T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİZMET SEKTÖRÜNDE DÖNGÜSEL YERLEŞİM PROBLEMİNİN BİR SEZGİSEL YÖNTEM İLE OPTİMİZASYONU

Özüm ÇINAR

DANIŞMAN
Doç. Dr.Tarık KÜÇÜKDENİZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 30.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Şakir ESNAF
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Emrah ÖNDER
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
İşletme Fakültesi Sayısal Yöntemler Ana Bilim Dalı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete ’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

"Hizmet Sektöründe Döngüsel Yerleşim Probleminin Sezgisel Yöntem ile Optimizasyonu" adlı tez çalışmasının sürecinde desteğini esirgemeyen değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Tarık KÜÇÜKDENİZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans eğitimimiz boyunca bizleri yönlendiren ve geliştiren İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda görev yapan değerli hocalarımıza teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme sevgi ve saygım ile sonsuz minnetlerimi sunarım.

Temmuz 2019 Özüm ÇINAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiii**
1. GİRİŞ **14**
2. GENEL KISIMLAR **18**
2.1.TESİS DÜZENLEMESİ 18
2.1.1. Tesis Düzenlemesinin Amacı ve Önemi 18
2.2. ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİ 21
2.2.1. Geleneksel Üretim Sistemleri 22
2.2.2. Esneklik ve Esnek Üretim Sistemleri 24
2.2.3. Esnek Üretim Sistemi Özellikleri ve Hedefleri 26
2.2.4. Esnek Üretim Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları 28
2.3. TESİS PLANLAMASI 31
2.3.1. Tesis Düzenleme Türleri 32
2.3.2. Döngüsel (Loop) Yerleşim 35
2.3.3. Tesis Düzenleme Modelleri 39
2.3.4. Tesis Düzenlemesi Çözüm Yöntemleri 42
2.3.4.1 Tam (Optimum) Çözümler 42
2.3.4.2 Sezgisel ve Meta Sezgisel Yöntemler 44
2.4 LİTERATÜR TARAMASI DEĞERLENDİRMESİ 56
3. MALZEME VE YÖNTEM **60**
3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ 60
3.2. SEZGİSEL/METASEZGİSEL ALGORİTMALAR 61

3.3. SPOR SALONLARI YERLEŞİM PROBLEMİ 63
3.4. ARAŞTIRMANIN MODELİ 64
3.5. NOTASYONLAR 65
3.6. MATEMATİKSEL MODELİ 66
4. BULGULAR 68
4.1. PROBLEMİN TANIMI 68
4.2. PROBLEMİN ADIMLARI 75
4.3. NOTASYON (PARAMETRELER) VE KARAR DEĞİŞKENLERİ 75
4.4. MATEMATİKSEL MODELİ 76
4.5. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ 76
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 81
KAYNAKLAR 85
ÖZGEÇMİŞ 91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Bir Esnek Üretim Sistemi Hücre Yapısı ……...……..…..31

Şekil 2.2: Esnek Üretim Sistemi Yerleşim Türleri ……33

Şekil 2.3: Üretim Taşıma Sistemleri Düzenleme Türleri …….…….35

Şekil 2.4: Tek Bir Yükleme/Boşaltma Noktası Olan 5 Hücreli Bir Tek Yönlü Döngüsel Yerleşim Örneği ……..……..……...…….....36

Şekil 2.5: Birden Çok Yükleme/Boşaltma Noktası Olan 4 Hücreli Bir Tek Yönlü Döngüsel Yerleşim Örneği …..……..……...……37

Şekil 2.6: Kare Bir Alanda Döngüsel Blok Yerleşim Örnekleri ……..…….39

Şekil 4.1: Excel Open Solver Adımları….....…….……...77

Şekil 4.2 (Devamı): Excel Open Solver Adımları…….....…….……..78

Şekil 4.2: Spor Salonu Tesis Yerleşim Planı Optimizasyonu ...…….……...80

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4. 1: Makine Listesi ……69

Tablo 4. 2: Program Listesi……...70

Tablo 4. 3: Programların Rotası ……..……..71

Tablo 4. 3 (devamı): Programların Rotası ……..……..72

Tablo 4.4: Programları Kullanan Kişi Yüzdesi ……..……..73

Tablo 4.5: Makinelerin Programda Bulunma Sıklığı ..……74

Tablo 4.6: En İyi Makine Sıralaması Sonucu …….…...77

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

P : Program
M : Makine
T : Programlardaki Kişi Oranı
N : Makinelerin Programlarda Bulunma Sayısı
C : Makineler Arası Birim Mesafe
Z : Amaç Fonksiyonu
$\leq$: Küçük Eşit
$\geq$: Büyük Eşit
% : Yüzde
i : Makine Sırası
l : Makine Sayısı
k : Program Sayısı

Kısaltmalar **Açıklama**

NP : Nondeterministic Polynomial (Belirsiz Çok Terimli)
LL : Loop Layout (Döngüsel Yerleşim)
eACGA : Genişletilmiş Yapay Kromozom Genetik Algoritma
TDP : Tam Sayılı Doğrusal Programlama

ÖZET

HİZMET SEKTÖRÜNDE DÖNGÜSEL YERLEŞİM PROBLEMİNİN BİR SEZGİSEL YÖNTEM İLE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özüm ÇINAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr.Tarık KÜÇÜKDENİZ

Döngüsel yerleşim problemi; makinelerin belirli bir rota ile döngüsel dizilimini sağlayarak proses ve parametrelere en uygun sıralamayı bulmayı hedeflemektedir. Genellikle proseslerin başlangıç maliyetini hesaplamada önem taşımaktadır. Proses içerisinde sistemi oluşturan bileşenlere burada geçen yükleme ve bekleme zamanları için alternatif bir akış sunarak, bu zamanları minimize etmek de mümkündür. Kısaca; sistemin başlangıcındaki ilk yatırım maliyeti ile birlikte sürecin devamını oluşturan boşa geçen zamanların optimizasyonu, proses esnekliği ve verimliliği arttırarak maliyetlerin düşürülmesi gibi sistemin her aşamasında üzerinde çalışılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, döngüsel yerleşim problemine sezgisel bir metot önerilmiştir. Bir spor salonundaki makinelerin belirli bir programa göre kullanıldığı ve makinelerin bu programlar doğrultusunda en iyi dizilime ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile bir spor salonunda bulunan makinelerin sezgisel bir metot kullanılarak en iyi dizilimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Temmuz 2019, 91 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tesis Yerleşim Problemi, Döngüsel Tesis Yerleşim Problemi, Spor Salonu Tesis Yerleşimi, Sezgisel Yöntem ile Optimizasyon.

