

**GİRİŞ-ÇIKIŞ NOKTALI VE DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ  
YERLEŞİM OPTİMİZASYONU**

**Tülay FİDAN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GİRİŞ-ÇIKIŞ NOKTALI VE DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ YERLEŞİM  
OPTİMİZASYONU**

Tülay FİDAN  
501706032

Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ANABİLİM DALI

BURSA– 2023  
**Her Hakkı Saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Tülay FİDAN tarafından hazırlanan “GİRİŞ-ÇIKIŞ NOKTALI VE DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ YERLEŞİM OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR

**Başkan** : Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR  
0000-0001-8054-5606  
Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı  
İmza

**Üye** : Prof. Dr. Tülin İNKAYA  
0000-0002-6260-0162  
Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Üye** : Prof. Dr. Gürkan ÖZTÜRK  
0000-0002-9480-176X  
Eskişehir Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali KARA**  
**Enstitü Müdürü**

.././.....

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**08/06/2023**

**Tülay FİDAN**

**TEZ YAYINLANMA  
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı

Tarih

Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR

08/06/2023

Öğrencinin Adı-Soyadı

Tarih

Tülay FİDAN

08/06/2023

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım

yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum

anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

## ÖZET

Yüksek Lisans

### GİRİŞ-ÇIKIŞ NOKTALI VE DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ YERLEŞİM OPTİMİZASYONU

**Tülay FİDAN**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR

Hizmet ve üretim sektörlerinde maliyet iyileştirmeleri giderek daha önemli bir hale gelmektedir. Bu maliyet kalemlerinden en önemlileri arasında malzemelerin, insanların, robotların vb. hareket süreleri ve taşıma maliyetleri gelmektedir. Tesis yerleşimi bu noktada, süreçlerin verimliliğini en üst düzeye çıkarabilen stratejik bir hamledir. Doğru kurgulanmış bir tesis yerleşimi, maliyetlerin düşmesini, üretim süreçlerinin optimizasyonunu sağlarken süreç ve şirket performansını arttırabilir. Bu bağlamda tesis yerleşimi, bir organizasyonun üretim/hizmet faaliyetlerini gerçekleştirmek için kullanacağı alt tesislerin, ofislerin, depoların vb. yerleşimlerin, düzenlenmesini ve yönetimini içeren önemli bir konudur. Etkin bir tesis yerleşimi, daha düşük taşıma maliyetini ve daha kısa teslim sürelerini sağlayan alt tesislerin yerleştirilmesiyle ilgilenmektedir. Çalışmada, tesis yerleşim probleminde şekilleri dikdörtgen olan tesislerin giriş – çıkış noktaları arasındaki malzeme akışı, dolayısıyla taşıma maliyetleri dikkate alınmış ve optimizasyonu sağlanmıştır. Optimizasyon çalışması sonucunda oluşan alt tesislerin koordinatları ve yönleri belirlenmiştir. Tesis giriş ve çıkış noktaları arasındaki malzeme akışlarına göre taşıma maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan karışık tamsayılı programlama modeli ile örnek problemler için optimal veya uygun çözümler bulunmuştur. Matematiksel model sonuçlarında her ne kadar veriler sayısal olarak elde edilse de (örneğin alt tesislerin koordinatları), görsel veri çıktıları kullanıcılar için daha anlaşılır ve yorumlanabilir olmaktadır. Bu nedenle tesis yerleşim problemlerinde, çözümlerin ve optimizasyon sonrası tesis yerleşiminin kullanıcılar için görsel olarak sunulması, kullanıcılar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, geliştirilen bir karar destek sistemi prototipi ile görselleştirilmekte ve kullanıcıya oluşturulan tesis yerleşiminin planı sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tesis yerleşimi, tesis tasarımı, tesis planlama, karışık tamsayılı programlama, matematiksel programlama, karar destek sistemleri

**2023, v + 44 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **LAYOUT OPTIMIZATION WITH ENTRY - EXIT POINTS AND RECTANGULAR SHAPE**

**Tulay FIDAN**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Fatih CAVDUR

Cost improvements are becoming increasingly important in the service and manufacturing sectors. Among the most significant cost factors are the movement times and transportation costs of materials, people, robots, etc. Facility layout is a strategic move that can maximize process efficiency. A well-designed facility layout can reduce costs, optimize production processes, and improve overall process and company performance. In this context, facility layout is an important subject that involves the arrangement and management of sub-facilities, offices, warehouses, etc., which an organization will use to carry out its production/service activities. Effective facility layout focuses on the placement of sub-facilities that enable lower transportation costs and shorter delivery times. In this study, the material flow between the entry and exit points of facilities with rectangular shapes, and thus the transportation costs, are taken into account and optimized. The coordinates and orientations of the resulting sub-facilities have been determined through the optimization process. Optimal or satisfactory solutions have been found for sample problems using a mixed-integer programming model aimed at minimizing transportation costs based on material flows between facility entry and exit points. Although the data in the mathematical model results are obtained numerically (e.g., coordinates of sub-facilities), visual data outputs are more comprehensible and interpretable for users. Therefore, presenting the solutions and the post-optimization facility layout visually to users provides a significant advantage. The results obtained in the study are visualized using a developed decision support system prototype, and the plan for the created facility layout is presented to the user.

**Key words:** Facility layout, facility design, facility planning, mixed integer programming, mathematical programming, decision support systems

**2023, v + 44 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez sürecimde benimle değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşan, tez çalışmamın tüm sürecinde büyük bir sabır ve ilgiyle bana destek olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Fatih Çavdur'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca değerli bilgisini ve zamanını bana ayıran Gülveren Tabansız'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, her zaman ve her koşulda yanımda olan sevgili anneme, aileme ve sevgili eşim Evren Fidan'a ve sevgili kızım Duru Fidan'a teşekkürlerimi sunarım.

Tülay FİDAN  
08/06/2023



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Matematiksel programlama modeli.....	20
3.2.2. Karar destek sistemi.....	25
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	30
5. SONUÇ.....	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 1.1.</b>	Tesis planlama hiyerarşisi (Tompkins ve ark., 1996)..... 3
<b>Şekil 1.2.</b>	Ürün akış modelleri (Tompkins ve ark., 1996) ..... 4
<b>Şekil 1.3.</b>	Genel Akış Modelleri: (a) I tipi akış, (b) U tipi akış, (c) S tipi akış, (d) W tipi akış (Tompkins ve ark., 1996)..... 4
<b>Şekil 3.1.</b>	Klasik optimizasyon metotları (Talbi, 2009)..... 16
<b>Şekil3.2.</b>	Tesislerin Giriş-Çıkış Noktalarına Göre Pozisyonları (Kim ve Kim, 2000) ..... 20
<b>Şekil 3.3.</b>	Konum ve yönelim gösterimi (Kim ve Kim, 2000)..... 22
<b>Şekil 3.4.</b>	Microsoft Excel “PARAMETERS” sayfası görseli ..... 25
<b>Şekil 3.5.</b>	Microsoft Excel “INPUTOUTPUT” sayfası görseli ..... 26
<b>Şekil 3.6.</b>	Microsoft Excel “INPUTOUTPUT” sayfası detaylı görseli ..... 26
<b>Şekil 3.7.</b>	Microsoft Excel “Layout” sayfası görseli..... 27
<b>Şekil 3.8.</b>	Beş alt tesisli bir ana tesis için veri seti ..... 27
<b>Şekil 3.10.</b>	Beş alt tesisli bir ana tesis için sonuç tablosu ..... 28
<b>Şekil 3.11.</b>	Alt tesislerin çözüm sonucu görselleri..... 29
<b>Şekil 3.12.</b>	Microsoft Excel “Layout” sayfası görseli..... 29
<b>Şekil 4.1.</b>	Üç alt tesise ait veriler ..... 30
<b>Şekil 4.2.</b>	Üç alt tesise ait tesisler arası akış miktarları..... 30
<b>Şekil 4.3.</b>	Üç alt tesise ait sonuçlar tablosu..... 31
<b>Şekil 4.4.</b>	Üç alt tesise ait tesis yerleşim görseli ..... 31
<b>Şekil 4.5.</b>	Beş alt tesise ait veriler ..... 32
<b>Şekil 4.6.</b>	Beş alt tesise ait tesisler arası akış miktarları ..... 32
<b>Şekil 4.8.</b>	Beş alt tesise ait tesis yerleşim görseli..... 33
<b>Şekil 4.9.</b>	Yedi alt tesise ait veriler ..... 33
<b>Şekil 4.10.</b>	Yedi alt tesise ait tesisler arası akış miktarları..... 34
<b>Şekil 4.11.</b>	Yedi alt tesise ait sonuçlar tablosu ..... 34
<b>Şekil 4.12.</b>	Yedi alt tesise ait tesis yerleşim görseli..... 34
<b>Şekil 4.13.</b>	Dokuz alt tesise ait veriler ..... 35
<b>Şekil 4.14.</b>	Dokuz alt tesise ait tesisler arası akış miktarları..... 35
<b>Şekil 4.15.</b>	Dokuz alt tesise ait sonuçlar tablosu..... 36
<b>Şekil 4.16.</b>	Dokuz alt tesise ait tesis yerleşim görseli ..... 36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1.</b> Geçmiş çalışmaların sınıflandırılması .....	14
<b>Çizelge 2.1.</b> Geçmiş çalışmaların sınıflandırılması (devamı).....	15

## 1. GİRİŞ

Üretim, hizmet veya diğer faaliyetlerin üretildiği, teknik ve ekonomik birimlere tesis denilmektedir. Tesisler, bir sürecin gerçekleştirilmesi ve yürütülmesi için düzenlenmiş olan yapı ve araçlardır. Fabrikalar, binalar, teçhizatlar, depolar, tezgahlar, makineler, el aletleri, tesisatlar, taşıma-yükleme araçları vb. kaynaklar tesislere örnek olarak gösterilebilir. Tesislerde en önemli konulardan biri, üretim performansında veya hizmet endüstrisi sisteminde önemli yere sahip olan tesis yerleşimidir. Tesis yerleşim planlaması, bir işletmedeki departmanların, departmanlar içinde yer alan alt tesislerin, makinelerin, depoların ana tesis içerisindeki yerleşimini belirleme süreci olarak tanımlanmaktadır.

Tesis planlamasının amacı, istenilen kalite ve zamanda, en düşük maliyetle ürün üretimini gerçekleştirmektir. Tesis planlama, bir tesisin kuruluşundan başlayıp işletme faaliyetine devam ettiği müddetçe süren dinamik bir süreçtir. Etkin tesis planlama, işletmenin, malzeme taşıma ve aktarma maliyetlerini azaltıp üretkenliğini arttırırken; etkin olmayan bir tesis planlama yeniden yerleşim maliyetlerine, atıl stoklara ve malzeme taşıma sistemlerinin dengesiz çalışmasına yol açacaktır. Tesislerin, kârlılıklarını sürdürmek ve değişen tüm koşullara uyum sağlamak için en uygun tesis yerleşimlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Pasandideh, 2013).

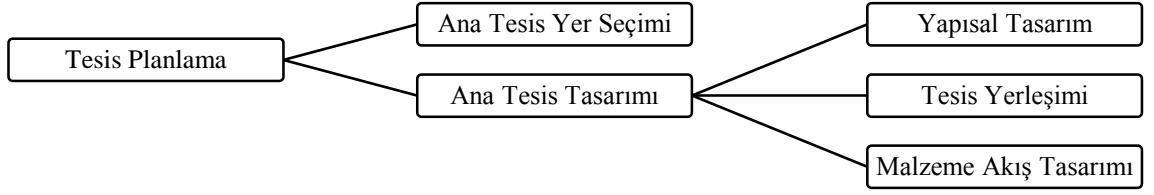
Tesis yerleşiminin amaçları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Panneerselvam, 2006):

- Operasyonları kolaylaştırmak
- İşlem sürelerini azaltmak
- Çalışanlar için güvenliği ve rahatlığı sağlamak
- Taşıma mesafelerini ve maliyetlerini azaltmak
- Tesis alanlarını en verimli şekilde kullanmak
- Operasyonların esnekliğini sağlamak

Erkut ve Baskak (2003) tesis yerleşim planlamasını; malzeme, makine, insan, hareket, bekleme, hizmet, bina ve değişim olmak üzere sekiz ayrı grupta incelemektedirler.

Tesis yerleşimi, fabrika içi yerleşiminin düzenlemesi ve kuruluş yeri seçimi kavramlarını kapsayan bir terimdir. Tesis yerleşim problemi, bir sistemin (imalat veya hizmet) fiziksel yerleşimini, toplam malzeme taşıma maliyetini en aza indirecek şekilde bir zemindeki tesislerin düzenlenmesidir. Tesis yerleşim planlaması, yeni bir üretim sistemi kurulduğunda akış hacimlerinde veya güzergahlarında, üretim sistemlerine yeni kaynaklar (robotlar, otomatik güdümlü araçlar vb.) eklendiğinde önemli değişiklikler meydana geldiğinde gerçekleştirilir (Dolgui ve Proth, 2010). Tesis yerleşim problemleri, rekabet eden hedefler ve kısıtlamaları ele alan çok karmaşık bir planlama problemidir. Bu problemlerde hem nicel hedefler hem de nitel hedefler dikkate alınmalıdır (Schenk ve ark., 2013). Tesislerin verimliliği genel olarak nicel faktörler olan malzeme taşıma maliyetleri ile ölçülmektedir. Bu maliyetler bölümler arası akış miktarı, birim taşıma maliyeti ve bölümlerin birbirleriyle olan yakınlık ilişkileri, işgücü hareketleri, enerji verimliliği, güvenlik, ergonomi, çevre etkileri gibi parametreler kullanılarak belirlenmektedir. Bunların yanı sıra nitel faktörler olan toz, gürültü, yerleşim esnekliği, estetik yerleşim gibi konular da ele alınabilmektedir. Tesis yerleşimi, mal veya hizmet üretimine yönelik faaliyetlere ilişkin canlı ve cansız varlıkların tümünün hareket miktarlarını en az düzeye indirmeyi amaçlar (Erkut ve Baskak, 2003). Tesis yerleşim optimizasyonunun aynı zamanda taşıma sistemlerinin birbirleriyle ilişkisini de inceleyerek yerleşim optimizasyonunu daha iyi seviyeye getirmeyi hedeflediği de belirtilebilir. (Lee ve Lee, 2002).

Tesis planlama hiyerarşisi, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere öncelikle tesis yerinin seçilmesi ile başlamakta ve daha sonra tesis yerleşim tasarım aşaması ile devam etmektedir. İlk olarak yapısal tasarım aşamasında nasıl bir yerleşim düzeneğinin olacağına karar verilirken, sonrasında verilen karara göre tesis yerleştirilmektedir. Son olarak makinelerin akış tasarımı yapılmaktadır.



