını artırmak,
- Tedarik zincirindeki paydaşlar arasındaki iletişimi sağlayarak entegrasyonu sağlamak,
- Geliştirilmiş sistemlerle (taşıma araçları, malzeme kontrolleri, temizlik sistemleri vb.) işletmelerin vizyonlarına ulaşmasında yardımcı olmak,
- İşgücü, tesis alanı, malzemeleri, makineleri ve enerjiyi verimli kullanmak,
- Bakımların az olmasını ve kolay olmasını sağlamak,
- Çevre ve çalışan güvenirliliğini sağlamak,
- Esneklik ve üretim devamlılığını sağlamaktır.

Belirlenen amaçlar bir işletmenin varlığını sürdürebilmesi için hayati öneme sahiptir. Bundan dolayı tesis planlaması aşamasında bu amaçlar ayrıntılı bir şekilde ortaya konulup tesis planlamasının bunlara uygun olacak şekilde yapılması gerekmektedir.

### 1.1.3. Tesis Planlama Süreci

Tesis planlama süreci tesisin çevresinin nasıl olması gerektiğinden başlayarak sırasıyla aşağıdaki aşamaları izler (Şahin,2008):

- Tesisin içyapısı aşaması,
- Tesis tasarım aşaması.

Bu aşamalar, kendi içlerinde farklı dallara ayrılarak tesisin detaylarını oluşturmakta ve tesisi fiziki ve organizasyonel açıdan hazır hale getirmektedir. Tesis çevresi düşünülürken sürekliliği sağlayacak olan paydaşlar (devlet, işgücü, tedarikçiler), tesisin işlevlerini yerine getirmesini sağlayan kısıtlar (teknolojik, ekonomik, yasal vb.) ve tesisin durumunu etkileyen diğer değişkenleri içermektedir (Tompkins ve ark., 2010).

Tesis içyapısına bakıldığı zaman öncelikle organizasyonu sağlayacak bütün departmanlar (satış, satın alma, muhasebe, finans vb.) daha sonra bu organizasyonu devam ettirecek karar verme, yasal işlemler ve iletişim gibi sistemleri içermeli ve organizasyonun tamamını ortaya koymalıdır (Tompkins ve ark., 2010).

Tesis tasarımına bakıldığı zaman yatırım düşüncesinden başlayarak, yatırım ve işletme aşamalarının gerçekleştirilmesi ile devam ettiği görülecektir (Tompkins ve ark., 2010).

### 1.1.4. Tesis Planlama Stratejileri

Belli bir amaca ulaşmak için var olan kaynakları kullanma sanatı ve bilimi olarak adlandırılan strateji işletme içerisinde dağılım gösterebilir (Baki, 2014).



işletme için var olan bir strateji işletme birimleri olan pazarlama, satın alma, üretim stratejileri olarak ayrılabilir. Çünkü her departman kendisine ait kaynaklar barındırmakta ve dolayısıyla bu kaynakların kullanımı için stratejiler belirleyebilmektedir (Baki, 2014).

Tesis planlama kavramı incelendiğinde işletmenin maddi varlıklarının işletme amaçlarına ulaşmada kullanılan ciddi bir yöntem olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla buna göre tesis planlama başlı başına stratejik süreçlerden oluşmaktadır (Duman, 2007).

İyi bir tesis planı işletmeyi etkileyecek tüm faktörleri göz önünde bulundurabilmeli ve bunun entegrasyonunu sağlayarak maksimum verimliliğe sahip bir tesis oluşmasını sağlayabilmelidir.

Stratejik planlamalar daha önce üst yönetimlerde yapılmakta ve genelde tedarik zincirinin tamamı bu kapsama alınmamaktaydı. Ancak işletmeler, başarının sağlanabilmesi için tedarik zincirinin tamamını kapsayan stratejik planların yapılmasını zaman içerisinde belirlemişlerdir. Dolayısıyla işletme başarısının artması tedarik zinciri stratejilerinin gelişmesine bağlıdır. Tedarik zinciri stratejilerinin gelişimi için ise tesis planlamasının gelişimi önem arz etmektedir (Tompkins ve ark., 2010).

## 1.2. Tesis Düzenlenmesi

Tesis düzenlenmesi konusunun daha anlaşılır şekilde ele alınması için bu kavramla ilgisi olan diğer kavramların da bilinmesi gerekmektedir. Öncelikle tesis düzenlenmesinin tanımı olmak üzere aşağıda bu kavramla ilgili olan bazı diğer kavramlara da değinilmeye çalışılmıştır.

Tesis düzenleme diğer kullanımları ile iş yeri düzenleme veya fabrika düzenleme kavramı tesislerin fiziksel olarak en iyi şekilde yerleşiminin sağlanması olarak tanımlanabilmektedir (Şahin, 2004).

Bir diğer tanıma göre tesis düzenleme işgücü, makine, malzeme ve işletmedeki diğer kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacak fiziksel düzenin sağlanmasıdır (Picard ve Queyranne, 1981; Baki, 2014'den).

Tesis düzenleme, bir tesisin iş istasyonlarında bulunan makineler ve iş istasyonlarının işlevlerine göre gruplandırılması, bina tasarımlarının departman ve tezgâh detayında düzenlenmesi ve kurulacağı alanların belirlenmesi gibi konuların biri veya tamamıyla ilgilenir (Temel, 1989; Baki, 2014).

Tesis düzenleme içerisinde sistem önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Belli bir girdisi ve çıktısı olan ve bu girdinin çıktıya dönüşmesinde süreçlerden yararlanan işlemlerin bütünü sistem olarak adlandırılabilir. Her bir sistem daha büyük bir sistemim parçasıdır. Tesisler sistemlere hizmet ederler bundan dolayı tesis planlaması ve düzenlenmesi yapıldığı zaman sistemler dikkate alınmalı ve buna göre hareket edilmelidir (Baki, 2014).

Tesis düzenlenmesi için diğer önemli kavramlardan birisi de tasarımıdır. Tasarım, yeni bir sistem veya var olan sistemin geliştirilmesini sağlamak için fiziki şartların belirlenmesidir. Tesis tasarımı ise bir üretimin en iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için tesisin yerleşimi ve buna bağlı olarak çalışan sistemlerin birleşik bir şekilde düzenlenmesi olarak tanımlanabilir (Şahin, 2004).

### 1.2.1. Tesis Düzenlemesinin Önemi

Kurulan işletmelerde arazi ve sabit varlıklara harcanan kaynaklar, yapılan yatırımlar arasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Karasay, 2016). İşletmeler devamlılığını ve karlılığını sürdürebilmek için yaptıkları yatırımları en verimli şekilde kullanmak isterler. Bunu sağlamanın bir yöntemi de iyi bir tesis düzenlemesi yapmaktan geçmektedir.

Tesislerde yapılan her işlem veya bekleme maliyet oluşturmaktadır. İşletmeler çalışma saatlerinde bekleme sürelerini ve katma değer yaratmayan işleri olabildiğince azaltmaya çalışmaktadırlar. Katma değer yaratmayan işlemler ürün veya hizmet üretiminde değişikliğe sebep olmayan işlemler olarak görülebilir. Bu işlemlerin başında taşıma işlemi gelmektedir. Toplam imalat maliyetleri içerisinde %30-75 gibi büyük bir paya sahip olan taşıma işlemleri iyi bir tesis düzenlemesinin gerekliliğini oldukça önemli hale getirmektedir. Ayrıca iyi düzenlenmemiş bir tesis

sonradan tekrar düzenlemeye ihtiyaç duyacağından yeni maliyetlere sebebiyet verecektir (Şahin, 2004; Sule, 1994'den).

Uygun tesis düzenine sahip olmayan işletmeler;

- Yüksek bakım-onarım maliyetlerine,
- İş kazalarının sık olmasına,
- Beklemelerin fazlalığına,
- Stok artışına ve uzun hazırlık sürelerine katlanmak zorunda kalır.

(Tompkins ve ark., 2010)

Tesis tasarımları mümkün olduğunca hareketi minimum seviyeye indirmeye çalışır. Böylelikle genel ve taşıma maliyetlerini azaltmış olurlar. Ayrıca personel ihtiyacı azalır ve firma daha etkin bir duruma gelir. Bütün bu faydalardan dolayı tesis düzenlenmesi işletmeler için stratejik bir öneme sahiptir (Baki, 2014).

Tesis düzenlemesi konusu özellikle rekabet arttıkça daha önemli ve ilgi gören bir konu olmakta ve sürekli çalışma konusu haline gelmektedir. Yeni üretim veya yönetim felsefelerinde bu konu farklı şekillerde ele alınarak üzerinde durulmaktadır.

### 1.2.2. Tesis Düzenlemesini Gerektiren Faktörler

İşletmeler için tesis düzenleme ilk kurulum aşamasında yapılması zorunlu işlemlerden biridir. Bunun dışında kurulu işletmelerde yeniden düzenleme olarak tesis düzenleme yapılabilir. Tesis düzenlemeyi yeniden gerektirecek pek çok neden sayılabilir. Bu nedenler genel olarak ele alındığında ürünün, taşımaların, makinelerin, işgücünün, tesisin fiziki gereksinimleri ve kapasitesi gibi sebepler olabilmektedir.

Tesis düzenlemesini gerektiren sebepler daha detaylı olarak ele alındığında; (Fıratlı, 1983;Şahin 2004'den);

- Ürün ile ilgili talep artış ve azalmaları,
- Ürün yelpazesinin genişletilmesi veya daraltılması,
- Ürün tasarımının değiştirilmesi,
- Malzeme taşımadaki problemler,
- Pazar değişiklikleri,
- Depolama ve bakım-onarım maliyetlerin artması,
- İş kazalarının artması,
- Personel değişiminin fazla olması gibi birçok neden sayılabilir.

### 1.2.3. Tesis Düzenlemesinin Amaçları

Tesis düzenlenmesinin amaçları incelendiğinde tesis düzenlemeyi gerektiren faktörlerle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Tesisin kurulumu veya daha sonra malzeme kullanımı, müşteri memnuniyeti, sevkiyat, planlama, çalışan memnuniyeti gibi daha birçok işlem tesis düzenlemenin amaçlarını oluşturmaktadır. Tesis tasarımı bu amaçların gerektirdiği düzenlemelere göre şekillenmektedir.

Tesis düzenlemenin işletmeden işletmeye değişmesi ile birlikte genel olarak aşağıdaki amaçlara sahip olduğu görülmektedir (Panneerselvam, 2006: Baki, 2014'den);

- Toplam üretim zamanını azaltmak,
- Malzeme hareketini azaltmak,
- Tesis alanını verimli kullanmak,
- Tesis esnekliğini sağlamak,
- Makine ve teçhizat kullanımını verimli kılarak yatırımları azaltmak,
- Çalışan güvenliğini ve ergonomik bir ortam sağlamak,
- Üretimin kolaylıkla yapılmasını sağlamak,
- Ara stokların olabildiğince azaltılmasını sağlamak,
- Çalışan performansını artırmak,
- Geriye taşımayı azaltmak

Daha önce belirtildiği gibi tesis düzenlemesinin amaçları değişebilmekte ancak çoğu amaç benzerlik göstermektedir. Bu benzerlikler rekabet ortamında yapılması gerekenlerin çoğunlukla yakın olmasından kaynaklanırken, farklılıklar ise genelde tesis düzenlemeyi uygulayan kişi ve kurumların önceliklerinden kaynaklanmaktadır.

Benzer tesis düzenlemesi amaçlarına ek olarak organizasyon yapısının basitleştirilmesi amacı tesis düzenlemesi için oldukça önemli bir amaçtır. Bu amaç tesiste birçok işlemi ve hizmeti kapsamaktadır. Organizasyon yapısının basitleştirilmesi, yönetimi kolaylaştırarak var olan departmanların daha etkin kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda maliyetlerden tasarruf sağlanır ve kârlılık artmış olur (Şahin, 2004).

#### 1.2.4. Tesis Düzenlemesinin Nedenleri

Tesis düzenlemesini fiziki ve organizasyonel şekilde etkileyen birçok neden bulunmaktadır. Bunların başında tesis yapısı gelmektedir. Tesis düzenlemesi problemlerinin çözümü yapılırken dikkate alınan ve çözümleri kısıtlayan nedenlerden ikisi tesis büyüklüğü ve tesis şekli olarak bilinmektedir. Bunların dışında malzeme, makine, insan, hareket, bekleme ve değişim gibi çeşitli nedenler de sayılabilir (Şahin, 2004). Her bir neden kendi içerisindeki farklılıklardan dolayı tesis düzenlemesini etkilediği gibi bu nedenler aynı zamanda birbirlerini de etkilemektedir.

Üretilen ürünler; kullanılacak malzemeleri, kullanılan makineleri, gerekli üretim alanını, işgücü miktarını doğrudan etkilemektedir. Makineler, ürünler, işgücü miktarları ve gerekli üretim alanları ise tasarımları, kullanım sıralamalarını, gereken hareket miktarını ve yönlerini, bekleme sürelerini, depolamaları, bakımları, ihtiyaçları ve esneklikleri etkileyerek tesisin düzenlemesinde oldukça etkili olmaktadır (Duman, 2007).

Tesis düzenlenmesinde genel olarak bütün nedenler göz önüne alınamamakta bir kısım nedenler kısıt veya amaç edinilerek matematiksel ve sezgisel

çözümler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu anlamda tesis düzenlemesini etkileyen nedenler aslında yapılan çalışmaları da doğrudan etkilemektedir.

### 1.2.5. Tesis Düzenleme Problemi

Rekabet ortamının değişmesinden önce deneyim ve tahmine dayalı olan tesis düzenleme çalışmaları işletmelerin avantaj elde etmeye çalışmalarıyla ve yeni teknoloji ve gereksinimlerin doğmasıyla daha sistematik bir şekilde ele alınmaya başlanmıştır. Tesis düzenleme problemleri sadece üretim işletmelerinde değil günlük yaşamın birçok yerinde karşılaşılan problemlerdir. Bir evin düzenlenmesinden, bir ofisin düzenlenmesine kadar farklı birçok alanda çözüm aranan problemlerdir (Baki, 2014).

Tesis düzenleme problemi (TDP), bir tesis içindeki departmanların, üretimi (hizmeti) en iyi destekleyecek şekilde konumlarının belirlenmesini amaçlamaktadır (Durmaz ve Şahin, 2017). Tesis düzenleme problemleri belirli bir amaç doğrultusunda (imalat sektöründe minimum taşıma gibi) makinelerin, departmanların, iş istasyonlarının bir düzen içerisinde fiziksel olarak yerleşimi ile ilgilidir (Tate ve Smith, 1995; Şahin, 2004'den).

Tesis düzenleme problemleri yapıldığı sektör, üretilen ürün, tesis yapısı, talep değişkenliği ve benzer birçok diğer etkenlerden dolayı çeşitlilik göstermektedir. Tesis düzenleme problemlerinde genellikle verilen  $N$  adet tesisin yine  $N$  adet alana, en düşük maliyeti oluşturacak şekilde yerleştirilmesi ile ilgilidir. Dolayısıyla en iyi yerleşim için ( $N!$ ) alternatif değerlendirilmek zorundadır. Tesis sayısı arttıkça alternatif sayısı üstel olarak artmakta ve çözüm bulunması güçleşmektedir. Tesis düzenleme problemi bundan dolayı NP-zor yapıdadır (Sahni ve Gonzalez, 1976).

### 1.2.6. Tesis Düzenleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Tesis düzenleme problemleri yeni bir işletmenin kurulması, taşınması gibi nedenlerin yanında ürün, hizmet, tasarım veya proseslerde değişiklik yapılması, yeni makine-teçhizat kurulumu gibi durumlarda da karşılaşılan olaylardır.

Ayrıca tesisin verimini düşüren uzun sürelerde ortaya çıkan ve biriken problemler tesis düzenlemesini gerekli kılmaktadır. İş güvenliği tehlikeleri, karmaşıklıklar, malzeme taşımalarının uzun süre alması, darboğazlar gibi diğer etmenler de yine tesis düzenleme ihtiyacı gerektirebilir (Duman, 2007).

Tesis düzenleme problemleri için sebepleri göz ardı edilerek dört farklı sınıflandırma mevcuttur (Erkut ve Baskak,1996:Baki 2014):

- Var olan düzenlemede küçük değişikliklerin yapılması,
- Var olan düzenlemenin yeniden ele alınması,
- Var olan tesislere taşınma,
- Yeni bir işletmenin/fabrikanın kurulması

Tesis düzenleme problemleri bu yaklaşımın dışında birkaç farklı şekilde de sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar temel olarak amaç fonksiyonuna, uzaklık ölçüm yöntemine, tesis düzenlemesinin gösterim şekline ve akış veri yapısına göre sınıflandırılabilir. Amaç fonksiyonuna göre sınıflandırmada uzaklık bazlı ve ilişki bazlı sınıflandırmalar mevcuttur. Uzaklık bazlı modellerde malzeme taşıma maliyetini minimum yapacak şekilde tesisler arasındaki uzaklıkları minimum hale getirmeye çalışan modellerdir. İlişki bazlı modeller ise belirlenen yakınlık skorlarına göre yerleşimin yapıldığı düzenleme türüdür (Şahin, 2004).

Uzaklık ölçümüne göre sınıflandırılan tesis düzenlemeleri, iki departman arasındaki uzaklığın nasıl belirleneceği ile ilgilenilir. Burada yük boşaltılan ve alınan yerler arasında veya tesis merkezleri arasındaki uzaklık alınarak yapılan iki farklı tesis düzenleme problemi vardır. Diğer düzenleme sınıfı çözümlerin gösterimine göre düzenlenen tesislerdir. Bu düzenleme detaylı ve blok düzeni şeklinde bir

gösterime sahiptir. Blok düzenlemeler de kendi içerisinde sürekli ve kesikli olarak ayrılabilirlerdir.

Bir başka sınıflandırma ise akış verilerinin türlerine göre sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmada planlama boyunca düzenlemeleri değişmeyen statik tesis düzenleme olarak adlandırılır. Statik tesis düzenlemesinden farklı olarak belli periyotlarda değişen düzenlemeler varsa bu düzenleme dinamik tesis yerleşimi olarak adlandırılmaktadır. Statik tesis düzenlemede bir kere yapılan düzenleme bir daha değiştirilmezken dinamik tesis planlamada periyottan periyoda düzenlemeler değişebilmektedir (Şahin, 2004).

### **1.2.7. Tesis Düzenlemesi Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler**

Tesis düzenleme problemlerinin çözümleri algoritmik ve prosedürel olmak üzere iki büyük gruba ayrılmaktadır (Yang ve Kuo, 2003). Genelde tasarım kısıtlarını ve amacı basitleştirerek çözümü elde edilebilen amaç fonksiyonun yerini tutan fonksiyona ulaşmak için kullanılan yaklaşım algoritmiktir. Prosedürel yaklaşımlar ise süreçlerdeki nitel ve nicel amaçları birleştirebilen yöntemlerdir (Duman, 2007).

Nicel çözüm yöntemlerine bakıldığında Grafik Yöntemi, Gezi Şeması, Atama Yöntemi, Wimmert Yöntemi, Spiral Analiz Yöntemi, Doğrusal Hat Yerleştirme Yöntemi, Hat Dengeleme, Noy Metodu, Yükleme Yolu Metodu, Dal-Sınır Algoritması gibi çok çeşitli yöntemlerin bulunduğu görülmektedir (Duman, 2007). Diğer yandan tesis yerleşimi için bilgisayar destekli yöntemler de çok fazla kullanılmaktadır. Bu yöntemler kendi aralarında geliştirme ve kuruluş/yapı algoritmaları olmak üzere iki farklı grup oluşturmaktadır. Kurucu yöntemlere bakıldığında en bilineni programlanmış işyeri düzeni programı olan CORELAP(Computerized Relationship Layout Planning) olmak üzere buna benzer ALDEP (Automated Layout Design Programme), PLANET (Computerized Plant Layout Analysis), LAYOPT (Layout Optimizing Programme) gibi programlar da tesis düzenleme için kullanılan kurucu yöntemlerdir. Diğer bir bilgisayar destekli



grup olan geliştirici yöntemlerin en çok bilineni tesislerin programlanmış görelî yerleştirme tekniği olan CRAFT (Computerized Relative Allocating of Facilities Technique) yöntemidir. Bu yöntem dışında COFAD (Computerized Facility Design), COL (Computerized Model for Official Layout) gibi yöntemlerde yine bilgisayar destekli geliştirici yöntemlerdir (Duman, 2007).

Tesis düzenleme probleminin çözümünde kullanılan en yaygın yöntemlerden bazıları ise problem yapısına göre geliştirilen matematiksel modellerdir. Bu matematiksel modeller Karesel Atama Problemi, Karesel Küme Örtüleme Problemi, Doğrusal Tam Sayılı Programlama Problemi, Karma Tam Sayılı Programlama Problemi ve Graf Teorisidir (Şahin, 2004).

Tesis düzenleme problemlerinde temel modellerden biri olan karesel atama problemi 1957 yılında Koopmans ve Beckman tarafından ortaya konulmuş ve çok bilinen bir kombinatoriyal optimizasyon problemi olmuştur (Brown ve ark., 1989;Duman, 2007'den).

Karesel atama probleminde amaç değişkenlerin ikinci derece polinom bir fonksiyonudur ve kısıtlar atama problemi kısıtlarına benzerdir. Amaç departmanlar arasındaki uzaklığı minimuma indirerek taşıma maliyetlerini düşürmek ve  $n$  adet departman için optimum yerleşimi yapmaktır. Karesel atama probleminde tesis sayısı arttıkça çözüm süresi üstel olarak artmaktadır (Tavakkoli-Moghaddain ve Shayan, 1998).

$$MinZ = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} * x_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N f_{ik} * c_{il} * x_{ij} * x_{kl} \quad (1.1)$$

S.T.

$$\sum_j^N x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1.2)$$

$$\sum_i^N x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1.3)$$

$$x_{ij}, x_{kl} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (1.4)$$

Parametreler:

$N$  = Tesislerin ve yerleşim alanlarının toplam sayısı,

$a_{ij}$  =  $i$  tesisini  $j$  alanına atamanın sabit maliyeti,

$f_{ik}$  =  $i$  tesisinden  $k$  tesisine olan iş akışı,

$c_{jl}$  =  $j$  alanından  $l$  alanına birim yük taşıma maliyeti,

Karar Değişkenleri:

$x_{ij}$  =  $i$  tesisi  $j$  alanına atandıysa 1, aksi halde 0.

$x_{kl}$  =  $k$  tesisi  $l$  alanına atandıysa 1, aksi halde 0.