SUMMARY

OPTIMISATION OF LOOP LAYOUT PROBLEM BY HEURISTICS METHOD IN SERVICE INDUSTRIES

M.Sc. THESIS

Ozum CINAR

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Industrial Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr.Tarik KUCUKDENIZ

The problem of loop layout is that machines can be arranged in a loop manner with a specific route. The loop layout problem aims to find the most appropriate machine sequencing for the processes and parameters. It is often important in calculating the initial cost of processes. It is also possible to minimize the time passed by providing an alternative flow for loading and waiting times in the system to the components in the process. It is important to work on every stage of the system, such as initial investment cost at the beginning of the system, optimisation of wasted time that constitutes the continuation of the process, increasing process flexibility and efficiency to reduce costs. Within the scope of this study, a heuristic method was proposed to solve the loop layout problem. It has been observed that machines in a gym are used according to a specific program, and that distance and rankings between these machines require the best sequencing in line with these programs. This study found the best arrangement of machines in a gym using a heuristic method.

July 2019, 91 pages.

Keywords: Layout, Loop Layout, Gym Layout, Optimisation with Heuristic Method

1. GİRİŞ

Esnek üretim sistemi son yıllarda oldukça popülerlik kazanmış olan bir üretim sistemidir. Sistemin başarısı, işletme içerisindeki hücrelerin (makineler, tezgâhlar, istasyonlar, masalar) verimli üretimi sağlayacak şekilde yerleşimine bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, esnek üretim sistemlerinin performansına etki eden en önemli faktör sistem bileşenlerinin tesis içerisindeki yerleşim düzenleridir. Tesis düzenleme problemi, üretim ya da hizmet sistemlerinde, tesislerin en uygun şekilde düzenlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Literatürde önerilen tesis yerleşim modellerinin ve yöntemlerinin ortak hedefi, hücrelerin tesis içerisine, verilen kısıtlara göre en uygun şekilde yerleştirilmesidir.

Tesis içerisinde yerleşim düzeninden azami fayda sağlanması, mamul ya da hizmetin yükleme ve boşaltma istasyonlarından sisteme girmesine ve terk etmesine kadar geçen süreç ile doğrudan ilgilidir. Sistemde harcanan bu süre ve malzemelerin sistem içerisinde kat ettiği mesafeler de tesis yerleşim düzenini etkileyen faktörlerdir. Özellikle ağır sanayi işletmelerinde malzemelerin makineler ve tezgâhlar arasında araçlarla taşınması gerektiği durumlarda araçların adedi, dolu ve boş seyahat süreleri ile seyahat mesafeleri de sistemin başarısı ile doğrudan ilgili olmaktadır. Bu çerçevede daha genel bir tanımlama ile tesis yeri düzenlemesinin ana amacının, işletme içerisinde üretime yönelik faaliyetlerde yer alan canlı ve cansız varlıkların hareketlerini minimize etmek olduğu söylenebilir (Ak, 2009).

Tesis yerleşimi türlerinden biri olan döngüsel yerleşim; ürün ya da hizmetin sisteme girişinden çıkışına kadar olan süreçte sanal bir çember oluşturacak şekilde hücrelerin yerleştirilmesidir. Tesis yerleşim problemi günümüze kadar birçok araştırmada kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle Afentakis (1989) tarafından önerilen ve tesis içi yerleşimlerin döngüsel düzen (loop layout) olarak ele alınmasının faydalarının bir graf modeli ile açıklandığı çalışmanın sonrasında, literatürde döngüsel düzen çalışmalarının daha sık olarak yer aldığı görülür. Söz konusu modele göre n adet hücrenin (makine, teçhizat, tezgâh, istasyon, masa vs.) tesis içerisinde dairesel olarak n adet alternatif alana, optimal yerleşim düzenini sağlayacak şekilde yerleştirilmesi hedeflenir.

Bu modele göre malzemeler genellikle tek bir yükleme/boşaltma istasyonunda sisteme giriş yapar ve tek yönlü olarak gerçekleştirilen bir taşıma sistemi yardımı ile hücreler arasında geçiş yaparak tekrar yükleme/boşaltma istasyonuna dönerler. Söz konusu döngüsel yerleşim düzeninin esnek üretim sistemleri için oldukça verimli sonuçlar üretmekte olduğu literatürde sıklıkla savunulmuştur. Öyle ki, döngüsel tesis düzenlemesinin herhangi bir üretim sistemine %20 ile %70 arasında değişen oranlarda maliyet tasarrufu sağladığı belirtilmiştir (Saravanan ve Kumar, 2013).

20. yüzyılın ortalarından itibaren tüm dünya genelinde artan nüfus ve savaş sonrası kentleşmede görülen artış, bireylerin istek ve ihtiyaçlarında da çeşitli değişimleri beraberinde getirmiştir. Bu durum, dünya genelinde var olan siparişe, ürüne, projeye ve sürece dayalı klasik üretim sistemlerinin esnek üretim sistemleri olarak adlandırılan yeni bir üretim sistemine çevrilmesine ön ayak olmuştur. Esnek üretim sistemlerini işletmelerin bünyelerinde bulundurması ile birlikte, artan rekabet ortamında değişen ve bir hayli dinamik olan üretim çeşitliliğinin ve firmaların bu değişikliklere hızla ayak uydurabilmelerinin sağlanması mümkün hale gelmiştir. Rekabetin dünya genelinde yaşanması ve pazarların daralması nedeni ile firmaların karlılıklarını arttırmalarında dinamik bir yapıya sahip olmaları gereklilik haline gelmiştir. Bu çerçevede, literatüre sunulan birçok çalışmada esnek üretim sistemlerinde döngüsel tesis düzenlemesinin gerekliliğinin savunulduğu görülmektedir.