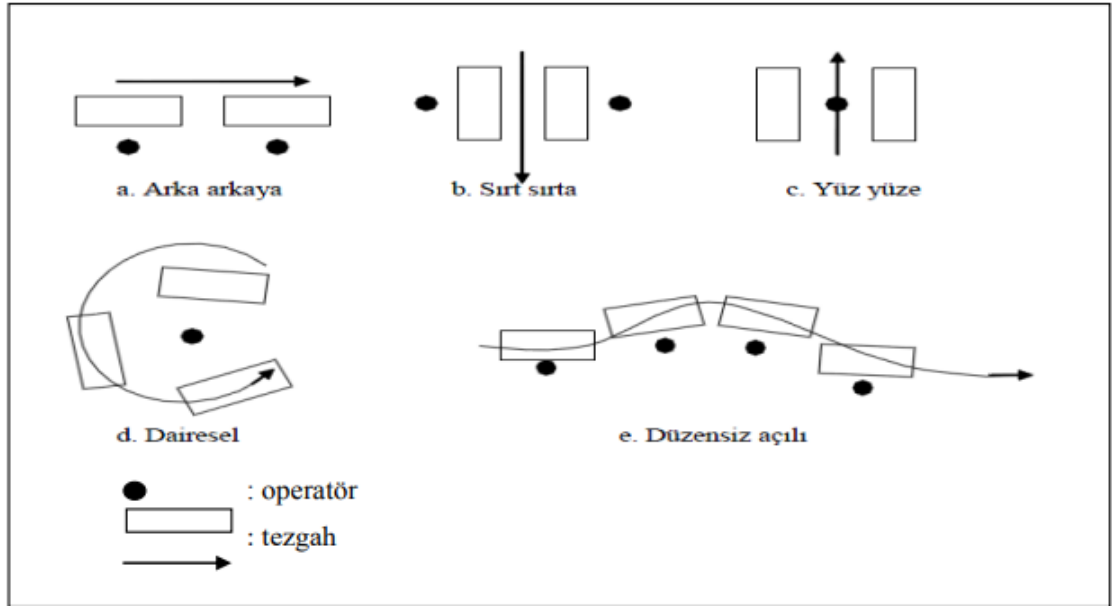
**Şekil 1.1.** Tesis planlama hiyerarşisi (Tompkins ve ark., 1996)

Tesis yerleşim planlamasında genellikle aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Heragu, 2006):

- Alt tesislerin ve ana tesisin şekli
- Alan ihtiyaçları
- Malzeme akışları
- Yerleşim kısıtları
- Alt tesisler arası yakınlık gereksinimleri

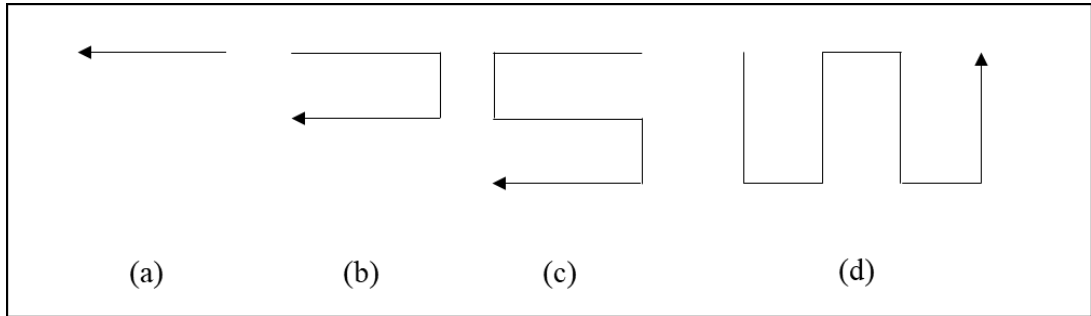
Bu verilerin tamamı her zaman gerekli olmamakla birlikte tesis sahiplerinin istekleri ve beklentilerine göre bu verilere ekleme veya çıkarma yapılabilmektedir.

Tesis yerleşim planlamada en önemli konulardan bir tanesi de akıştır. Tompkins ve ark. (1996) akışları; iş istasyonları içerisindeki akış, departmanlar içerisindeki akış ve departmanlar arası akış olmak üzere üç kısımda incelemektedirler. İş istasyonları içerisindeki akışı ele alırken ergonomi ve operatörlerin hareketlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Departmanlar içerisindeki üretim bölümlerinde yer alan ürün akışı, Şekil 1.2’de gösterildiği gibi modellenmektedir. Bölümlerin tiplerine göre akışlar değişmektedir.



**Şekil 1.2.** Ürün akış modelleri (Tompkins ve ark., 1996)

Departmanlar arası akış ise Şekil 1.3'teki gibi dört farklı çeşide ayrılmaktadır. Tesislerde yerleşimler genellikle akış tiplerinin kombinasyonlarından oluşmaktadır.



**Şekil 1.3.** Genel Akış Modelleri: (a) I tipi akış, (b) U tipi akış, (c) S tipi akış, (d) W tipi akış (Tompkins ve ark., 1996)

Bu çalışmada ele alınan problemin amacı, tesislerin giriş ve çıkış noktaları arasındaki akış miktarlarına göre taşıma maliyetlerini en aza indirmeye amacıyla tesislerin konumlarını ve yönelimlerini belirlemektir. Tesis yerleşimi optimizasyonu konusunda birçok farklı yöntem ve teknik kullanılarak çözümler bulunabilmektedir. Bunlara örnek olarak matematiksel programlama, simülasyon, genetik algoritmalar gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında çözüm için bir karışık tamsayı programlama formülasyonu kullanılmıştır. Ele alınan örneklerde her bir alt tesisin farklı ve/veya aynı

ölçülerde dikdörtgen şekle sahip olduğu varsayılmakta, her tesisteki giriş-çıkış noktalarının konumlarının ise önceden bilindiği varsayılmaktadır. Giriş noktaları, malzeme akışı sürecinde tesise giren hammadde / yarı mamulü; çıkış noktaları ise üretilen yarı mamul veya bitmiş ürünü temsil etmektedir.

Çalışmada, IBM ILOG CPLEX Optimizer ile karışık tamsayı programlama formülasyonu çözülmüş olup; daha fazla kullanıcıya hitap edilebilmesi adına, Microsoft Excel programına entegre edilmiş ve tesislerin yerleşim planı görselleştirilmiştir. Kullanıcı tarafından, Microsoft Excel ortamına ana tesisin boyutları, alt tesislerin boyutları, giriş – çıkış noktalarının koordinatları, alt tesisler arası malzeme akış miktarları girilmekte ve kullanıcıya tesis yerleşim planının görseli verilmektedir.

Çalışmanın bölümlerinin organizasyonu şu şekilde oluşturulmuştur. “Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması” bölümünde literatürdeki tesis yerleşim problemi ile ilgili diğer çalışmalar özetlenmektedir. “Materyal ve Yöntem” bölümünde çalışma kapsamında önerilen yaklaşımlar, matematiksel programlama modeli ve geliştirilen karar destek sistemi prototipi anlatılmaktadır. Takip eden bölümlerde “Bulgular ve Tartışma” bölümünde çalışma sonuçları yer almakta, “Sonuç” bölümünde ise çalışmanın genel değerlendirilmesi ele alınmaktadır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tesis yerleşim problemleri üzerinde 1950'lerden itibaren çalışılmaktadır. İlk çalışmalar karesel atama problemi olarak ortaya çıkmıştır. Yöneylem Araştırması alanındaki gelişmelerle birlikte tesis yerleşim problemi ilk olarak Koopmans ve Beckmann (1957) tarafından bir karesel atama problemi olarak modellenmiştir. Problemden değişken sayısının artması problemin çözümünü zorlaştırdığından, 1950'lerden günümüze kadar araştırmacılar problemin çözümü için yeni yollar aramaya ve yeni yöntemler geliştirmeye devam etmişlerdir. Tate ve Smith (1995), karesel atama problemi olarak tanımlanmış bir tesis yerleşim probleminde genetik algoritmayı kullanmışlardır. Helber ve ark. (2016), hastane yerleşimini ele almışlardır. Hastanelerde hasta, personel ve malzeme taşımaları önemli bir lojistik maliyeti oluşturduğundan çalışmalarında bu maliyeti minimize edecek bir karesel atama problemi olarak ele almışlardır. Şahin ve Türkbey (2009) tarafından yapılan çalışmada dinamik tesis yerleşim problemini karesel atama problemi olarak ele almışlardır. Problemin çözümünde ise tavlama benzetim algoritmasını kullanmışlardır. Le ve ark. (2019), sistematik yerleşim planlaması ve matematiksel modellemenin melez bir yaklaşımını kullanan çok amaçlı ve dinamik geçici alan yerleşim tasarımı geliştirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, sayısal deneylerle yerleşim düzeni optimizasyonu için Microsoft Excel Çözücüsü kullanarak, yöneticiler için matematiksel programlamanın karmaşıklığının nasıl azaltılacağını göstermişlerdir.

Tesis yerleşim problemlerinde literatürde sıklıkla tercih edilen karışık tamsayılı programlama modelleri yer almaktadır. Montreuil (1991), farklı alan yerleşimi problemleri için karışık tamsayılı programlama modeli kullanmıştır. Welgama ve Gibson (1993), toplam taşıma maliyetini ve kullanılmayan alanların toplamını en aza indirmeyi amaçlayan bir algoritma oluşturmuşlardır. Das (1993), esnek üretim sistemlerinde tesis yerleşimi problemi için bir karışık tamsayılı programlama formülasyonu sunmuştur. Rajasekharan ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada, Das (1993) tarafından oluşturulan karışık tamsayılı programlama modeli kullanılarak genetik algoritmaya dayanan sezgisel bir yöntem önerilmiştir. Lacksonen (1994) tarafından ele alınan çalışmada, bölümlerin değişen alanlara sahip olabileceği varsayılarak iki adımlı bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın ilk kısmında, karesel atama problem modeli ile

çalışılmaktadır. İkinci aşamasıda ise istenen blok diyagram düzenini bulmak için karışık bir tamsayılı programlama modeli ile çözüm elde edilmektedir. Hücrenel üretim yapan işletmelerin hücre içi yerleşim planlaması için karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştiren Kia ve ark. (2013) ele aldıkları çalışmalarında hücre içi yerleşim düzeni, işlem rotasyonları, operasyon sıraları gibi özellikleri dikkate almaktadır. Çalışmalarının amacı, toplam taşıma maliyetlerini en aza indirmektir. Ayrıca tesis yerleşim problemlerinde karışık tamsayılı programlama modellerine ek olarak Jiang ve ark. (2014) çalışmalarında gerçek zamanlı olarak tesis yerleşim planlamasını ve değerlendirmesini kolaylaştıran artırılmış gerçeklik tabanlı hibrit bir yaklaşım önerilmektedir. Artırılmış gerçeklik teknolojisini matematiksel modelleme tekniğiyle entegre ederek önerilen yaklaşım, kullanıcıların üretim alanını genişletmesine olanak tanımaktadır. Hong ve ark. (2014) otomatik malzeme taşıma sistemi tasarım modelini incelemişlerdir. Çalışmalarında tek yönlü akışa ve çift yönlü akışlara dayalı taşıma mesafelerini en aza indirmek için bir karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Aynı zamanda ele aldıkları model, küçük boyutlu problem için optimal çözüm sağlarken büyük boyutlu problemler için de kabul edilebilir çözümler elde edebilmektedir. Li ve ark. (2015) tarafından ele alınan çalışmada hücre tipi üretim yapan tesislerin yerleşim problemini incelemişlerdir. Problem kapsamında değişken işlem kapasiteleri, işlem sürelerinin eşitsizliği ve hücreler arası malzeme taşımalarını dikkate almışlardır. Amar ve Abouabdellah (2016) minimum toplam CO<sup>2</sup> emisyonu ile optimize edilmiş bir "blok düzeni" elde etmek için çalışmalarında matematiksel modelleme ve genetik algoritma kullanmışlardır.

Literatürdeki bir diğer çalışma ise Allahyari ve Azab'ın (2018) eşit alana sahip olmayan dikdörtgen şekilli tesislerin yerleşimi problemidir. Problem karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli ile formüle edilmiştir. Alt tesisler önceden belirlenmiş boyutlara sahip olmakla birlikte yönlendirmelerden bağımsızdır. Çalışmanın amacı toplam malzeme taşıma maliyetini minimize etmektir. Karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama problemine farklı bir formül geliştiren Vázquez-Román ve ark. (2019) çözümü, GAMS'e bağlı görsel bir arayüz kullanılarak göstermişlerdir. Hu ve Yang (2019) yarı iletken çip imalatı yapan bir tesisin yerleşimi için matematiksel model önermişlerdir. Modellerindeki amaç taşıma maliyetlerini en aza indirmektir. Çalışmada

parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanılmaktadır. Gai ve Ji (2019) alan kısıtlamalı sağlık tesisine ait veri setini ele aldıkları çalışmada işletme maliyetlerini ve verimliliği amaçlayan departman yerleşim probleminin çözümünde matematiksel modelleme kullanmışlardır.

Bozer ve ark. (1994) tarafından geliştirilen bir algorithmada tek katlı ve çok katlı tesis yerleşim problemlerine çözüm üretebilmektedir. Önerilen yaklaşım başlangıç çözümüne ihtiyaç duymaktadır, fakat bu çözümü rastgele üretebilmektedir. Emami ve Nookabadi (2013) çalışmalarında çok amaçlı matematiksel model önererek karmaşık birleşik optimizasyon problemini ele almışlardır. Ahmadi ve Jokar'ın (2016) tek katlı tesis yerleşim problemini ele alan çalışmalarında üç aşamalı bir model ele alınmıştır. İlk aşamada departmanların katlara karışık tamsayı programlama modeli ile yerleşimi amaçlanmıştır. Çalışmada incelen veri seti tek katlı olduğu için çözüme sadece bu aşama dahil edilmiştir. İkinci aşama olarak her kattaki departmanların göreceli konumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Son olarak departmanların nihai konumlandırması hedeflenerek çözüm sağlanmıştır.

Tesis yerleşim problemine özel algoritmaları; kurucu algoritmalar ve iyileştirici algoritmalar olarak ikiye ayırabilmek mümkündür. Kurucu algoritmalar mevcut bir yerleşim düzeni olmadan ilişkiler ve akış matrisleri gibi bilgileri kullanarak tesis yerleşim düzenini kendileri oluşturan algoritmalarlardır. İyileştirici algoritmalar ise yerleşimi optimize edebilmek için bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duyarlar ve bu çözümü adım adım iyileştirmeye çalışırlar.