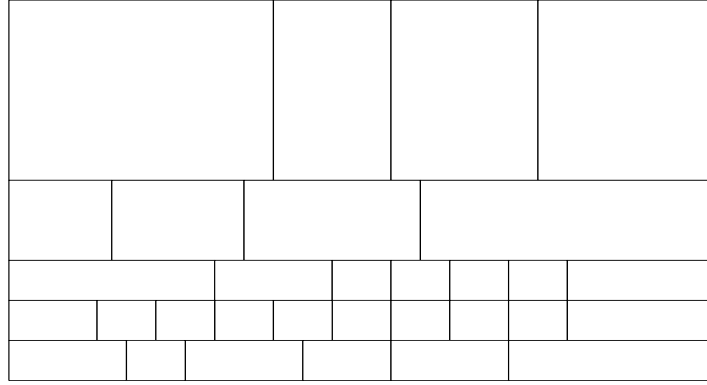
Karesel atama problemi tesis düzenlemesi problemlerinin çözümü için kullanılan temel modeller arasında yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonunda (1.1) birinci terim  $i$  departmanının  $j$  alanına atanması halinde oluşan sabit maliyeti hesaplamaktadır. İkinci terim ise  $i$  ve  $k$  departmanlarının  $j$  ve  $l$  alanlarına atanması halinde, iki departman arasındaki toplam malzeme akışının birim malzeme taşıma maliyeti ile çarpılmasından elde edilen toplam departmanlar arasındaki malzeme taşıma maliyetini elde etmektedir. Karesel atama probleminde amaç, departmanların yerleşim alanlarına atanmasının sabit maliyeti ve toplam departmanlar arasında malzeme taşıma maliyetlerinin toplamını minimuma indirmektir.

Kısıt (1.2), her yerleşim alanına bir departmanın atanmasını sağlarken, kısıt (1.3) ise her departmanın bir yerleşim alanına atanmasını sağlamaktadır. Son olarak kısıt (1.4), departmanların yerleşim alanlarına atanıp atanmadığını kontrol eden karar değişkenleri 1 veya 0 değeri almasını sağlayan kısıttır.

Matematiksel modeller belli büyüklüklerdeki tesis düzenleme problemlerine optimum çözümü bulabilirken problem büyüklüğü arttıkça çözüm bulma süreleri çok fazla artmaktadır (Baki, 2014). Bu durumda optimuma yakın çözümleri daha hızlı elde eden sezgisel yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemlere bakıldığında Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi Algoritması, Tabu Arama Algoritması, Karınca Kolonisi Algoritması vb. algoritmalar geliştirilmiştir. Daha sonra bu yöntemlere yenileri eklenmiştir. Kuş Sürüsü Algoritması, Arı Kolonisi Algoritması, Harmoni Arama Algoritması vb. bu algoritmalara örnek olarak verilebilir (Baki, 2014).

### **1.2.8. Tesis Düzenlemesinde Taşıma Araçlarının Atanması ve Esnek Bölme Yapısı**

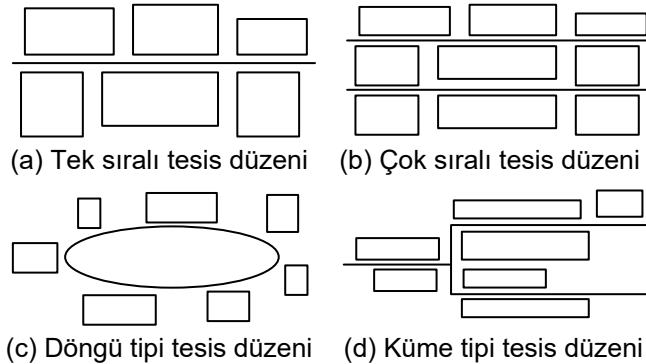
Sürekli yerleşim probleminin durumunu sınırlayan esnek bölme yapısı yaklaşımı, ilk kez Tong (1991) tarafından önerilmiştir. Esnek bölme yapısına dayalı düzende, tesis tabanı, genişliğin esnek olduğu ve o bölmede bulunan bölme sayısına bağlı olarak yatay veya dikey bölmelere ayrılır. Her bölmenin genişliği tesis alanının minimum tarafları tarafından o bölmeye tahsis edilen departman alanlarının bölünmesi sonucundan elde edilir. Her bir tesiste ayarlanan bölme ve departmanların sayısı değişkendir.



Şekil 1.3. Esnek bölme yapısına bir örnek (Eklund ve ark., 2003)

Şekil 1.3'de esnek bölme yapısının örnek bir gösterimi görülmektedir. aynı satırda bulunan esnek bölme genişlikleri farklı olabilirken yükseklikleri aynı olmak zorundadır (Eklund ve ark., 2003). Esnek bölme yapısında amaç, belirli bir bölgeyi alt bölgelere ayırmak ve böylece toplam malzeme hareketini en aza indirmektedir. Bölmelerin alanları aynı olmak zorunda değildir, ancak her bölme belirli oran kısıtlarını veya minimum uzunluk kısıtlarını sağlamak zorundadır (Wong, 2010).

Dinamik tesis düzenleme problemi malzeme taşıma araçlarının atanması gibi iç problemlerden etkilenmektedir. İyi düzenlenmiş bir tesis, verimli bir malzeme kullanımı ve daha az taşıma süresi ile sonuçlanır (Islir, 1998). Malzeme taşıma araçlarının tipi, makinelerin yerleşimi için kullanılacak yerleşimi belirler (Devise ve Pierreval, 2000).



Şekil 1.4. Taşıma araçları dikkate alınarak oluşturulan tesis düzenleri (Drira ve ark., 2007)

Şekil 1.4’de taşıma aracı tipi ve sayısı dikkate alındığında ortaya çıkan farklı tesisi düzenleri görülmektedir. Tesiste malzeme taşıma araçları ile uğraşılırken, sorun malzeme taşıma yolu boyunca tesislerin düzenlenmesinde oluşur. Burada tesis düzenini bulmak ve taşıma araçlarını seçmek üzere iki bağımlı tasarım problemi göz önünde bulundurulur (Drira ve ark., 2007). Verimli bir malzeme kullanımı, süreçte daha düşük çalışma süresi, daha az döngü süresi, zamanında teslimat ve daha iyi kalite elde edilmesini sağlar (Lee ve Lee, 2002).

### 1.3. Çalışmanın Amacı

Dinamik tesis düzenlenmesi, karşılaşılan talep dalgalanmalarına karşı gerçek sanayi uygulamalarında uygulanan bir konudur. Ertay ve ark. (2006), çalışmalarında plastik profil üretimi sistemlerinden sağlanan 19 farklı problem örneği ele alarak gerçek vakaları incelemiştir. Dinamik tesis düzenleme probleminin bir başka uygulaması Ulutas ve İslir (2015), tarafından yapılan çalışmada ayakkabı sektöründe gerçekleştirilmiştir. Çalışmada özellikle ayakkabı ve giyim gibi mevsimsel keskin talep dalgalanmalarına sahip olan sektörler için önerilen dinamik tesis düzeni, ayakkabı sektörü için gerçek veriler kullanılarak çeşitli senaryolar üretilmiştir

Tesis düzenleme problemi(TDP), işletme maliyetlerini etkileyen önemli bir faktördür. Değişkenliğin ve rekabetin artması ile beraber literatürde özellikle Dinamik Tesis Düzenleme Problemi (DTDP) çalışılmakta olan güncel bir problem olması konunun önemini göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, sanayi uygulamalarında da aktif olarak kullanılabilen farklı periyotlardaki taleplerde oluşacak değişime göre tesis düzenlemesi yapmaktır.. Başka bir ifadeyle, zaman içerisindeki değişimleri göz önüne alan minimum maliyetli tesis düzeni oluşturmaktır. Ele alınan bu problem esnek bölme yapısı ve taşıma araçlarının atamasını da kapsamaktadır. Çalışmada eşit olmayan alanlara sahip departmanların atandığı esnek bölme sayısı ve malzeme taşıma araçlarının

çeşidi ile sayısı da belirlenmek istenmektedir. Üretim işletmeleri için gerçekçi bir yaklaşım olan eşit olmayan alanlara sahip departmanlar, tesis düzeninde yer almaktadır. Böylelikle yapılan çalışmanın işletmeler için örnek bir model oluşturması da amaçlanmaktadır.

#### 1.4. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada dinamik tesis düzenleme problemi esnek bölme yapısı ve taşıma araçları ataması ile birlikte ele alınmıştır. Esnek bölmelerin genişliği tesis alanının minimum tarafları kullanılarak o bölmeye tahsis edilen departman alanlarının bölünmesi sonucundan elde edilir. İncelenen tesis düzenleme probleminin kapsamı aşağıda yer almaktadır.

- i. ***Dinamik tesis düzenleme problemidir:*** İncelenen problemde ele alınan tesis düzenlemesi talep değişkenliklerini dikkate alan ve belli bir periyotlar için tesislerin düzenlenmesini öngören bir yapıya sahiptir. Periyotlar değiştikçe talep değişkenliklerine göre departmanların da yeri değişebilmektedir. Düzenlenen tesis her dönemde aynıdır.
- ii. ***Eşit olmayan alanlara sahip departmanların yerleşim düzenidir:*** İncelenen problemde yerleşim düzenlenmesi yapılan departmanların alanları birbirinden farklıdır. Departman alanları periyot boyunca sabitken periyot değiştiğinde değişebilir. Departmanların en ve boyları periyot içerisinde değişebilir. Ancak bu değişim maksimum en boy oranı ile kontrol edilmektedir. Bu durum problemi zorlaştırırken gerçek hayatta var olan tesislere daha çok uymaktadır.
- iii. ***Taşıma araçları atanmaları ve esnek bölme yapısı birlikte ele alınmıştır:*** Tesis düzenlenmesi yapılırken tesis içindeki taşıma araçları da dikkate alınmış ve modele dâhil edilmiştir. Ayrıca tesisteki bölme yapısı sabit alınmayıp birbirine paralel esnek bölme yapısı ele alınmıştır. Esnek bölmelerin genişliği artıp azalabilirken dikeyde

uzunlukları aynı olmak zorundadır. Taşıma araçları farklı tipte ve sayıda olabilmektedir. Malzeme taşımalarında kullanılan her araç, her malzeme taşıma için kullanılabilir. Taşıma araçları ihtiyaç durumunda satın alınabilmekte veya kullanım dışı kalabilmektedir. Taşıma araçlarının kullanılması, satın alınması ve kullanılmamasının maliyetleri bulunmaktadır. Böylece periyottan periyoda taşıma araç sayısı ve bölme yapısı değişebilmektedir.

- iv. ***Periyot bazında belirli sayıda departman, bölme ve taşıma araç tipi bulunmaktadır:*** Problemin uygulandığı veri setlerinde departman sayısı, paralel esnek bölme sayısı, taşıma aracı sayısı ve periyot sayısı belirlidir. Problem bu sayıların artması ile zorlaşmakta ve çözüm süresi artmaktadır.
- v. ***Birden fazla taşıma araç çeşidi ve her çeşitten birden fazla araç bulunabilmektedir:*** Problemden ele alınan taşıma araçlarının atanmasında bulunan araç çeşidi birden fazla olabilmekte ve maliyetlerine bağlı olarak her araç çeşidinden birden fazla sayıda kullanılabilir.

### 1.5. Çalışmanın Özgün Katkısı

Çalışmanın özgün katkıları şunlardır;

- i. Çalışmada dinamik tesis düzenleme problemini esnek bölme yapısı ve taşıma araçlarının atanma kararları ile beraber ele alan yeni bir matematiksel model ortaya konmuştur.
- ii. Oluşturulan model gerçek sanayi koşullarının sağlanması açısından eşit olmayan alanlara sahip departmanları ele almıştır.
- iii. Taşıma araçları atanması kararlarının esnek bölme yapısına sahip olan bir tesisin düzenlemesi üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

- iv. Taşıma araçlarının çeşidi ve hangi çeşitten kaç tane alınacağını belirleyen model aynı zamanda araçları maliyetlerini de amaç fonksiyonunda ele almıştır. Böylece taşıma araçlarının satın alma kararları da dikkate alınmaktadır.
- v. Yapılan senaryo analizleri, oluşturulan matematiksel modelin farklı koşullar altında vereceği tepkileri irdelenmiştir.

## 1.6. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu

### 1.6.1. Çalışmanın Adımları

Bu çalışmada izlenen yol maddeler halinde aşağıda sunulmuştur;

- i. Problemin Belirlenmesi: İncelenecek problemin belirlenmesi sürecidir. Problemden kullanılacak parametreler ve gerekli bilgilerin toplandığı adımdır.
- ii. Önceki Çalışmaların İncelenmesi: Tesis düzenleme problemleri ile ilgili yapılan geçmiş çalışmaların incelendiği süreçtir. Literatürde bulunan problem formülasyonları ve çözüm yaklaşımlarının incelendiği adımdır.
- iii. Problemin Tanımlanması: Çalışma kapsamında çözülecek problemin tanımlanması sürecidir. Problemlerle ilgili gerekli parametrelerin, karar değişkenlerinin ve kısıtlanmaların belirlendiği adımdır.
- iv. Matematiksel Modelin Geliştirilmesi: Problemin çözümü için matematiksel modelin geliştirildiği ve kullanılacak paket programa entegre edildiği adımdır.
- v. Matematiksel Modelin Çözümü: Karma Tamsayı Programlama yöntemiyle hazırlanan modelin çözümünün yapıldığı adımdır.
- vi. Sonuçların Analiz Edilmesi: Problemin çözümünden elde edilen sonuçların değerlendirildiği ve gelecek çalışmalar için önerilerin verildiği adımdır.



**1.6.2. Çalışmanın Organizasyonu**

Çalışmanın ikinci bölümünde, tesis düzenleme problemleri ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara yer verilmiştir. İncelenen çalışmalar statik tesis düzenlemesi ve dinamik tesis düzenlemesi olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılarak dinamik tesis düzenleme üzerine yoğunlaştırılmıştır. Üçüncü bölümde, önerilen matematiksel yöntem, problemin formülasyonu ile çalışmada kullanılan veriler yer almıştır. Dördüncü bölümde, geliştirilen yaklaşım için elde edilen bulgular ve analizlere yer verilmiştir. Literatürde bulunan çalışmalardaki dört problem örneği için bu çalışmada geliştirilen yeni yaklaşımla çözümler elde edilmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekteki çalışmalar için yapılan önerilere yer verilmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

TDP, içerisinde nicel ve nitel amaçlar bulunduran çok amaçlı bir problemdir. Literatürde yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda her çalışmanın yöntemi ve ele aldığı problem yapısı değişse de çalışmalarda bu nitel ve nicel amaçlar dikkate alınmıştır. Literatürde yaygın olarak çalışılan TDP, güncelliğini korumaktadır. Bu nedenle tesis düzenlemesi problemi çalışılması gereken konulardan biridir. Yapılan çalışmalar birbirini geliştiren yapıda çalışmalar olmakta ve bu sayede problem daha efektif olarak ele alınabilmektedir.

Tesisi düzenlemesi konusunu kapsamlı bir şekilde incelemek, konunun önemi ve güncelliğini anlamak için önem arz etmektedir. Kuisak ve Heragu (1987) çalışmalarında geniş kapsamlı bir şekilde tesis düzenleme problemini incelemiş ve bu konudaki deterministik ve sezgisel yöntemleri irdelemişlerdir. Çalışmada, 12 sezgisel algoritma yaygın olarak kullanılan sekiz test problemi örneğine uygulanarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, esnek yerleşim konusunda tesis yerleşim problemi ve makine yerleşim problemi üzerinde de durulmuştur. Test problemlerinin karşılaştırma için çözüm kalitesi (amaç fonksiyonu değeri) ve hesaplama zamanı kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, sezgisel algoritmaların kaliteli çözüm, çok düşük hesaplama yani düşük belleğe ve hesaplama zamanına sahip olması gerektiği sonucu elde edilmiştir. Ayrıca, eşit olan ve olmayan alanlardaki tesislerle ilgili problemleri çözebilme yeteneğinin olması da algoritmalar için önemli bir başarı kriteri olarak belirlenmiştir.

Tesis düzenleme problemleri ve çözüm yöntemlerine bakıldığında, rekabet koşullarına ve teknolojik gelişimlere ayak uydurmak için yöntemlerin sürekli farklılaştığı görülmektedir. Bununla ilgili Hosseini-Nasab ve ark., (2018) yaptıkları çalışmada tesis düzenlemesi problemini bir bütün olarak tesis, yerleşim, şekil, büyüklük, yönlendirme ve teslim alma gibi belirli kısıtlar altında incelemişlerdir. Ayrıca, problemi belirli kriterleri ve amaçları sağlayacak şekilde ele almışlardır. Konuyu yerleşim evrimi, atölye özellikleri, problem formülasyonu ve çözüm

metodolojisi gibi kısımlara ayıran yazarlar problemi her yönden problemi detaylıca ortaya koymuşlardır. Yapılan araştırma sonucunda işletme maliyetlerinin %20-50'sini, bir ürünün ise toplam maliyetinin ise %15-70'ini malzeme taşıma maliyetleri oluşturduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca araştırmada iyi bir tesis tasarımının malzeme taşıma maliyetlerinin %36'sını etkileyebildiği tespit edilmiştir.

Tesis düzenleme problemleri literatürde birçok farklı şekilde ele alınmasına rağmen genel olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki tesis düzenlenmesinin bir defaya mahsus yapılmasını baz alan “Statik Tesis Düzenleme Problemi”dir. Belli kısıtlar ve amaçlar doğrultusunda tesis düzenlenmesinin bir seferliğine optimum şekilde yapılmasını öneren statik tesis düzenleme problemi çeşitli yaklaşımlarla literatürde en çok çalışılan problemler arasında yer almaktadır. Bunun yanında tesis yerleşiminin farklı birçok kısıt ve amacının bir arada sağlanması gerekliliğini öne süren ve bunun için çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanan çok kriterli tesis düzenleme problemi bulunmaktadır. Ancak bu problem yapı bakımından dinamik ve statik tesis düzenleme problemleri içerisinde incelenebilir. Kısıtların sadece nicel değil aynı zamanda nitel olması, çoklu karar verme yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmiştir. Son problem çeşidi talep değişkenliğinin ve rekabetin artması ile değişen ürün karmasından dolayı belli periyotlarda değişen tesis düzenlemesi “Dinamik Tesis Düzenleme Problemi” olarak adlanmaktadır. Son dönemlerde yaygın olarak çalışılan tesis düzenleme problemlerinin başında gelen bu problem, güncelliğini korumakla beraber sürekli gelişmektedir (Şahin, 2004).

Çizelge 2.1’de tesis düzenleme ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Çizelgede çalışmalar amaç fonksiyonu, problem türü ve çözüm yaklaşımları bazında yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Tesis Düzenlemesi ile İlgili Çalışmalar

Çalışmalar	Amaç Fonksiyonu					Problem Türü		Çözüm Yaklaşımı	
	Taşıma maliyeti	Toplam akış mesafesi	Makine yatırım maliyeti	Toplam makine sayısı	Toplam yakınlık (Makineler arası)	Dinamik	Statik	Deterministik	Sezgiel
Love ve Wong (1976)	X						X	Karma tamsayı programlama	
Kumar ve ark. (1995)	X						X		Yapıcı sezgisel
Balakrishnan, Cheng ve Wong, (2003)	X						X	Karesel atama problemi	Genetik alg. Tavlama benzetimi
Yung ve Kuo (2003)	X						X	AHP, veri zarflama	
Deb ve Bhattacharya (2005)	X						X	Çok faktörlü bulanık	
Solimanpur ve ark. (2005)					X		X		Hibrit karınca kolonisi
McKendall ve Shang (2006)	X					X			Karınca kolonisi

Çizelge 2.1. devamı

Çalışmalar	Amaç Fonksiyonu					Problem Türü		Çözüm Yaklaşımı	
	Taşıma maliyeti	Toplam akış mesafesi	Makine yatırım maliyeti	Toplam makine sayısı	Toplam yakınlık (Makineler arası)	Dinamik	Statik	Deterministik	Sezgiel
Ertay ve ark. (2006)	X					X		AHP, Veri zarflama	
Amaral (2006)					X		X	Tam sayılı doğrusal prog	
Şahin (2008)	X					X			Tavlama benzetimi
Anjos ve Ginger (2009)					X		X	Yarı kesin prog	
Amaral (2009)	X						X	Kesilen düzlemler eşitsizliği	
Amaral ve Letchford (2013)		X					X	Dal-sınır Algoritması	
Hungerländer ve Rendl (2013)					X		X	Karesel atama prob., Yarı kapsamlı prog.	
Lenin ve ark. (2013)		X	X	X			X		Genetik alg.

Çizelge 2.1. devamı

Çalışmalar	Amaç Fonksiyonu					Problem Türü		Çözüm Yaklaşımı	
	Taşıma maliyeti	Toplam akış mesafesi	Makine yatırım maliyeti	Toplam makine sayısı	Toplam yakınlık (Makineler arası)	Dinamik	Statik	Deterministik	Sezgiel
Mazinani (2013)	X					X		Karma tamsayılı prog.	Genetik alg.
Kothari ve Ghosh (2014)					X		X		Genetik alg.
Kothari ve Ghosh (2014)					X		X		Dağılım Arama (Scatter)
. Kulturel-Konak ve Konak (2014)	X					X		Karma tamsayılı prog.	Tavlama benzetimi
Ulutas ve islier (2015)	X					X			Klonal Seleksiyon
Palubeckis (2015)				X			X		Tavlama Benzetimi

Çizelge 2.1 devamı

Çalışmalar	Amaç Fonksiyonu					Problem Türü		Çözüm Yaklaşımı	
	Taşıma maliyeti	Toplam akış mesafesi	Makine yatırım maliyeti	Toplam makine sayısı	Toplam yakınlık (Makineler arası)	Dinamik	Statik	Deterministik	Sezgisel
Anjos ve ark. (2015)		X					X	Yarı prog gevşemesi	Tavlama benzetimi
Wang ve ark. (2015)	X					X		Karma tamsayılı prog.	Tavlama benzetimi
Kheirkhah ve ark. (2015)	X					X		İki seviyeli model	Parçacık sürüsü alg.
Helber ve ark. (2016)	X						X	Karma tamsayılı prog.	Düzeltilmiş ve Opimize et Sezgiseli
Kheirkhah ve Bidgoli (2016)	X					X			Oyun teorisi, Genetik alg.
Durmaz ve Şahin (2017)		X			X		X	Hedef prog.	NSGA-II
Pourvaziri ve Pierreval (2017)	X						X		Açık kuyruk ağı, Tavlama benzetimi
Asl ve Wong, (2017)	X					X			Parçacık sürüsü alg.

Çizelge 2.1.devamı

Çalışmalar	Amaç Fonksiyonu					Problem Türü		Çözüm Yaklaşımı	
	Taşıma maliyeti	Toplam akış mesafesi	Makine yatırım maliyeti	Toplam makine sayısı	Toplam yakınlık (Makineler arası)	Dinamik	Statik	Deterministik	Sezgiel
Azevedo ve ark. (2017)	X				X	X		Karesel atama problemi	
Vitayasak ve ark. (2017)	X					X			Geri izleme alg.
Kültürel Konak (2017)	X					X		Matematiksel model	Tabu arama alg.
Turanoğlu ve Akkaya (2018)	X					X			Bakteriyel yem arama
Tambunan ve ark. (2018)							X		ALDEP BLOCPAN
Moslemipour (2018)	X					X		Karesel atama problemi	Klonal Seleksiyon, Tavlama benzetimi
Hunagund ve ark. (2018)	X					X			Tavlama benzetimi



### 2.1. Statik Tesis Düzenleme Problemi

Statik tesis düzenlemenin en popüler problemi, bir hat üzerinde tesis yerleşimi olarak bilinen tek sıralı tesis yerleşimi problemidir. Bu problem için tesislere ve çalışma amaçlarına göre farklı amaç fonksiyonları, kısıtlar ve çözüm yöntemleri kullanılmaktadır.