Tesis düzenlemesi problemleri için önerilen modellerin, tesisin büyüklüğü ve yerleştirilecek olan hücrelerin adedine göre değişiklik gösterdiği görülür. Tesisin küçük, üretim hacminin düşük, yerleştirilecek hücre sayısının ve üretim ile ilgili kriterlerin az olduğu durumlarda tam (optimal) çözüm öneren modellerin kullanıldığı görülür. Özellikle yerleştirilecek hücre sayısının 20 ve üstü olmasını gerektiren aksi durumlarda ise, problemin çözüm uzayının uygun bir süre içerisinde optimal çözüme ulaşılamayacak kadar geniş olmasından dolayı sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, büyük boyutlu problemler için en iyi çözüm üretilemediğinden, bu tür problemleri çözmek amacıyla, en iyi çözüme yakın alt-en iyi olarak tanımlanan çözümler üreten algoritmalar geliştirilmiştir. Genetik algoritma, tavlama benzetimi, parçacık sürüsü algoritması, karınca kolonisi algoritması söz konusu algoritmalardan en çok tercih edilenleridir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde; tesis planlaması, en uygun yerleşim düzenini bulmayı amaçlamaktadır. Çalışmaların birçoğunda temel amaç, malzeme taşıma maliyetini minimize etmektir. Ancak malzeme taşıma maliyetini minimize ederken, çevrim süresini de minimize etmeyi amaçlayan entegre işyeri düzenleme çalışmaları da mevcuttur.

Esnek üretim sistemlerinin; üretimin otomatikleştirilmesi, bir ya da daha fazla proses ya da makineden oluşan, otomatik malzeme taşıma, depolama alanlarına ve otomasyon sistemine sahip bir üretim grup teknolojisi olarak tanımlanabilir. Döngüsel yerleşimin; proses içerisindeki malzemelerin sıra beklemeden sistem içerisinde taşınması ve yükleme-boşaltma alanlarının kullanılması ile esnek üretim sistemlerinde kullanıldığı görülmektedir.

Hizmet sektöründe döngüsel yerleşim probleminin kullanıldığı alanlara; spor salonları, alışveriş merkezleri, hayvanat bahçesi, süpermarket ya da yapı marketler örnek olarak gösterilebilir. Spor salonlarında kullanılan makinelerin, süpermarketler ya da yapı marketlerde ürün gruplarının reyon dizilimi, alışveriş merkezlerinde mağazaların yerleşimi, gibi sisteme giriş ve çıkış noktası belirli olan ve sanal bir çember görünümündeki tesis yerleşimi döngüsel yerleşimin varlığını göstermektedir. Hizmet sektöründeki tesis planlamasına örnekler; alışveriş merkezleri, süpermarket ya da yapı marketler, mağaza reyon dizilimleri, spor salonları, fizik tedavi merkezleri ve hastanelerdir. Hizmet sektöründe yer alan spor salonlarında makinelerin dizilimi çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu makineler spor yapmaya gelen müşteriler tarafından hedeflenen amaç doğrultusunda ve belirli bir program uyarınca kullanılmaktadır. Spor salonları makine dizilimi incelendiğinde hizmet sürecinde yerlerinin değiştirilmesinin makinelerin büyüklük ve ağırlıkları dikkate alındığında büyük maliyetler oluşturacakları görülmüştür. Bu sebeple bir spor salonu kurulurken makinelerin hangi sıra ile konumlandırılacağı büyük önem taşımaktadır. Spor salonu yerleşimi optimizasyonunun literatürde daha önce çalışılmadığı ve makinelerin kullanım amacına göre bölgesel yerleştirildiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, öncelikle tesis düzenlemesinin amacı ve önemi ele alınmıştır. Ardından literatürdeki çeşitli tesis düzenleme türleri ve özellikle döngüsel yerleşim türü ayrıntısı ile incelenmiştir. Kapsamlı bir literatür taraması ve değerlendirilmesi

yapılmıştır. Tesis yerleşim alanları incelenmiştir. Hizmet sektöründe bulunan bir spor salonu incelenmiştir. Spor salonunda bulunan makinelerin sayısının fazla olduğu, taşıma maliyetleri ile ilk kurulum maliyetinin yüksek olduğu ve dizilim yapılan tesisin kapalı bir döngüye sahip olduğu tespit edilmiştir. Makine dizilimlerinin yapılabilmesi için problemde etkili parametreler seçilerek amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Tesis yerleşim problemi sezgisel bir yöntem ile çözülmüştür. Makinelerin diziliminde etkili parametrelerden her biri müşteriler için hazırlanan programlar ile birlikte incelenmiştir. Bu çalışmada spor salonlarındaki makinelerin dizilimi için en uygun parametreler araştırılıp bir fayda değer (amaç) fonksiyonu oluşturulmuştur. Makinelerin yerleşim planlaması için her bir makinenin toplam minimum fayda değeri, amaç fonksiyonu hesaplanmıştır. Problem; genetik algoritma kullanılarak sezgisel bir yöntem ile çözülmüştür.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.TESİS DÜZENLEMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, günümüzde özellikle üretim ve hizmet sektörlerinde, firmaların maliyetlerini asgari seviyelere indirgemek ve böylelikle karlılıklarını arttırarak varlıklarını devam ettirebilmek adına oldukça önemli olan tesis düzenlemesinin amacı ve önemi incelenmiştir. Bu kapsamda işletmelerin geleneksel üretim sistemlerinden esnek üretim sistemlerine geçişlerinin önemi, her iki tür üretim sistemlerinin özellikleri incelenerek belirtilmiştir. Ardından, literatürde sıklıkla kullanılmış olan tesis düzenleme türleri açıklanmış, döngüsel tesis düzeni yaklaşımı ayrıntısı ile incelenmiştir.

2.1.1. Tesis Düzenlemesinin Amacı ve Önemi

Tesisler hammaddelerin ve yarı mamullerin belirli aşamalardan geçerek bir ürüne dönüştürüldüğü imalathanelerdir. Günümüzde, bilgi ve imalat teknolojilerindeki hızlı gelişmelere paralel olarak üretim süreçlerinin bütünleşik olarak tasarlanması ve üretimde kullanılan fiziksel unsurların tesis içerisinde en optimum şekilde yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun temel nedeni ise oldukça pahalı olan üretim unsurlarının azami seviyede etkin ve asgari seviyede maliyetli olacak şekilde yerleştirilmesi gerekliliğidir. Bu amaçların karşılanması amacı ile ortaya çıkan tesis düzenlemesi problemi bir üretim tesisinde bulunan fiziksel bileşenlerin, imalat sürecini en verimli ve etkin olarak destekleyecek ve karşılayacak şekilde yerleştirilmesi için karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik olarak uzun yıllardır literatürde oldukça sıklıkla çalışılmış olan bir problem türüdür.

Bazı kaynaklarda tesis düzenleme; "*bir işyerindeki makinaların/bölümlerin kaplayacakları alanlar ve aralarındaki bilgi, malzeme, kaynak, vb. akışlar da göz önüne alınarak en uygun şekilde düzlemsel bir alana yerleştirilmesi"* olarak tanımlanmaktadır (Meller ve Gau., 1996). Diğer bir tanıma göre; *işyeri düzenlemesi* veya *işyeri tasarımı* olarak da adlandırılan tesis düzenlemesi kısaca, "*bir işletmedeki bölümlerin, makinaların ve diğer fiziksel unsurların en uygun şekilde yerleştirilmesi"* olarak tanımlanmaktadır (Ak, 2009).