Tesis yerleşimine ait birçok algoritma mevcuttur. Algoritmalara bir örnek CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) algoritması verilebilir. CORELAP bölümler arasındaki yakınlık ilişkilerinden faydalanarak tüm bölümlerin birbirleriyle olan ilişkilerine sayısal değerler atanarak puanları hesaplanır. Sonrasında en yüksek yakınlık derecesi olan iki bölüm seçilerek merkeze konumlandırılır ve diğer bölümler de toplam yakınlık derecesine göre sırayla yerleştirilir. Bütün bölümler yerleştirilene kadar prosedür devam eder (Foulds, 1983).

CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique) algoritması Armour ve Buffa (1963) tarafından oluşturulmuştur. Bu algoritmada amaç taşıma maliyetlerini minimize etmektir. CRAFT algoritması, bir iyileştirici algoritmadır. Bu nedenle başlangıç çözümüne ihtiyaç duyar. Mevcut çözümün maliyetini hesapladıktan sonra tesis içerisindeki bölümlerin yerlerini değiştirerek maliyeti azaltmaya çalışır.

Tesis yerleşiminde kullanılan sezgisel yöntemler de mevcuttur. Tavlama benzetim algoritması, ilk olarak Kirkpatrick ve ark. (1983) tarafından ortaya konulmuştur. Problemin çözümünde dilimli ağaç gösterimi kullanılmıştır. Bu sayede hücreler arası akışı minimize edecek bir tavlama benzetim algoritması geliştirilmiştir. Meller ve Bozer (1996) tek katlı ve çok katlı yerleşimler için yeni bir tavlama benzetim algoritması geliştirmişlerdir. Algoritmada yeni aday çözümlerin üretilmesinde farklı bir yöntem kullanarak başlangıç çözümüne daha az bağımlı bir model elde etmişlerdir. Şahin (2011) tarafından yapılan çalışma, toplam malzeme taşıma maliyetinin minimizasyonunu ve toplam yakınlık değerlendirme puanlarının maksimizasyonunu hedefleyerek iki amaçlı tesis yerleşim problemini ele almaktadır. Problemin çözümü için simüle tavlama benzetim algoritması önerilmektedir. Hosseini ve ark. (2014) malzeme akışlarının ve taşıma maliyetlerini en aza indireyecek değişken komşuluk arama algoritması, emparyalist rekabetçi algoritma ve simüle edilmiş tavlama benzetim algoritması olmak üzere sezgisel yöntemlere dayanan hibrit bir teknik önermektedirler.

Tabu arama algoritması tesis yerleşim problemlerinde de kullanılmıştır. Tabu arama algoritması, Glover (1989) tarafından geliştirilmiştir. En önemli özelliği, elde ettiği çözümleri belleğinde tutması ve hareketlerini buna göre devam ettirmesidir. Bu sayede yerel optimum noktalarından kurtulabilmektedir. Algoritma daha önce denenmiş çözümleri işleme almayarak çözüm süresini kısaltmakta ve bütünsel aramaya yönlenebilmektedir. Scholz ve ark. (2010) taşıma maliyetlerini en aza indirilmesini amaçlayan çalışmalarında dilimleme ağacı ve tabu arama algoritması ile çözüm üzerine faaliyetler sürdürülmüştür. Eşit olmayan alanlara sahip alt tesislerin tesis yerleşimi için tabu arama algoritmasını kullanan Kulturel-Konak (2012) doğrusal programlama ile çözüm sağlamıştır. Ayrık parçacık sürü optimizasyonu algoritması ve simülasyon ile

dinamik tesis yerleşim problemi ele alan Bozorgi ve ark. (2015) yaklaşımlarında algoritmanın daha hızlı çalışması ve sonlandırılması için simülasyon kullanmaktadır.

Genetik algoritmalar tesis yerleşim problemlerinde en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Kochhar ve ark. (1998) tek katlı ve farklı alanlara sahip tesislerin yerleşim problemini çözmek için genetik algoritma tabanlı bir algoritma üzerinde çalışmışlardır. Hem eşit hem de farklı büyüklükteki bölümleri dikkate almışlardır. Erel ve ark. (2003) dinamik yerleşim problemini ve bir tesisteki çeşitli birimler arasındaki trafiğin zamanla değiştiği durumu ele alarak, bir planlamada her dönem için, toplam akış ve yer değiştirme maliyetlerini en aza indirecek şekilde bir düzen belirlemeyi amaçlamışlardır. Eşit olmayan alan tesis yerleşim problemini ele alan Garcia-Hernandez ve ark. (2013) etkileşimli genetik algoritma ile çözüme kavuşturmuşlardır. Genetik algoritma ile çözülen bir diğer çalışma ise Lenin ve ark. (2013) tarafından yürütülmüştür. Toplam taşıma maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan çalışmada çözüm için genetik algoritma tercih edilmiştir. Jabal-Ameli ve Moshref-Javadi (2014), hücreli üretim sistemlerinin tasarımını ele alan çalışmalarında problemi ikiye ayırarak konuyu incelemişlerdir. İlki hücrelerin oluşturulması ikincisi ise hücrelerin tesis içinde yerleşimidir. Çalışmalarında; çok amaçlı dağılım araması, baskın olmayan genetik algoritma ve  $\epsilon$ -kısıtlama yöntemi olmak üzere üç farklı yöntemle çözüm sağlamışlardır. Çalışma sonucunda önerilen çok amaçlı dağılım araması algoritmasının çok aşamalı yaklaşımlara kıyasla baskın olmayan genetik algoritmadan daha iyi performans gösterdiğini ve daha iyi çözümler ürettiğini göstermektedir. Çok amaçlı problemlerde de genetik algoritma, Chen ve ark. (2015) tarafından bir rüzgâr tribünü tarlasının yerleşim planlamasında kullanılmıştır. Paes ve ark. (2017) tarafından incelenen problemde dikdörtgen tesislerin sınırsız bir zemin alanında çakışmadan yerleştirmeyi ve aynı zamanda “malzeme taşıma” akışları ile ağırlıklandırılmış tesisler arasındaki mesafelerin toplamını en aza indirmeyi amaçlayan eşit olmayan alan tesis yerleşim problemini ele almaktadır. Yazarlar genetik algoritma ile çözüm için çalışmışlardır.

Ürün akışlarının ileri yönde, sıralı veya by-pass olduğu varsayılan Kumar ve ark. (2011) tarafından ele alınan çalışmada, basit sezgisel algoritma ile çözüm sağlanmaktadır. Hosseini ve Seifbarghy (2016) çalışmalarında malzeme taşıma ekipmanlarının dikkate

alındığı dinamik tesis yerleşim problemini ele almışlardır. Problem çözümünde çok amaçlı doğrusal olmayan matematiksel programlama metodu kullanılmıştır. Aynı zamanda çalışmada pareto tabanlı yeni bir metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Dinamik tesis yerleşimi problemlerini ele alan Guan ve ark. (2012) çalışmalarında otomatik araç kullanan ve yeniden yapılandırılabilir imalat sistemi için revize edilmiş bir elektromanyetizma benzeri mekanizma önerilmektedir. Çalışma küçük ölçekli problemler için optimal çözüm üretirken büyük ölçekli problemler için ise optimale yakın çözüm sağlamaktadır. Çalışmanın amaçları; malzeme taşıma ve yeniden düzenleme maliyetlerinin minimizasyonu, bitişiklik oranının maksimizasyonu ve şekil oranı farkının minimizasyonudur. Abadzadeh ve ark. (2013) tarafından ele alınan çalışmada GAMS yazılımı ve paralel değişken komşuluk arama algoritması kullanılmaktadır. Dinamik tesis yerleşim problemi ele alan Kaveh ve ark. (2014) inceledikleri problemin çözümünde bulanık programlama modeli kullanmışlardır. Liu ve ark. (2017) birden fazla kata sahip olan işletmeleri ele dinamik tesis yerleşim problemini ele almışlardır. Çalışmada Monte Carlo yönteminin geliştirilmiş hali olan Wang-Landau örnekleme algoritması kullanılmıştır. Çalışma algoritmayı dört tesis için ele almıştır. Al Hawarneh ve ark. (2019) tarafından incelenen çalışmada çalışanların ve ekipmanların taşıma maliyetlerini alan dinamik tesis sayısına sahip bir problemde blok algoritmasını kullanılmıştır. Daha sonrasında ikili tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çözüm sağlanmıştır.

Literatürde tesis yerleşim planlaması ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Helgeson ve Birnie (1961) tarafından yapılan çalışmada farklı olarak, geliştirdikleri konum ağırlıklı pozisyon dengeleme tekniği anlatılmıştır. Bu yöntemde, her bir iş ögesine kendisinden sonra gelen iş ögelerinin toplam zamanlarının fazlalığına göre ağırlık verilmektedir. Bahsedilen ağırlıklar konum ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Ayrıca her bir iş ögesi, konum ağırlığı en yüksek olan işten başlayarak ve öncelik ilişkileri de dikkate alınarak istasyonlara ataması hedeflenmektedir. Diğer dikdörtgen şekilli tesislerden farklı olarak Chung ve Tanchoco (2010) çalışmalarında, tesis yerleşim problemini geometrik yapılar açısından incelenmektedirler. Çalışmalarında düzenli altıgen kat planı ve onunla uyumlu malzeme akış modellerini kullanan iki farklı tesis yerleşim uygulaması önermektedir. Maniya ve Bhatt (2011) tesis yerleşim probleminde tercih seçim indeksi metodu

kullanmışlardır ve önerilen metodolojinin doğruluğunun ispatı, iki farklı tesis veri seti üzerinde gösterilmiştir. Singh ve Yilma (2013) çalışmalarında bir cam imalat şirketinin üretim atölyesi zemin yerleşim probleminin çözümünde sistematik bir yerleşim planlama prosedürü uygulamışlardır. Azadeh ve Moradi (2014), güvenlik ve ergonomi faktörleri ile akış atölyesi tesis yerleşim tasarımı probleminin optimizasyonu için entegre bir bulanık simülasyon-bulanık veri zarflama analizi-bulanık analitik hiyerarşi süreci algoritmasını önermektedirler. Asef-Vaziri ve Kazemi (2018) ele aldıkları tesis yerleşimi probleminde genelleştirilmiş gezgin satıcı problemi ile çözüm sağlamışlardır.

Melez yöntemlerin literatürde; tabu algoritması ile karınca algoritması yöntemlerini birleştiren çalışmalar, genetik algoritma ile tavlama benzetim algoritması yöntemlerini birleştiren çalışmalar gibi örnekleri mevcuttur. Böylelikle yöntemlerin birbirinin eksikliklerini kapatması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışması ile benzerlik gösteren ve giriş – çıkış noktalarını ele alan tesis yerleşim çalışmalarından bir tanesi Kim ve Kim (2000) tarafından yapılan çalışmadır. Çalışmalarında şekilleri ve konumları önceden belirlenmiş tesislerin giriş ve çıkış noktalarını bulmak için bir dal ve sınır algoritması sunmuşlardır. Her bölümün giriş ve çıkış noktalarını bulma problemini göz önünde bulundurarak toplam malzeme akış mesafesini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için de bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Giriş ve çıkış noktalarının optimal yerini bulmak için de dal ve sınır algoritması geliştirilmiştir. Solimanpur ve Jafari (2008) çalışmalarında, iki boyutlu bir alanda makinelerin optimum yerleşimini belirlemek için karışık tamsayı doğrusal olmayan bir matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Giriş-çıkış noktaları olan tesislerin yerleşimini alan çalışmada çözüm için iki sezgisel algoritma geliştirmişlerdir (Park ve Seo, 2019). Bunlardan ilki tesisleri sırayla yerleştiren bir yapıdır. İkinci adım birincinin sonuçlarını iyileştirmektedir. Tesisler gruplandırılarak birlikte hareket ettirilmesi hedeflenmektedir. Lee ve Kim (2000), blok düzenini, tüm tesislerin dikdörtgen şekillerde olduğunu varsayarak bir algoritma geliştirmişlerdir.

Literatür taramasında tesis yerleşim planlamasını içeren çalışmalar, Pérez-Gosende ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmadan esinlenerek özetlenmiş ve Çizelge 2.1’de

gösterilmiştir. Çizelge 2.1’de yer alan kısaltmalar aşağıda anlatılmaktadır (Pérez-Gosende ve ark., 2021).

- Problem Tipi (P.T.): Yeni tesislerin veya süreçleri devam eden tesislerin yerleşim problemlerinin karar verme sürecidir. İlk tesis yerleşimi (G-Greenfield design) ve yeniden yerleşim tasarımı (R-Re-layout design) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.
- Planlama Fazı (P.F.): Blok tasarım (block layout-BL) ve detaylı tasarım (detailed layout-DL) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Blok tasarım fabrika tasarımını ele alırken detaylı tasarım ise fabrikadaki diğer bölümlerin iç tasarımını da ele almaktadır.
- Tesis Şekli (T.Ş.): Tesise ait alt tesislerin şeklini düzenli (regular-R) ve düzensiz (irregular-I) olarak incelenmektedir.
- Yerleşim Oluşturma Yaklaşımı (Y.O.Y.): Tesis yerleşim problemlerinin çözümünde kullanılan metotları ifade etmektedir. Matematiksel model (mathematical modelling-MP) ve deneyimsel yaklaşım (experts’ knowledge-EK) ile çözüm sağlanmaktadır.
- Giriş-Çıkış Noktası (G.Ç.N.): Tesis yerleşim problemlerinde ele alınan tesislerin giriş-çıkış noktalarının varlığını incelemektedir. Eğer tesislerin giriş-çıkış noktaları dikkate alınıyor ise tabloda “+” ile ifade edilirken dikkate alınmadığı çalışmalarda ise “-” ile ifade edilmektedir.
- Planlama Yaklaşımı (P.Y.): Malzeme akışlarının değişikliğine göre statik ve dinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik (S), yatayda malzeme akışı olan yerleşimleri tanımlarken; dinamik (D), birden fazla zamana ayrıldığı malzeme akışlarını tanımlamaktadır.