Yerleşim tasarımlarında algoritmik ve prosedürel yöntemlerin yeterli ve etkili olmadığı görüşü tesis tasarımının çok amaçlı bir problem olarak nitelendirilmesine olanak sağlamıştır. Yung ve Kuo (2003), çalışmalarında Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve veri zarflama yöntemlerini kullanarak esneklik, ulaşılabilirlik ve bakım gibi kısıtlar altında tesis yerleşimi yapmıştır. Nitel ve nicel kısıtları ele alan çalışma AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve tutarlık değeri ile test edilen modeli veri zarflama ile değerlendirmiştir. Deb ve Bhattacharyya (2005) ise toplam akış maliyeti, ölü alanı minimize etmek için sabit alma ve bırakma noktaları ile tesis yerleşimine çok faktörlü bulanık bir çıkarım yapmıştır.

Amaral (2006), çalışmasında sürekli değişken sayılarını azaltarak Love ve Wong (1976) statik tesis düzenlemesi için geliştirdiği karma-tamsayı programlama modelini iyileştirmiş ve tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çözüm elde edilmiştir. Anjos ve Ginger (2009) ise yaptıkları çalışmada 10 boyutlu tek sıralı bir tesis yerleşimi için yarı kesin programlama kullanmıştır. Yarı kesin programlama gevşetmesi formülasyonunu incelendiği çalışmada, matris tabanlı yeni bir formülasyon ile tesisler arası boşluklar %5'e düşürülmüş ve 100 departmana kadar çeşitli problem örnekleri için çözümler bulunmuştur. Bir başka deterministik yaklaşım, Hungerländer ve Rendl, (2013) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada, tek sıralı tesis yerleşimi ile ilgili çalışmaları inceleyerek kullanılan modelleri karşılaştırmış ve ikinci dereceden bir yarı kapsamlı programlama geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile özellikle çözümsüz kalan 42 departmana kadar çeşitli örnek problem verileri sunulmuş, en fazla 110 departmana kadar olan örneklerde önceki çalışmalara göre bilinen en iyi boşluklar elde edilmiş ve çalışma süreleri önemli ölçüde azaltılmıştır (Hungerländer ve Rendl, 2013).

Statik tesis düzenleme problemi için geliştirilen modeller ile beraber yeni alt sınırların belirlenmesi de çalışma konusu olmuştur. Alt sınır belirleme için Amaral (2009) çalışmasında kesilen düzlemler gibi bazı geçerli eşitsizlikler kullanılarak problem için yeni bir alt sınır önermiştir. Önerilen alt sınır literatürdeki örnekler ile test edilmiş ve makul hesaplama sınırları içerisinde uygun yerleşim maliyeti elde edilmiştir. Belli sayıda tesisin arasındaki etkileşim maliyetini en aza indirecek en uygun değer üzerinde daha düşük bir sınır sağlayan Anjos ve ark. (2015), çalışmalarında yarı programlama gevşetmesi ile literatürde bilinen en alt sınırı çalıştıkları tahmin etmişlerdir. Tambunan ve ark., (2018) çalışmalarında bilgisayar destekli yöntemler olan BLOCPLAN ve ALDEP kullanarak yer değiştirmeyi karşılaştırılmıştır. ALDEP ile bulunan çözüm BLOCPLAN ile bulunandan daha yüksek olmasına rağmen işletme şeklinin değişmesini gerektirmemiş ve işletme düz çizgili bir akışa sahip olmuştur.

Deterministik yöntemler bazı çalışmalarda yetersiz kalmış ve sezgisel yöntemlerle beraber kullanılmıştır. Solimanpour ve ark. (2005), esnek üretim sistemlerinde 0-1 doğrusal olmayan programlama ile karınca kolonisi algoritmasını birlikte kullanmıştır. Literatürde yer alan bir dizi problem üzerine uygulanan, karınca kolonisi algoritması birçok yöntemle kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Amaral ve Letchford (2013) ise çalışmalarında statik tesis düzenleme problemi üzerinde çok merkezli bir çalışma yaparak çok boyutlu ölçeklemeye dayanan ilkel bir sezgisel yöntemle beraber dal sınır algoritması kullanmış ve teşvik edici sonuçlara ulaşmışlardır. Durmaz ve Şahin (2017), daha önce tesis düzenleme probleminde yapılmayan toplam akış mesafesini en küçükleme ve toplam departmanlar arası yakınlık skorunu en büyükleme amaçları ile birlikte alarak hedef programlama ve genetik algoritma tabanlı NSGA-II (elitist çok amaçlı genetik algoritma) metodunu kullanmıştır.

Tesis düzenleme problemi boyutu arttıkça deterministik yöntemlerle sonuç almak çok uzun zamanlar alabilmektedir. Bundan dolayı deterministik yöntemlerle birlikte sezgisel yöntemler kullanıldığı gibi sadece sezgisel yöntemlerle de çözüm

bulmak mümkün ve etkili olmaktadır. Sezgisel yöntemler mutlak optimum noktasını garanti etmemekle beraber çok daha hızlı ve etkili yöntemler olabilmektedir. Malzeme taşıma maliyetleri tesis düzenlemede en çok dikkate alınan amaçlarından biridir. Taşıma maliyetleri dikkate alınırken makine, departman konumlandırılmaları da dikkate alınmaktadır. Kumar ve ark. (1995) yapıcı bir sezgisel yöntem kullanarak tesisler arasındaki bitişik konumu en üst seviyeye çıkarmaya çalışmışlardır. Önerilen sezgisel yöntem diğer yöntemlerle karşılaştırılmış, hesaplama verimliliği ve çözüm kalitesi açısından iyi performans gösterdiği görülmüştür. Statik tesis düzenleme problemi için Balakrishnan, Cheng ve Wong (2003) yaptıkları çalışmada eşit olmayan yerleşim alanlarına 6 makineyi tavlama benzetimi ve genetik algoritma kullanarak atamışlardır. Çalışmada karesel atama problemi yöntemi ile eşit olmayan yerleşim alanları daha küçük alanlara bölünerek atama gerçekleştirilmiştir. Lenin ve ark. (2013), çalışmalarında amaç olarak toplam akış mesafesi, makine sayıları ve makine yatırımlarını en aza indirmeye çalışan bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Bazı rastgele problemler ile test edilen algoritma bireysel ve birleşik hedeflerde etkili bulunmuştur. Bir başka çalışmada Kothari ve Ghosh (2014a), çalışmalarında sezgisel bir dağınık arama modeli oluşturmuştur. Çalışmada dört farklı algoritma geliştirilmiş ve bunlardan birinin büyük boyutlu problemlerde diğerlerine üstünlük sağladığı görülmüştür. Kothari ve Ghosh (2014b), çalışmalarında GENALGO adını verdikleri bir genetik algoritma kullanarak malzeme taşımalarını minimize etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada ağırlıklandırmalar kullanılarak büyük boyutlu tesis düzenleme problemlerinde iyi çözümler elde etmişlerdir. Tesis sayısının minimizasyonunu amaç edinmiş olan Palubeckis (2015) çalışmasında sezgisel bir algoritma olan tavlama benzetimi algoritmasını kullanmıştır. Geliştirilen algoritma oldukça hızlı olup literatürde yinelenen tabu arama algoritmasına göre tesis sayısı 300'e kadar olan problemlerde daha etkili olmuştur. Helber ve ark. (2016), çalışmalarında Honnever Üniversitesine bağlı olan çok sayıda departmana sahip bir hastanede örgütsel ve operasyonel verilere dayalı olarak bir hiyerarşik düzenleme planlaması geliştirmişlerdir. Karma tam sayılı programlama, problemi çözmede

yetersiz kalmış ve düzelt ve optimize et olarak adlandırdığı bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Pourvaziri ve Pierreval (2017) belli bir problem sınıfında proses içi çalışma miktarını dikkate alan tesis düzenleme problemi için açık kuyruk ağı teorisi önermiştir. Önerilen teori çok amaçlı bulut tabanlı bir tavlama benzetimi ile formüle edilmiştir.

## 2.2. Dinamik Tesis Planlama Problemi

Literatürde dinamik tesis yerleşimi problemi ile ilgili birçok çalışmada çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır (McKendall ve Shang, 2006; Şahin, 2008; Mazinani ve ark., 2013; Ulutas ve İslir, 2015; Vitayasak ve ark., 2017; Kulturel Konak, 2017; Turanoğlu ve Akkaya, 2018). Genel olarak bu tanımlara bakıldığında dinamik tesis yerleşimi problemi, artan rekabet ortamında birimler arası malzeme hareketlerinin ürün taleplerinin fazla değişkenlik göstermesi nedeniyle dönemden döneme değiştiği çok dönemli planlama sağlayan tesis tasarlamaktır. Dinamik tesis tasarımında amaç, makineler arasındaki taşıma mesafesini minimuma indirmek ve bunun yanında makinelerin yer değiştirme maliyetlerini de en düşük seviyede tutarak tesisin yeniden daha etkin olarak düzenlenmektir.

Dinamik tesis düzenleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda prosedürel, algoritmik, deterministik ve sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Azevedo ve ark. (2017), çalışmalarında eşit olmayan alanlara sahip tesislerin düzenlenmesi için karesel atama problemini kullanarak malzeme taşımayı, uygun olmayan departman şekillerini ve yeniden düzenleme maliyetlerini minimum, departmanlar arası yakınlığı maksimum hale getirmeyi amaçlamışlardır.

Ertay ve ark. (2006), çalışmasında dinamik tesis düzenleme problemi için, bulanık küme teorisi kullanarak nicel verileri toplamış, AHP yöntemi ile nitel verileri toplamışlardır. Bir yerleşim programı olan VisFactory'de modellenen veriler sonucunda yeterli görünen dokuz alternatif yerleşim elde edilmiştir. Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında dinamik tesis yerleşimini esnek bölmelerle ele almış ve küçük modelleri karma tam sayılı programlama ile çözmüştür. Daha büyük problemler için

de genetik algoritma kullanmıştır. Kulturel-Konak ve Konak (2014), çalışmasında departman büyüklükleri ve boyutlarını karar değişkeni olarak kullanmış ve karma tam sayılı bir model ile formüle ettikleri problemi tavlama benzetimi ile çözmüşlerdir. Kheirkhah ve ark. (2015), çalışmasında problem çözümü için iki seviyeli bir model geliştirmiştir. Ayrıca satın alma, boş kullanımlar gibi durumlar da modele eklenmiş ve modelin çözümü için parçacık sürüsü algoritması kullanılmıştır. Bir başka sezgisel ile matematiksel modelin birlikte kullanıldığı çalışmada Wang ve ark. (2015), tesis düzenleme problemi için çift sıralı yerleşim planı önermiş ve çözüm alternatiflerini tavlama benzetimi ile belirlemiştir. Kesin tesis yerlerinin belirlenmesi için ise karma tam sayılı programlama kullanmıştır. Kulturel Konak (2017), bölge bazlı blok düzenini farklı malzeme taşıma araçlarına uyarlayabilen bölmeler içeren eşit olmayan departman boyutlarına sahip tesislerin tasarımını tabu arama algoritması ve matematiksel modelleme ile çözmüştür. Moslemipour (2018), çalışmasında stokastik dinamik tesis yerleşimi için karesel atama tabanlı bir matematiksel model önermiştir. Çözüm için klonal seçim ve tavlama benzetimi algoritmalarını birlikte kullanan çalışmada çözüm kalitesi ve zamansal olarak üstün çözümler elde etmiştir.

McKendall ve Shang (2006), dinamik tesis yerleşim problemi için bu çalışmada hibrid karınca sistemlerini kullanmıştır. Algoritma, literatürden alınan iki veri seti üzerinde oldukça etkili olmuştur. Şahin (2008), tavlama benzetimini dinamik tesis düzenleme problemine uygulamış ve literatürdeki en iyi yedi sonuçtan daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Ulutas ve Islier (2015), çalışmalarında gerçek veriler kullanarak taşıma ve yeniden düzenleme maliyetlerini klonal seleksiyon ile en küçükmeye çalışmışlardır. Kheirkhah ve Bidgoli (2016), yaptıkları çalışmada rekabetçi ortamlardan etkilenme faktörünü de göz önüne alarak oyun teorisi geliştirmişlerdir. Üç farklı sezgiselin modellendiği oyun teorisinde en iyi model tavlama benzetimi olarak bulunmuştur. Vitayasak ve ark. (2017), taşıma maliyetlerini azaltacak düzenlemeler yapmış ancak bu düzenlemelerin yeni maliyetlere sebep olduğunu gözlemleyerek üç farklı geri izleme algoritması

geliştirmişlerdir. Geliştirilen üç ayrı yöntemden en etkinini modifiye edilmiş geri izleme algoritması olmuştur. Asl ve Wong (2017), esit olmayan alanlara sahip tesislerin tasarımı için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması kullanmışlardır. Modelin yerel optimumlara takılmaması için dönem takas yöntemleri kullanılmıştır. Hunagund ve ark. (2018), tesis yerleşimi problemini eşit olmayan tesis alanları ile esnek bölme yapısıyla birlikte ele almışlardır. Çözüm için tavlama benzetimi kullanmış ve optimum çözüm elde etmişlerdir. Turanoğlu ve Akkaya (2018), dinamik tesis düzenlemesi için bakteriyel yem arama yaklaşımı ve tavlama benzetimini birlikte kullanmıştır.

### 2.3. Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi

İncelenen çalışmalara bakıldığında dinamik tesis yerleşiminin literatürde önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Dinamik tesis düzenlenmesi probleminde esnek bölme yapısı ve taşıma araçları atanmasının bir arada incelenmesi gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Ayrı ayrı konular olarak ele alınan taşıma araçlarını atanması ve esnek bölme yapısı işletmelerde birbirini etkileyen ve birlikte kullanılan sistemlerdir. Literatürde esnek bölme yapısını ve taşıma araçlarının atanmasını ele alan dinamik tesis düzenleme çalışmaları bulunmakla beraber iki durumu bir arada ele alan bir modele rastlanmamıştır. Özellikle çalışmalarda eşit alana sahip olmayan departmanları barındıran modeller, sanayi işletmelerindeki uygulamalara yakınlığı bakımından daha çok tercih edilen yaklaşım olarak çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma, taşıma araçlarının atama kararları ve esnek bölme yapısı ile ele alınan dinamik tesis düzenleme probleminde eşit olmayan alanlara sahip departmanları içermesiyle önceki çalışmalardaki bu alandaki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.



### 3. MATERYAL METOT

#### 3.1. Materyal

Çalışma literatürde yer alan test problem örneklerine uygulanmış olup kullanılan veri setlerine bu başlıkta yer verilmiştir. Çalışmada önerilen yeni matematiksel model için literatürden alınan veri setlerinde bazı bilgiler eksik kalmıştır. Bu nedenle, ilgili veri setlerine rastgele sayılar üretilerek eklemeler yapılmıştır.

##### 3.1.1. Probleme Kullanılan Veriler

Çalışmada problemin test edilmesi için kullanılan veri setleri, benzer problem karakteristiğine sahip Mazinani ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmadan yer alan 4 farklı veri seti kullanılmıştır. Bu veri setleri farklı sayıda periyot, departman ve esnek bölmeye sahip örneklerdir. İlk veri setinde 4 departman, 3 periyot ve 3 esnek bölme, ikinci veri setinde 5 departman, 2 periyot ve 3 esnek bölme, üçüncü veri setinde 8 departman, 6 periyot ve 3 esnek bölme ve son olarak dördüncü veri setinde 12 departman, 4 periyot ve 5 esnek bölmeye sahip örnekler kullanılmıştır.

Kullanılan veri setlerinde departmanlar farklı alanlara sahiptir. Departmanların buldukları tesisler ise bu departmanların toplam alanlarına eşit olacak şekilde en ve boy oranlarına sahip yapılardır. Modelin dinamik olmasından kaynaklı olarak departmanların yer değiştirme maliyetleri hem sabit hem de değişken maliyet olarak ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu maliyetler veri setinde paylaşılmasına karşın departmanlar arasındaki malzeme taşıma maliyetleri paylaşılmamıştır. Paylaşılmayan departmanlar arasındaki malzeme taşıma maliyetleri, modelin farklılaşmasından dolayı eklenen taşıma araçlarına ait notasyonla beraber yeni maliyet verileri gerektirmiş ve bu veriler için rastgele sayılar üretilmiştir. Böylece modelin veri setleri üzerinde çalışması sağlanmıştır.



Çalışmada kullanılan diğer veriler ise taşıma araçlarının modele eklenmesi ile beraber kullanılan araç çeşidi sayısı ile bu araçlara ait kapasite ve maliyet verileridir. Veri setlerinde yer almayan departmanlar arası taşıma maliyetleri (Uniform (0,7)), taşıma araçlarının çeşit sayısı (Uniform (1,2)), taşıma araçlarının kapasitesi (Uniform (1,3)), yeni taşıma araç maliyeti (Uniform (50,200)), kullanılmayan aracın oluşturduğu maliyet (Uniform (20,100)), kullanılan aracın oluşturduğu maliyet (Uniform (25,150)), gibi parametreler yeni oluşturulan model için rastgele sayılar kullanarak üretilmiştir.

### 3.2. Metot

#### 3.2.1. Problemin Tanımı

Ele alınan problem için oluşturulan matematiksel modele bakıldığında amaç fonksiyonunun dinamik tesis düzenlenmesi için toplam maliyet minimizasyonu olduğu görülmektedir.

Toplam maliyet departmanlar arası malzeme taşıma maliyetleri, departmanların yer değiştirme (yeniden düzenleme) maliyetleri, taşıma araçlarının satın alma maliyeti, araçların kullanılmaması ve kullanılmasından kaynaklanan maliyetlerden oluşmaktadır.

Çalışmada en az maliyet oluşturacak tesis düzeninin oluşturulması için tesislerin yerlerinin belirlenmesi ve kullanılacak optimum taşıma aracı sayılarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca taşıma araçlarının sayısının özellikle periyoda bağlı olarak satın alınması ve kullanışsız olması ile ilgili minimum maliyette düzenlemeler yapan amaç fonksiyonunun sonunda her bir tesis için yatay ve düşey ekseninde konumlar çıktı olarak elde edilmektedir.

Amaç fonksiyonunun esnek bölme yapısıyla birlikte ele alınmasıyla beraber periyottan periyoda değişen talebe göre esnek bölmeler değişmekte ve bu sayede tesislerin koordinatları sabit bir bölmedeki maliyetlerle karşılaşmamaktadır.

Esnek bölme yapısı ve taşıma araçlarının kullanıldığı dinamik tesis düzenlenmesi probleminde karşılaşılan kısıtlar şunlardır;

- i. ***Her bir departmanın tek bir bölmeye atanma kısıtı:*** Dinamik tesis düzenleme probleminde tesislerin yalnızca paralel olan bir bölmede bulunmasının sağlanmasıdır.
- ii. ***Departmanların toplam alanının tesis alanına eşit olma kısıtı:*** Farklı alanlara sahip departmanlara sahip tesislerin düzenlenmesi probleminde, tesis alanının departmanların toplam alanına eşit olmasıdır.
- iii. ***Departman yerlerinin çakışmaması kısıtı:*** Tesis içinde departmanların aynı alana atanmamasıdır.
- iv. ***Taşıma aracının malzeme taşıması için harcadığı toplam sürenin planlama ufkunu geçmeme kısıtı:*** Bir taşıma aracının belirlenen periyotta toplam malzeme taşıma süresinin o periyodun süresini geçmemesidir. Her periyotta değişkenliklere göre taşıma araçlarının malzeme taşıması değişebileceği için periyot süresine eşit veya daha az süreyle taşıma yapması gerekmektedir.
- v. ***Departmanların tesisin yatay ve dikey sınırları arasında kalma kısıtı:*** Departmanların alanları yanında toplam yatay ve dikey uzunluklarının tesisin sınırları içerisinde kalması gerekliliğidir. Bu durumda departmanların yerleşiminde yatay uzunluk ve dikey uzunluk sınırları oluşmaktadır.
- vi. ***Esnek paralel bölmelerin aynı uzunlukta (dikey) olma kısıtı:*** Problemden ele alınan esnek paralel bölmeler yatayda farklı genişliklere sahip olabilirken dikeyde aynı uzunlukta olmak zorundadır.
- vii. ***Departmanlar arasında taşınan her malzemenin bir taşıma aracı kullanma kısıtı:*** Departmanlar arasında taşınan malzemeler kullanılan malzeme araçlarından herhangi birisiyle taşınmalıdır. Taşıma aracı kullanılmadan departmanlara arasında malzeme taşınmaz.
- viii. ***Departmanların maksimum en boy oranı kısıtı:*** Departmanlar farklı periyotlarda farklı en ve boy değerlerine sahip olabilmektedir. Bu durum esnek bölme yapısını oluşturur. Farklı en boy oranları departmanların

şekillerini (kare veya dikdörtgen) korumak amacıyla periyot bazında olmak üzere bilinen bir değer ile kısıtlanmıştır.

### 3.2.2. Problemin Karakteristiği

Çalışmada incelenen tesis düzenlemesi problemi esnek bölme yapısı ve taşıma araçları ile birlikte incelenmiştir. İncelenen problem aşağıdaki karakteristiklere sahip olarak tanımlanmıştır:

- i. ***Dinamik tesis düzenleme modelidir:*** İncelenen problemde ele alınan tesis düzenleme tipi talep değişkenliklerini dikkate alan ve belli bir periyot için tesislerin düzenlenmesini öngören bir yapıya sahiptir. Periyotlar değiştikçe talep değişkenliklerine göre departmanların da yeri değişebilmektedir.
- ii. ***Eşit olmayan alanlara sahip departmanların yerleşim düzenidir:*** İncelenen problemde yer düzenlenmesi yapılan departmanların alanları birbirinden farklıdır. Bu durum problemi zorlaştırırken gerçek hayatta var olan tesislere daha çok uymaktadır.
- iii. ***Taşıma araçlarının atanması esnek bölme yapısı ile birlikte ele alınmıştır:*** Tesis düzenlenmesi yapılırken tesis içindeki taşıma araçları da dikkate alınmış ve modele dâhil edilmiştir. Ayrıca tesisteki bölme yapısı sabit alınmayıp birbirine paralel esnek bölme yapısı ele alınmıştır. Böylece periyottan periyoda kuulanılan, kullanılmayan, satın alınan taşıma araç sayısı ve çeşidi ile esnek bölmelerin sayısı ve genişlikleri değişebilmektedir.
- iv. ***Veri setinde belirli sayıda departman, esnek bölme, taşıma araç çeşidi ve periyot bulunmaktadır:*** Problemin uygulandığı veri setlerinde departman sayısı, paralel esnek bölme sayısı, taşıma çeşidi sayısı ve periyot sayısı belirlidir. Problem bu sayıların artması ile zorlaşmakta ve çözüm süresi artmaktadır.

- v. ***Birden fazla taşıma araç çeşidi ve her çeşitten birden fazla araç bulunabilmektedir:*** Problemde ele alınan taşıma araçlarınde bulunan araç çeşidi birden fazla olabilmekte ve maliyetlerine bağlı olarak her araç çeşidinden de birden fazla kullanılabilir.