Genel olarak, bir tesisin verimli bir şekilde üretim gerçekleştirebilmesi için gerekli olan ekipman, malzeme, insan, depolama, taşıma ve enerjinin etkin bir şekilde yerleştirilmesi gerekir (Picard ve Queyranne, 1981). Söz konusu yerleştirme işlemi ise uzun vadeli etkileri olan, sonradan tekrar düzenlenmesi oldukça maliyetli ve tesisin verimli bir şekilde işletilmesinde oldukça etkili olan bir endüstriyel problemdir. Tesisin başarısız bir şekilde düzenlenmesi ise işletmeyi, zaman, mekân, işgücü vb. kaynaklar açısından zarara uğratır. Etkin bir tesis düzenlemesi ile söz konusu kaynaklardan ortaya çıkan maliyetlerden yaklaşık %30 oranında tasarruf sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, tesis düzenlemesinin işletmeler adına stratejik bir faaliyet olduğu şeklinde bir değerlendirme yapmak mümkündür. Bu nedenle, söz konusu problem gerek endüstriyel alanlarda gerekse akademik camiada oldukça geniş kapsamlı olarak çalışılmış bir konudur (Baki, 2014).

Tompkins ve diğ. (2003) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada üretim tesislerinde malzemelerin ve ara ürünlerin bir noktadan diğerine taşınması faaliyetleri nedeni ile ortaya çıkan maliyetlerin işletmenin toplam üretim maliyetlerinin %20 ile %50 arasında olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, tesisin başarısız bir şekilde düzenlenmesi, iş sağlığı ve güvenliği, bakım onarım faaliyetlerinin aksaması, sistemde bekleme sürelerinin artması ve ara stok miktarlarının artması açısından da ciddi olumsuz etkiler doğurur. En nihayetinde, iş ve ürün verimliliği düşer ve çalışanların memnuniyetsizliği artar.

Tesis düzenleme yöntemleri işletmeler için çeşitli amaçları gerçekleştirmek amacı ile kullanılır. Söz konusu yöntemlerin kullanılması, ürün tasarımından ürünün tamamlanmasına kadar geçen süreçte, hammaddelerin veya yarı maddelerin işletmeye kabulüne, üretim hattına yeni bir ürün eklenmesine, üretim hattından bir ürünün çıkarılmasına, ürün miktarlarının arttırılmasından azaltılmasına kadar olan birçok faaliyette etkisi olan bir süreçtir (Francis ve White, 1974). Bu çerçevede tesis düzenlemesinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesindeki temel amacın, üretime yönelik faaliyetlerde ve bu faaliyetlere ait her aşamada yer alan tüm varlıkların hareketlerini asgari seviyeye indirgemek olduğu görülür. Böylelikle her firmanın temel hedefi olan maliyet azaltma ve karlılık arttırmaya önemli ölçüde katkı sağlanabilir.

Bunların yanı sıra tesis düzenlenmesinin amaçları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir (Francis ve White, 1974; Erkut ve Baskak, 1997; Panneerselvam, 2006):

- İşletmede akıcı bir düzen tesis etmek, örgütsel yapıyı basitleştirmek ve üretimin sürekliliğini sağlamak,
- Üretim için kullanılan kaynakları ve işletmenin fiziksel alanını verimli bir şekilde kullanmak,
- Taşıma faaliyetlerini etkinleştirmek ve işgücünü maksimum performanslı olarak değerlendirmek,
- Birbirleri ile benzerlik gösteren faaliyetleri birbirlerine yakın olacak şekilde gruplamak,
- Üretimde kullanılacak donanımın azaltılmasını sağlamak ve böylelikle ilgili donanım maliyetlerinin asgari seviyede gerçekleşmesini sağlamak,
- İş sağlığı ve güvenliğini tesis etmek,
- Ara stok miktarını düşürmek,
- Bölümler arasında bekleme sürelerini düşürmek ve böylelikle toplam üretim süresini asgariye indirmek.

Yukarıda sıralanan amaçlar incelendiğinde tesis düzenlemesi ile genel olarak, emek ve maliyetleri minimize etmek amacıyla tesis yerleşiminin eniyilemesinin hedeflendiği görülür. Söz konusu amaçlar ve daha önce verilen tanımlamalar dikkate alındığında tesis düzenlemesinin işletmeler için, maliyetleri azaltmak ve sürdürülebilir üretimi ve karlılığı sağlayabilmek için hayati öneme haiz olduğu değerlendirilebilir. İşletmeler için bu denli önemli olan tesis düzenlemesi günümüze kadar oldukça geniş kapsamlı olarak araştırılmış ve gerek gerçel çözüm üreten algoritmalarla gerekse sezgisel ve meta sezgisel algoritmaların kullanıldığı birçok yöntem geliştirilmiştir.

2.2. ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİ

Üretim, tarihsel süreçte insanoğlunun kırsal kesimlerden şehirleşmeye adım atmasından itibaren ihtiyaç duyduğu bir süreçtir. Bu süreç başlangıçta basit makineler ve atölyelerde gerçekleştirilirken, özellikle artan nüfus ile birlikte insanların talep ve ihtiyaçlarındaki meydana gelen artış nedeni ile daha büyük tesislere gereksinim duyulmuştur. 18. yüzyıldan itibaren başta Avrupa kıtası olmak üzere tüm dünya geneline yayılan sanayi devrimi neticesinde üretim faaliyetlerinin bir sistem olarak değerlendirilmesi gerekmiş ve hızla endüstriler için çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle 20. yüzyılda elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelere paralel olarak üretim sistemleri daha çok otomasyona dayalı olarak tesis edilmeye başlanmıştır. Buna karşılık, özellikle küreselleşmenin etkisi ile dünya genelinde sınırların sanallaşması ve pazarların tüm dünya genelini kapsaması neticesinde daralan pazarlar ve her sektörde yaşanan rekabet dünya geneline yayılmıştır. Bu süreçte işletmelerin geleneksel üretim sistemlerini çağdaş yöntemlerle tekrar ele almaları ve kendilerini çağın ve rekabetin gereklerine uygun olarak yeniden şekillendirmeleri büyük önem taşır.