**Çizelge 2.1.** Geçmiş çalışmaların sınıflandırılması

No	Yazar / Yıl	P.T.	P.F.	T.Ş.	Y.O.Y.	G.Ç.N.	P.Y.
1	Garcia-Hernandez ve ark. (2013)	G	BL	R	MP	-	S
2	Gai ve Ji (2019)	G	BL	R	MP	-	S
3	Park ve Seo (2019)	G	BL	R	MP	+	S
4	Hu ve Yang (2019)	G	BL	R	MP	-	S
5	Vázquez-Román ve ark. (2019)	G	BL	R	MP	-	S
6	Asef-Vaziri ve Kazemi (2018)	G	BL	R, I	MP	-	S
7	Allahyari ve Azab (2018)	G	BL	R	MP	-	S
8	Paes ve ark. (2017)	G	BL	R	MP	-	S
9	Helber ve ark. (2016)	G	BL	R	MP	-	S
10	Ahmadi ve Jokar (2016)	G	BL	R	MP	-	S
11	Jabal-Ameli ve Moshref-Javadi (2014)	G	BL, DL	R	MP	-	S
12	Azadeh ve Moradi (2014)	R	BL	R	EK	-	S
13	Hong ve ark. (2014)	G	BL	R	MP	-	S
14	Jiang ve ark. (2014)	R	DL	R	MP	-	S
15	Lenin ve ark. (2013)	G	DL	R	MP	-	S
16	Kulturel-Konak (2012)	G	BL	R	MP	-	S
17	Kumar ve ark. (2011)	G	DL	R	MP	-	S
18	Maniya ve Bhatt (2011)	G	BL	R		-	S
19	Şahin (2011)	G	BL	R	MP	-	S
20	Chung ve Tanchoco (2010)	G	DL	I	MP	-	S
21	Scholz ve ark. (2010)	G	BL	R	MP	-	S
22	Abedzadeh ve ark. (2013)	G	BL	R	MP	-	D
23	Al Hawarneh ve ark. (2019)	G	BL	R	MP	-	D
24	Bozorgi (2015)	G	BL	R	MP	-	D
25	Emami ve Nookabadi (2013)	G	BL	R	MP	-	D
26	Guan ve ark. (2012)	G	BL	R	MP	-	D
27	Hosseini ve Seifbarghy (2016)	G	BL	R	MP	-	D
28	Hosseini ve ark. (2014)	G	BL	R	MP	-	D
29	Kaveh ve ark. (2014)	G	BL	R	MP	-	D
30	Kia ve ark. (2013)	G	DL	R	MP	-	D
31	Li ve ark. (2015)	G, R	BL	R	MP	-	D
32	Liu ve ark. (2017)	G	BL	R	MP	-	D
33	Koopmans ve Beckmann (1957)	G	DL	R	MP	-	S
34	Helgeson ve Birnie (1961)	G	DL	R	MP	-	S
35	Lee ve Kim (2000)	G	BL	R	MP	-	S
36	Foulds (1983).	G	DL	R	MP	-	S
37	Montreuil (1991)	G	-	-	MP	-	S
38	Welgama ve Gibson (1993)	G	BL	R	MP	-	S
39	Das (1993)	G	DL	R	MP	-	S
40	Rajasekharan ve ark. (1998)	G	BL	R	MP	-	S

**P.T.:** Problem Tipi, G: İlk tesis yerleşimi, R: Yeniden yerleşim tasarımı; **P.F.:** Planlama Fazı, B.L.:Blok tasarım, D.L.: Detaylı tasarım; **T.Ş.:** Tesis Şekli, R: Düzenli, I: Düzensiz; **Y.O.Y.:**Yerleşim Oluşturma Yaklaşımı, MP: Matematiksel model, EK: Deneyimsel yaklaşım; **G.Ç.N.:** Giriş-çıkış noktası, “+”: Var, “-”: Yok; **P.Y.:** Planlama yaklaşımı, S: Statik, D: Dinamik

**Çizelge 2.1.** Geçmiş çalışmaların sınıflandırılması (devamı)

No	Yazar / Yıl	P.T.	P.F.	T.Ş.	Y.O.Y.	G.Ç.N.	P.Y.
41	Kim ve Kim (2000)	G	BL	R	MP	+	
42	Le ve ark. (2019)	G	DL	R	MP	-	S
43	Kochar ve ark. (1998)	G	BL	R	MP	-	S
44	Kochar ve ark. (1998)	G	BL	R	MP	-	S
45	Amar ve Abouabdellah (2016)	G	BL	R	MP	-	S
46	Erel ve ark. (2003)	G	DL	R	MP	-	S
47	Solimanpur ve Jafari (2008)	G	BL	R	MP	-	D
48	Lacksonen (1994)	G	BL	R	MP	-	S, D
49	Singh ve Yilma (2013)	G	BL	R	MP	-	S
50	Bozer ve ark. (1994)	G	DL	R	MP	-	D
51	Kirkpatrick ve ark. (1983)	G	DL	R	MP	-	S
52	Meller ve Bozer (1996)	G	DL	R	MP	-	D
53	Glover (1989)	G	DL	R	MP	-	S
54	Şahin ve Türkbey (2009)	G	DL	R	MP	-	D
55	Tate ve Smith (1995)	G	DL	R	MP	-	S
56	Chen ve ark. (2015)	G	DL	R	MP	-	S
57	Armour ve Buffa (1963)	G	B	R	MP	-	S

**P.T.:** Problem Tipi, G: İlk tesis yerleşimi, R: Yeniden yerleşim tasarımı; **P.F.:** Planlama Fazı, B.L.:Blok tasarım, D.L.: Detaylı tasarım; **T.Ş.:** Tesis Şekli, R: Düzenli, I: Düzensiz; **Y.O.Y.:**Yerleşim Oluşturma Yaklaşımı, MP: Matematiksel model, EK: Deneysel yaklaşım; **G.Ç.N.:** Giriş-çıkış noktası, “+”: Var, “-”: Yok; **P.Y.:** Planlama yaklaşımı, S: Statik, D: Dinamik

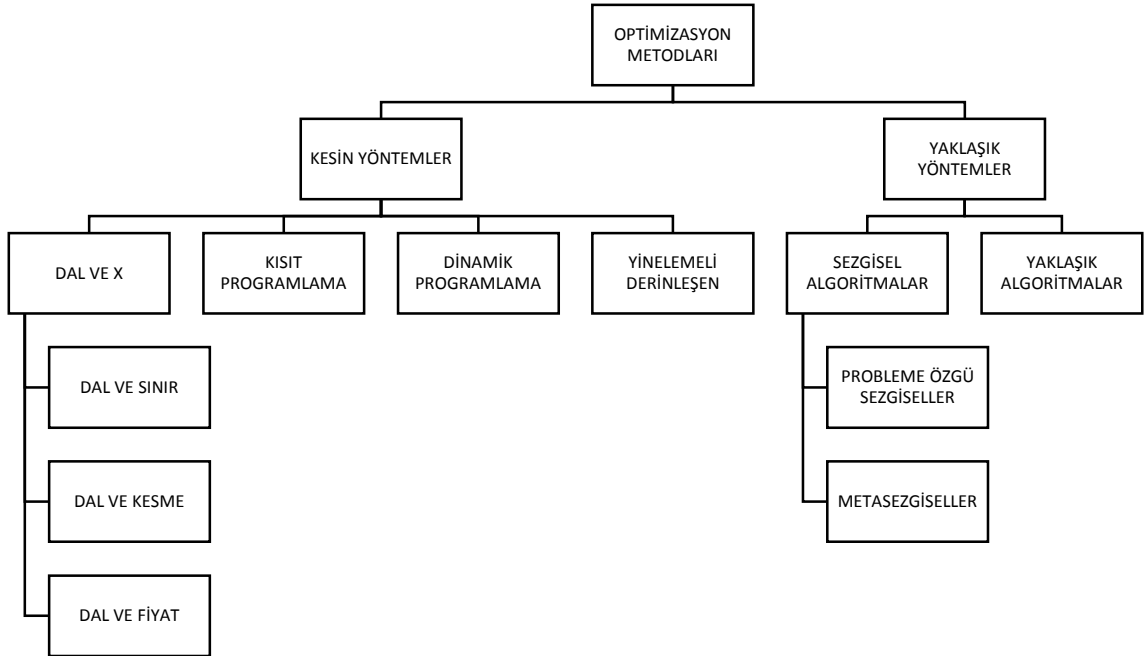
Bu çalışmanın literatüre olan en önemli katkısı, tesis yerleşim problemi için kapsamlı bir doğrusal programlama formülasyonunun uygulanması, buna yönelik model temelli bir karar destek sisteminin geliştirilmiş olması ve önerilen yaklaşımın örnek problemler üzerinde test edilmesi olarak ifade edilebilir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, şekilleri dikdörtgen olan, giriş ve çıkış noktalarının konumları belirli olan alt tesislerin, ana tesis içerisine yerleşim problemi için bir matematiksel programlama modeli kullanılmış ve kullanıcılar için bir karar destek sistemi prototipi geliştirilmiştir.

#### 3.1. Materyal

Optimizasyon problemleri belirli kısıtlar altında en iyi çözümü aramaktadır. Klasik optimizasyon yöntemlerini Şekil 3.1'deki gibi sınıflandırılmıştır (Talbi, 2009).



Şekil 3.1. Klasik optimizasyon metotları (Talbi, 2009)

Gerçek hayattaki problemler insan, makine, tesis gibi bölünemeyen unsurlar içerdiğinden tamsayı doğrusal programlama modelleri ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Tulunay, 1980).

Tamsayı programlama, doğrusal ve doğrusal olmayan değişkenlerin tamamının veya bir bölümünün kesikli tanımlandığı problemlere “kesikli optimizasyon” veya “tamsayı optimizasyon” problemi denir (Patır, 2010).

Doğrusal programlamada sonsuz sayıda olurlu çözüm varken, tamsayıli programlamada sınırlı sayıda olurlu çözüm bulunduğu için tamsayıli programlama, doğrusal programlamaya göre daha kolay çözüm üretebilme görünümünü vermektedir. Ancak tamsayıli programlamada, tüm köşe ve olurlu alan içindeki noktaların araştırılması gerekebilmektedir.

Tamsayıli programlama problemleri normal olarak sürekli biçimde tanımlanan karar değişkenlerinin, kesikli değerler alan, karar değerşkenleri biçimde tanımlandığı, gerçek problemlerin doğası gereği en sık karşılaşılan durumlara çözüm arar. Bu durum hem problemlerin modellenmesinde ve hem de modellerin problem çözümünde kullanılmasında, etkin ve hızlı çalışan algoritmalar gereksinimini beraberinde getirmiştir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Tamsayıli programlama genel problemlerinin matris formu aşığıdaki gibidir (Schrijver, 1998):

$$\max\{cx \mid Ax \leq b; x \text{ tamsayı}\} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde  $A$  matris,  $b$  ve  $c$  vektör olarak ifade edilmektedir. Tamsayıli programlama problemlerinin diğer bir ifadesi ise aşığıdaki gibidir (Schrijver, 1998):

$$\max\{cx \mid Ax = b; x \geq 0; x \text{ tamsayı}\} \quad (3.2)$$

Her iki denklemde de problemin polinom eşıtlığı olarak tanımlanmaktadır. Problemin dual ve primal formu arasındaki ilişki aşığıdaki denklemler ile ifade edilmiştir:

$$\max\{cx \mid Ax \leq b; x \text{ tamsayı}\} \leq \min\{yb \mid yA = c; y \geq 0; y \text{ tamsayı}\} \quad (3.3)$$

Tamsayıli programlama problemleri, NP-tam problemleri grubunda bulunmaktadır ve bu yüzden genel olarak polinomiyal bir çözümünün olmadığı düşünölmektedir. Tamsayıli programlama modeli çözümleri aynı zamanda negatif olmayan diğer çözümlerdir. Modellerin çözümü diğer negatif olmayan tamsayıli eşıtlikleri içeren problemlerde

kullanılan çözüm yöntemleri ile sağlanabilmektedir. Doğrusal programlama gevşetme kavramı, tamsayılı programlamanın çözümünde önemli bir rol oynar. Tamsayı kısıtlamaları içermeyen bir tamsayı programlama modelinden doğrusal programlama gevşemesi ile bir doğrusal programlama modeli elde edilir. Bu nedenle doğrusal programlama gevşemesi ile oluşturulan doğrusal programlama modelleri, tamsayılı programlama modellerine göre daha az kısıtlayıcı ve daha esnek bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, doğrusal programlama gevşemesi tarafından oluşturulan doğrusal programlama çözüm uzayı, karşılık gelen tamsayılı programlama çözüm uzayını da içerir. Örneğin, maksimizasyon problemlerinde, doğrusal programlama gevşemesi için optimal amaç fonksiyonu değeri, tamsayılı programlama için optimal amaç fonksiyonu değerinden her zaman daha büyüktür (Winston, 2003).

Doğrusal programlama gevşemesi ile elde edilen doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir (Schrijver, 1998):

$$\max\{cx \mid Ax \leq b\} \quad (3.4)$$

Tamsayı programlama problemlerine depo problemleri, sırt çantası problemleri, çizelgeleme problemleri, portföy problemleri örnek gösterilebilir (Schrijver, 1998).

Tamsayılı programlama modelinin kapalı formu ise aşağıdaki denklemlerle gösterilmiştir (Bradley ve ark., 1977):

$$\max z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.6)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.7)$$

$$x_j \in \mathbb{Z} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.8)$$

Problemlerde değişkenlerin bazıları sürekli değerler alıyorken, bazıları ise tamsayı değerler alması gerekmektedir. Bu tarzdaki problemlere karışık-tamsayılı problemler denilmektedir. Karışık tamsayılı programlama modelinin en genel matris gösterimi ise aşığıdaki denklemlerle gösterilebilir:

$$\max\{cx + dy \mid Ax + Gy \leq b; x \geq 0 \text{ ve } y \text{ tamsayı}\} \quad (3.9)$$

Karışık tamsayılı programlama modelinin kapalı formu aşığıdaki gibidir (Chen ve ark., 2011):

$$\max z = \sum_j c_j x_j + \sum_k d_k y_k \quad (3.10)$$

$$\sum_j a_{ij} x_j + \sum_k g_{ik} y_k \leq b_i, \quad \forall i \quad (3.11)$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j \quad (3.12)$$

$$y_k \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \quad \forall k \quad (3.13)$$

Tüm karar değişkenlerinin tamsayı ve yalnızca 0 veya 1 değerler aldığı ikili (0-1) tamsayılı programlama probleminin matris gösterimi aşığıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\max\{cx \mid Ax \leq b; x \in \{0,1\}\} \quad (3.14)$$

0-1 tamsayılı programlama modelinin kapalı formu ise aşığıda gösterilmiştir (Chen ve ark. 2011):

$$\max z = \sum_j c_j x_j \quad (3.15)$$

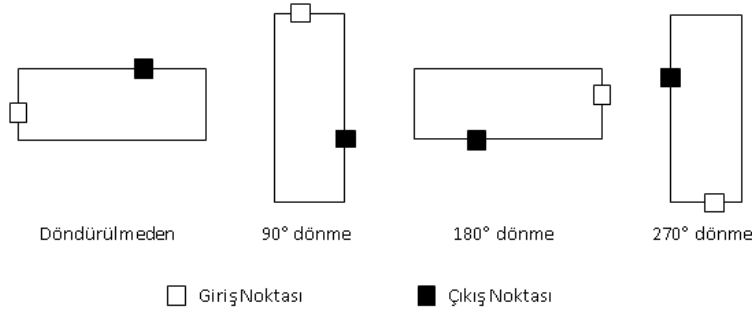
$$\sum_j a_{ij} x_j \leq b_i, \quad \forall i \quad (3.16)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \quad (3.17)$$

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Matematiksel programlama modeli

Çalışmada ele alınacak olan tesislerin şekillerinin dikdörtgen olduğu, bir giriş ve bir de çıkış noktasına sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu kapsamda ele alınması planlanan şekillerin (bölümlerin) Şekil 3.2’de verildiği gibi  $90^\circ$  açılarla döndürülebileceği varsayılmıştır. Şekilde yer alan birinci görsel, tesisin döndürülme olmaksızın normal yerleşimini vermektedir. İkinci görsel tesisin saat yönünde  $90^\circ$  döndürülmüş pozisyonunu; üçüncü görsel saat yönünde  $180^\circ$  döndürülmüş pozisyonunu ve son olarak dördüncü görsel  $270^\circ$  döndürülmüş pozisyonunu göstermektedir.