### 3.2.3. Problemde Kullanılan Varsayımlar

Çalışmada aşağıdaki varsayımlar altında esnek bölme yapısı içeren dinamik tesis düzenleme problemi için çözümler aranmıştır:

- i. Maksimum en boy oranı, departman şekillerini kontrol etmek amacıyla kullanılır. En-boy oranı departmanların düzenlenmesinde bölmelerdeki maksimum eni ve boyu sınırlandırmak ve aynı zamanda gerekli alanı sağlamak için kullanılan orandır.
- ii. Departmanlar eşit olmayan alanlara sahip kare veya dikdörtgen şekiller olabilir.
- iii. Departmanlar arası uzaklıklar doğrusal (rectilinear) uzaklıklar olarak alınmıştır.
- iv. Departman alanları dönem (periyot) içerisinde sabittir. Ancak dönemden döneme değişebilir.
- v. Departmanların konum yönlendirmeleri esnek bölme içerisinde yatay veya dikey olarak değişebilir. Bu yapı aynı zamanda esnek bölme genişliğini etkilemektedir.
- vi. Her dönem için yerleşim, tesis tabanının sürekli temsilini kullanır. Her periyotta düzenlenen tesis aynıdır. Tesis düzenlemesi yapılırken tesisin en ve boyunun belli olduğu alan düzenlenmiş olur.
- vii. Departmanlar, farklı genişlikteki paralel bölmelere atanmalıdır. Bir departman bir bölmeye atanmışsa, tamamen doldurulması gerekir.
- viii. Amaç fonksiyonu; malzeme taşıma maliyetleri, yeniden düzenleme maliyetleri, satın alınan taşıma araçlarının maliyeti, kullanılan ve

- kullanılmayan taşıma araçlarının maliyetleri toplamını en aza indirir. Yeniden düzenleme maliyetleri sabit ve değişken maliyetleri içerir.
- ix. Ürün akışında periyot süresi boyunca hiçbir değişiklik yoktur ve periyot sonunda yeniden düzenleme yapılabilir.
  - x. Departmanlar arasındaki akışlar bir periyot boyunca sabittir, periyotlar arasında değişebileceği için dinamik ve deterministiktir.
  - xi. Yeniden düzenlenen tesislerde, periyotlar ve departmanlar arasındaki mesafeler önceden belirlenir.
  - xii. Departmandaki makinelerin hareketli olduğu varsayılmaktadır. Tüm departmanlar hareketli makine ve teçhizata sahip olup yer değiştirebildiği varsayılmaktadır.
  - xiii. Tüm taşıma araçlarının tesiste bulunan her bölmede kullanılabilirdiği varsayılmaktadır.
  - xiv. Taşıma araçları bilinen sabit bir hız ve kapasitede taşıma yaparlar.
  - xv. Bir taşıma aracını bir periyotta kullanmanın, satın almanın ve kullanmamanın sabit ve bilinen bir maliyeti vardır.
  - xvi. Tüm taşımalar her bir taşıma aracıyla gerçekleştirilebilir.
  - xvii. Taşıma araçlarına ait yükleme, boşaltma maliyetleri departmanlar arasında malzeme taşımının birim maliyeti içerisinde dikkate alınmıştır.

#### 3.2.4. Matematiksel Programlama Modeli

Bu bölümde esnek bölme yapısına ve eşit olmayan alanlara sahip departmanların düzenlenmesi, taşıma araçlarının atanması ile beraber ele alınmıştır. Bu problem için önerilen karma tamsayılı programlama modeli ve formülasyonu aşağıda sunulmuştur:

**İndisler:**

$t$ : Periyotlar  $t = 1, 2, \dots, T$

$i, j$ : Departmanlar  $i, j = 1, 2, \dots, N$

$k$ : Esnek paralel bölmeler  $k = 1, 2, \dots, B_t$

$g$ : Taşıma aracı çeşitleri:  $g = 1, 2, \dots, G$

**Parametreler:**

$W$  :  $x$  ekseninde tesis genişliği

$H$  :  $y$  ekseninde tesis yüksekliği

$B_t$  :  $t$  periyodundaki maksimum bölme sayısı

$a_{ti}$  :  $t$  periyodunda  $i$  departmanı için gerekl alan

$q_{ti}$  :  $i$  departmanı için en – boy oranı

$l_{ti}^{maks} = maks\{W, (a_{ti} * q_{ti})^{0.5}\}$  :  $t$  periyodunda  $i$  departmanı için izin verilen maksimum uzunluk

$l_{ti}^{min} = (a_{ti}/q_{ti})^{0.5}$  :  $t$  periyodunda  $i$  departmanı için izin verilen minimum uzunluk

$F_{tij}$  :  $t$  periyodu boyunca  $i$  departmanından  $j$  departmanına taşınan malzeme miktarı

$C_{tgij}$  :  $t$  periyodu boyunca  $g$  aracı ile  $i$  ve  $j$  departmanları arasında her birim uzaklık için bir birim malzeme taşıma maliyeti

$A_{ti}$  :  $t$  periyodu başlangıcında  $i$  departmanının yer değiştirmesine ait sabit maliyet

$R_{ti}$  :  $t$  periyodu başlangıcında  $i$  departmanının yer değiştirmesine ait değişken maliyet

$f_{gij}$  :  $g$  aracının  $i$  ile  $j$  departmanları arasındaki malzeme taşıma kapasitesi

$r_g^w$	:g aracının ortalama çalışma oranı
$s_g$	:g aracının bir dakikada ortalama aldığı ortalama metre
$L_g^{yb}$	:g aracının ortalama yükleme ve boşaltma süresi
$c_{tg}^s$	:t periyodunda yeni bir g aracının satın alma maliyeti
$c_{tg}^a$	:t periyodunda g aracının kullanılmaması maliyeti
$c_{tg}^u$	:t periyodunda g aracının kullanılma maliyeti
<b>Karar Değişkenleri:</b>	
$w_{tk}$	:t periyodunda k bölmesinin x eksenindeki genişliği
$h_{tik}$	:t periyodunda i departmanının k bölümündeki yüksekliği
$l_{ti}^y$	:t periyodunda i departmanının yüksekliği
$x_{ti}$	:i departmanın x eksenindeki ağırlık merkezi koordinatı
$y_{ti}$	:i departmanın y eksenindeki ağırlık merkezi koordinatı
$d_{tij}^x =  x_{ti} - x_{tj}  = d_{tij}^{+x} + d_{tij}^{-x}$	:t periyodunda i ile j departmanı arasındaki yatay uzaklık
$d_{tij}^y =  y_{ti} - y_{tj}  = d_{tij}^{+y} + d_{tij}^{-y}$	:t periyodunda i ile j departmanı arasındaki dikey uzaklık
$p_{ti}^x =  x_{ti} - x_{t-1,i}  = p_{ti}^{+x} + p_{ti}^{-x}$	:i departmanın t-1 ile t periyodu arasındaki toplam yatay yer değiştirmesi

$$p_{ti}^y = |y_{ti} - y_{t-1,i}| = p_{tij}^{+y} + p_{tij}^{-y} \quad :i \text{ departmanın } t-1 \text{ ile } t \text{ periyodu arasındaki}$$

$$z_{tik} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } t \text{ periyodunda } i \text{ departmanı } k \text{ bölgesine atanırsa} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$m_{tk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } t \text{ periyodunda } k \text{ bölgesi meşgulse} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$s_{tij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } t \text{ periyodunda } i \text{ departmanı } j \text{ departmanın üstündeysse} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$r_{ti} = \begin{cases} 1 & t \text{ periyodunda } i \text{ departmanı yer değiştirmiş ise} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$y_{tgij}^b = \begin{cases} 1 & t \text{ periyodunda } i \text{ ile } j \text{ arasında taşımayı } g \text{ aracı yapıyorsa} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$n_{tg} \quad :t \text{ periyodunda kullanılan } g \text{ aracı sayısı}$$

$$n_{tg}^n \quad :t \text{ periyodunda yeni alınan } g \text{ aracı sayısı}$$

$$n_{tg}^a \quad :t \text{ periyodunda kullanılmayan } g \text{ aracı sayısı}$$

Modelde genel kayıp olmadan tesisin uzun kenarı yatay(x) ekseninde bulunmakta ve esnek bölmelerin dikey (y) ekseninde paralel olarak uzandığı varsayılmaktadır. Tesisin güneybatı köşesi başlangıç noktası (0,0) olarak alınmıştır.

Esnek bölme yapısı ve taşıma araçları atanmasını içeren dinamik tesisi düzenleme problemi için oluşturulan karma tamsayılı programlama formülasyonu aşağıda verilmiştir:

#### **Amaç fonksiyonu:**

$$\begin{aligned} \text{Min} Z = & \sum_{g=1}^G \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N C_{tgij} * F_{tij} * (d_{tij}^{+x} + d_{tij}^{-x} + d_{tij}^{+y} + d_{tij}^{-y}) \\ & + \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^N A_{ti} * r_{ti} + \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^N R_{ti} * (p_{ti}^{+x} + p_{ti}^{-x} + p_{ti}^{+y} + p_{ti}^{-y}) \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G n_{tg}^n * c_{tg}^s + \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G n_{tg}^a * c_{tg}^a + \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G n_{tg} * c_{tg}^u \end{aligned} \quad (3.1)$$

#### **Kısıtlar:**

$$x_{ti} - x_{tj} = d_{tij}^{+x} - d_{tij}^{-x} \quad \forall t, i, j > i \quad (3.2)$$



$$y_{ti} - y_{tj} = d_{tij}^{+y} - d_{tij}^{-y} \quad \forall t, i, j > \quad (3.3)$$

$$x_{ti} - x_{t-1,i} = p_{ti}^{+x} - p_{ti}^{-x} \quad \forall i, t > \quad (3.4)$$

$$y_{ti} - y_{t-1,i} = p_{ti}^{+y} - p_{ti}^{-y} \quad \forall i, t > \quad (3.5)$$

$$\sum_k z_{tik} = 1 \quad \forall t, i \quad (3.6)$$

$$w_{tk} = \frac{1}{H} \sum_i z_{tik} * a_{ti} \quad \forall t, k \quad (3.7)$$

$$l_{ti}^{min} z_{tik} \leq w_{tk} \leq l_{ti}^{maks} + W * (1 - z_{tik}) \quad \forall t, i, k \quad (3.8)$$

$$x_{ti} \geq \sum_{j \leq k} w_{tj} - 0.5 * w_{tk} - (W - l_{ti}^{min}) * (1 - z_{tik}) \quad \forall t, i, k \quad (3.9)$$

$$x_{ti} \leq \sum_{j \leq k} w_{tj} - 0.5 * w_{tk} + (W - l_{ti}^{min}) * (1 - z_{tik}) \quad \forall t, i, k \quad (3.10)$$

$$\frac{h_{tik}}{a_{ti}} - \frac{h_{tjk}}{a_{tj}} - \max\left\{\frac{l_{ti}^{maks}}{a_{ti}}, \frac{l_{tj}^{maks}}{a_{tj}}\right\} * (2 - z_{tik} - z_{tij}) \leq 0 \quad \forall t, k, i, j > \quad (3.11)$$

$$\frac{h_{tik}}{a_{ti}} - \frac{h_{tjk}}{a_{tj}} + \max\left\{\frac{l_{ti}^{maks}}{a_{ti}}, \frac{l_{tj}^{maks}}{a_{tj}}\right\} * (2 - z_{tik} - z_{tij}) \geq 0 \quad \forall t, k, i, j > \quad (3.12)$$

$$\sum_k h_{tik} = H * m_{tk} \quad \forall t, k \quad (3.13)$$

$$l_{ti}^{min} * z_{tik} \leq h_{tik} \leq l_{ti}^{maks} * z_{tik} \quad \forall t, i, k \quad (3.14)$$

$$\sum_i h_{tik} = l_{ti}^y \quad \forall t, i \quad (3.15)$$

$$y_{ti} - 0.5 * l_{ti}^y \geq y_{tj} + 0.5 * l_{tj}^y - H * (1 - s_{tij}) \quad \forall t, i, j \neq \quad (3.16)$$

$$s_{ij} + s_{ji} \leq 1 \quad \forall t, i, j > \quad (3.17)$$

$$s_{ij} + s_{ji} \geq z_{tik} + z_{tjk} - 1 \quad \forall t, k, i, j > \quad (3.18)$$

$$0.5 * l_{ti}^y \leq y_{ti} \leq H - 0.5 * l_{ti}^y \quad \forall t, i \quad (3.19)$$

$$x_{ti} - x_{t-1,i} \leq W * r_{ti} \quad \forall i, t > \quad (3.20)$$

$$x_{t-1,i} - x_{ti} \leq W * r_{ti} \quad \forall i, t > \quad (3.21)$$

$$y_{ti} - y_{t-1,i} \leq H * r_{ti} \quad \forall i, t > \quad (3.22)$$

$$y_{t-1,i} - y_{ti} \leq H * r_{ti} \quad \forall i, t > 1 \quad (3.23)$$

$$l_{ti}^y - l_{t-1,i}^y \leq H * r_{ti} \quad \forall i, t > 1 \quad (3.24)$$

$$l_{t-1,i}^y - l_{ti}^y \leq H * r_{ti} \quad \forall i, t > 1 \quad (3.25)$$

$$\sum_j \sum_i \frac{F_{tij}}{f_{gij}} (L_g^{yb} * y_{tgij}^b + \frac{(d_{tij}^{+x} + d_{tij}^{-x} + d_{tij}^{+y} + d_{tij}^{-y}) * y_{tgij}^b}{s_g * r_g^w}) \leq n_{tg} * 480 \quad \forall t, g, j, i \neq j \quad (3.26)$$

$$n_{tg} = n_{t-1,g} + n_{tg}^n - n_{tg}^a \quad \forall g, t \geq 2 \quad (3.27)$$

$$n_{tg} = n_{1g}^n \quad \forall g, t = 1 \quad (3.28)$$

$$n_{tg}^n * n_{tg}^a = 0 \quad \forall t, g \quad (3.29)$$

$$\sum_g y_{tgij}^b = 1 \quad \forall t, g, j, i \quad (3.30)$$

$$n_{tg}, n_{tg}^a, n_{tg}^n, x_{ti}, y_{ti}, l_{ti}^y, w_{tk}, h_{tik}, d_{tij}^{+x}, d_{tij}^{-x}, d_{tij}^{+y}, d_{tij}^{-y}, p_{ti}^{+x}, p_{ti}^{-x}, p_{ti}^{+y}, p_{ti}^{-y} \geq 0 \quad \forall t, g, j, i \quad (3.31)$$

$$z_{tik} = 0 \text{ veya } 1, m_{tik} = 0 \text{ veya } 1, s_{tij} = 0 \text{ veya } 1, r_{ti} = 0 \text{ veya } 1, y_{tgij}^b = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall t, g, j, i \quad (3.32)$$

Önerilen matematiksel model nonlineer olup (3.2) - (3.5) kısıtlarında lineerleştirmeler uygulanmıştır. Oluşturulan modelde (3.2) - (3.25) arasındaki kısıtlar Mazinani ve ark. (2013), çalışmasından alınmıştır. Kullanılan bu modele taşıma araçlarının atanması ile ilgili kısıtlar eklenerek yeni bir matematiksel model oluşturulmuştur.

Amaç fonksiyonunda (3.1) birinci terim departmanlar arası malzeme taşıma maliyetlerini, ikinci terim yeniden düzenleme maliyeti için gereken sabit maliyeti, üçüncü terim yeniden düzenleme için oluşan değişken maliyeti, dördüncü terim yeni alınan taşıma araçlarının oluşturduğu maliyeti, beşinci terim taşıma araçlarının kullanılmamasından dolayı oluşan maliyeti ve son olarak altıncı terim taşıma araçlarının kullanılma maliyetini ortaya koymaktadır. Amaç fonksiyonu oluşan tüm maliyetlerinin minimizasyonunu sağlamaya çalışmaktadır.

Kısıtlamalar (3.2) - (3.5), doğrusal uzaklık fonksiyonunda mutlak değerlerin doğrusallaştırmasıdır. Bu kısıtlar malzeme taşımalarının yapıldığı departmanlar arasındaki yatay ve dikey uzaklıkları ile yeniden düzenleme ile ortaya çıkan yatay ve dikey mesafeleri hesaplamaktadır. Kısıt (3.6), her departmanın tek bir bölmeye atanmasını sağlamaktadır. Bu sayede bir departmanın birden fazla bölmeye atanması engellenmektedir. Kısıtlamalar (3.7) ve (3.8), her bölmeye atanan departmanlara bağlı olarak her bölmenin yatay ekseninde genişliğini hesaplamaktadır. Kısıt kümeleri (3.9) ve (3.10), departmanların ağırlık merkezlerinin yatay eksen boyunca konumlarını belirlemektedir. Kısıtlamalar (3.7), (3.9) ve (3.10) departmanların yatay eksen boyunca tesisinin sınırları dâhilinde olmasını sağlamaktadır. Kısıtlar (3.11) - (3.18), departmanların ağırlık merkezlerinin dikey eksen boyunca konumunu

belirlemek için kullanılmaktadır. Bu kısıtlamalar ayrıca, departmanların dikey eksen yönünde üst üste gelmemesini sağlamaktadır. Kısıtlama (3.19), departmanların düşey eksen boyunca tesis tabanının sınırları dâhilinde olmasını sağlar. Kısıtlamalar (3.20) - (3.25), departmanın yeniden düzenlenmemiş olduğu iki ardışık periyotta departmanın aynı uzunluk, genişlik ve merkez koordinat değerlerine sahip olmasını sağlar. Kısıt (3.26),  $g$  aracı tarafından malzeme kullanımı için kullanılan toplam sürenin, bu aracın planlama ufku sırasında ulaşılabilir toplam süreden daha az olmasını sağlamaktadır. Bu kısıtlama departmanlar arasındaki malzeme taşımaları için gereken taşıma aracı sayısını belirlemek için de kullanılmaktadır. Kısıtlamalar setleri (3.27) - (3.29), gerekli  $g$  aracı sayısı,  $t$  döneminde satın alınan araç sayısı ile  $t$  döneminde yararsız olan  $g$  aracı arasındaki ilişkiyi tarif eder. Kısıt (3.30),  $t$  periyodunda  $i$  ile  $j$  departmanları arasındaki taşımaların bir  $g$  aracı tarafından yapılmasını sağlayan kısıttır. Son olarak kısıt (3.31) ve (3.32), modelde kullanılan değişkenler üzerindeki kısıtlamaları belirtir.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Örnek Problemlerin Çözümüyle Modelin Test Edilmesi

Bu bölümde esnek bölme yapısı ve taşıma araçları atanmasını içeren dinamik tesis düzenlemesi için geliştirilen karma tam sayılı modelle çözülen birkaç örnek değerlendirilecektir. Literatür incelendiğinde dinamik tesis planlamasının yaygın olarak çalışıldığı görülmüştür. Ancak esnek bölme yapısına sahip ve taşıma araçları atanmasını dinamik tesis düzenleme problemi ile birlikte ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, literatür araştırılırken dinamik tesis modelleri geniş bir şekilde incelenmiştir. Esnek bölme yapısına sahip olan modeller ve taşıma araçları atanmasını içeren modeller daha ayrıntılı şekilde irdelenmiştir. İncelemeler sonucunda esnek bölme yapısı ve taşıma araçları atanmasını içeren yeni bir matematiksel model ortaya konulmuş ve karma tam sayılı programlama ile modellenmiştir.

Oluşturulan model Mazinani ve ark. (2013) tarafından önerilen dört problem örneğine uygulanmıştır. Bu problemlerin adları sırasıyla FBS-DFLP-1, FBS-DFLP-2, FBS-DFLP-3 ve FBS-DFLP-4'dür. Problem örneklerinde yer alan x-ekseni boyunca tesis tabanının genişliği, y-ekseni boyunca tesis tabanının uzunluğu, periyot sayısı departman sayısı, beklenen en-boy oranı, paralel esnek bölmelerin maksimum sayısı, yeniden düzenlemenin sabit maliyeti, yeniden düzenlemenin değişken maliyeti, departmanlar arasındaki malzeme taşıma miktarı ve tüm periyotlar için alan büyüklükleri parametrelerinin verileri FBS-DFLP-1 için EK-1'de, FBS-DFLP-2 için EK-3'de, FBS-DFLP-3 için EK-5'de ve FBS-DFLP-4 için EK-7'de sunulmuştur. Departmanlar arası taşıma maliyetlerine ulaşamadığı için bu veriler rastgele sayılar üretilerek oluşturulmuştur.

Oluşturulan matematiksel model GAMS 24.8.5 yazılımının SCIP çözücü ile çözülmüştür. Çözülen problemler 4 çekirdekli işlemci (3,60 GHz), 16 GB bellek ve Windows 10 işletimsistemine sahip bir bilgisayar ile test edilmiştir. Mazinani ve ark. (2013), çalışmasından alınan problemler sırasıyla;

- FBS-DFLP-1 problemi 4 departman, 3 periyot ve maksimum 3 esnek bölmeye,
- FBS-DFLP-2 problemi 5 departman, 2 periyot ve maksimum 3 esnek bölmeye,
- FBS-DFLP-3 problemi 8 departman, 6 periyot ve maksimum 3 esnek bölmeye,
- FBS-DFLP-4 problemi 12 departman, 4 periyot ve maksimum 5 esnek bölmeye sahiptir.

Test edilen bu problemlerde kullanılan veriler ve çözümünden elde edilen tesis yerleşimleri sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

#### 4.1.1. FBS-DFLP-1 Problem Örneği

##### 4.1.1.1. Problemden Kullanılan Veriler

FBS-DFLP-1 problemi için belirtilmeyen maliyetler ve problemin genişlemesi ile taşıma araçlarının atanması için gereken veriler rastgele sayılar üretilerek oluşturulmuştur. EK2’de FBS-DFLP-1 problemi için departmanlar arasındaki taşıma maliyetleri gösterilmektedir. Taşıma araçlarının atanmasını içeren modelde departmanlar arası taşıma maliyetlerinin yanı sıra taşıma araçlarının yük taşıma kapasitesi( $f_{tg}$ ), yeni taşıma aracı satın alma maliyeti( $c_{tg}^S$ ), kullanılmayan taşıma araçlarının oluşturduğu maliyet( $c_{tg}^a$ ), kullanılan taşıma araçlarının oluşturduğu maliyet( $c_{tg}^u$ ), taşıma araçlarına ait ortalama çalışma oranı( $r_g^W$ ), taşıma araçlarının ortalama dakikada aldığı yol( $s_g$ ) ve taşıma araçlarının ortalama malzeme yükleme/boşaltma süresi( $L_g^{yb}$ ) gibi veriler modelin çözülmesi için gereklidir. Bu veriler rastgele sayılar üretilerek elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. FBS-DFLP-1 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi

	Taşıma aracı 1				Taşıma aracı 2				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
2	1	0	1	1	2	1	0	1	1
3	1	1	0	1	3	1	1	0	1
4	1	1	1	0	4	1	1	1	0

FBS-DFLP-1 problemi için kullanılan iki çeşit taşıma aracına ait taşıma kapasitesi çizelge 4.1’de verilmiştir. Taşıma araçlarının departmanlar arasındaki malzeme taşıma kapasiteleri birbirine eşit ve 1 birimdir. Her iki aracın tam kapasite ile çalıştığı varsayılmaktadır. Taşıma araçların dakikada ortalama aldığı yol eşit ve 3 metredir. Ayrıca ortalama yükleme/boşaltma süresi eşit ve 8 dakikadır. Taşıma araçlarının satın alınması ve periyottaki talep değişkenliğinden dolayı oluşabilen kullanılmama maliyetleri bulunmaktadır. Bu maliyetler çizelge 4.2’de görülmektedir.