Ayrıca, firmaların artan rekabet ortamında sürdürülebilir karlılıklarını sağlamaları üretim maliyetlerini düşürmelerini gerektirmiştir. Bu nedenle, özellikle 20. yüzyılın sonlarına doğru *esnek üretim sistemi* olarak adlandırılan ve firmalara daha etkin üretim imkânı sunan yeni bir sistem ortaya çıkmıştır. Spor salonlarındaki üretim sistemi düşünüldüğünde; makinelerin müşteriler tarafından spor yapma amacı ile kullanıldığı görülmektedir. Makineler eğitmenler tarafından oluşturulan kişiye özel program sırası ile kullanılmaktadır. Programların esnek yani spor salonu kullanım amacına ve kişiye göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Spor salonu tesis planlaması; makineler ağır ve yer değiştirmesi maliyetli olduğundan, tesisin ilk kurulum aşamasında yapılmaktadır. Günümüzde geleneksel spor aktivitelerinin dışında spor aletleri ve spor yapma şekillerinin de hızla değiştiği görülmektedir. Bu sebeple spor salonlarındaki tesis planlamasının da esnek olması ve hızla değişim gösteren spor aktivitelerine uyum sağlayabilmesi oldukça önemlidir. Spor salonlarında esnek üretim sistemine uygun tesis planlamasının yapılması; makinelerdeki teknolojik değişiklikleri takip eden, akım haline gelen yeni spor aktivitelerine uyumlu bir tesis oluşturulmasını sağlamaktadır. Böylelikle rekabet ortamında ayırt edici özelliğe sahip bir hizmet verilmiş olacaktır. Çalışmanın bu bölümünde, günümüze kadar birçok başarılı firmanın bünyesinde uyguladığı bu sistemin

daha iyi kavranabilmesi amacı ile öncelikle geleneksel üretim sistemleri kısaca tanıtılmış ve akabinde üretimde esneklik ve esnek üretim sistemi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.2.1. Geleneksel Üretim Sistemleri

İşletmelerin en temel bileşeni olarak kabul edilen üretim sistemleri girdilerin bir ürüne dönüştürüldüğü sistemlerdir. Geleneksel üretim sistemleri ise genel bir tanımlamada aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Demir ve Gümüşoğlu, 1998):

"*Girdilerin belli başlı bazı değişimler geçirerek bir çıktıya dönüştüğü, bünyesinde birçok alt işlem ve unsuru barındıran süreçlerdir. Genel olarak söz konusu işlemlerden birinin bitmesi ile birlikte bir sonraki işlem devreye girer, bir çalışmanın başlaması ise kendisinden önceki çalışmanın tamamlanmasına bağlıdır. Üretim sistemlerinde işlemler birer düğüm noktası olarak değerlendirilir ve tüm düğümler girdi-çıktı sisteminin oluşturur*".

Yukarıdaki tanımlamadan üretim sistemlerinin hiyerarşik bir yapı şeklinde oluşturulması gerektiği anlamı çıkartılabilir. Buna karşılık özellikle günümüzde hiyerarşik düzende tesis edilen üretim sistemlerinin bir hayli dinamik olan üretim ihtiyaçlarını karşılayamadığı görülmüştür. Bunun yerine işletmelerin hiyerarşik bir düzen yerine dinamik koşullara daha iyi uyum sağlayabilecekleri, sistemde kademe sayılarının asgari seviyelere indirgendiği ve her aşamada her kademenin birbirleri ile yardımlaştığı yatay bir ilişki yapısının kurulması ihtiyacı oluşmuştur.

Geleneksel olarak incelendiğinde geleneksel üretim sistemlerinin;

- Sipariş (atölye) üretimi
- Akış hattı veya montaj üretimi,
- Proje üretimi
- Parti üretimi
- Kitle üretimi,

tipleri olarak sınıflandırıldığı görülür (Weigl, 1991; Sever, 2004).

Bilinen en eski ve temel üretim sistemi sipariş (atölye) üretim sistemidir. Bu sistemde sipariş olarak alınan üretim isteklerine ait olan girdiler sistem içerisinde belirli değişimlere ve dönüşümlere uğrayarak çeşitli iş istasyonlarına uğrarlar. Bu sistemde üretimde kullanılan makineler fonksiyonlarına ve yaptıkları işlemlere göre fonksiyonel olarak gruplanırlar. İşlemler arasında ilerleyen parçalar (girdiler, yarı mamuller, vs.) gerekli olan makinelerde işleme tabi tutulurlar. Eğer gereken makineler müsait değilse işlem görmek için kuyrukta sıra beklerler. Dolayısı ile bu sistemde parçaların belirli makinelere bağlanmış olduğu görülür. Bu nedenle bu sistemlerde makinelerden daha fazla yararlanılır. Buna karşılık, iş akışı bu sistemlerde oldukça karmaşık olarak gerçekleşir.

İkinci tip geleneksel üretim sistemi daha çok mamullerin standart ve çok miktarda üretilmesinin gerekli olduğu durumlarda tercih edilen akış tipi üretim sistemidir. Bu sistemde, sisteme giren birimler daha özel teçhizatlar vasıtasıyla ardışık olarak aynı operasyonlara uğrarlar. Böylece istenen amaca uygun dönüşüm işlemi gerçekleşir. Genellikle özel teçhizatlar bir üretim hattı oluştururlar. Bu hatta birimlerin geriye dönüşüne müsaade edilmez. Bu yüzden iş akışı basit ve ara stok seviyesi düşüktür. Genellikle çimento fabrikaları ile petrol rafinerileri tarafından kullanılır. Üretim miktarı fazla çeşitlilik ise azdır. Otomasyon ağırlıklıdır ve genel olarak esneklik yoktur. Yatırım maliyeti yüksektir. Ancak değişken ve az sayıdaki mamul talep durumlarında, hat şeklinde düzenlenmiş bir sistemde, makinelerin boş kalma süreleri artmaktadır.

Üçüncü tip geleneksel üretim sistemi, proje tipi üretim sistemidir. Genellikle çok büyük (hareketsiz) bir mamul veya servisin oluşturulmasına yöneliktir. Mamule yönelik tesis düzeninde, malzeme veya ana parça sabit bir yerde kalır ve takımlar, makineler, işçi ve diğer malzemeler bu proje bölgesine gelerek amaca uygun işlem ve montaj işlerine katılırlar. Bir uçak yapımı ya da bir inşaat yapımı bu sisteme örnek gösterilebilir.