**Şekil 3.2.** Tesislerin Giriş-Çıkış Noktalarına Göre Pozisyonları (Kim ve Kim, 2000)

Çalışma kapsamında dikkate alınan matematiksel programlama modeli Kim ve Kim’in (2000) yaptığı çalışmadan alınmıştır ve aşağıda verilmiştir.

#### Parametreler

$N$ :	tesis sayısı
$W$ :	zemin en uzun ölçüsü
$L$ :	zemin en kısa ölçüsü
$f_{ij}$ :	$i$ . tesisden (çıkış) $j$ . tesise (giriş) malzeme akış miktarı
$w_i$ :	$i$ . tesisin en uzun ölçüsü
$l_i$ :	$i$ . tesisin en kısa ölçüsü

- $I_i^x, I_i^y$ :  $i$ . tesisin  $x$  ve  $y$  ekseninde, giriş noktası ile sol alt köşe noktası arasındaki temel doğrultuda mesafeleri
- $O_i^x, O_i^y$ :  $i$ . tesisin  $x$  ve  $y$  ekseninde, çıkış noktası ile sol alt köşe noktası arasındaki temel doğrultuda mesafeleri

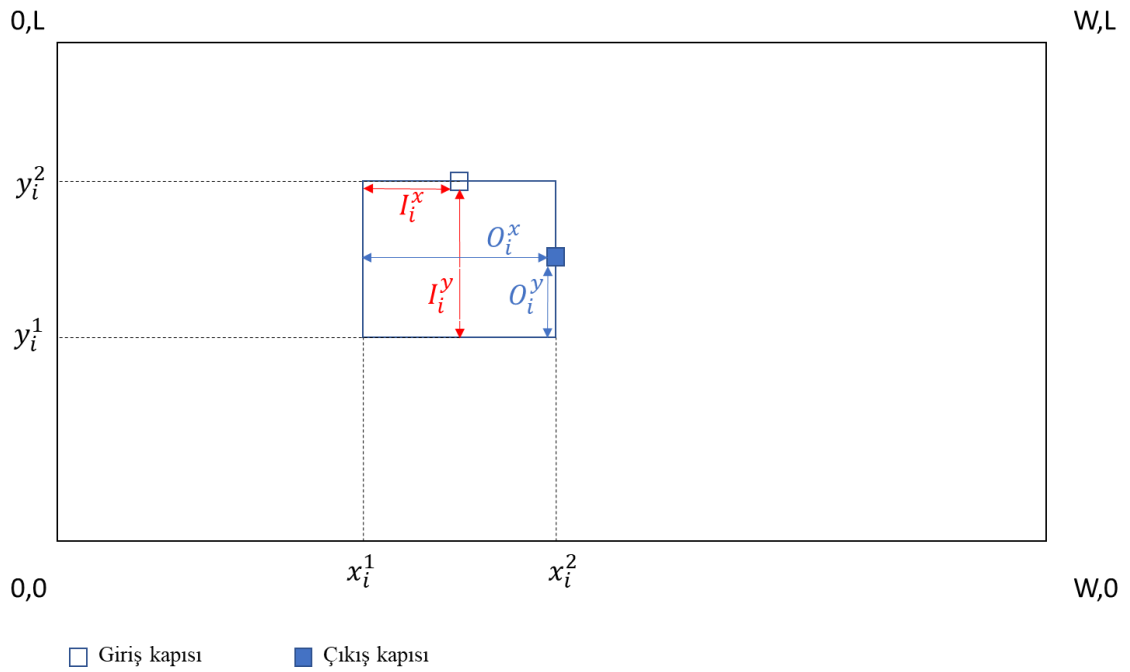
### Karar değişkenleri

- $(x_i^l, y_i^l)$ :  $i$ . tesisin giriş  $x$  ve  $y$  koordinatları
- $(x_i^o, y_i^o)$ :  $i$ . tesisin çıkış  $x$  ve  $y$  koordinatları
- $x_{ij}^+$ :  $\max(0, x_i^o - x_j^l)$
- $x_{ij}^-$ :  $\max(0, x_i^l - x_j^o)$
- $y_{ij}^+$ :  $\max(0, y_i^o - y_j^l)$
- $y_{ij}^-$ :  $\max(0, y_i^l - y_j^o)$
- $x_i^1, x_i^2$ :  $i$ . tesisin, sırasıyla, sol ve sağ sınırlarının  $x$  koordinatları
- $y_i^1, y_i^2$ :  $i$ . tesisin, sırasıyla, alt ve üst sınırlarının  $y$  koordinatları
- $r_{ij}$ :  $\begin{cases} 1, & i. \text{ tesis}, j. \text{ tesisin solunda yer alıyorsa}, x_i^2 \leq x_j^1 \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
- $s_{ij}$ :  $\begin{cases} 1, & i. \text{ tesis}, j. \text{ tesisin altında yer alıyorsa}, y_i^2 \leq y_j^1 \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
- $u_i^1$ :  $\begin{cases} 1, & i. \text{ tesis temel yönündeyse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
- $u_i^2$ :  $\begin{cases} 1, & i. \text{ tesis temel yönünden } 90^\circ \text{ döndürüldüyse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
- $u_i^3$ :  $\begin{cases} 1, & i. \text{ tesis temel yönünden } 180^\circ \text{ döndürüldüyse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
- $u_i^4$ :  $\begin{cases} 1, & i. \text{ tesis temel yönünden } 270^\circ \text{ döndürüldüyse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$x_{ij}^+$  karar değişkeni matematiksel modelde de belirtildiği gibi  $\max(0, x_i^o - x_j^l)$  olarak tanımlanmaktadır. Bu karar değişkeni  $i$ . tesisin çıkış noktası ile  $j$ . tesisin, giriş noktaları arasındaki mesafe eğer pozitifse  $x_i^o - x_j^l$  değerini alırken, negatifse 0 değerini almaktadır.



Şekil 3.3'te tesis pozisyonlarını gösteren bir örnek verilmektedir. Burada büyük dikdörtgen ana tesisi göstermektedir. İçerisinde yer alan dikdörtgen ise alt tesislere bir örnektir. Alt tesiste yer alan küçük lacivert kare çıkış noktası iken, içi boş küçük kare ise giriş noktasını ifade etmektedir. Kırmızı oklar giriş noktasına ait alt tesis içerisindeki  $x$  ve  $y$  koordinatlarını, mavi oklar ise çıkış noktasına ait alt tesis içerisindeki  $x$  ve  $y$  koordinatlarını göstermektedir. Alt tesisin sol alt köşe  $x$  koordinatı  $x_i^1$ , sağ alt köşe  $x$  koordinatını da  $x_i^2$  ile belirtilmektedir. Alt tesislerin  $y$  koordinatları için ise benzer şekilde alt köşesi  $y_i^1$ , üst köşesi ise  $y_i^2$  ile belirtilmektedir. Ana tesisin genişliği  $W$  ile gösterilirken, yüksekliği ise  $L$  ile gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Konum ve yönelim gösterimi (Kim ve Kim, 2000)

#### Amaç Fonksiyonu:

$$z = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f_{ij} (x_{ij}^+ + x_{ij}^- + y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \quad (3.18)$$

**Kısıtlar:**

$$x_i^0 - x_j^l = x_{ij}^+ - x_{ij}^-, \quad \forall i, j \quad (3.19)$$

$$y_i^0 - y_j^l = y_{ij}^+ - y_{ij}^-, \quad \forall i, j \quad (3.20)$$

$$u_i^1 + u_i^2 + u_i^3 + u_i^4 = 1, \quad \forall i \quad (3.21)$$

$$x_i^2 = x_i^1 + (u_i^1 + u_i^3)w_i + (u_i^2 + u_i^4)l_i, \quad \forall i \quad (3.22)$$

$$y_i^2 = y_i^1 + (u_i^1 + u_i^3)l_i + (u_i^2 + u_i^4)w_i, \quad \forall i \quad (3.23)$$

$$r_{ij} + r_{ji} + s_{ij} + s_{ji} \geq 1, \quad \forall i, j | i < j \quad (3.24)$$

$$x_i^2 \leq x_j^1 + W(1 - r_{ij}), \quad \forall i, j \quad (3.25)$$

$$y_i^2 \leq y_j^1 + L(1 - s_{ij}), \quad \forall i, j \quad (3.26)$$

$$x_i^l = x_i^1 + I_i^x u_i^1 + I_i^y u_i^2 + (w_i - I_i^x)u_i^3 + (l_i - I_i^y)u_i^4, \quad \forall i \quad (3.27)$$

$$x_i^o = x_i^1 + O_i^x u_i^1 + O_i^y u_i^2 + (w_i - O_i^x)u_i^3 + (l_i - O_i^y)u_i^4, \quad \forall i \quad (3.28)$$

$$y_i^l = y_i^1 + I_i^x u_i^1 + (w_i - I_i^x)u_i^2 + (l_i - I_i^y)u_i^3 + I_i^x u_i^4, \quad \forall i \quad (3.29)$$

$$y_i^o = y_i^1 + O_i^y u_i^1 + (w_i - O_i^x)u_i^2 + (l_i - O_i^y)u_i^3 + O_i^x u_i^4, \quad \forall i \quad (3.30)$$

$$x_i^2 \leq W, \quad \forall i \quad (3.31)$$

$$y_i^2 \leq L, \quad \forall i \quad (3.32)$$

$$x_i^l, y_i^l, x_i^o, y_i^o, x_i^1, y_i^1, x_i^2, y_i^2 \geq 0, \quad \forall i \quad (3.33)$$

$$x_{ij}^+, x_{ij}^-, y_{ij}^+, y_{ij}^- \geq 0, \quad \forall i, j \quad (3.34)$$

$$u_i^1, u_i^2, u_i^3, u_i^4 \in \{0,1\}, \quad \forall i \quad (3.35)$$

$$r_{ij}, s_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (3.36)$$

Modelin amacı, tesislerin giriş ve çıkış noktaları arasındaki akış miktarlarına göre ağırlıklandırılmış doğrusal uzaklıkların toplamı olan, toplam tesisler arasındaki hareket mesafesini en aza indirmektir. Denklem (3.19) ve (3.20)  $i$ . tesisin çıkış noktasından tesis  $j$ 'nin giriş noktasına olan doğrusal mesafeyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Burada, amaç fonksiyonu ile Denklem (3.19), (3.20) ve (3.34) amaç fonksiyonunu doğrusallaştırmak için kullanılmaktadır. Denklem (3.21), her tesis için sadece bir yönlendirme seçilebilmesini sağlamaktadır. Her tesis için sadece bir yönlendirmeye izin vermektedir. Denklem (3.22) ve (3.23) sırasıyla her bir tesisin sağ sınırının  $x$  koordinatını ve üst sınırının  $y$  koordinatını tanımlamaktadır aynı zamanda tesislerin ana tesisin dışına konumlandırılmasını engellemektedir. Denklem (3.24), (3.25) ve (3.26) her bir tesis çiftinin  $x$  yönünde veya  $y$  yönünde ayrılmasına izin vererek tesislerin çakışmasını önlemektedir. Denklem (3.25), tesislerin birbirinin solunda olup olmadığını kontrol ederken denklem (3.26) tesislerin birbirlerinin altında olup olmadığını kontrol ederek çakışmaların önüne geçmektedir. Denklem (3.27), (3.28), (3.29) ve (3.30) her bir tesis için giriş ve çıkış noktalarının  $x - y$  koordinatlarını belirtmek için kullanılmaktadır. Denklem (3.31) ve (3.32) ise tüm tesislerin zeminde olmasını ve ana tesisten dışarı konumlandırmalarını önlemeyi sağlamaktadır. Denklem (3.33) tesisin koordinat değerlerinin sıfır ve sıfırdan büyük olduğunu ifade etmektedir. Denklem (3.34) giriş-çıkış koordinat değerlerinin 0 ve 0'dan büyük olduğunu ifade etmektedir. Denklem (3.35) tesislerin döndürülmesi durumunda 0 veya 1 değerini almaktadır. Denklem (3.36) tesislerin diğer tesislerin sağında veya solunda yer alması durumunda 0 veya 1 değerini almaktadır.

### 3.2.2. Karar destek sistemi

Çalışmada kullanıcıya sonuçların daha anlaşılır olması için görsellerin sunulması da hedeflenmiştir. Görselleştirme Microsoft Excel ortamında yazılan makrolar ile sağlanmıştır. Böylelikle gerekli yetkinliğe sahip olmayan kullanıcıların da önerilen metodolojiyi kullanabilmelerinin sağlanması amaçlanmıştır.

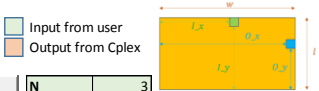
Microsoft Excel’de öncelikle kullanıcıyı bilgilendirmek adına Şekil 3.4’te “PARAMETERS” sayfasında parametrelerin tanımları sunulmaktadır. Yeşil alanda yer alan parametreler kullanıcı tarafından girişinin yapılması gereken değerlerin açıklaması iken pembe alanda yer alan parametreler IBM ILOG CPLEX programından gelen sonuçları ifade etmektedir.