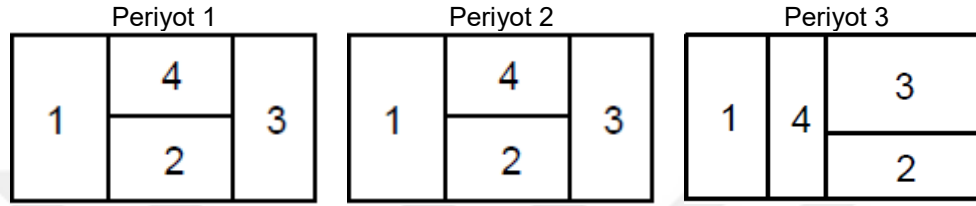
Çizelge 4.2. FBS-DFLP-1 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler

Satın Alma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	155	150
2	140	180
3	160	175
Kullanılmama Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	25	50
2	45	35
3	50	65
Kullanılma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	30	55
2	60	70
3	80	90



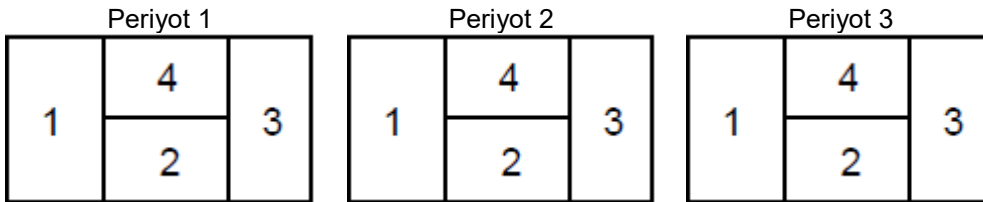
#### 4.1.1.2. Problemin Çözümü

Önerilen model ile test edilen problem incelendiğinde yeni tesis tasarımın şekil 4.1’de görülmektedir. Önerilen yaklaşım sonucunda ortaya çıkan yeni tesis düzeni Mazinani ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmadan farklı bulunmuştur.



Şekil 4.1. FBS-DFLP-1 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni

Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında önerilen model için bu çalışmada rastgele üretilen malzeme taşıma maliyetleri kullanılmış ve şekil 4.2’deki tesis düzeni elde edilmiştir. İki tesis düzenin farklı olması malzeme taşıma araçlarının tesis düzenlenmesi üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre departmanlar arasında malzeme taşımaların taşıma araçları tarafından yapılması farklı tesis düzenlerinin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.2. FBS-DFLP-1 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni (Mazinani ve ark. (2013) Modeli)

Yeni tesis düzenlemesine ait taşıma araçları atamalarında kullanılan araç tipi ve sayısı çizelge 4.3’de belirtilmiştir. Buna göre FBS-DFLP-1 problemi için ilk periyotta birinci araç tipinden bir adet satın alınırken diğer iki periyotta yeni araç alımı yapılmamış ve alınan araç kullanımda kalmıştır. Tüm periyotlar boyunca tesis

taşıma araçları için kullanılma maliyetine ve birinci periyotta taşıma aracının satın alma maliyetine katlanmıştır.

Çizelge 4.3. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi

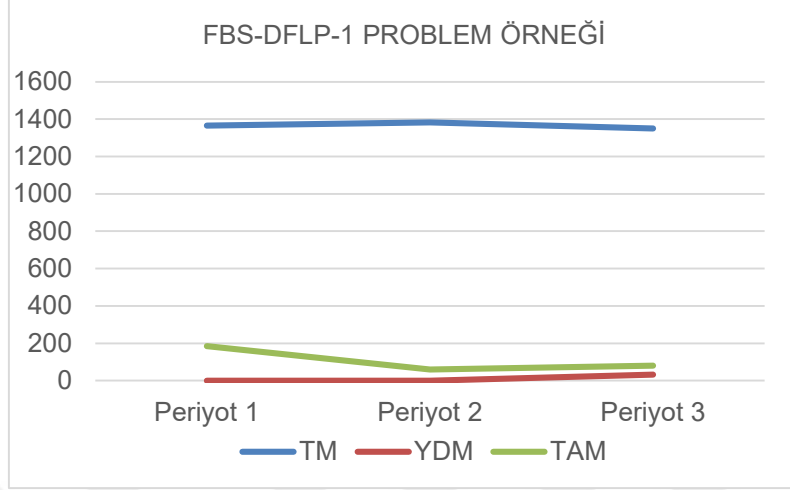
	Periyot 1		Periyot 2		Periyot 2	
	Yeni alınan	Kullanım dışı	Yeni alınan	Kullanım dışı	Yeni alınan	Kullanım dışı
Taşıma Aracı 1	1	0	0	0	0	0
Taşıma Aracı 2	0	0	0	0	0	0

Dinamik tesis düzenleme ile ilgili en önemli olan konulardan biri departmanların yer değiştirme durumudur. Buna göre elde edilen tesis düzeninde departmanların yer değiştirme bilgileri çizelge 4.4’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi

Departmanlar	Tekrar Düzenleme Bilgisi	
	Periyot 2	Periyot 3
1	X	X
2	X	√
3	X	√
4	X	√

Önerilen modelde elde edilen taşıma maliyetleri (TM), yeniden düzenleme maliyetleri (YDM) ve taşıma araçlarının oluşturduğu maliyetler (TAM) periyottan periyoda değişmektedir. FBS-DFLP-1 problemi için periyotlar boyunca maliyetlerin değişikliği şekil 4.3’deki grafikte görülmektedir.



Şekil 4.3. FBS-DFLP-1 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri

Karşılaşılan değişimler periyotlar arasındaki talep dalgalanmaları, taşıma maliyetlerin değişkenliği, taşıma araçlarının taşıma kapasitesi gibi durumlardan etkilenmektedir. FBS-DFLP-1 problemi için taşıma maliyetlerinin periyotlar arasındaki değişimi az olduğu görülmektedir. Talep dalgalanmalarının fazla olmadığı, taşıma birim maliyetlerinin arasındaki değişkenliğin az olduğu ve çözülen problem örneğinin küçük boyutta bir tesis düzenleme problemi olduğunu göstermektedir.

#### 4.1.2. FBS-DFLP-2 Problem Örneği

##### 4.1.2.1. Probleme Kullanılan Veriler

Mazinani ve ark. (2013) tarafından belirtilmeyen maliyetler ve problemin genişlemesi ile taşıma araçlarının atanması için gereken veriler rastgele sayılar üretilerek oluşturulmuştur. EK4'de da FBS-DFLP-2 problemi için departmanlar arasındaki taşıma maliyetleri gösterilmektedir. FBS-DFLP-2 problemi için kullanılan iki çeşit taşıma aracına ait taşıma kapasitesi çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. FBS-DFLP-2 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi

	Taşıma aracı 1					Taşıma aracı 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0	3	3	3	3	1	0	3	3	3
2	3	0	3	3	3	2	3	0	3	3
3	3	3	0	3	3	3	3	3	0	3
4	3	3	3	0	3	4	3	3	3	0
5	3	3	3	3	0	5	3	3	3	0

Taşıma araçları ile ilgili parametrelerde FBS-DFLP-1 probleminden farklı olarak malzeme taşıma kapasiteleri birbirine eşit ve 3 birimdir. Taşıma araçlarının satın alma, kullanılma ve kullanılmama maliyetleri çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6. FBS-DFLP-2 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler

Satın Alma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	155	150
2	140	180
Kullanılmama Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	50	30
2	35	65
Kullanılma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	80	55
2	60	70

#### 4.1.2.2. Problemin Çözümü

Önerilen yaklaşım ile FBS-DFLP-2 problemi çözülmüş ve şekil 4.4'deki tesis düzeni elde edilmiştir. Bu problem için rastgele üretilen taşıma maliyetleri kullanılarak Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında önerilen modelde aynı problem çözülmüş ve farklı tesis düzenleri elde edilmiştir.

Periyot 1			Periyot 2		
4	2	3	2	3	4
5			1		
1			5		

Şekil 4.4. FBS-DFLP-2 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni

Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında önerilen model ile elde edilen tesis düzeni şekil 4.5’de gösterilmiştir. Buna göre elde edilen tesis düzenlerinin farklı olmasının yanında esnek bölme sayısında da değişiklik görülmektedir. Bu durum taşıma araçlarının kullanılmasının tesis içerisindeki esnek bölme sayısı ve yapısına etki ettiğini göstermektedir.

Periyot 1			Periyot 2	
4	2	3	5	3
5			2	
1			1	4

Şekil 4.5. FBS-DFLP-2 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni (Mazinani ve ark. (2013) Modeli)

Yeni tesis düzenlemesine ait taşıma araçları atanmasında kullanılan araç tipi ve sayısı çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi

	Periyot 1		Periyot 2	
	Yeni alınan	Kullanım dışı	Yeni alınan	Kullanım dışı
Taşıma Aracı 1	0	0	0	0
Taşıma Aracı 2	1	0	0	0

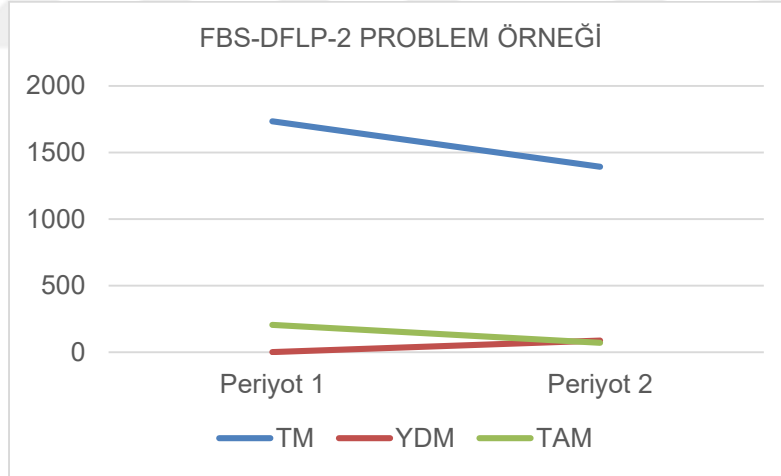
Dinamik tesis düzenleme ile ilgili önemli konulardan biri de departmanların yer değiştirmesidir. Bu durum dinamik tesis düzenlemeyi diğer tesis

düzenlemelerinden ayıran özelliktir. Elde edilen tesis düzenlemesinde departmanların yer değiştirme bilgileri Çizelge 4.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi

Tekrar Düzenleme Bilgisi	
Departmanlar	Periyot 2
1	√
2	√
3	√
4	√
5	√

Periyotlar arasındaki talep değişkenliği ve diğer parametrelerin etkisi taşıma maliyeti, yeniden düzenleme maliyeti ve taşıma araçlarının maliyetini etkilemektedir. Şekil 4.6’da periyotlar arasında bu maliyetlerin nasıl değiştiği grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. FBS-DFLP-2 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri

Grafiğe göre FBS-DFLP-2 problemi küçük boyutlu bir problemidir. Problemin değişkenliğinin ve malzeme akış miktarının az olması diğer problemlere göre çözümü kolaylaştırmaktadır.

### 4.1.3. FBS-DFLP-3 Problem Örneği

#### 4.1.3.1. Problemden Kullanılan Veriler

FBS-DFLP-2 problemi için EK-5’de paylaşılmayan maliyetler ve problemin taşıma araçları atanması ile genişlemesi, taşıma araçları atanması ve departmanlar arası taşıma maliyetleri için gereken verilerin rastgele sayılar üretilerek oluşturulmasını gerektirmiştir. EK6’da FBS-DFLP-3 problemi için departmanlar arasındaki taşıma maliyetleri gösterilmektedir.

Önerilen yeni modelde taşıma araçlarının atanması için gereken parametreler FBS-DFLP-2 probleminde kullanılan veriler ile aynıdır. FBS-DFLP-3 problemi için kullanılan iki çeşit taşıma aracına ait departmanlar arası malzeme taşıma kapasitesi Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. FBS-DFLP-3 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi

	Taşıma aracı 1								Taşıma aracı 2							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	3	3	3	3	3	3	3	1	0	3	3	3	3	3	3
2	3	0	3	3	3	3	3	3	2	3	0	3	3	3	3	3
3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3
4	3	3	3	0	3	3	3	3	4	3	3	3	0	3	3	3
5	3	3	3	3	0	3	3	3	5	3	3	3	3	0	3	3
6	3	3	3	3	3	0	3	3	6	3	3	3	3	3	0	3
7	3	3	3	3	3	3	0	3	7	3	3	3	3	3	0	3
8	3	3	3	3	3	3	3	0	8	3	3	3	3	3	3	0

Taşıma araçlarının satın alınması ve periyottaki talep değişkenliğinden dolayı oluşabilen kullanılmama maliyetleri ve kullanılma maliyetleri bulunmaktadır. Bu maliyetler Çizelge 4.10’da gösterilmiştir. Bu maliyetler taşıma araçları için her periyotta satın alma veya kullanılmama durumunun işletmelere belli bir maliyet oluşturduğunu göstermektedir. Bu maliyetler periyottan periyoda değişebilmektedir.

Bu değişkenliğin dikkate alınması gerçek piyasa koşullarını yansıtmaktadır. Ayrıca taşıma araçlarının kullanılmasının da maliyetleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.10. FBS-DFLP-3 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler

Satın Alma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	150	140
2	135	160
3	160	120
4	145	155
5	125	110
6	130	135
Kullanılmama Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	50	50
2	35	30
3	35	20
4	40	60
5	25	50
6	25	25
Kullanılma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	70	55
2	60	70
3	80	85
4	90	100
5	75	70
6	90	80

#### 4.1.3.2. Problemin Çözümü

İlk iki problemden farklı olarak departman ve periyot sayısı fazla olan FBS-DFLP-3 problemi departmanlar arasındaki malzeme akışı dikkate alındığında orta boyutta bir problem olarak tanımlanabilmektedir. Önerilen yeni matematiksel modelde çözülen problem için şekil 4.7’de gösterilen tesis düzeni elde edilmiştir. Bu problem için üretilen rastgele taşıma maliyetleri Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında önerilen modele de uygulanmıştır.



Periyot 1			Periyot 2			Periyot 3			
6	8	7	4	8	6	4	6	8	
4		5	7		3	3		1	5
2		3	5						2
1			4		6	7	8		3
Periyot 4			Periyot 5			Periyot 6			
4	8	7	7	8	6	4	7	8	
3		6	2		4	3		6	2
1		2	5						3
			4		6	7	8		3

Şekil 4.7. FBS-DFLP-3 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni

Önerilen yaklaşım sonucunda ortaya çıkan yeni tesis düzeni Mazinani ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmadan farklı bulunmuştur. Elde edilen tesis düzeni şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Periyot 1			Periyot 2			Periyot 3				
3	8	7	3	8	8	8	3	2		
2		6	2		7			4	5	7
1		4	5							1
			3		6	8	6	2		7
Periyot 4			Periyot 5			Periyot 6				
8	2	6	8	6	1	8	5	2		
	7	3		5	4			7	4	
	5			1					7	6
	4	3			2	3	3		1	

Şekil 4.8. FBS-DFLP-3 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni (Mazinani ve ark. (2013) Modeli)

Önerilen model ile çözülen problemde elde edilen tesis düzenlemesine ait taşıma araç tipi ve sayısı çizelge 4.11’de belirtilmiştir. Çizelge incelendiğinde

periyotlar arasındaki talep dalgalanmaları birinci periyotta alınan 5 adet taşıma aracından biri dördüncü periyotta kullanılmazken, altıncı periyotta 5 taşıma aracı yetersiz kalmış ve 1 adet taşıma aracı satın alınmıştır. Gözlenen bu durum taşıma aracının oluşan tesis düzenine hassasiyetini göstermektedir.

Çizelge 4.11. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi

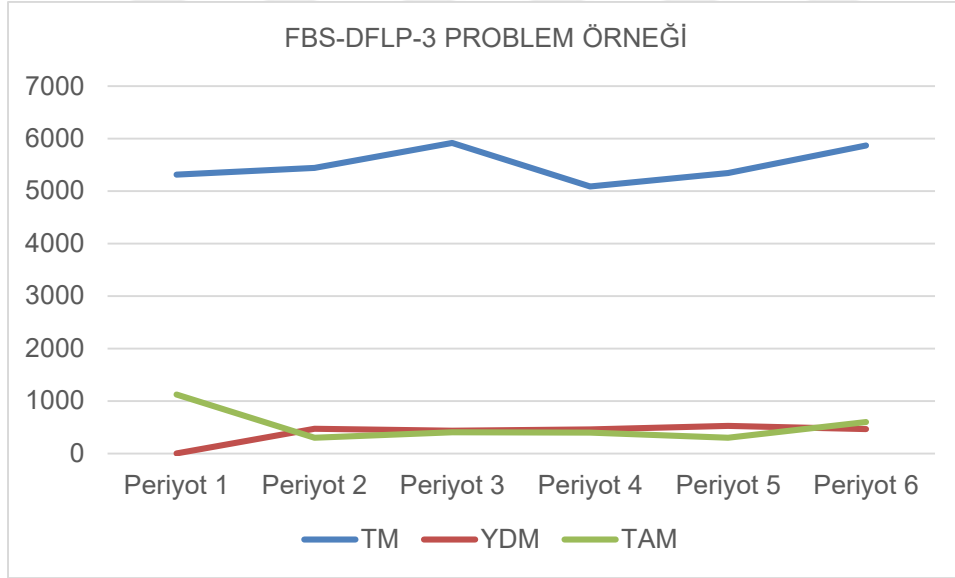
		Taşıma Aracı 1	Taşıma Aracı 2
Periyot 1	Yeni alınan	5	0
	Kullanım dışı	0	0
Periyot 2	Yeni alınan	0	0
	Kullanım dışı	0	0
Periyot 3	Yeni alınan	0	0
	Kullanım dışı	0	0
Periyot 4	Yeni alınan	0	0
	Kullanım dışı	1	0
Periyot 5	Yeni alınan	0	0
	Kullanım dışı	0	0
Periyot 6	Yeni alınan	1	0
	Kullanım dışı	0	0

Özellikle akış miktarı fazla olan problemlerde yeniden düzenlemelerin daha fazla görülmesi beklenmektedir. Bu durum problem boyutu büyüdükçe malzeme akışı ve taşıma maliyetleri artmasından kaynaklanmaktadır. İşletmeler bu maliyet artışını daha az maliyetli olan yeniden düzenleme maliyetlerine katlanarak düşürmeye çalışmaktadır. Elde edilen tesis düzeninde departmanların yer değiştirme bilgileri Çizelge 4.12’de belirtilmiştir. Buna göre yalnızca dördüncü departman üçüncü periyotta yer değiştirmezken geriye kalan tüm periyotlarda tüm departmanlar yer değiştirmiştir.

Çizelge 4.12. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi

Tekrar Düzenleme Bilgisi					
Departmanlar	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5	Periyot 6
1	√	√	√	√	√
2	√	√	√	√	√
3	√	√	√	√	√
4	√	X	√	√	√
5	√	√	√	√	√
6	√	√	√	√	√
7	√	√	√	√	√
8	√	√	√	√	√

Periyot ve departman sayısı arttıkça taşıma, yeniden düzenleme ve taşıma araçlarına ait olan maliyetlerin daha fazla değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.9’da bu maliyetlerin periyotlar boyunca değişimleri yer almaktadır.



Şekil 4.9. FBS-DFLP-3 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri

FBS-DFLP-3 probleminin departmanlara arasındaki malzeme akış miktarı ve değişkenliği göz önüne alındığında çözümü zorlaştıran bir yapıda olduğu görülmektedir.

#### 4.1.4. FBS-DFLP-4 Problem Örneği

##### 4.1.4.1. Problemden Kullanılan Veriler

FBS-DFLP-4 problemi için departmanlar arasındaki taşıma maliyetleri EK8’de gösterilmektedir. FBS-DFLP-4 probleminde kullanılan iki çeşit taşıma aracı bulunmaktadır. Bu taşıma araçlarına ait taşıma kapasitesi çizelge 4.13’de verilmiştir. Taşıma araçlarının kapasitesi birbirine eşit ve 3 birimdir.

Çizelge 4.13. FBS-DFLP-4 Problemi için Taşıma Araçlarının Taşıma Kapasitesi

	Periyot 1												Periyot 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1</b>	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	<b>1</b>	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>2</b>	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	<b>2</b>	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>3</b>	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	<b>3</b>	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>4</b>	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	<b>4</b>	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3
<b>5</b>	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	<b>5</b>	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3
<b>6</b>	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	<b>6</b>	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3
<b>7</b>	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	<b>7</b>	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3
<b>8</b>	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	<b>8</b>	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3
<b>9</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	<b>9</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3
<b>10</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	<b>10</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3
<b>11</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	<b>11</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
<b>12</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	<b>12</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0

Belirtilmeyen maliyetler ve problemin genişletilmesi ile taşıma araçlarının atanması için gereken veriler rastgele sayılar üretilerek oluşturulmuştur. Taşıma araçları için belirlenen parametreler FBS-DFLP-3 problemi ile aynıdır. Taşıma araçlarının satın alınması, periyottaki talep değişkenliğinden dolayı oluşabilen taşıma araçlarının kullanılmama maliyetleri bulunmaktadır. Ayrıca her periyotta taşıma araçlarının kullanılma maliyetleri bulunmaktadır. Bu maliyetler Çizelge 4.14’de görülmektedir.

Çizelge 4.14. FBS-DFLP-4 Problemi için Yeni Taşıma Araçlarının Satın Alınması, Kullanılması ve Kullanılmamasının Oluşturduğu Maliyetler

Satın Alma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	150	140
2	135	160
3	160	120
4	145	155
Kullanılmama Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	50	50
2	35	30
3	35	20
4	40	60
Kullanılma Maliyeti		
Periyot	Taşıma aracı 1	Taşıma aracı 2
1	30	55
2	60	70
3	80	90
4	90	75

#### 4.1.4.2. Problemin Çözümü

Önerilen yaklaşım sonucunda ortaya çıkan yeni tesis düzeni Mazinani ve ark. (2013), tarafından yapılan çalışmadan farklı bulunmuştur. Önerilen yeni model için üretilen malzeme taşıma maliyetleri her iki modelde kullanılmış ve tesis düzenininin farklı çıktığı görülmüştür. Bu durum taşıma araçlarının tesis düzenini etkilediğini ortaya koymaktadır. Önerilen yaklaşım ile elde edilen tesis düzeni şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Periyot 1					Periyot 2					
10	11	12	5		8	7	9	5		
3		4	7		10		11	4	6	
2			9		2				3	
8		6	1		12		1			
Periyot 3					Periyot 4					
10	1	11	5	6	11	2	9	10	8	
2	9		4	7	1	7	5	12	6	
12				8	4				3	
3					4					

Şekil 4.10. FBS-DFLP-4 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni

Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında önerilen modelle elde edilen tesis düzeni şekil 4.11’de sunulmuştur. İki düzen karşılaştırıldığında taşıma araçlarının kullanılmasının tesis düzenini etkilediği açık bir şekilde görülmektedir.