Dördüncü tip üretim sistemi parti tipi üretim yöntemidir. Parti üretiminde sipariş üretime göre daha fazla ürün miktarı vardır, ürün çeşitliliği fazladır ve birbirine benzer olabildiği gibi müşteri talebi doğrultusunda değişkenlik gösterebilir. Ürün birim maliyeti ve yatırım maliyeti düşüktür. Hazır giyim örnek olarak verilebilir.

Beşinci tip üretim kitle tipi üretim sistemidir. Otomotiv, beyaz eşya, kitle tipi üretim sistemine örnek verilebilir. Üretim miktarı yüksektir. Bu sistemlerde üretim akış hızı oldukça düzgündür.

Özellikle son yıllarda yaşanan yoğun rekabet nedeni ile firmaların daha dinamik ve esnek olarak tesis edilmeleri büyük önem taşır. Bu nedenle, mamullerin, makinelerin, süreçlerin, ürün tiplerinin ve miktarlarının vb. piyasalardaki değişimlere ve isteklere hızlı ve etkin bir şekilde uyum sağlayabilmeleri amacı ile esnek üretim sistemlerinin kullanılması yaygınlaşmıştır.

2.2.2. Esneklik ve Esnek Üretim Sistemleri

Esasen fiziksel bir değişimi ifade eden esneklik kavramı, işletmelerin aniden ortaya çıkan değişimlere veya dış etkenlerden kaynaklanan belirsizliklere adapte olabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. İşletmenin belirli fonksiyonlarının esnek olabileceği gibi üretim sistemlerinin de esnek olması söz konusudur. Esnek üretim sistemine sahip olan işletmelerin ise değişken pazar koşullarına daha hızlı uyum sağladıkları ve böylelikle rakipleri arasında sürdürülebilir rekabet avantajı elde ettikleri görülebilir.

İşletmelerin esnekliği, ürettikleri ürünlerin miktarında, fiyatlamasında, çeşitliliğinde ve kalite düzeylerinde müşteri istek ve ihtiyaçlarına göre değişiklik yapabilme kabiliyetidir. Bir üretim sisteminin esnekliği ise işletmenin çeşitli çevresel faktörlerinin esnek olabilmesine bağlıdır. Esasen işletmelerin iç çevre ve dış çevre olmak üzere iki tür çevresi bulunur. İç çevre genel olarak işletmelerin kontrolünde olan çevre ve dış çevre ise işletmelerin kontrolü dışında olan çevredir. İç çevre içerisinde işletmenin kendi imkânlarını kullanarak kontrol edebileceği unsurlara, kuyrukta beklemeler, işlem tekrarları, ıskartalar, arızalar, kazalar, değişen iş zamanları, vs. örnek olarak verilebilir. İşletmenin kontrol edemeyeceği veya diğer bir ifadeyle oluşmasını engelleyemeyeceği dış çevre unsurlarına ise ürüne olan talep miktarındaki değişim, fiyatlar, rakip firmaların pazarlama ve satış üstünlüğü sağlayabilecek hareketleri, vb. örnek olarak verilebilir. İster kontrol edilebilsin isterse kontrol edilemesin, işletmelerin başarılı olabilmek için söz konusu unsurlara hazırlıklı olması gerekmektedir. İşletmeler, söz konusu sorunlarla karşılaştıklarında ne derece dinamik olarak hareket ederlerse o derece esnek olabilmektedir (Sever, 2004).

Genel olarak incelendiğinde, işletmelerin üretim sistemlerinin esnek olmalarının,

- Mamul esnekliği,
- Makine esnekliği,
- Süreç esnekliği,
- Miktar ve ürün esnekliği,

gibi esneklik türlerini bünyelerinde bulundurması ile değerlendirilmektedir (Browne ve diğ., 1984).

Mamul esnekliği üretim sisteminde mamullerin türünü, miktarını, özelliklerini, vb. hızlı ve ekonomik olarak değiştirilebilmesi kabiliyetidir.

Makine esnekliği ise, üretilen mamullerin değişmesi ile birlikte üretimde kullanılan makinelerin de değişmesinin gerektiği durumlarda, gerekli olan düzenlemelerin ve değişikliklerin ne ölçüde hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirilebildiğinin ölçüsüdür.

Süreç esnekliği ise, üretimde kullanılan herhangi bir bileşenin arızalanması veya devre dışı kalması nedeni ile üretim sürecinin aksamadan ne ölçüde devam ettiğini ifade eden bir esneklik türüdür. İşletmeler söz konusu durumlarda üretim faaliyetlerine aksaklık yaşanmadan ve üretimi durdurmadan devam edebiliyorlarsa süreç esnekliği sağlanmış demektir.

Miktar ve ürün esnekliği ise işletmelerin mevcut üretim sistemi ile yeni yatırımlara girmeden farklı ürünler veya parçalar üretme yeteneğini göstermektedir. Üretim esnekliği işletmenin ürün miktarı ve üretim çeşitliliğini değiştirip farklı şekillerde ve modellerde ürünler üreterek daha çok müşteri potansiyeline ulaşma imkanı elde etmeyi hedeflediği durumlarda oldukça önemli hale gelebilen bir esneklik türüdür (Acar ve diğ., 2007).

Özellikle 20. yüzyılın sonlarına doğru etkisini göstermeye başlayan küreselleşme süreci, birçok sektörü olduğu gibi üretim sanayisini de derinden etkilemiştir. Bu süreçte artan rekabet mevcut pazarların daralmasına ve müşteri taleplerinin daha ön planda tutulması gerekliliğinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, üretim gerçekleştiren işletmeler, ekonomik krizler, enflasyon, döviz kurlarındaki dengesizlikler vb.

nedenleriyle büyük tehditlerle karşı karşıya kalmıştır. Dolayısı ile işletmelerin hâlihazırda, daha rekabetçi bir şekilde piyasa dalgalanmalarına hızla yanıt veren, yüksek kalitede ve düşük maliyetli ürünler üretme konusunda esnek ve dinamik yeteneklere sahip olmaları önemli hale gelmiştir. Geleneksel üretim yöntemlerinde olduğu şekliyle günümüzde üretim maliyeti işletmeleri etkileyen önemli bir faktör olmaktan çıkmıştır. Bunun yanı sıra, üretici için önemli olan faktörler; esneklik, kalite, verimli teslimat ve müşteri memnuniyeti daha ön plandadır denilebilir.

2.2.3. Esnek Üretim Sistemi Özellikleri ve Hedefleri

Esnek üretim sistemleri, yüksek değişkenliğe sahip üretim ihtiyaçları söz konusu olduğunda, işletmelerin verimliliklerini ve karlılıklarını sürdürülebilmesine imkân sağlayan bir yaklaşımdır. Bununla birlikte esnek üretim sistemlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, sistemin temel özelliklerinin ve firmalar için belirlenen hedeflerin anlaşılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Acar ve diğ., 2007).