N	number of facilities	tesis sayısı
w	length of the longer side of the floor	zemin en uzun ölçüsü (genişlik)
l	length of the shorter side of the floor	zemin en kısa ölçüsü (yükseklik)
I_x	distances in x-axis , respectively, between the input point and the bottom left corner point of facility in its basic	i. tesisin x ekseninde, giriş noktası ile sol alt köşe noktası arasındaki temel doğrultuda mesafeleri
I_y	distances in y-axis , respectively, between the input point and the bottom left corner point of facility in its basic	i. tesisin y ekseninde, giriş noktası ile sol alt köşe noktası arasındaki temel doğrultuda mesafeleri
O_x	distances in x-axis, respectively, between the output point and the bottom left corner point of facility in its basic orientation.	i. tesisin x ekseninde, çıkış noktası ile sol alt köşe noktası arasındaki temel doğrultuda mesafeleri
O_y	distances in y-axis, respectively, between the output point and the bottom left corner point of facility in its basic orientation.	i. tesisin y ekseninde, çıkış noktası ile sol alt köşe noktası arasındaki temel doğrultuda mesafeleri
f/f	amount of material flow from (output point of) facility to (input point of) facility	i. tesisin (çıkış) j. tesise (giriş) malzeme akış miktarı
x_1	x-coordinates of the left and right boundaries of facility , respectively	i. tesisin sol sınırının x koordinatları
y_1	y-coordinates of the left and right boundaries of facility , respectively	i. tesisin sol sınırının y koordinatları
u_1	equals 1 if facility is in its basic orientation, and 0 otherwise,	i. tesis temel yönündeyse 1’e eşittir, değilse 0’dır
u_2	equals 1 if facility is rotated 90° clockwise from its basic orientation, and 0 otherwise	i. tesis temel yönünden 90° temel yönünden dönükse 1’e eşittir, değilse 0’dır
u_3	equals 1 if facility is rotated 180° clockwise from its basic orientation, and 0 otherwise	i. tesis temel yönünden 180° temel yönünden dönükse 1’e eşittir, değilse 0’dır
u_4	equals 1 if facility is rotated 270° clockwise from its basic orientation, and 0 otherwise	i. tesis temel yönünden 270° temel yönünden dönükse 1’e eşittir, değilse 0’dır
x_I	x coordinates of input point of facility	i. tesisin giriş noktasının x koordinatı
y_I	y coordinates of input point of facility	i. tesisin giriş noktasının y koordinatı
x_O	x coordinates of output point of facility	i. tesisin çıkış noktasının x koordinatı
y_O	y coordinates of output point of facility	i. tesisin çıkış noktasının y koordinatı

Şekil 3.4. Microsoft Excel “PARAMETERS” sayfası görseli

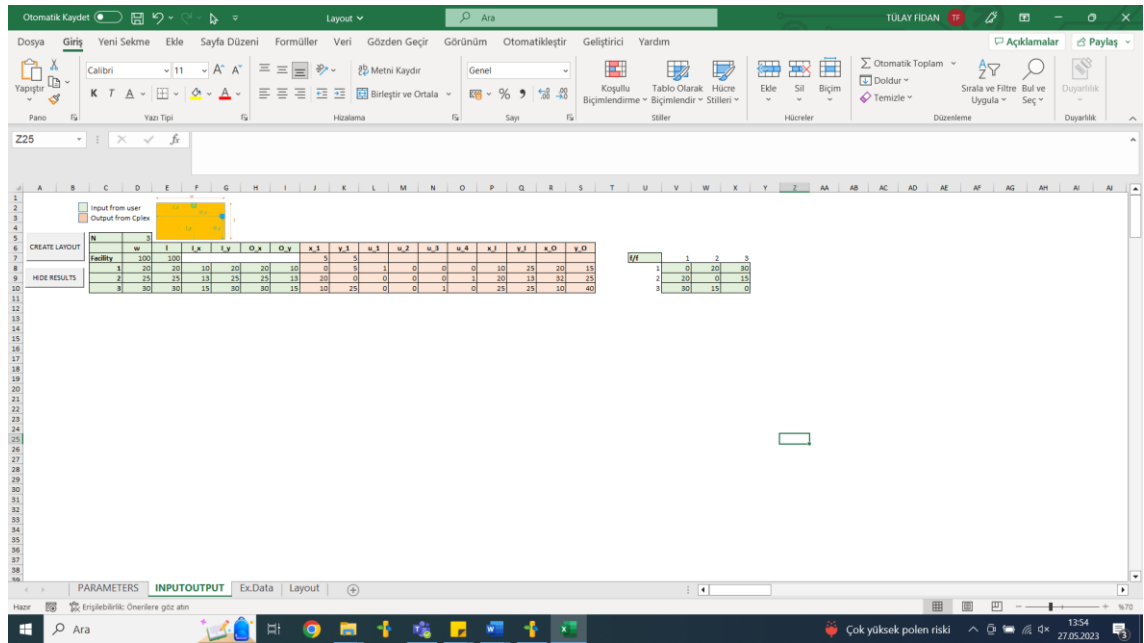
“INPUTOUTPUT” sayfasında kullanıcı Şekil 3.5’te yer alan görseli görecektir. Eğer kullanıcı isterse sonuçları görmek için “SHOW RESULTS” butonuna tıklayarak Şekil 3.6’daki tabloları görebilecektir. Kullanıcının, yeşil alanda yer alan parametre değerlerinin girişlerini manuel olarak yapması beklenmektedir. Kullanıcı tüm girişleri

tamamlandıktan sonra “CREATE LAYOUT” butonuna tıklaması gerekmektedir. Arka planda IBM ILOG CPLEX çözücüsünü çalıştırarak sonuçlar bir metin dosyasına aktarılmaktadır. Kullanıcının tesis sayısı bilgisi girmesine gerek yoktur, girilen tesislerin bilgilerine göre tesis sayısı sistem tarafından belirlenmektedir. Tesisleri kullanıcı isterlerse isimleri ile isterlerse de numaralandırarak girebilir. Bu sonuçlar öncelikle “INPUTOUTPUT” sayfasında pembe alana yazılmaktadır.



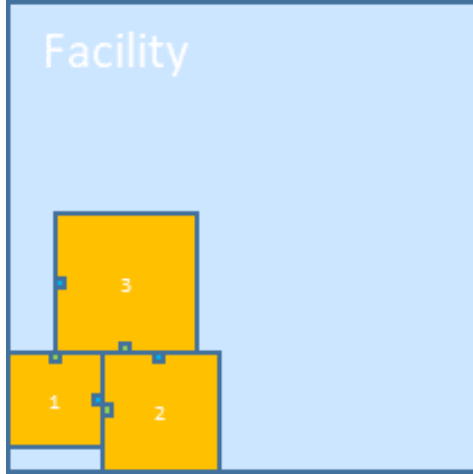
	N	w	l	l_x	l_y	O_x	O_y	x_1	y_1	u_1	u_2	u_3	u_4	x_l	y_l	x_o	y_o
CREATE LAYOUT	Facility	100	100					5	5								
	1	20	20	10	20	20	10	0	5	1	0	0	0	10	25	20	15
HIDE RESULTS	2	25	25	13	25	25	13	20	0	0	0	0	1	20	13	32	25
	3	30	30	15	30	30	15	10	25	0	0	1	0	25	25	10	40

Şekil 3.5. Microsoft Excel “INPUTOUTPUT” sayfası görseli



Şekil 3.6. Microsoft Excel “INPUTOUTPUT” sayfası detaylı görseli

“Layout” sayfasında, kullanıcıya tesislerin yerleşimi Şekil 3.7’deki gibi çizilmektedir. Tesislerin isimleri/numaraları her bir tesisin içinde yazılmıştır. Yeşil ile çizilen noktalar giriş noktaları iken mavi ile çizilen noktalar çıkış noktalarıdır. Tesislerin isimleri/numaraları tesislerin içinde yazılmaktadır.



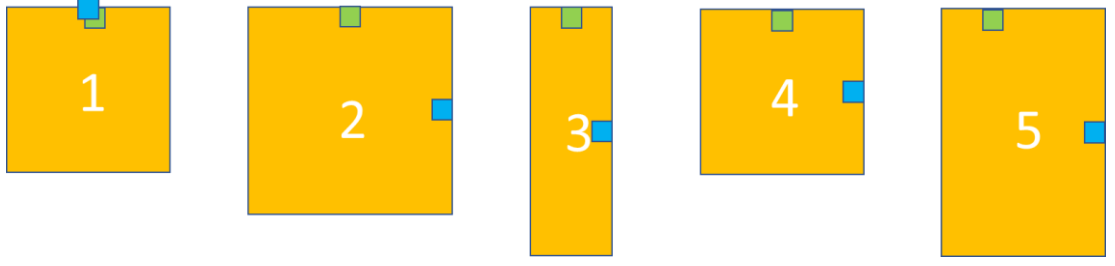
**Şekil 3.7.** Microsoft Excel “Layout” sayfası görseli

Örnek olarak Şekil 3.8’de yer alan veri seti ele alınmıştır. Bu örnek, çalışmada ele alınan örneklerden bir tanesi olan beş alt tesis için yapılan tesis yerleşimidir. Burada ana tesisimiz  $100 \times 100$  m<sup>2</sup>’lik ölçüme sahiptir. Alt tesislerin ölçüleri sırasıyla  $20 \times 20$ ,  $25 \times 25$ ,  $10 \times 30$ ,  $20 \times 20$ ,  $20 \times 30$  m<sup>2</sup>’dir. Tesislerin giriş ve çıkış noktalarının  $x$  ve  $y$  koordinatları tabloda verilmiştir. Alt tesislerin normal pozisyonundaki görünüşleri Şekil 3.9’da verilmektedir.

N	w	l	I_x	I_y	O_x	O_y
Facility	100	100				
1	20	20	10	20	10	20
2	25	25	13	25	25	13
3	10	30	5	30	10	15
4	20	20	10	20	20	10
5	20	30	5	30	20	15

**Şekil 3.8.** Beş alt tesisli bir ana tesis için veri seti

Şekil 3.9.’da görüldüğü üzere birinci tesis için;  $I_i^x = 10$ ;  $I_i^y = 20$ ;  $O_i^x = 10$ ;  $O_i^y = 20$  verileri tesisin giriş çıkış noktalarının koordinatlarını vermektedir. Birinci tesis, giriş noktası (10,20) ve çıkış noktası da (10,20) koordinatlarına sahiptir. Yani giriş çıkış noktaları aynı konumdadır. İkinci tesis için giriş nokta koordinatı (13,25) iken çıkış nokta koordinatı (25,13)’tür.



**Şekil 3.9.** Alt tesislerin görselleri

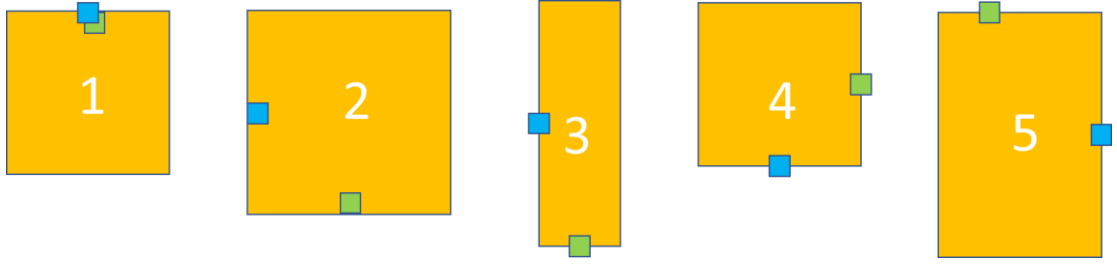
Yerleşimler sol alt köşeye göre konumlandırılmaktadır. Giriş çıkış noktaları ve alt tesislerin yerleşimi için sol alt köşe koordinatının (0,0) olduğu varsayılmaktadır.

Kullanıcı tüm veriyi girdikten sonra tesis yerleşim çizimi için “CREATE LAYOUT” butona tıkladığında IBM ILOG CPLEX arka planda çalışarak sonuçlar bir metin dosyasına yazılmakta ve aynı zamanda Microsoft Excel ortamına da aktarılmaktadır. Çizim için kullanılan çıktılar Şekil 3.10’da verilmektedir.

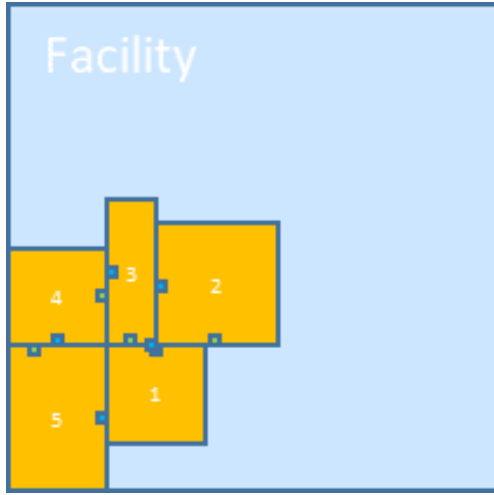
N											
	x_1	y_1	u_1	u_2	u_3	u_4	x_l	y_l	x_O	y_O	
Facility	5	5									
1	20	10	1	0	0	0	30	30	30	30	
2	30	30	0	0	1	0	42	30	30	42	
3	20	30	0	0	1	0	25	30	20	45	
4	0	30	0	1	0	0	20	40	10	30	
5	0	0	1	0	0	0	5	30	20	15	

**Şekil 3.10.** Beş alt tesisli bir ana tesis için sonuç tablosu

İlk olarak tesislerin konumlarını  $u$  parametresi ile sağlanmaktadır. Döndürmeler saat yönünde olmaktadır. Birinci ve beşinci tesis  $0^\circ$  konumunda; dördüncü tesis  $90^\circ$  döndürülmüş; ikinci ve üçüncü tesis ise  $180^\circ$  döndürülmüştür. Alt tesisler Şekil 3.11’de, ana ve alt tesislerin yerleşimi ise Şekil 3.12’de yer almaktadır.



**Şekil 3.11.** Alt tesislerin çözüm sonucu görselleri



**Şekil 3.12.** Microsoft Excel “Layout” sayfası görseli



#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, tesis yerleşimi optimizasyonu için matematiksel programlama temelli bir karar destek sistemi prototipi geliştirilmiştir. Önerilen sistem kullanıcıların kolaylıkla kullanabileceği bir yapıda tasarlanmış olup, tesis yerleşiminin görselleştirmesine de olanak sağlamaktadır. Kullanıcının verdiği bilgiler doğrultusunda arka planda çalıştırılan matematiksel programlama modelinden elde edilen sonuçlar kullanıcının isteğine göre tablo olarak görülebilmekte ve aynı zamanda ana tesis ve alt tesislerin yerleşimi de görsel olarak kullanıcıya sunulmaktadır.