Periyot 1					Periyot 2					
11	7	3	12	1	9	7	12	6	11	
		10	6		8		2	5		
		5	10	10	1			3		
		2	9	4	2		4			
Periyot 3					Periyot 4					
8	11	12	9	8	12	2	7	11		
2		10	5	6	10		9	5	1	
4		3			4					
7		6	1		3					

Şekil 4.11. FBS-DFLP-4 Problemi İçin Optimum Tesis Düzeni (Mazinani ve ark. (2013) Modeli)

Yeni tesis düzenine ait taşıma araçları atanmasında kullanılan araç tipi ve araç sayısı çizelge 4.15’de belirtilmiştir. Buna göre departmanlar arasında 11 adet taşıma aracı malzeme taşımaktadır. Malzeme taşıma araçlarının periyotlar değişikçe

kullanılmama veya satın alma durumunun oluşmaması talep dalgalanmalarının çok fazla olmadığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.15. Taşıma Araçları Kullanım Bilgisi

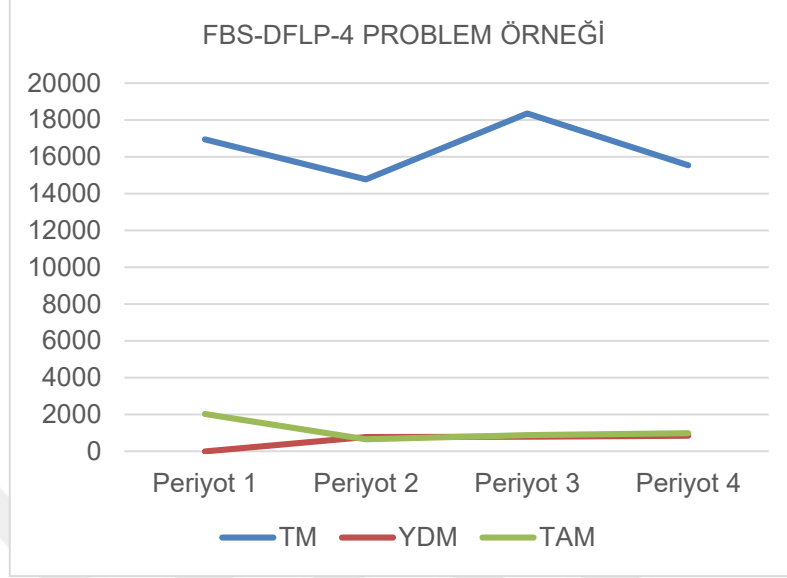
	Periyot 1		Periyot 2		Periyot 3		Periyot 4	
	Yeni alınan	Kullanım dışı	Yeni alınan	Kullanım dışı	Yeni alınan	Kullanım dışı	Yeni alınan	Kullanım dışı
Taşıma Aracı 1	11	0	0	0	0	0	0	0
Taşıma Aracı 2	0	0	0	0	0	0	0	0

Dinamik tesis düzenlemesini diğer tesis düzenleme problemlerinden ayıran en temel özellik departmanların yer değiştirmesidir. Elde edilen tesis düzeninde departmanların yer değiştirme bilgileri Çizelge 4.16’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.16. Departmanların Yer Değiştirme Bilgisi

Tekrar Düzenleme Bilgisi			
Departmanlar	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4
1	√	√	√
2	√	√	√
3	√	√	√
4	√	√	√
5	√	√	√
6	√	√	√
7	√	√	√
8	√	√	√
9	√	√	√
10	√	√	√
11	√	√	√
12	√	√	√

Tesis düzenleme yapılırken dikkate alınan malzeme taşıma maliyetleri, yeniden düzenleme maliyetleri ve taşıma araçlarının oluşturduğu maliyetler periyottan periyoda değişkenlik göstermektedir. Problemin büyüklüğüne göre bu değişim artıp azalmaktadır. Şekil 4.12’de maliyetlerin periyotlar boyunca nasıl değiştiği gösterilmektedir.



Şekil 4.12. FBS-DFLP-4 Problemi için Periyotlar Arasındaki Maliyet Değişimleri

FBS-DFLP-4 problemi departmanlar arasında malzeme akışı fazla olan, departmanların fazla yer değiştirdiği orta büyüklükte bir problemdir. Departman ve periyot sayısının fazla olması problemin çözümünü zorlaştıran faktörlerdir.

#### 4.2. Senaryo Analizi

Dinamik tesis düzenlenmesi için önerilen yaklaşım, taşıma araçlarının atanması ve esnek bölme yapısının bir arada kullanılması ile farklı tesis düzenleri elde etmiştir. Özellikle Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında yalnız esnek bölme yapısını içeren yaklaşım ile bu çalışmada önerilen yaklaşımın farklı sonuçlara sahip olduğu problem çözümlerinde ortaya konulmuştur. Bunun yanında önerilen yaklaşımının farklı koşullardaki çözüm duyarlılığını belirlenmesi için çeşitli senaryolar altında model test edilmiştir.



Çizelge 4.17. Taşıma Aracı Kapasitesi Değişimi ( $\pm 30\%$ )

Değişkenler	Taşıma Aracı Kapasitesi		
	%30	0	-%30
Taşıma maliyeti	23985,898	23282,613	23235,622
Taşıma araçların maliyeti	3235	3050	4280
Yer değiştirme maliyeti	2498,603	2511,935	2558,926
Toplam maliyet	29719,501	28844,548	30074,548
Toplam akış	5239	5239	5239
Toplam yer değiştirme	276,824	285,412	288,763
Periyot başına ortalama malzeme taşıma aracı sayısı	2,3	2,5	3,5
Periyot başına ortalama yeni alınan araç sayısı	0,5	0,4	0,6
Periyot başına ortalama kullanılmayan araç sayısı	0,2	0	0

Bu senaryolardan ilkinde taşıma araçlarının kapasite değişimi ele alınmıştır. Çizelge 4.17’de  $\pm 30\%$  aralığında taşıma aracı kapasitesi değişiminin tesis düzenlemesine olan etkisi görülmektedir. Taşıma araç kapasitesinin artması kullanılmayan taşıma aracında artışa neden olurken periyot başına kullanılan taşıma aracı sayısında azalma görülmüştür. Taşıma aracının kapasitesinin azalması yeni alınan taşıma aracı sayısını ve toplam maliyeti artırmıştır. Taşıma araçlarının artıp azalması yer değiştirme miktarlarını ve maliyetlerini değiştirmiş, böylece tesis düzenine doğrudan etki etmiştir. Özellikle taşıma kapasitesinin azalması daha fazla taşıma aracı ihtiyacı doğurarak toplam maliyete doğrudan etki etmiştir.

Çizelge 4.18. Departmanlar Arası Birim Malzeme Taşıma Maliyeti Değişimi ( $\pm 30\%$ )

Değişkenler	Departmanlar Arası Birim Malzeme Taşıma Maliyeti Değişimi				
	%30	%15	0	-%15	-%30
Taşıma maliyeti	30659,74	25182,64	23282,61	20655,73	17445,17
Taşıma araçlarının maliyeti	3015	3260	3050	3080	3496
Yer değiştirme maliyeti	2563,765	2653,54	2511,935	2516,133	2573,669
Toplam maliyet	36238,51	31096,18	28844,55	26251,87	23514,839
Toplam akış	5239	5239	5239	5239	5239
Toplam yer değiştirme	308,684	347,243	285,412	284,996	343,535
Periyot başına ortalama malzeme taşıma aracı sayısı	2,3	2,3	2,5	2,5	2,7
Periyot başına ortalama yeni alınan araç sayısı	0,5	0,7	0,4	0,4	0,6
Periyot başına ortalama kullanılmayan araç sayısı	0,1	0	0	0	0,1

Taşıma aracının kapasitesinin dışında piyasa şartlarında artan yakıt ve işgücü maliyetleri malzeme taşıma maliyetlerini de artırmaktadır. Malzeme taşıma maliyetlerinin  $\pm 30\%$  aralığında değişimi çizelge 4.18'de görülmektedir.

Departmanlar arasında malzeme taşıma maliyetlerinin artışı doğrudan toplam maliyeti artırmıştır. Ayrıca taşıma araçlarında kullanılmama durumuna neden olmuş ve periyot başına satın alınan ve kullanılan taşıma araçları oranını düşürmüştür. Birim taşıma maliyetinin düşmesi toplam maliyeti düşürürken taşıma araçlarının maliyetini ve yer değiştirme maliyetlerini artırmıştır. Ayrıca yeni malzeme taşıma araçlarının alımlarını artırmıştır.

Çizelge 4.19. Departmanlar Arası Malzeme Akış Miktarı Değişimi ( $\pm 30\%$ )

Değişkenler	Departmanlar Arası Malzeme Akış Miktarı Değişimi				
	%30	%15	0	-%15	-%30
Taşıma maliyeti	26111,13	24485,22	23282,61	23304,87	22224,783
Taşıma araçların maliyeti	4866	3100	3050	2825	2825
Yer değiştirme maliyeti	2527,348	2399,513	2511,935	2500,277	2516,165
Toplam maliyet	33504,48	29984,73	28844,55	28630,14	27565,948
Toplam akış	6810,7	6024,85	5239	4453,15	3667,3
Toplam yer değiştirme	316,413	242,644	285,412	283,454	283,005
Periyot başına ortalama malzeme taşıma aracı sayısı	2,7	2,5	2,5	2,3	2,3
Periyot başına ortalama yeni alınan araç sayısı	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Periyot başına ortalama kullanılmayan araç sayısı	0,7	0	0	0,1	0,1

Çizelge 4.19’da malzeme akış miktarının artması kullanılan ve kullanılm dışı kalan malzeme taşıma araçlarının oranını artırmıştır. Ayrıca bu değişimler departmanların yer değiştirme maliyetlerine yansımış ve tesis düzeninin farklılaşmasını sağlamıştır. Departmanlar arası malzeme akışındaki değişim toplam maliyetler üzerinde taşıma maliyetleri değişimi ile benzerlik göstermekle beraber taşıma araçlarında ters bir orantı söz konusudur. Taşıma araçlarının sayısının artması taşınacak malzeme miktarı ile doğrudan ilişkili olmaktadır.

#### 4.3. Önerilen Modelin İki Aşamalı Model Çözümü ile Karşılaştırılması

Önerilen yaklaşımda oluşan maliyetlerin dağılımı tesis düzenlenmesinde taşıma, yeniden düzenleme ve taşıma araçlarının maliyetinin önemi açısından önemlidir. Çizelge 4.20’de tesis düzenlemesi yapılırken ortaya çıkan maliyetler ve toplam maliyet içindeki paylarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.20. Önerilen Yaklaşım İçin Toplam Maliyetin Dağılımı

Problemler	Taşıma maliyetleri	Taşıma araçlarının maliyeti	Yer değiştirme maliyetleri	Toplam maliyet
FBS-DFLP-1	4097,679	325	32,278	4454,957
	91,98%	7,30%	0,72%	100,00%
FBS-DFLP-2	3125,962	275	87,75	3488,712
	89,60%	7,88%	2,52%	100,00%
FBS-DFLP-3	32963,195	3120	2348,018	38431,213
	85,77%	8,12%	6,11%	100,00%
FBS-DFLP-4	65613,306	4565	2415,93	72594,236
	90,38%	6,29%	3,33%	100,00%

Ortaya çıkan maliyetlere bakıldığında taşıma maliyetlerinin %85 ile %92 arasında bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu oran literatürde yaygın olarak ele alınan taşıma maliyetlerinin önemini ortaya koymaktadır. Taşıma araçlarının maliyeti toplam maliyet içerisinde %6 ile %8'lik bir paya sahip olurken problem boyutunun artması genel olarak bu oranı artırmaktadır. Yer değiştirme maliyetlerine bakıldığında ise oran %0,5 ile %6'lık bir aralıkta değişmektedir. Özellikle taşıma maliyetlerinin oranının yer değiştirmeler yapılarak düşürüldüğü görülmektedir.

Ele alınan probleme, dinamik tesis düzenlemesi probleminin çözülmesiyle elde edilen sonuçlara malzeme taşıma araçlarının atanması kararlarının gerçekleştirilmesiyle iki aşamalı olarak çözüm aranabilir. Bu kapsamda, Mazinani ve ark. (2013) tarafından önerilen esnek bölme matematiksel modelin sonuçları girdi olarak kullanılarak malzeme taşıma atamaları gerçekleştirildiğinde oluşturulan iki aşamalı çözüm yaklaşımı ile önerilen matematiksel modelin sonuçları her bir problem için kıyaslanmıştır. Böylece taşıma araçlarının atanması ile esnek bölme yapısına sahip dinamik tesis düzenleme probleminin entegre olarak ele alınmasının sağlayacağı fayda irdelenmiştir. Çizelge 4.21'de iki aşamalı çözüm ve önerilen yaklaşım ile elde edilen tesis düzenlemesinde ortaya çıkan maliyetler görülmektedir.

Çizelge 4.21. Önerilen Yaklaşım ile İki Aşamalı Yaklaşımın Maliyetlerinin Karşılaştırılması

İki Aşamalı Çözüm				
Problemler	Taşıma maliyetleri	Yeniden düzenleme maliyetleri	Taşıma araçlarının maliyeti	Toplam maliyet
FBS-DFLP-1	4145,24	0,00	665,00	4810,24
FBS-DFLP-2	3222,02	72,50	275,00	3569,52
FBS-DFLP-3	40013,74	1691,52	3060,00	44765,26
FBS-DFLP-4	68929,92	2421,38	4565,00	75916,30
Önerilen Yaklaşım				
Problemler	Taşıma maliyetleri	Yeniden düzenleme maliyetleri	Taşıma araçlarının maliyeti	Toplam maliyet
FBS-DFLP-1	4097,68	32,28	325,00	4454,96
FBS-DFLP-2	3125,96	87,75	275,00	3488,71
FBS-DFLP-3	32963,20	2348,02	3120,00	38431,21
FBS-DFLP-4	65613,31	2415,93	4565,00	72594,24

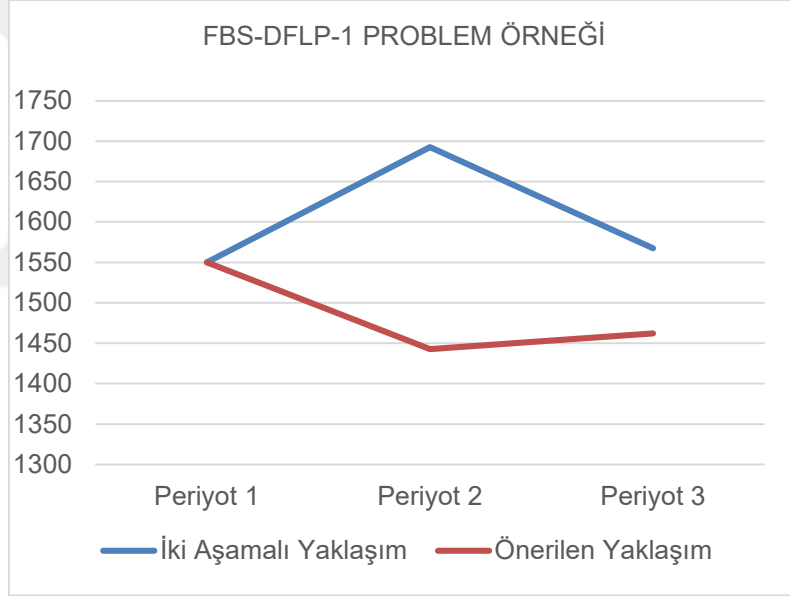
Önerilen yaklaşım sonuçları iki aşamalı çözüm ile karşılaştırıldığında tüm problem örnekleri için toplam maliyetlerde önemli bir farklılık görülmektedir. Taşıma araçları sonradan atanan iki aşamalı çözümde, toplam maliyetlerle beraber taşıma maliyetlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum taşıma araçlarının esnek bölme yapısıyla beraber ele alınmasının tesis düzenleme maliyetini azalttığını ortaya koymaktadır. Ayrıca önerilen yaklaşım doğrudan taşıma maliyetlerinin azalmasına etki etmektedir.

Önerilen yaklaşım ile iki aşamalı yaklaşım incelendiğinde, bazı problem örneklerinde taşıma aracı atama maliyetleri aynı da olsa önerilen yaklaşımda taşıma maliyetlerinin azaldığı ve yer değiştirme kararlarının değiştiği görülmektedir. Bu durum maliyetlerin azalmasına ek olarak entegre olarak alınan taşıma aracı atanma kararlarının tesis düzeni üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

İki aşamalı yaklaşım ve önerilen yaklaşım çözümlerinde periyotlar bazında toplam maliyetler incelenmiş ve grafiklerle ifade edilmiştir. Şekil 4.13'de FBS-

DFLP-1 probleminin iki aşamalı ve önerilen yaklaşımla çözümünden elde edilen periyot bazında toplam maliyetler gösterilmektedir.

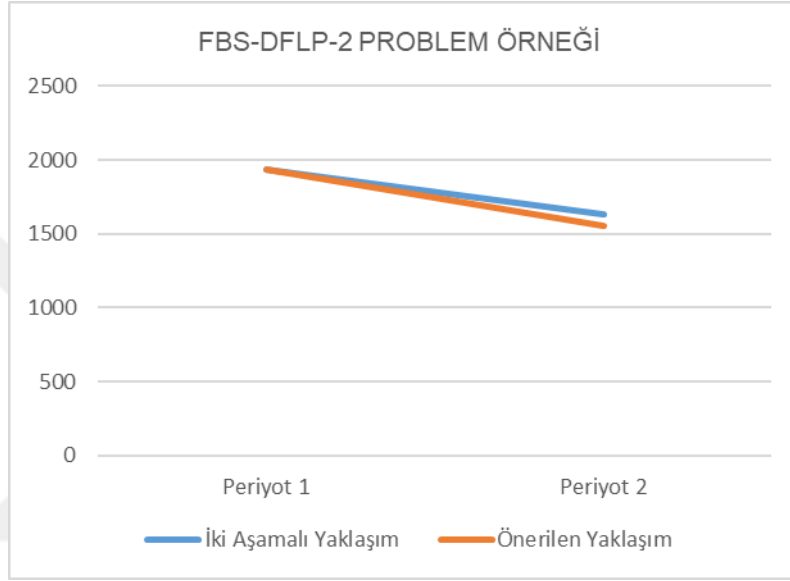
Şekil 4.13'deki grafik incelendiğinde toplam maliyetin ikinci periyoda kadar sürekli bir artışa sahip olduğu görülmektedir. Bu artışın temel sebebinin artan taşıma maliyetleri olduğudur. Önerilen yaklaşımda taşıma maliyetlerinin ikinci periyoda kadar azalması, taşıma araçlarının atanma kararlarının eş zamanlı olarak yapılmasının etkisini ortaya koymaktadır. Önerilen yaklaşımda son periyotta yer değiştirmelerin yapılması toplam maliyeti artırsa da taşıma maliyetlerinin daha büyük bir artışını engellemiştir.



Şekil 4.13. FBS-DFLP-1 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması

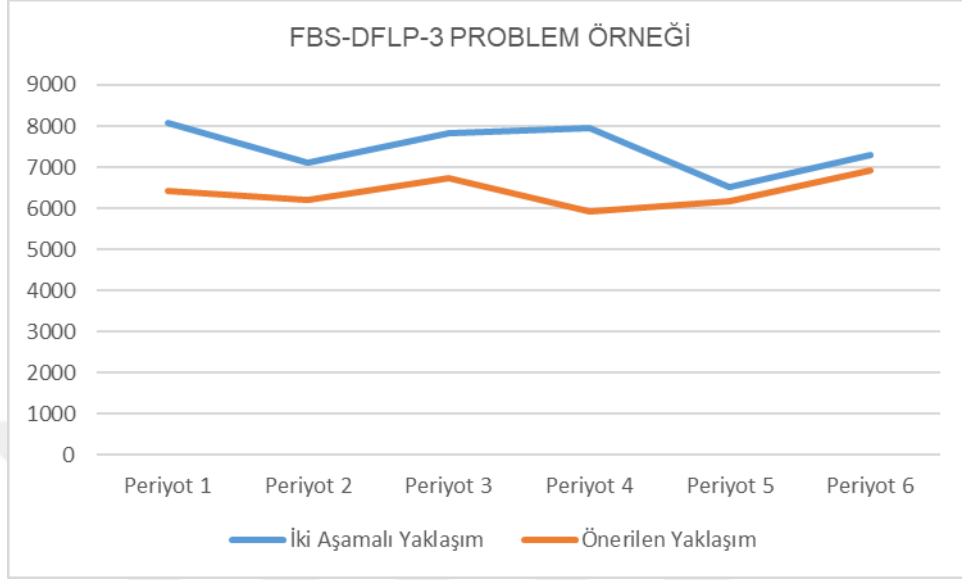
Şekil 4.14'de FBS-DFLP-2 problemi için önerilen yaklaşım ve iki aşamalı yaklaşımın periyotlar bazında toplam maliyetleri görülmektedir. FBS-DFLP-2 probleminde yeniden düzenlemelerin olmasıyla beraber taşıma maliyetlerinin azaldığı görülmektedir. Yeniden düzenlemelerle beraber taşıma araçlarının oluşturduğu maliyetlerin de azalması toplam maliyete etki etmiştir. Her iki yaklaşım

toplam maliyette benzer azalma eğilimi göstermiştir. Ancak önerilen yaklaşımda yeniden düzenlemenin yapılması ve taşıma araçlarının atanması eş zamanlı olarak gerçekleştiği için önerilen yaklaşım daha az maliyet ile tesis düzenlenmesini gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.14. FBS-DFLP-2 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması

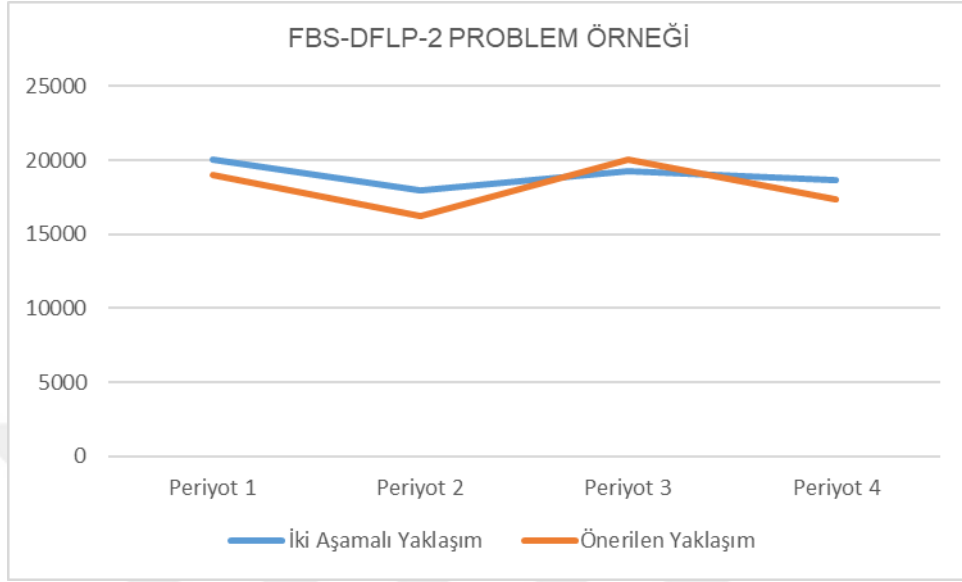
Şekil 4.15’de FBS-DFLP-3 problem örneğinin önerilen yaklaşım ve iki aşamalı yaklaşım ile çözümünden elde edilen toplam maliyetler periyot bazında görülmektedir. Taşıma maliyetleri, taleplerin değişimi ile farklı periyotlarda artıp azalmaktadır. Toplam taşıma maliyetlerine bakıldığında ise önerilen yaklaşıma göre daha fazla bir maliyet söz konusudur. Bu da taşıma araçlarının sonradan atanmasından kaynaklanmaktadır. Önerilen yaklaşımda taşıma araçlarının atanmasının eş zamanlı yapılması yeniden düzenleme miktarlarını etkileyerek taşıma maliyetlerini azaltmaktadır. Bu durum toplam maliyeti düşürmektedir.