Esnek üretim sistemlerinin en temel özellikleri aşağıda maddeler halinde listelenmiştir:

- Belirli bir alanda depolama, üretim, taşıma vb. üretim grubunun birbirleri ile entegre edilerek tesis edilmesi ile oluşturulur.
- Ürün çeşitliliği fazla olan işletmeler için oldukça uygun bir üretim sistemidir.
- Aynı gruptan fakat farklılıkları olan parçaları üretmek amacı ile kullanılır.
- Genel kullanım amaçlı makineleri ve teçhizatlar unsurlarını içerir. Farklı parçaları imal edebilmek için bu unsurlarda küçük ölçekli değişiklikler yapılması yeterli olmaktadır.
- Üretimde hammaddeler, yarı mamuller ve mamuller otomatik taşıma bantlarında hareket eder ve bu işlemler bilgisayar kontrollü otomasyon altyapısı ile gerçekleştirilir.
- Üretimin her aşamasında otomasyon en üst seviyededir ve dolayısı ile üretimde insan müdahalesi asgari düzeydedir. Bu yönü, esnek üretim

sistemlerini diğer üretim sistemlerinden ayıran en önemli özelliklerin başındadır.

Esnek üretim sistemlerinin tasarlanmasındaki ilk aşama, işletmelerin tasarımına destek olmak amacı ile uygun hedeflerin ortaya konulmasıdır. Aşağıda listelenen çeşitli hedefler, başarılı bir düzenlemenin gerçekleştirilmesinde önemli olan faktörlerdir. Elbette, hemen hemen tüm tasarım ve operasyonel kontrol problemleri için geçerli olduğu gibi, listelenen hedeflerden bazılarının diğerleriyle çelişmekte olduğu görülmektedir. Bu durum esnek üretim sistemi tasarımının dikkatle gerçekleştirilmesi gerekliliğini göstermesi açısından manidardır.

Esnek üretim sisteminin bir ağ yapısı şeklinde tasarlandığı varsayıldığında göz önünde bulundurulması gereken hedeflerden bazıları aşağıda listelenmiştir (Afentakis, 1989):

- **Yerleşim maliyetleri:** Bu maliyet kalemi üretimdeki hareketli hattın toplam uzunluğu ile orantılıdır. İki işlem modülü (hücresi, makinesi, tezgâhı, teçhizatı vs.) arasındaki minimum mesafenin dış faktörler tarafından belirlendiği varsayıldığında, modüller arasındaki ara bağlantı maliyetini azaltmak için işletmedeki yerleşimin kenar sayısının düşük tutulması gerekmektedir.

- **Üretim esnekliği:** Sistem, sistemde üretim için seçilen tüm parça tiplerini üretme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu nedenle, iki özel düğüm arasında yönlendirilmiş bir yol olması için yerleşim ağının kopukluk olmadan tesis edilmesi gerekmektedir. Örneğin *i* ve *j* olarak belirlenen iki modül arasında hem *i* hem de *j* modülünde gerçekleşen bir işlem olması gerekmektedir.

- **Ürün ve süreç esnekliği**: Başarılı bir esnek üretim sisteminden beklenen bir başka özellik, sistemin gelecekte oluşabilecek parça tipi isteklerini üretebilmesi ve işlem değişikliklerine cevap verebilmesi yeteneğinin sağlanmasıdır. Gelecekteki gereksinimler hakkında bilgi mevcut değilse, bu esnekliği garanti eden ara bağlantının güçlü bir şekilde tesis edilmesi gerekir. Başka bir deyişle, yerleşim ağı, herhangi bir çift modülü birbirine bağlayan en az bir adet yönlü yol olacak şekilde tesis edilmelidir.

- **Makine ve takım tezgâhı genişletme maliyeti**: Sistem, işlem modüllerinin değiştirilmesine hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verebilmelidir. Özellikle, sisteme yeni modüller eklenebilmeli ve bu durum mevcut bağlantıların herhangi birini etkilemeden gerçekleştirilebilmelidir. Böylece düğümlerin yeniden konumlandırılması ve yeniden bağlanması maliyeti azalacaktır.

- **Güvenilirlik**: Sistem, malzeme taşıma unsurlarında herhangi bir aksamanın oluşması (çalışma hatası veya tıkanıklığı) durumunda da faaliyetlerine devam edebilmelidir. Bu nedenle, tesis edilecek olan yerleşim ağının tercihen yüksek bağlantıya sahip olması sağlanmalıdır. Böylece herhangi bir düğüm çifti arasında alternatif yollar mevcut olacak ve bu nedenle hata toleransı yüksek seviyelerde gerçekleşebilecektir.

- **Gecikmeler**: Tesis edilecek yerleşim ağında düğümler birbirleri arasında asgari iletim süresini karşılayacak şekilde yerleştirilmelidir veya alternatif olarak, parçaların imalat işleminde geçtiği düğüm sayısı mümkün olduğu kadar düşük tutulacak şekilde ayarlanmalıdır.

Bir sonraki bölümde ayrıntısı ile inceleneceği üzere çember türü tesis düzenleme (loop layout design) yönteminin yukarıda sıralanan hedeflerin gerçekleştirilmesinde oldukça başarı olduğu ve bu nedenle işletmeler tarafından sıklıkla tercih edilen bir yöntem olduğu konusunda yaygın bir görüş hâkimdir (Afentakis, 1989).

2.2.4. Esnek Üretim Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları

Özellikle 20. yüzyılın son yıllardan itibaren tüm dünya genelinde artan rekabet tüm pazarları daraltmış, firmaların çetin rekabet ortamında varlıklarını devam ettirebilmeleri büyük ölçüde, üretim maliyetlerinin düşürülmesine bağlı olmaya başlamıştır. Sürekli bir değişim içerisindeki dinamik piyasa şartları firmalara üretim sistemlerini daha esnek olarak teşekkül etmelerini zorunlu hale getirmiştir. Bu çerçevede, özellikle üretim gerçekleştiren firmalarla hizmet sektöründe faaliyet gösteren firmaların bünyelerinde çağdaş esnek üretim sistemlerini uygulamaya başlamaları yaygınlaşmıştır.