Çalışma kapsamında ayrıca örnek uygulama olarak 3, 5, 7 ve 9 alt tesisli verilere ait problemler için yerleşim optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Üç alt tesise ait tesis yerleşim planlaması probleminin IBM ILOG CPLEX üzerinde çözümü 2 saniyede tamamlanmıştır. Tesislerin tamamı kare şekliyle oluşmaktadır. Giriş-çıkış noktaları farklı koordinatlarda konumlanmaktadır. Tesislere ait yüzey ölçüleri ve giriş-çıkış nokta koordinatları Şekil 4.1’de yer almaktadır. Alt tesislerin akış miktarları ise Şekil 4.2’de verilmektedir. Optimal çözüme ait sonuçlar Şekil 4.3’te yer almaktadır. Tesis yerleşim planı ise Şekil 4.4’te verilmektedir.

N	3						
	w	l	I_x	I_y	O_x	O_y	
Facility	100	100					
1	20	20	10	20	20	10	
2	25	25	13	25	25	13	
3	30	30	15	30	30	15	

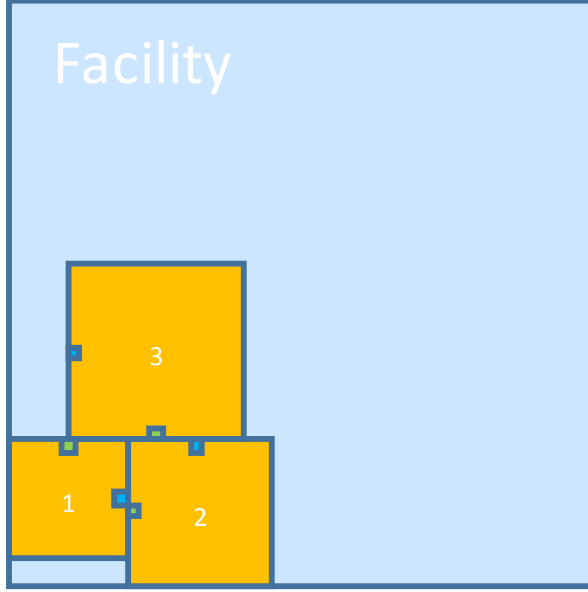
Şekil 4.1. Üç alt tesise ait veriler

f/f	1	2	3
1	0	20	30
2	20	0	15
3	30	15	0

Şekil 4.2. Üç alt tesise ait tesisler arası akış miktarları

x_1	y_1	u_1	u_2	u_3	u_4	x_l	y_l	x_0	y_0
5	5								
0	5	1	0	0	0	10	25	20	15
20	0	0	0	0	1	20	13	32	25
10	25	0	0	1	0	25	25	10	40

**Şekil 4.3.** Üç alt tesise ait sonuçlar tablosu



**Şekil 4.4.** Üç alt tesise ait tesis yerleşim görseli

Beş alt tesise ait tesis yerleşim planlaması probleminin IBM ILOG CPLEX üzerinde çözümü 4 saniyede tamamlanmıştır. Birinci, ikinci ve dördüncü alt tesisler kare şeklinde iken, üçüncü ve beşinci tesisler dikdörtgen şeklindedir. Birinci alt tesisin giriş-çıkış noktaları aynı konumdadır. Diğer alt tesislere ait giriş-çıkış noktaları ise farklı koordinatlarda konumlanmaktadır. Tesislere ait yüzey ölçüleri ve giriş-çıkış nokta koordinatları Şekil 4.5'te yer almaktadır. Alt tesislerin akış miktarları ise Şekil 4.6'da verilmektedir. Optimal çözüme ait sonuçlar Şekil 4.7'de yer almaktadır. Şekil 4.8'de yerleşim planı görseli yer almaktadır.

N	5					
	w	l	l_x	l_y	O_x	O_y
Facility	100	100				
1	20	20	10	20	10	20
2	25	25	13	25	25	13
3	10	30	5	30	10	15
4	20	20	10	20	20	10
5	20	30	5	30	20	15

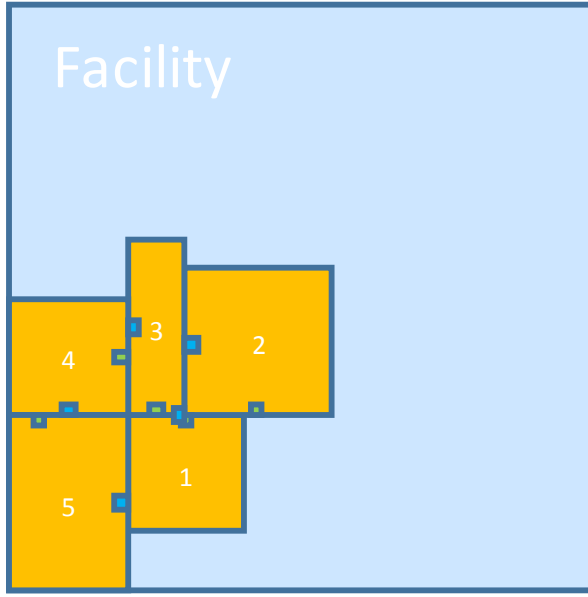
Şekil 4.5. Beş alt tesise ait veriler

f/f	1	2	3	4	5
1	0	20	30	90	25
2	20	0	15	80	10
3	30	15	0	80	10
4	90	80	80	0	100
5	25	10	10	100	0

Şekil 4.6. Beş alt tesise ait tesisler arası akış miktarları

x_1	y_1	u_1	u_2	u_3	u_4	x_l	y_l	x_0	y_0
5	5								
20	10	1	0	0	0	30	30	30	30
30	30	0	0	1	0	42	30	30	42
20	30	0	0	1	0	25	30	20	45
0	30	0	1	0	0	20	40	10	30
0	0	1	0	0	0	5	30	20	15

Şekil 4.7. Beş alt tesise ait sonuçlar tablosu



**Şekil 4.8.** Beş alt tesise ait tesis yerleşim görseli

Yedi alt tesise ait tesis yerleşim planlaması probleminin IBM ILOG CPLEX üzerinde çözümü 183 saniyede tamamlanmıştır. Tesislerin tamamı kare şeklinden oluşmaktadır. Giriş-çıkış noktaları farklı koordinatlarda konumlanmaktadır. Tesislere ait yüzey ölçüleri ve giriş-çıkış nokta koordinatları Şekil 4.9’da yer almaktadır. Alt tesislerin akış miktarları ise Şekil 4.10’da verilmektedir. Optimal çözüme ait sonuçlar Şekil 4.11’de yer almaktadır. Yerleşim görseli ise Şekil 4.12’de verilmektedir.

N	7						
	w	l	I_x	I_y	O_x	O_y	
Facility	100	100					
1	20	20	10	20	20	10	
2	20	20	10	20	20	10	
3	25	25	13	25	25	13	
4	30	30	15	30	30	5	
5	40	40	20	40	40	20	
6	40	40	20	40	40	20	
7	30	30	15	30	30	15	

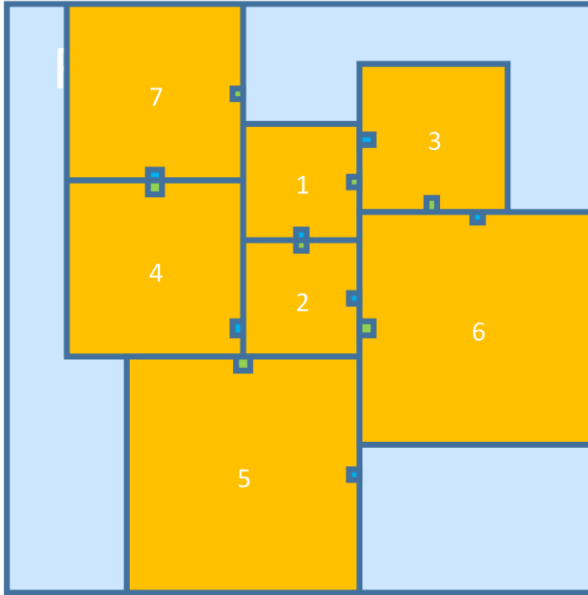
**Şekil 4.9.** Yedi alt tesise ait veriler

f/f	1	2	3	4	5	6	7
1	0	20	30	10	20	30	20
2	20	0	15	5	10	15	10
3	30	15	0	4	8	12	10
4	10	5	4	0	20	30	20
5	20	10	8	20	0	15	10
6	30	15	12	30	15	0	8
7	20	10	10	20	10	8	0

Şekil 4.10. Yedi alt tesise ait tesisler arası akış miktarları

x_1	y_1	u_1	u_2	u_3	u_4	x_l	y_l	x_0	y_0
5	5								
40	60	0	1	0	0	60	70	50	60
40	40	1	0	0	0	50	60	60	50
60	65	0	0	1	0	72	65	60	77
10	40	1	0	0	0	25	70	40	45
20	0	1	0	0	0	40	40	60	20
60	25	0	0	0	1	60	45	80	65
10	70	0	1	0	0	40	85	25	70

Şekil 4.11. Yedi alt tesise ait sonuçlar tablosu



Şekil 4.12. Yedi alt tesise ait tesis yerleşim görseli

Son olarak, dokuz alt tesise ait örnek tesis yerleşim planlaması için optimal çözüme hedeflenen makul bir sürede (birkaç dakika gibi) ulaşılamamış olup, model 300 saniye çalıştırılarak uygun bir çözüm elde edilmiştir. Giriş-çıkış noktaları farklı koordinatlarda konumlanmaktadır. Tesislere ait yüzey ölçüleri ve giriş-çıkış nokta koordinatları Şekil 4.13'te yer almaktadır. Alt tesislerin akış miktarları ise Şekil 4.14'te verilmektedir. Tesis yerleşim optimizasyonu çözüldüğünde optimal çözüm vermektedir, sonuçlar Şekil 4.15'te yer almaktadır. Yerleşim görseli Şekil 4.16'da verilmektedir.

N	9					
	w	l	I_x	I_y	O_x	O_y
Facility	100	100				
1	20	20	10	20	20	10
2	25	25	13	25	25	13
3	30	30	15	30	30	15
4	10	20	10	20	10	5
5	20	20	10	20	20	12
6	15	30	15	30	15	11
7	25	25	13	25	25	9
8	30	30	17	30	30	10
9	30	15	10	15	30	10

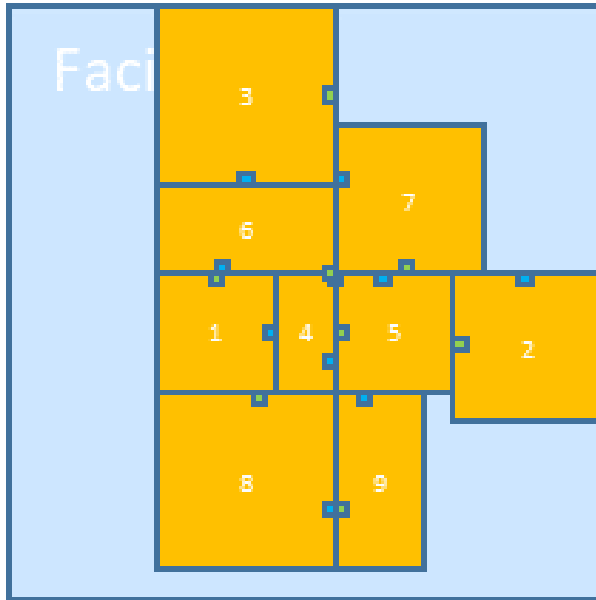
Şekil 4.13. Dokuz alt tesise ait veriler

f/f	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	20	30	20	20	30	25	25	20
2	20	0	15	2	10	5	7	9	10
3	30	15	0	4	6	7	9	10	12
4	20	2	4	0	1750	160	140	120	110
5	20	10	6	1750	0	75	80	75	40
6	30	5	7	160	75	0	4	5	10
7	25	7	9	140	80	4	0	16	17
8	25	9	10	120	75	5	16	0	45
9	20	10	12	110	40	10	17	45	0

Şekil 4.14. Dokuz alt tesise ait tesisler arası akış miktarları

x_1	y_1	u_1	u_2	u_3	u_4	x_l	y_l	x_0	y_0
5	5								
25	35	1	0	0	0	35	55	45	45
75	30	0	0	0	1	75	43	87	55
25	70	0	1	0	0	55	85	40	70
45	35	1	0	0	0	55	55	55	40
55	35	0	0	0	1	55	45	63	55
25	55	0	1	0	0	55	55	36	55
55	55	0	0	1	0	67	55	55	71
25	5	1	0	0	0	42	35	55	15
55	5	0	0	0	1	55	15	60	35

Şekil 4.15. Dokuz alt tesise ait sonuçlar tablosu



Şekil 4.16. Dokuz alt tesise ait tesis yerleşim görseli

## 5. SONUÇ

Günümüzde işletmelerin iyileştirme çalışmalarında ele aldıkları en önemli unsurlardan biri maliyet iyileştirmesidir. İşletmelerin toplam maliyetleri arasında önemli bir payı ise taşıma maliyetleri oluşturmaktadır. Tesis yerleşimi bu noktada, süreçlerin verimliliğini en üst düzeye çıkarabilen stratejik bir hamledir. Doğru kurgulanmış bir tesis yerleşimi, maliyetlerin düşmesini, üretim süreçlerinin optimizasyonunu sağlarken süreç ve şirket performansını arttırabilir. Bu bağlamda tesis yerleşimi, bir organizasyonun üretim/hizmet faaliyetlerini gerçekleştirmek için kullanacağı alt tesislerin, ofislerin, depoların vb. yerleşimlerin, düzenlenmesini ve yönetimini içeren önemli bir konudur. Etkin bir tesis yerleşimi, daha düşük taşıma maliyetini ve daha kısa teslim sürelerini sağlayan alt tesislerin yerleştirilmesiyle ilgilenmektedir.