Şekil 4.15. FBS-DFLP-3 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması

Son olarak şekil 4.16’da FBS-DFLP-4 probleminin önerilen yaklaşım ve iki aşamalı yaklaşım ile çözümünden elde edilen toplam maliyetler periyot bazında grafik üzerinde gösterilmiştir. İki aşamalı yaklaşımda daha önceki problemlere benzer olarak taşıma maliyetlerinin önerilen yaklaşımdan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde yer değiştirme maliyetleri önerilen yaklaşıma oranla daha düşük olan iki aşamalı yaklaşımda, yapılan yer değiştirmelerin taşıma maliyetlerini daha az etkilediği söylenebilmektedir. Bu durum toplam maliyetlerde iki aşamalı yaklaşımı daha maliyetli duruma getirmektedir.





Şekil 4.16. FBS-DFLP-4 Probleminin Periyotlar Bazında Toplam Maliyetinin Karşılaştırılması

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz rekabet koşulları ürün kalitesinin dışında müşteri isteğine uygun özelliklere sahip ve müşterinin istediği zamanda ürün tedarikini gerekli kılmıştır. Bu durum işletmelerin esnek ve hızlı olmasının yanında piyasa şartlarında rekabet edilebilmesi için rakipleri ile benzer fiyat politikaları izlenmesini gerektirmektedir. İşletmeler tüm bu şartlarda üretim yaparken aynı zamanda daha fazla kâr etmeye çalışmaktadır. Daha fazla kâr etmenin en önemli yollarından birisi maliyetleri azaltmaktır. Bu nedenle işletmeler üretim esnasında katma değeri olmayan tüm işlemlerden doğan maliyetleri ortadan kaldırmaya çalışmaktadır.

Tesis içerisinde en önemli maliyetlerden birini departmanlar arasındaki taşıma maliyetleri oluşturmaktadır. Tesis içerisindeki taşımalar ürüne herhangi bir katma değer sağlamazken çevrim süresinin artmasına ve tesis alanının verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Taşıma maliyetlerini azaltmak için kullanılan en önemli araçlardan biri uygun tesis düzenlemesinin sağlanmasıdır. Günümüzde talep değişkenliğinin fazla olması belli periyotlar boyunca farklı tesis düzenlenmesini öngören dinamik tesis düzenlemesinin kullanılmasını gerektirmiştir. Bu çalışmada dinamik tesis düzenlenmesi yapılırken esnek bölme yapısı ve taşıma araçlarının atanması kararları da göz önüne alınarak gerçek sanayi uygulamalarına yakın yerleşim düzenleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında geliştirilen karma tamsayılı matematiksel modele taşıma araçlarının kısıt ve amaç terimleri eklenerek yeni bir matematiksel model elde edilmiştir. Bu model esnek bölme yapısı ve taşıma araçlarının kullanılmasını bir arada ele alarak yeni tesis düzenlerinin elde edilmesine olanak vermiştir. Modelin test edilmesi için Mazinani ve ark. (2013), çalışmasında kullanılan 4 farklı problem örneği çözülmüştür. Bu işlem yapılırken modelin çalışması için gerekli olan verilerin bir kısmı rastgele sayılar üretilerek elde edilmiştir. Test edilen model sonucunda tesis düzenlenmesi üzerinde taşıma araçlarının atanma kararlarının etkili olduğu görülmüştür.

Ele alınan problem örnekleri çözüldüğünde modelin ilk iki problem örneğinin makul sürelerde (30 dakikanın altında) çözdüğü, diğer iki problem örneğinin ise çözüm süresinin fazla (6 saatten fazla) sürdüğü gözlenmiştir. Problemlere bakıldığında periyot ve departman sayısının artması çözüm sürelerini uzatmıştır. Taşıma araçlarının kullanılması, kullanılmaması ve satın alınması tesis düzenlenmesinin değişmesine neden olmuştur. Bu değişiklikler Mazinani ve ark. (2013), çalışmasındaki model ile bu çalışmadaki yeni modelin aynı verilerle test edilmesi ile ortaya konmuştur. Buna göre aynı veri setlerini kullanan modeller farklı tesis düzenlemeleri elde etmiştir.

Oluşturulan yeni modelin farklı parametre değerleri altında test edilmesi için çeşitli senaryo analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolardan yola çıkarak taşıma araçlarının kapasitelerinin azalması ve artması toplam maliyetin artması ile sonuçlanırken bunun nedenleri farklılık göstermektedir. Taşıma kapasitesinin azalması daha fazla taşıma aracı satın alınması, kullanılmaması ve kullanılmasına neden olmuş ve bu durum toplam taşıma aracı kullanım maliyetini artırmıştır. Yeniden düzenleme maliyetini de artıran taşıma araçlarının kapasite değişimleri tesis düzenlemesinin farklılaşmasını da etkilemiştir.

Bunun dışında birim taşıma maliyeti ve departmanlar arasında taşınan malzeme miktarlarının artması da toplam maliyeti artırdığı görülmüştür. Ayrıca bu parametreler taşıma araçlarının satın alınmasını, kullanılmasını ve kullanılmamasını da etkileyerek tesis düzenlemesi üzerinde etkili olmuştur. Taşıma maliyetlerinin azalması taşıma aracı sayısında artmaya neden olurken maliyetlerin artması taşıma aracı sayısının azalmasına sebep olmuştur. Beklenildiği üzere departmanlar arasındaki malzeme akış miktarının artması taşıma araçlarının satın alınmasını, kullanılmasını ve kullanılmamasını artırmıştır. Kullanılmama oranının artması periyotlar arasında talep değişkinliklerinden kaynaklanmıştır.

Genel olarak çözülen problemlere bakıldığında orta ve küçük boyutta problemler ele alınmıştır. Orta boyutlu problemlerin çözümü çok fazla zaman almaktadır. Bundan dolayı orta ve daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için

sezgisel yöntemlerin kullanılması çözüm süresi etkinliği sağlamak açısından önerilmektedir. Ayrıca çözülen problemlerde deterministik olarak üretilen departmanlar arasındaki malzeme akışı stokastik olarak üretilip problemler tekrar çözülebilir. Taşıma kapasiteleri, çalışma kapasite oranı gibi parametreler bulanık olarak elde edilerek problemlerde kullanılabilir. Taşıma araçlarının kiralanması gibi durumların göz önüne alındığı farklı koşullar modele eklenebilir.





## KAYNAKLAR

- Amaral A. R. S., 2006. On the exact solution of a facility layout problem, *European Journal of Operational Research* 173, 508–518.
- Amaral A. R. S., 2009. A new lower bound for the single row facility layout problem, *Discrete Applied Mathematics* 157, 183–190
- Amaral A. R. S., ve Letchford A. N., 2013. A polyhedral approach to the single row facility layout problem, *Math. Program., Ser. A*, 141:453–477, DOI 10.1007/s10107-012-0533-z
- Anjos M. F., Kennings A. ve Vannelli A., 2005. A semidefinite optimization approach for the single-row layout problem with unequal dimensions, *Discrete Optimization* 2, 113–122
- Anjos M. F., ve Yen G., 2009. Provably near-optimal solutions for very large single-row facility layout problems, *Optimization Methods & Software* Vol. 24, Nos. 4–5, 805–817
- Asl A.D., ve Wong K. Y., 2017. Solving unequal-area static and dynamic facility layout problems using modified particle swarm optimization, *J Intell Manuf* 28:1317–1336
- Azevedo M. M., Crispim J. A., ve Sousa J. P., 2017. A dynamic multi-objective approach for the reconfigurable multi-facility layout problem, *Journal of Manufacturing Systems* 42, 140–152
- Baki R., 2014. Harmoni Arama Algoritması ile Tek Sıra Tesis Düzenleme Probleminin Çözümü, Yüksek Lisan Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,
- Balakrishnan J., Cheng C., ve Wong K., 2003. FACOPT: a user friendly FACility layout OPTimization system, *Computers & Operations Research* 30, 1625–1641.
- Brown, D. E., Huntley, C. L., ve Spillane, A. R., 1989. “A Parallel Genetic Heuristic for The Quadratic Assignment Problem”, in *Proc of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms*, 406-415.

- Deb S. K., ve Bhattacharyya B., 2005. Fuzzy Desicion Support System for Manufacturing Facility Layout Planning, *Decision Support Systems* 40,305–314.
- Devise, O., ve Pierreval, H., 2000. Indicators for measuring performances of morphology and material handling systems in flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 64(1-3), 209-218.
- Drira, A., Pierreval, H., ve Hajri-Gabouj, S., 2007. Facility layout problems: A survey. *Annual reviews in control*, 31(2), 255-267.
- Duman, C., 2007. Genetik algoritma ile tesis yerleşimi tasarımı ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10,12-14, 86-88
- Durmaz E. D., ve Şahin R., 2017. Çok Amaçlı Tek Sıra Tesis Düzenleme Probleminin Çözümü İçin NSGA-II ve Hedef Programlama Yaklaşımı, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 32, No 3*, 941-955.
- Erkut, H., ve Baskak, M., 1996. Stratejiden Uygulamaya Tesis Tasarımı, İrfan Yayıncılık, İstanbul
- Ertay T., Ruan D., ve Tuzkaya U. R., 2006. Integrating Data Envelopment Analysis and Analytic Hierarchy for The Facility Layout Design in Manufacturing Systems, *Information Sciences* 176 ,237–262.
- Eklund, N. H., Embrechts, M. J., ve Goetschalckx, M., 2003. An efficient chromosome encoding and problem-specific mutation methods for the flexible bay facility layout problem. In *Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Soft Computing in Industrial Applications, 2003. SMCia/03.* (pp. 109-113). IEEE.
- Fıratlı E., 1983. İmalat Sanayinde Fabrika İçi Yerleşim Düzenlemesi ve Eskişehir Bölgesinde Uygulamanın İncelenmesi, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, No:11, Eskişehir, 8-11.

- Helber S., Böhme D., Oucherif F., Lagershausen S., ve Kasper S., 2016. A hierarchical facility layout planning approach for large and complex hospitals, *Flex Serv Manuf J*, 28:5–29 DOI 10.1007/s10696-015-9214-6
- Hosseini-Nasab H., Fereidouni S., Ghomi S. M. T. F., ve Fakhrzad M. B., 2018. Classification of facility layout problems: a review study, *Int J Adv Manuf Technol* 94:957–977 DOI 10.1007/s00170-017-0895-8
- Hunagund I. B., Pillai V. M., ve Kempaiab U. N., 2018. A simulated annealing algorithm for unequal area dynamic facility layout problems with flexible bay structure, *International Journal of Industrial Engineering Computations* 9, 307–330
- Hungerländer P., ve Rendl F., 2013. A computational study and survey of methods for the single-row facility layout problem, *Comput Optim Appl*, 55:1–20, DOI 10.1007/s10589-012-9505-8
- Islir, A. A., 1998. A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design. *International Journal of Production Research*, 36(6), 1549-1569.
- Karasay, T., 2016. Mekanik otopark tesislerinin yer seçimi ve boyutlandırılması için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kheirkhah A., ve Bidgoli M. M., 2016. Dynamic facility layout problem under competitive environment: a new formulation and some meta-heuristic solution methods, *Prod. Eng. Res. Devel.* 10:615–632 DOI 10.1007/s11740-016-0703-6
- Kheirkhah A., Navidi H., ve Bidgoli M. M., 2015. Dynamic Facility Layout Problem: A New Bilevel Formulation and Some Metaheuristic Solution Methods, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 62, No. 3.
- Kılınç, K., 2018. Yüksek üretim esnekliği olan bir fabrikada atölye tipi üretimden hücreli üretime geçiş: Bir simülasyon modeli, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri



- Kothari R., ve Ghosh D., 2014a. A scatter search algorithm for the single row facility layout problem, *J Heuristics*, 20:125–142, DOI 10.1007/s10732-013-9234-x
- Kothari R., ve Ghosh D., 2014b. An efficient genetic algorithm for single row facility layout, *Optim Lett* 8:679–690, DOI 10.1007/s11590-012-0605-2
- Kuisak A. ve Heragu S. S., 1987. The Facility Layout Problem, *European Journal of Operational Research* 29 229-251
- Kulkarni M. H., Bhatwadekar, S. G., ve Thakur H. M., 2015. A Literature Review of Facility Planning and Plant Layouts, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 35-42.
- Kulturel-Konak S., ve Konak A., 2014. A large-scale hybrid simulated annealing algorithm for cyclic facility layout problems, *Engineering Optimization*, <http://dx.doi.org/10.1080/0305215X.2014.933825>
- Kulturel-Konak S., 2017. A Matheuristic Approach for Solving the Dynamic Facility Layout Problem. *Procedia Computer Science*, 108, 1374-1383.
- Kumar K.R., Hadjinicola, G.C., ve Lin, T.L., 1995. A heuristic procedure for the single row facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 87, 65–73.
- Lee, Y. H., ve Lee, M. H., 2002. A shape-based block layout approach to facility layout problems using hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 42(2-4), 237-248.
- Lenin N., Kumar M. S., Islam M. N., ve Ravindran D., 2013. Multi-objective optimization in single-row layout design using a genetic algorithm, *Int J Adv Manuf Technol* 67:1777–1790. DOI 10.1007/s00170-012-4608-z
- Mazinani, M., Abedzadeh, M., ve Mohebali, N., 2013. Dynamic facility layout problem based on flexible bay structure and solving by genetic algorithm. *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 65(5– 8), 929–943

- McKendall A.R., ve Shang J., 2006. Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem, *Computers & Operations Research* 33, 790–803.
- Moslemipour G., 2018. A hybrid CS-SA intelligent approach to solve uncertain dynamic facility layout problems considering dependency of demands, *J Ind Eng Int* 14:429–442
- Palubeckis G., 2015. Fast simulated annealing for single-row equidistant facility layout, *Applied Mathematics and Computation* 263, 287-301  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2015.04.073>
- Panneerselvam, R., 2006. *Production and operations management*. New Delhi: PKI Learning Pvt. Ltd.
- Picard, J.C., ve Queyranne, M., 1981. On the one-dimensional space allocation problem. *Operations Research*, 29(2), 371-391.
- Pourvaziri, H., ve Pierreval, H., 2017. Dynamic facility layout problem based on open queuing network theory. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 538-553.
- Sahni, S., ve Gonzalez, T., 1976. P-complete approximation problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 23(3), 555-565.
- Solimanpur M., Vrat P., ve Sahnakar R., 2005. An ant algorithm for the single row layout problem in flexible manufacturing systems, *Computers & Operations Research* 32, 583–598
- Sule D. R., 1994. *Manufacturing Facilities Location, Planning and Design* 2nd ed., PWS Publishing Company, Boston, 435.
- Şahin R., 2004. Çok Kriterli Dinamik Tesisi Düzenleme Probleminin Tavlama Benzetimi ile Çözülmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,
- Şahin R., 2008. Dinamik Tesis Düzenleme Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi Sezgiseli, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 23, No 4, 863-870.
- Tambunan, M., Ginting, E., ve Sâri, R. M., 2018. Production facility layout by comparing moment displacement using BLOCPLAN and ALDEP

- Algorithms. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 309, No. 1, p. 012032.
- Tate, D. M., ve Smith, A. E., 1995. A genetic approach to the quadratic assignment problem. *Computers & Operations Research*, 22(1), 73-83.
- Tavakkoli-Moghaddain, R., ve Shayan, E., 1998. "Facilities Layout Design by Genetic Algorithms", *Computers and Industrial Engineering*, 35(3-4): 527-530.
- Temel, C., 1989. Dal sınır algoritması ile tesis yerleşimi düzenlemesi (bilgisayar destekli bir uygulama), Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14-24.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., ve Tanchoco, J. M. A., 2010. *Facilities planning*. John Wiley & Sons.
- Tong, X., 1991. SECOT: a sequential construction technique for facility design. Thesis (PhD). University of Pittsburgh
- Turanoğlu, B., ve Akkaya, G., 2018. A new hybrid heuristic algorithm based on bacterial foraging optimization for the dynamic facility layout problem. *Expert Systems with Applications*, 98, 93-104.
- Türk Dil Kurumu, 2019.
- Ulutas B., ve İslir A. A., 2015. Dynamic facility layout problem in footwear industry, *Journal of Manufacturing Systems* 36, 55-61
- Vitayasak, S., Pongcharoen, P., ve Hicks, C., 2017. A tool for solving stochastic dynamic facility layout problems with stochastic demand using either a Genetic Algorithm or modified Backtracking Search Algorithm. *International Journal of Production Economics*, 190, 146-157.
- Wang S., Zuo X., Liu X., Zhao X., ve Li J., 2015. Solving dynamic double row layout problem via combining simulated annealing and mathematical programming, *Applied Soft Computing* 37, 303–310

- Wong, K. Y., 2010. Solving facility layout problems using Flexible Bay Structure representation and Ant System algorithm. *Expert Systems with Applications*, 37(7), 5523-5527.
- Yang T., ve Kuo C., 2003. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem, *European Journal of Operational Research* 147, 128–136.
- Yang, T., Su, C. T., ve Hsu, Y. R., 2000. Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(11), 1359-1371.



## ÖZGEÇMİŞ

Adem ERİK, 1 Ekim 1995'de Hakkâri'de doğdu. İlk öğretim hayatını burada bulunan Hakkâri Sermaye Piyasası Kurulu İlköğretim Okulunda birincilikle tamamladı. 2008 yılında İzmir'de Karşıyaka Gümüşpala Anadolu Lisesi'ne başladı ve 2012 yılında buradan başarıyla mezun oldu. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümüne girdi. 2016 yılında Endüstri Mühendisliği bölümünden ikincilik ile mezun oldu. Eylül 2017'de Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisansına başladı. Halen Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir





# **EKLER**





### EK1-FBS-DFLP-1 Problemi için Veri Seti

FBS-DFLP-1 probleminde x-ekseni boyunca tesis tabanının genişliği 11, y eksenini boyunca tesis tabanının uzunluğu 6, periyot sayısı 3 (T=3), departman sayısı 4 (N=4), beklenen en-boy oranı tüm periyotlarda tüm departmanlar için 4, paralel esnek bölmelerin maksimum sayısı her dönemde 3, yeniden düzenleme sabit maliyeti tüm periyotlar ve tüm departmanlar için 8 ve tüm departmanlarda her periyot için yeniden düzenleme değişken maliyeti 1 birimdir.

Çizelge 1.1. Departmanlar arası malzeme taşıma miktarı ve tüm periyotlar için alan büyüklüğü

	Periyot 1				Periyot 2				Periyot 3				Alan			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	Tüm periyotlar için			
1	0	6	1	2	1	0	5	2	3	1	0	1	7	6	1	18
2	0	0	4	7	2	7	0	1	7	2	0	0	6	4	2	14
3	0	3	0	4	3	1	0	0	5	3	7	7	0	3	3	21
4	1	5	6	0	4	6	6	4	0	4	3	3	2	0	4	13

## EK2- FBS-DFLP-1 Problemi için Departmanlar Arası Taşıma Maliyetleri

FBS-DFLP-1 problemi için rastgele üretilen departmanlar arası malzeme taşıma birim maliyetleri çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Departmanlar arası birim malzeme taşıma maliyetleri

Periyot 1									
Taşıma Aracı 1					Taşıma Aracı 2				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	0	4,8	0,8	1,6	1	0	4,8	0,8	1,6
2	4,8	0	3,2	5,6	2	4,8	0	3,2	5,6
3	0,8	3,2	0	3,2	3	0,8	3,2	0	3,2
4	1,6	5,6	3,2	0	4	1,6	5,6	3,2	0

Periyot 2									
Taşıma Aracı 1					Taşıma Aracı 2				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	0	4,2	0,7	1,4	1	0	4,2	0,7	1,4
2	4,2	0	2,8	4,9	2	4,2	0	2,8	4,9
3	0,7	2,8	0	2,8	3	0,7	2,8	0	2,8
4	1,4	4,9	2,8	0	4	1,4	4,9	2,8	0

Periyot 3									
Taşıma Aracı 1					Taşıma Aracı 2				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	0	5,4	0,9	1,8	1	0	5,4	0,9	1,8
2	5,4	0	3,6	6,3	2	5,4	0	3,6	6,3
3	0,9	3,6	0	3,6	3	0,9	3,6	0	3,6
4	1,8	6,3	3,6	0	4	1,8	6,3	3,6	0

### EK3-FBS-DFLP-2 Problemi için Veri Seti

FBS-DFLP-2 probleminde x-ekseni boyunca tesis tabanının genişliği 15, y-ekseni boyunca tesis tabanının uzunluğu 8, periyot sayısı 2 (T=2), departman sayısı 5 (N=5), beklenen en-boy oranı tüm periyotlarda tüm departmanlar için 4, paralel esnek bölmelerin maksimum sayısı her dönemde 3, yeniden düzenleme sabit maliyeti tüm periyotlar ve tüm departmanlar için 12 ve tüm departmanlarda her periyot için yeniden düzenleme değişken maliyeti 1 birimdir.

Çizelge 3.1. Departmanlar arası malzeme taşıma miktarı ve tüm periyotlar için alan büyüklüğü

	Periyot 1					Periyot 2					Alan		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Tüm periyotlar için		
1	0	0	2	4	1	1	0	4	2	4	4	1	18
2	2	0	4	1	1	2	3	0	1	1	4	2	26
3	4	5	0	2	1	3	4	0	0	5	2	3	30
4	2	4	1	0	0	4	3	0	2	0	0	4	26
5	5	1	3	2	0	5	4	1	2	0	0	5	20

#### EK4-FBS-DFLP-2 Problemi için Departmanlar Arası Taşıma Maliyetleri

FBS-DFLP-2 problemi için rastgele üretilen departmanlar arası malzeme taşıma birim maliyetleri çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Departmanlar arası birim malzeme taşıma maliyetleri

Periyot 1											
Taşıma Aracı 1					Taşıma Aracı 2						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	0	4,8	0,8	1,6	5,4	1	0	4,2	0,7	1,4	1,8
2	4,8	0	3,2	5,6	3,6	2	4,2	0	2,8	4,9	6,3
3	0,8	3,2	0	3,2	3,6	3	0,7	2,8	0	2,8	3,6
4	1,6	5,6	3,2	0	6,3	4	1,4	4,9	2,8	0	4,2
5	5,4	3,6	3,6	6,3	0	5	1,8	6,3	3,6	4,2	0

Periyot 2											
Taşıma Aracı 1					Taşıma Aracı 2						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	0	4,8	0,8	1,6	5,4	1	0	4,2	0,7	1,4	1,8
2	4,8	0	3,2	5,6	3,6	2	4,2	0	2,8	4,9	6,3
3	0,8	3,2	0	3,2	3,6	3	0,7	2,8	0	2,8	3,6
4	1,6	5,6	3,2	0	6,3	4	1,4	4,9	2,8	0	4,2
5	5,4	3,6	3,6	6,3	0	5	1,8	6,3	3,6	4,2	0

### EK5-FBS-DFLP-3 Problemi için Veri Seti

FBS-DFLP-3 probleminde x-ekseni boyunca tesis tabanının genişliği 15, y eksenini boyunca tesis tabanının uzunluğu 10, periyot sayısı 6 (T=6), departman sayısı 8 (N=8), paralel esnek bölmelerin maksimum sayısı her dönemde 3'tür.

Çizelge 5.1. Departmanlar arası malzeme taşıma miktarı

	Periyot 1								Periyot 2								Periyot 3									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	15	9	12	8	4	14	19	1	0	9	15	14	13	1	1	5	1	0	9	8	13	10	11	7	12
2	4	0	15	14	13	16	12	15	2	20	0	16	9	20	10	0	4	2	3	0	12	14	13	5	11	10
3	19	11	0	9	17	12	6	11	3	2	14	0	4	16	5	9	3	3	16	11	0	16	7	7	12	17
4	20	1	1	0	19	11	2	2	4	12	13	10	0	18	19	3	20	4	17	18	3	0	18	8	1	17
5	19	14	13	0	0	0	2	11	5	20	13	4	15	0	1	20	4	5	5	16	14	5	0	16	3	19
6	18	14	12	6	16	0	9	15	6	14	9	5	2	13	0	13	20	6	14	18	7	4	3	0	11	5
7	12	9	3	18	14	8	0	6	7	20	4	5	5	6	14	0	0	7	13	2	10	17	10	11	0	16
8	18	18	4	9	1	1	20	0	8	18	19	15	13	13	19	14	0	8	6	15	12	6	18	2	15	0
	Periyot 4								Periyot 5								Periyot 6									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	10	16	19	16	6	2	5	1	0	15	15	0	13	5	4	12	1	0	1	14	8	7	20	13	6
2	13	0	17	8	2	3	15	6	2	3	0	15	4	13	9	12	13	2	7	0	8	9	17	10	13	8
3	16	3	0	9	14	10	9	2	3	15	8	0	5	19	10	6	4	3	6	4	0	15	7	6	10	7
4	2	7	10	0	16	1	15	12	4	0	7	20	0	5	15	15	4	4	16	12	1	0	11	3	17	3
5	18	16	1	3	0	8	0	19	5	17	4	1	14	0	8	8	17	5	0	5	11	5	0	11	5	6
6	4	14	8	11	1	0	0	5	6	5	4	11	11	5	0	16	18	6	4	16	13	8	5	0	18	4
7	15	13	7	6	18	19	0	20	7	7	7	11	8	11	17	0	19	7	20	8	18	6	2	16	0	9
8	3	14	8	10	5	4	16	0	8	9	1	7	13	3	5	14	0	8	8	17	15	16	4	16	18	0

Çizelge 5.2. Departman alanları, En-boy oranları, Sabit ve değişken yerdeğiştirme maliyetleri

Departmanlar	1	2	3	4	5	6	7	8
Yer değiştirme maliyeti (sabit)	45	53	39	47	50	58	60	36
Alan	23	16	33	13	10	19	10	26
Yer değiştirme maliyeti (değişken)	2	2	3	2	1	2	1	3
En-boy oranı	5	5	7	5	4	5	4	6



## EK6-FBS-DFLP-3 Problemi için Departmanlar Arası Taşıma Maliyetleri

FBS-DFLP-3 problemi için rastgele üretilen departmanlar arası malzeme taşıma birim maliyetleri çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Departmanlar arası malzeme taşıma maliyetleri

Periyot 1																	
Taşıma Aracı 1								Taşıma Aracı 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,9	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	0,3	1	0	0,3	0	0,5	0,4	0,9	0,2	0,3
2	0,9	0	0,6	1,1	1,1	1,1	0,5	0,2	2	0,3	0	1	1,1	0,6	0,5	0,6	1,1
3	0,2	0,6	0	0,6	0,6	0,2	0,7	0,4	3	0,5	1,1	0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6
4	0,3	1,1	0,6	0	0,3	0,9	0,9	0,6	4	0,5	1,1	1	0	0,2	0,8	0,9	0,7
5	0,3	1,1	0,6	0,3	0	0,9	0,9	0,6	5	0,4	0,6	1	0,2	0	0,8	0,9	0,6
6	0,4	1,1	0,2	0,9	0,9	0	0,8	0,3	6	0,9	0,5	0	0,8	0,8	0	0,2	0,3
7	0,8	0,5	0,7	0,9	0,9	0,8	0	0,2	7	0,2	0,6	0	0,9	0,9	0,2	0	1,1
8	0,3	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	0,2	0	8	0,3	1,1	1	0,7	0,6	0,3	1,1	0
Periyot 2																	
Taşıma Aracı 1								Taşıma Aracı 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,3	0,3	0,5	0,8	0,3	0,5	0,5	1	0	0,5	1	0,9	0,2	0,3	0,3	0,6
2	0,3	0	1,1	1,1	0,3	0,2	1,1	1,1	2	0,5	0	1	0,9	0,6	1,1	1,1	1,1
3	0,3	1,1	0	0,2	0,5	0,6	0,8	0,8	3	0,5	0,7	0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2
4	0,5	1,1	0,2	0	0,9	0,6	0,8	0,7	4	0,9	0,9	0	0	0,9	0,3	0,4	0,9
5	0,8	0,3	0,5	0,9	0	0,6	0,6	0,4	5	0,2	0,6	1	0,9	0	0,2	0,1	0,9
6	0,3	0,2	0,6	0,6	0,6	0	0,5	0,5	6	0,3	1,1	1	0,3	0,2	0	0,3	0,4
7	0,5	1,1	0,8	0,8	0,6	0,5	0	1,1	7	0,3	1,1	1	0,4	0,1	0,3	0	1,1
8	0,5	1,1	0,8	0,7	0,4	0,5	1,1	0	8	0,6	1,1	0	0,9	0,9	0,4	1,1	0
Periyot 3																	
Taşıma Aracı 1								Taşıma Aracı 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,6	0,8	0,3	0,5	0,5	0,2	0,9	1	0	0,9	0	0,3	0,3	0,6	0,8	0,3
2	0,6	0	0,4	0,2	1,1	1,1	0,9	0,7	2	0,9	0	1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,2
3	0,8	0,4	0	0,5	0,8	0,8	0,6	0,5	3	0,2	0,6	0	0,6	0,6	0,2	0,8	0,5
4	0,3	0,2	0,5	0	0,7	0,5	0,2	0,8	4	0,3	1,1	1	0	1,2	0,9	0,9	0,6
5	0,5	1,1	0,8	0,7	0	0,8	0,2	0,8	5	0,3	1,1	1	1,2	0	0,9	0,9	0,6
6	0,5	1,1	0,8	0,5	0,8	0	0,9	0,9	6	0,6	1,1	0	0,9	0,9	0	0,8	0,3



7	0,2	0,9	0,6	0,2	0,2	0,9	0	0,1	7	0,8	0,7	1	0,9	0,9	0,8	0	0,2
8	0,9	0,7	0,5	0,8	0,8	0,9	0,1	0	8	0,3	0,2	1	0,6	0,6	0,3	0,2	0

Periyot 4

Taşıma Aracı 1								Taşıma Aracı 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,9	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	0,3	1	0	0,3	0	0,5	0,4	0,9	0,2	0,3
2	0,9	0	0,6	1,1	1,1	1,1	0,5	0,2	2	0,3	0	1	1,1	0,6	0,5	0,6	1,1
3	0,2	0,6	0	0,6	0,6	0,2	0,7	0,4	3	0,5	1,1	0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6
4	0,3	1,1	0,6	0	0,3	0,9	0,9	0,6	4	0,5	1,1	1	0	0,2	0,8	0,9	0,7
5	0,3	1,1	0,6	0,3	0	0,9	0,9	0,6	5	0,4	0,6	1	0,2	0	0,8	0,9	0,6
6	0,4	1,1	0,2	0,9	0,9	0	0,8	0,3	6	0,9	0,5	0	0,8	0,8	0	0,2	0,3
7	0,8	0,5	0,7	0,9	0,9	0,8	0	0,2	7	0,2	0,6	0	0,9	0,9	0,2	0	1,1
8	0,3	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	0,2	0	8	0,3	1,1	1	0,7	0,6	0,3	1,1	0

Periyot 5

Taşıma Aracı 1								Taşıma Aracı 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,3	0,3	0,5	0,8	0,3	0,5	0,5	1	0	0,5	1	0,9	0,2	0,3	0,3	0,6
2	0,3	0	1,1	1,1	0,3	0,2	1,1	1,1	2	0,5	0	1	0,9	0,6	1,1	1,1	1,1
3	0,3	1,1	0	0,2	0,5	0,6	0,8	0,8	3	0,5	0,7	0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2
4	0,5	1,1	0,2	0	0,9	0,6	0,8	0,7	4	0,9	0,9	0	0	0,9	0,3	0,4	0,9
5	0,8	0,3	0,5	0,9	0	0,6	0,6	0,4	5	0,2	0,6	1	0,9	0	0,2	0,1	0,9
6	0,3	0,2	0,6	0,6	0,6	0	0,5	0,5	6	0,3	1,1	1	0,3	0,2	0	0,3	0,4
7	0,5	1,1	0,8	0,8	0,6	0,5	0	1,1	7	0,3	1,1	1	0,4	0,1	0,3	0	1,1
8	0,5	1,1	0,8	0,7	0,4	0,5	1,1	0	8	0,6	1,1	0	0,9	0,9	0,4	1,1	0

Periyot 6

Taşıma Aracı 1								Taşıma Aracı 2									
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,6	0,8	0,3	0,5	0,5	0,2	0,9	1	0	0,9	0	0,3	0,3	0,6	0,8	0,3
2	0,6	0	0,4	0,2	1,1	1,1	0,9	0,7	2	0,9	0	1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,2
3	0,8	0,4	0	0,5	0,8	0,8	0,6	0,5	3	0,2	0,6	0	0,6	0,6	0,2	0,8	0,5
4	0,3	0,2	0,5	0	0,7	0,5	0,2	0,8	4	0,3	1,1	1	0	1,2	0,9	0,9	0,6
5	0,5	1,1	0,8	0,7	0	0,8	0,2	0,8	5	0,3	1,1	1	1,2	0	0,9	0,9	0,6
6	0,5	1,1	0,8	0,5	0,8	0	0,9	0,9	6	0,6	1,1	0	0,9	0,9	0	0,8	0,3
7	0,2	0,9	0,6	0,2	0,2	0,9	0	0,1	7	0,8	0,7	1	0,9	0,9	0,8	0	0,2
8	0,9	0,7	0,5	0,8	0,8	0,9	0,1	0	8	0,3	0,2	1	0,6	0,6	0,3	0,2	0

### *EK7-FBS-DFLP-4 Problemi için Veri Seti*

FBS-DFLP-4 probleminde x-ekseni boyunca tesis tabanının genişliği 20, y eksenini boyunca tesis tabanının uzunluğu 10, periyot sayısı 4 (T=4), departman sayısı 12 (N=12), paralel esnek bölmelerin maksimum sayısı her dönemde 5'tir.

Çizelge 7.1. Departmanlar arası malzeme taşıma miktarı

	Periyot 1												Periyot 2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	19	18	9	16	5	19	10	10	7	15	8	1	0	14	2	6	9	19	20	0	4	15	14	5
2	6	0	12	4	3	18	7	11	6	2	0	6	2	12	0	7	0	12	10	4	20	1	13	6	11
3	3	1	0	8	12	1	0	20	6	16	19	16	3	1	6	0	12	0	3	12	0	14	20	16	17
4	8	9	15	0	10	12	14	3	17	4	11	19	4	9	3	12	0	3	14	3	18	2	15	3	12
5	17	11	3	3	0	16	16	3	8	3	9	16	5	15	2	17	10	0	4	7	9	19	18	8	2
6	9	18	1	11	16	0	7	19	10	2	2	16	6	13	4	10	5	19	0	15	5	18	17	0	18
7	10	5	13	11	15	7	0	12	19	12	13	3	7	1	3	10	12	14	14	0	14	9	8	9	13
8	14	13	18	15	13	1	11	0	19	7	10	2	8	9	10	10	4	16	17	11	0	13	2	7	5
9	18	10	7	11	8	14	1	10	0	17	4	12	9	7	4	15	4	14	13	16	15	0	13	20	4
10	12	17	7	5	14	7	15	15	10	0	10	15	10	20	17	18	12	17	14	11	2	2	0	7	0
11	14	8	17	15	18	2	8	10	3	13	0	6	11	10	1	12	7	18	3	3	13	2	17	0	1
12	13	5	7	14	19	10	14	14	5	4	7	0	12	9	5	8	11	3	14	6	5	4	11	10	0

Periyot 3

Periyot 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	4	9	11	17	12	12	17	13	6	11	13	1	0	20	2	18	12	11	11	7	17	15	13	1
2	2	0	12	13	6	14	4	13	12	11	16	0	2	4	0	9	11	15	1	20	8	15	16	7	12
3	11	16	0	13	16	13	7	11	19	3	13	5	3	0	3	0	19	20	18	1	15	7	13	1	15
4	19	8	5	0	3	18	12	0	13	2	1	13	4	1	3	8	0	5	13	10	19	8	19	9	14
5	7	20	5	5	0	13	5	1	7	15	3	15	5	19	19	11	20	0	13	1	18	18	10	5	18
6	18	2	4	8	4	0	6	14	13	10	10	15	6	14	10	13	2	1	0	20	20	12	19	10	14
7	0	6	2	15	13	3	0	13	3	6	4	4	7	17	7	1	3	15	14	0	15	7	10	17	1
8	15	19	16	7	5	8	17	0	17	11	9	16	8	2	9	8	15	2	4	8	0	3	17	3	10
9	19	5	12	0	6	1	15	10	0	14	19	8	9	18	17	19	14	17	9	5	12	0	12	17	15
10	10	4	7	7	13	8	13	3	3	0	10	1	10	12	2	8	0	8	3	2	19	14	0	15	8
11	3	4	2	11	3	3	7	15	13	18	0	10	11	7	7	7	13	1	13	13	2	4	11	0	19
12	1	2	0	8	9	19	19	13	10	1	8	0	12	14	15	13	13	7	1	14	11	7	5	8	0

Çizelge 7.2. Departman alanları, En-boy oranları, Sabit ve değişken yerdeğiştirme maliyetleri

Departmanlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yer değiştirme maliyeti (sabit)	33	33	53	54	57	41	56	53	40	41	44	48
Alan	15	20	10	22	20	11	22	16	14	10	30	10
Yer değiştirme maliyeti (değişken)	2	2	2	4	3	2	3	2	2	2	4	2
En-boy oranı	5	6	4	6	6	4	6	5	5	4	7	4



## EK8-FBS-DFLP-4 Problemi için Departmanlar Arası Taşıma Maliyetleri

FBS-DFLP-4 problemi için rastgele üretilen departmanlar arası malzeme taşıma birim maliyetleri çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Departmanlar arası malzeme taşıma maliyetleri

Periyot 1												
Taşıma Aracı 1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,9	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	0,3	0,5	0,3	1,1	1,1
2	0,9	0	0,6	1,1	1,1	1,1	0,5	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8
3	0,2	0,6	0	0,6	0,6	0,2	0,7	0,4	1,1	0,9	0,9	0,6
4	0,3	1,1	0,6	0	0,3	0,9	0,9	0,6	1,1	0,3	0,3	0,4
5	0,3	1,1	0,6	0,3	0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,5	0,5
6	0,4	1,1	0,2	0,9	0,9	0	0,8	0,3	0,3	0,9	0,9	0,6
7	0,8	0,5	0,7	0,9	0,9	0,8	0	0,2	0,9	0,9	0,6	0,8
8	0,3	0,3	0,4	0,6	0,9	0,3	0,2	0	0,5	1,1	1,1	0,5
9	0,5	0,3	1,1	1,1	0,9	0,3	0,9	0,5	0	0,3	0,4	0,6
10	0,3	0,4	0,9	0,3	0,6	0,9	0,9	1,1	0,3	0	1,1	0,3
11	1,1	0,6	0,9	0,3	0,5	0,9	0,6	1,1	0,4	1,1	0	0,6
12	1,1	0,8	0,6	0,4	0,5	0,6	0,8	0,5	0,6	0,3	0,6	0
Taşıma Aracı 2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,3	0,5	0,5	0,4	0,9	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
2	0,3	0	1,1	1,1	0,6	0,5	0,6	1,1	0,9	1	1,1	1,1
3	0,5	1,1	0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3
4	0,5	1,1	0,8	0	0,2	0,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
5	0,4	0,6	0,5	0,2	0	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,3	0,9
6	0,9	0,5	0,5	0,8	0,8	0	0,2	0,3	0,9	1	1,1	1,1
7	0,2	0,6	0,4	0,9	0,9	0,2	0	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5
8	0,3	1,1	0,6	0,7	0,6	0,3	1,1	0	0,9	1	1,1	1,1
9	0,4	0,9	0,4	0,6	0,7	0,9	0,5	0,9	0	0,8	0,8	0,9
10	0,4	1	0,4	0,6	0,8	1	0,5	1	0,8	0	0,9	1
11	0,4	1,1	0,4	0,6	0,8	1,1	0,5	1,1	0,8	0,9	0	0,5
12	0,4	1,1	0,3	0,6	0,9	1,1	0,5	1,1	0,9	1	0,5	0
Periyot 2												

Taşıma Aracı 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,3	0,3	0,5	0,8	0,3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
2	0,3	0	1,1	1,1	0,3	0,2	1,1	1,1	1	1,1	1,1	1,2
3	0,3	1,1	0	0,2	0,5	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
4	0,5	1,1	0,2	0	0,9	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
5	0,8	0,3	0,5	0,9	0	0,6	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5	0,7
6	0,3	0,2	0,6	0,6	0,6	0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
7	0,6	1,1	0,8	0,8	0,6	0,5	0	1,1	0,4	0,3	0,3	0,2
8	0,6	1,1	0,8	0,7	0,4	0,5	1,1	0	0,4	0,3	0,3	0,2
9	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0	0,8	0,3	0,2
10	0,7	1,1	0,7	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,8	0	0,3	0,2
11	0,7	1,1	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0,3
12	0,8	1,2	0,8	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0

Taşıma Aracı 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,5	0,5	0,9	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
2	0,5	0	0,7	0,9	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,6
3	0,5	0,7	0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
4	0,9	0,9	0,5	0	0,9	0,3	0,4	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8
5	0,2	0,6	0,5	0,9	0	0,2	0,1	0,9	0,9	0,6	0,6	0,7
6	0,3	1,1	0,6	0,3	0,2	0	0,3	0,4	0,4	0,1	0	0,7
7	0,3	1,1	0,6	0,4	0,1	0,3	0	1,1	1,1	0,6	0,7	0,7
8	0,6	1,1	0,2	0,9	0,9	0,4	1,1	0	0,6	0,1	0	0,7
9	0,6	1,1	0,2	0,9	0,9	0,4	1,1	0,6	0	0,8	0,6	0,2
10	0,5	1,3	0,3	0,7	0,6	0,1	0,6	0,1	0,8	0	0,5	0,3
11	0,5	1,5	0,2	0,8	0,6	0	0,7	0	0,6	0,5	0	0,3
12	0,5	1,6	0,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,3	0,3	0

Periyot 3

Taşıma Aracı 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,9	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	0,3	0,5	0,3	1,1	1,1
2	0,9	0	0,6	1,1	1,1	1,1	0,5	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8
3	0,2	0,6	0	0,6	0,6	0,2	0,7	0,4	1,1	0,9	0,9	0,6
4	0,3	1,1	0,6	0	0,3	0,9	0,9	0,6	1,1	0,3	0,3	0,4
5	0,3	1,1	0,6	0,3	0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,5	0,5

6	0,4	1,1	0,2	0,9	0,9	0	0,8	0,3	0,3	0,9	0,9	0,6
7	0,8	0,5	0,7	0,9	0,9	0,8	0	0,2	0,9	0,9	0,6	0,8
8	0,3	0,3	0,4	0,6	0,9	0,3	0,2	0	0,5	1,1	1,1	0,5
9	0,5	0,3	1,1	1,1	0,9	0,3	0,9	0,5	0	0,3	0,4	0,6
10	0,3	0,4	0,9	0,3	0,6	0,9	0,9	1,1	0,3	0	1,1	0,3
11	1,1	0,6	0,9	0,3	0,5	0,9	0,6	1,1	0,4	1,1	0	0,6
12	1,1	0,8	0,6	0,4	0,5	0,6	0,8	0,5	0,6	0,3	0,6	0

Taşıma Aracı 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,3	0,5	0,5	0,4	0,9	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
2	0,3	0	1,1	1,1	0,6	0,5	0,6	1,1	0,9	1	1,1	1,1
3	0,5	1,1	0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3
4	0,5	1,1	0,8	0	0,2	0,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
5	0,4	0,6	0,5	0,2	0	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,3	0,9
6	0,9	0,5	0,5	0,8	0,8	0	0,2	0,3	0,9	1	1,1	1,1
7	0,2	0,6	0,4	0,9	0,9	0,2	0	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5
8	0,3	1,1	0,6	0,7	0,6	0,3	1,1	0	0,9	1	1,1	1,1
9	0,4	0,9	0,4	0,6	0,7	0,9	0,5	0,9	0	0,8	0,8	0,9
10	0,4	1	0,4	0,6	0,8	1	0,5	1	0,8	0	0,9	1
11	0,4	1,1	0,4	0,6	0,8	1,1	0,5	1,1	0,8	0,9	0	0,5
12	0,4	1,1	0,3	0,6	0,9	1,1	0,5	1,1	0,9	1	0,5	0

Periyot 4

Taşıma Aracı 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,3	0,3	0,5	0,8	0,3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
2	0,3	0	1,1	1,1	0,3	0,2	1,1	1,1	1	1,1	1,1	1,2
3	0,3	1,1	0	0,2	0,5	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
4	0,5	1,1	0,2	0	0,9	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
5	0,8	0,3	0,5	0,9	0	0,6	0,6	0,4	0,7	0,6	0,5	0,7
6	0,3	0,2	0,6	0,6	0,6	0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
7	0,6	1,1	0,8	0,8	0,6	0,5	0	1,1	0,4	0,3	0,3	0,2
8	0,6	1,1	0,8	0,7	0,4	0,5	1,1	0	0,4	0,3	0,3	0,2
9	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0	0,8	0,3	0,2
10	0,7	1,1	0,7	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,8	0	0,3	0,2
11	0,7	1,1	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0,3
12	0,8	1,2	0,8	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0

Taşıma Aracı 2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,5	0,5	0,9	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
2	0,5	0	0,7	0,9	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,6
3	0,5	0,7	0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
4	0,9	0,9	0,5	0	0,9	0,3	0,4	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8
5	0,2	0,6	0,5	0,9	0	0,2	0,1	0,9	0,9	0,6	0	0,7
6	0,3	1,1	0,6	0,3	0,2	0	0,3	0,4	0,4	0,1	0	0,7
7	0,3	1,1	0,6	0,4	0,1	0,3	0	1,1	1,1	0,6	0,7	0,7
8	0,6	1,1	0,2	0,9	0,9	0,4	1,1	0	0,6	0,1	0	0,7
9	0,6	1,1	0,2	0,9	0,9	0,4	1,1	0,6	0	0,8	0,6	0,2
10	0,5	1,3	0,3	0,7	0,6	0,1	0,6	0,1	0,8	0	0,5	0,3
11	0,5	1,5	0,2	0,8	0,6	0	0,7	0	0,6	0,5	0	0,3
12	0,5	1,6	0,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,3	0,3	0