Bu tez çalışmasında taşıma maliyetlerinin iyileştirilmesi için tesis yerleşimi optimizasyonu amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında IBM ILOG Optimizasyon Studio ortamında kodlanan bir matematiksel programlama modelinden elde edilen sonuçların, Microsoft Excel ortamında görselleştirilmesi sunulmaktadır. Çalışmada, tesis yerleşim probleminde şekilleri dikdörtgen olan tesislerin giriş – çıkış noktaları arasındaki malzeme akışı, dolayısıyla taşıma maliyetleri dikkate alınmış ve optimizasyonu sağlanmıştır. Optimizasyon çalışması sonucunda oluşan alt tesislerin koordinatları ve yönleri belirlenmiştir. Tesis giriş ve çıkış noktaları arasındaki malzeme akışlarına göre taşıma maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir karışık tamsayılı programlama modeli ile örnek problemler için optimal veya uygun çözümler bulunmuştur. Matematiksel model sonuçlarında her ne kadar veriler sayısal olarak elde edilse de (örneğin alt tesislerin koordinatları), görsel veri çıktıları kullanıcılar için daha anlaşılır ve yorumlanabilir olmaktadır. Bu nedenle tesis yerleşim problemlerinde, çözümlerin ve optimizasyon sonrası tesis yerleşiminin kullanıcılara görsel olarak sunulması, kullanıcılar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, geliştirilen bir karar destek sistemi prototipi ile görselleştirilmekte ve kullanıcıya oluşturulan tesis yerleşiminin planı sunulmaktadır.



Çalışmanın ilerleyen dönemlerinde taşıma maliyeti iyileştirmesinin yanı sıra, enerji tüketiminin ve ergonomik koşulların iyileştirilmesi gibi amaçlar belirlenerek sonuçların tekrar değerlendirilmesi öngörülmektedir.

Çalışmada tesislerin şekillerinin dörtgen olduğu varsayılarak tamamlanmıştır. Ancak gerçek hayatta bazı alt tesislerin şekilleri dörtgen olmayabilir. Bu yüzden gelecek çalışmalar için L tipi, T tipi gibi alt tesislerin de yerleşim optimizasyonu konusunda araştırmalarımız ve çalışmalarımız devam edecektir. Ayrıca modelimiz çok sayılı alt tesis için optimal çözüm bulmakta zorlanmaktadır. Bu konu ileriki süreçlerde çalışmalarımıza yön verecektir.

## KAYNAKLAR

- Abedzadeh, M., Mazinani, M., Moradinasab, N., & Roghanian, E. (2013). Parallel variable neighborhood search for solving fuzzy multi-objective dynamic facility layout problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65, 197-211. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4160-x>
- Ahmadi, A., & Jokar, M. R. A. (2016). An efficient multiple-stage mathematical programming method for advanced single and multi-floor facility layout problems. *Applied Mathematical Modelling*, 40(9-10), 5605-5620. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.01.014>
- Al Hawarneh, A., Bendak, S., & Ghanim, F. (2019). Dynamic facilities planning model for large scale construction projects. *Automation in Construction*, 98, 72-89. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.021>
- Allahyari, M. Z., & Azab, A. (2018). Mathematical modeling and multi-start search simulated annealing for unequal-area facility layout problem. *Expert Systems with Applications*, 91, 46-62. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.049>
- Amar, S. H., & Abouabdellah, A. (2016, May). Layout planning design: a mathematical-genetic approach for green logistics modeling. In *2016 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL)* (pp. 1-7). IEEE.
- Armour, G. C., & Buffa, E. S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. *Management science*, 9(2), 294-309. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.2.294>
- Asef-Vaziri, A., & Kazemi, M. (2018). Covering and connectivity constraints in loop-based formulation of material flow network design in facility layout. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 1033-1044. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.019>
- Azadeh, A., & Moradi, B. (2014). Simulation optimization of facility layout design problem with safety and ergonomics factors. *International Journal of Industrial Engineering*, 21(4).
- Bakır, M., & Altunkaynak, B. (2003). Tamsayılı Programlama: Teori, Modeller ve Algoritmalar. Nobel Yayın.
- Bozer, Y. A., Meller, R. D., & Erlebacher, S. J. (1994). An improvement-type layout algorithm for multiple floor facilities. *Management Science*, 40(7), 918-932.
- Bozorgi, N., Abedzadeh, M., & Zeinali, M. (2015). Tabu search heuristic for efficiency of dynamic facility layout problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77, 689-703.
- Bradley, S. P., Hax, A. C., & Magnanti, T. L. (1977). *Applied mathematical programming*. Addison-Wesley.
- Chen, D. S., Batson, R. G., & Dang, Y. (2011). *Applied integer programming: modeling and solution*. John Wiley & Sons.
- Chen, Y., Li, H., He, B., Wang, P., & Jin, K. (2015). Multi-objective genetic algorithm based innovative wind farm layout optimization method. *Energy Conversion and Management*, 105, 1318-1327. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.09.011>

- Chung, J., & Tanchoco, J. M. A. (2010). Layout design with hexagonal floor plans and material flow patterns. *International Journal of Production Research*, 48(12), 3407-3428. <https://doi.org/10.1080/00207540902810510>
- Das, S. K. (1993). A facility layout method for flexible manufacturing systems. *The International Journal of Production Research*, 31(2), 279-297. <https://doi.org/10.1080/00207549308956725>
- Dolgui, A., & Proth, J. M. (2010). *Supply chain engineering: useful methods and techniques* (Vol. 539). London: Springer.
- Emami, S., & S. Nookabadi, A. (2013). Managing a new multi-objective model for the dynamic facility layout problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 2215-2228.
- Erel, E., Ghosh, J. B., & Simon, J. T. (2003). New heuristic for the dynamic layout problem. *Journal of the Operational Research Society*, 54, 1275-1282.
- Erkut, H., & Baskak, M. (2003). *Stratejiden uygulamaya tesis tasarımı*. İrfan Yayımcılık.
- Foulds, L. R. (1983). Techniques for facilities layout: deciding which pairs of activities should be adjacent. *Management Science*, 29(12), 1414-1426.
- Gai, L., & Ji, J. (2019). An integrated method to solve the healthcare facility layout problem under area constraints. *Journal of Combinatorial Optimization*, 37, 95-113. <https://doi.org/10.1007/s10878-017-0212-3>
- García-Hernández, L., Pierreval, H., Salas-Morera, L., & Arauzo-Azofra, A. (2013). Handling qualitative aspects in unequal area facility layout problem: an interactive genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, 13(4), 1718-1727. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.01.003>
- Glover, F. (1989). Tabu search—part I. *ORSA Journal on computing*, 1(3), 190-206. <https://doi.org/10.1287/ijoc.1.3.190>
- Guan, X., Dai, X., Qiu, B., & Li, J. (2012). A revised electromagnetism-like mechanism for layout design of reconfigurable manufacturing system. *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.01.016>
- Helber, S., Böhme, D., Oucherif, F., Lagershausen, S., & Kasper, S. (2016). A hierarchical facility layout planning approach for large and complex hospitals. *Flexible services and manufacturing journal*, 28(1), 5-29. <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9214-6>
- Helgeson, W. B., & Birnie, D. P. (1961). Assembly line balancing using the ranked positional weight technique. *Journal of industrial engineering*, 12(6), 394-398.
- Heragu, S. S. (2006). *Facilities Design 2. Edition*. iUniverse Books, USA, ISBN (10): 0-595-35938-8.
- Hong, D., Seo, Y., & Xiao, Y. (2014). A concurrent approach for facility layout and amhs design in semiconductor manufacturing. *International Journal of Industrial Engineering*, 21(4).

- Hosseini, S., Khaled, A. A., & Vadlamani, S. (2014). Hybrid imperialist competitive algorithm, variable neighborhood search, and simulated annealing for dynamic facility layout problem. *Neural Computing and Applications*, 25, 1871-1885.
- Hosseini, S. S., & Seifbarghy, M. (2016). A novel meta-heuristic algorithm for multi-objective dynamic facility layout problem. *RAIRO-Operations Research*, 50(4-5), 869-890. <https://doi.org/10.1051/ro/2016057>
- Hu, B., & Yang, B. (2019). A particle swarm optimization algorithm for multi-row facility layout problem in semiconductor fabrication. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10, 3201-3210. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-1037-3>
- Jabal-Ameli, M. S., & Moshref-Javadi, M. (2014). Concurrent cell formation and layout design using scatter search. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5342-x>
- Jiang, S., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2014). An AR-based hybrid approach for facility layout planning and evaluation for existing shop floors. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72, 457-473. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5653-6>
- Kaveh, M., Dalfard, V. M., & Amiri, S. (2014). A new intelligent algorithm for dynamic facility layout problem in state of fuzzy constraints. *Neural Computing and Applications*, 24, 1179-1190.
- Kia, R., Javadian, N., Paydar, M. M., & Saidi-Mehrabad, M. (2013). A simulated annealing for intra-cell layout design of dynamic cellular manufacturing systems with route selection, purchasing machines and cell reconfiguration. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 30(04), 1350004. <https://doi.org/10.1142/S0217595913500048>
- Kim, J. G., & Kim, Y. D. (2000). Layout planning for facilities with fixed shapes and input and output points. *International Journal of Production Research*, 38(18), 4635-4653. <https://doi.org/10.1080/00207540050205550>
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671-680.
- Kochhar, J. S., Foster, B. T., & Heragu, S. S. (1998). HOPE: A genetic algorithm for the unequal area facility layout problem. *Computers & Operations Research*, 25(7-8), 583-594. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00100-7)
- Koopmans, T. C., & Beckmann, M. (1957). Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 53-76. <https://doi.org/10.2307/1907742>
- Kulturel-Konak, S. (2012). A linear programming embedded probabilistic tabu search for the unequal-area facility layout problem with flexible bays. *European Journal of Operational Research*, 223(3), 614-625. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.07.019>
- Kumar, M. S., Islam, M. N., Lenin, N., Vignesh Kumar, D., & Ravindran, D. (2011). A simple heuristic for linear sequencing of machines in layout design. *International Journal of Production Research*, 49(22), 6749-6768. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.535860>

- Lacksonen, T. A. (1994). Static and dynamic layout problems with varying areas. *Journal of the Operational Research Society*, 45(1), 59-69. <https://doi.org/10.1057/jors.1994.7>
- Lee, G. C., & Kim, Y. D. (2000). Algorithms for adjusting shapes of departments in block layouts on the grid-based plane. *Omega*, 28(1), 111-122. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(99\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(99)00034-1)
- Le, P. L., Dao, T. M., & Chaabane, A. (2019). BIM-based framework for temporary facility layout planning in construction site: A hybrid approach. *Construction innovation*.
- Lee, Y. H., & 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. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00018-9)
- Lenin, N., Siva Kumar, M., Islam, M. N., & Ravindran, D. (2013). Multi-objective optimization in single-row layout design using a genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67, 1777-1790. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4608-z>
- Li, L., Li, C., Ma, H., & Tang, Y. (2015). An optimization method for the remanufacturing dynamic facility layout problem with uncertainties. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/685408>
- Liu, J., Wang, D., He, K., & Xue, Y. (2017). Combining Wang–Landau sampling algorithm and heuristics for solving the unequal-area dynamic facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 262(3), 1052-1063. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.002>
- Maniya, K. D., & Bhatt, M. G. (2011). An alternative multiple attribute decision making methodology for solving optimal facility layout design selection problems. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.04.009>
- Meller, R. D., & Bozer, Y. A. (1996). A new simulated annealing algorithm for the facility layout problem. *International Journal of Production Research*, 34(6), 1675-1692. <https://doi.org/10.1080/00207549608904990>
- Montreuil, B. (1991). A modeling framework for integrating layout design and flow network design. In *Proceeding of Material Handling Research Colloquium*.
- Paes, F. G., Pessoa, A. A., & Vidal, T. (2017). A hybrid genetic algorithm with decomposition phases for the unequal area facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 256(3), 742-756. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.022>
- Panneerselvam, R. (2006). *Production And Operations Management*, Chapter 14, PHI Learning Pvt.
- Park, H., & Seo, Y. (2019). An efficient algorithm for unequal area facilities layout planning with input and output points. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(1), 56-74. <https://doi.org/10.1080/03155986.2017.1396709>
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Hajipour, V. (2013). A multi-objective facility location model with batch arrivals: two parameter-tuned meta-heuristic algorithms. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24, 331-348.
- Patir, S. (2009). Tam sayılı programlama ve malatya maksan transformator işletmesine bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 193-206.

- Pérez-Gosende, P., Mula, J., & Díaz-Madroñero, M. (2021). Facility layout planning. An extended literature review. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3777-3816. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897176>
- Rajasekharan, M., Peters, B. A., & Yang, T. (1998). A genetic algorithm for facility layout design in flexible manufacturing systems. *International journal of Production research*, 36(1), 95-110. <https://doi.org/10.1080/002075498193958>
- Schenk, M., Wirth, S., & Müller, E. (2013). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik*. Springer-Verlag.
- Scholz, D., Jaehn, F., & Junker, A. (2010). Extensions to STaTS for practical applications of the facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 463-472. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.11.012>
- Schrijver, A. (1998). *Theory of linear and integer programming*. John Wiley & Sons.
- Singh, A. P., & Yilma, M. (2013, May). Production floor layout using systematic layout planning in Can manufacturing company. In *2013 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)* (pp. 822-828). IEEE.
- Solimanpur, M., & Jafari, A. (2008). Optimal solution for the two-dimensional facility layout problem using a branch-and-bound algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 55(3), 606-619. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.01.018>
- Şahin, R. (2011). A simulated annealing algorithm for solving the bi-objective facility layout problem. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4460-4465. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.117>
- Şahin, R., & Türkbey, O. (2009). A new hybrid tabu-simulated annealing heuristic for the dynamic facility layout problem. *International Journal of Production Research*, 47(24), 6855-6873. <https://doi.org/10.1080/00207540802376323>
- Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons.
- Tate, D. M., & Smith, A. E. (1995). A genetic approach to the quadratic assignment problem. *Computers & Operations Research*, 22(1), 73-83. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)E0020-T](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)E0020-T)
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Tanchoco, J. M. A., & Trevino, J. (1996). *Facilities Planning*. John Willey and Sons. Inc. 2nd edition. USA, 36-47.
- Tulunay, Y. (1980). *Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları*. Sermet Matbaası.
- Vázquez-Román, R., Díaz-Ovalle, C. O., Jung, S., & Castillo-Borja, F. (2019). A reformulated nonlinear model to solve the facility layout problem. *Chemical Engineering Communications*, 206(4), 476-487. <https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1499095>
- Welgama, P. S., & Gibson, P. R. (1993). A construction algorithm for the machine layout problem with fixed pick-up and drop-off points. *The International Journal of Production Research*, 31(11), 2575-2589. <https://doi.org/10.1080/00207549308956884>
- Winston, W. L. (2022). *Operations research: applications and algorithms*. Cengage Learning.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tülay FİDAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Bursa Anadolu Erkek Lisesi (2011)  
Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri  
Mühendisliği (2016)  
Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü (2017)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri  
Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Feka Otomotiv Mamulleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
Kamak Rekor San. A.Ş.

İletişim (e-posta) :

Yayımları : -