Gerek endüstriyel çevrelerde gerekse akademik camiada sıklıkla çalışılmış olan esnek üretim sistemlerinin çeşitli avantajları olduğu kadar bazı dezavantajlı yönleri de bulunmaktadır. Söz konusu avantaj ve dezavantajlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir (Sever, 2004):

Avantajlar:

- Sistemde temel hedef verimliliğin sağlanması ve kalitenin arttırılmasıdır. Sisteme giriş yapan hammaddelerin, mamullerin, yarı mamullerin vs. sistemden çıkışına kadar geleneksel yöntemlere göre daha sıkı kontrollerden geçirilmeleri ve üretimde son derece hassas makinelerin kullanımı tercih edilmeleri nedenleri ile kalite ve verimliliğim arttırılmasını gerçekleştirebilir.

- Esnek üretim sistemi sayesinde daha fazla verim elde ederek, daha çok ürünü daha düşük maliyetlerle üretmek mümkün olabilir.

- İşletmelerin bünyesinde esnek üretim sistemine göre düzenleme gerçekleştirilmesi ile birlikte tesis yer kullanımı açısından %45 ile %85 oranları arasında kullanım tasarrufu sağlanabilir.

- Yerden tasarruf edilmesi, işletmenin ana kapitaline %5-10 arasında tasarruf sağlama imkânı sunabilir.

- Sistemde üretim hacmini arttırarak, üretim sürecini de hızlandırma imkanı sağlayabilir. Ayrıca teslim sürelerini kısaltarak işletmelere önemli bir rekabet avantajı sağlamış olur.

- Üretim için gerçekleştirilen işlemlerin çoğunluğu bilgi teknolojileri altyapılarının kullanılması ile gerçekleştirildiğinden, kendi kendine kontrol edilebilen sistemler ve geri bildirim sayesinde üretim güvenilirliği arttırılır.

- Doğrudan işçilik maliyetleri önemli ölçüde düşer fakat dolaylı maliyetler kullanılan cihaz ve ekipmanların maliyetlerine göre artış gösterebilir.

- Firmanın esnekliği önemli ölçüde artar. Bu sayede firma dinamik piyasa koşullarına daha hızlı sürede uyum sağlayabilir.
- Üretim sürecinin daha hızlı olarak gerçekleştirilmesi nedeni ile süreç içi envanter miktarı ve ara depo miktarı azalmasına imkan sağlayabilir.
- Her yeni ürün için gerekli makine ve ekipman ihtiyacının minimuma düşürülmesine katkı sağlar.

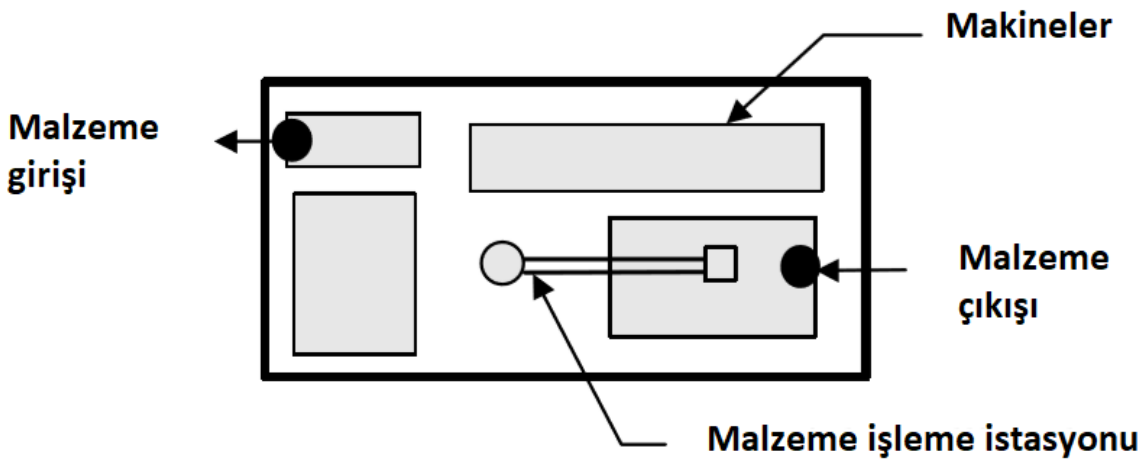
Dezavantajlar:

- Sisteme tam uyum gösterebilecek yazılım geliştirmek ve yazılımın donanım ile uyumlu bir şekilde çalıştırılmasının sağlanması ciddi bir mühendislik çalışması gerektirir.
- Geleneksel sistemden esnek üretim sistemine geçişte personelin eğitilmesi ve üretim süreci hakkında bilgilendirilmesi oldukça zahmetli ve zorlu bir süreçtir.
- Esnek üretim sistemine geçiş yapan firmalarda işlerine son verilmesi gerekecek olan personelin yeni sistem bünyesinde tekrardan istihdam edilebilmeleri zordur.
- Kurulacak esnek üretim sisteminin ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksek olabilmektedir. Sermayesi yeterli olmayan firmaların rekabet gücünü kaybetmeleri oldukça muhtemeldir.
- Az ya da sıfır stokla çalışıldığında, ekonomik göstergelerdeki dalgalanmalar işletmeyi etkileyebilir.
- Teknolojideki gelişme ile birlikte işletme sık sık revizyona girmek durumunda kalabilir. Bu da sistemin idame maliyetlerine ciddi bir maliyet katabilir.

2.3. TESİS PLANLAMASI

Tesis planlaması işlemi, üretim gerçekleştiren işletmelerde verimliliği sağlayarak yüksek üretim değerlerine ulaşabilmek için kullanılan bir yöntemdir. Düzenleme işlemi özellikle esnek üretim sistemleri için oldukça önemlidir. Bunun temel nedeni ise modüllerin tesis içerisinde gelişigüzel ve düzensiz bir şekilde yerleştirilmesinin işletme açısından ciddi maliyetlere yol açacak olmasıdır.

Genel olarak incelendiğinde bir esnek üretim sistemi hücresinde Şekil 2.1'de gösterildiği üzere birçok makine ve hücre içi mamul işleme bölümünün bulunduğu görülür. Geleneksel düzenleme yöntemlerinden farklı olarak esnek üretim sistemlerinde genel olarak sabit genişlikte olan ve malzeme giriş çıkış noktaları belirli olan hücreler bulunur. Dolayısı ile esnek üretim sistemi yönteminin amacı, her hücrenin tesis içerisindeki nihai yerinin belirlenen kriterler göz önünde bulundurularak en optimal şekilde yerleştirilmesidir (Yang ve diğ., 2005).



Şekil 2.1: Bir Esnek Üretim Sistemi Hücre Yapısı

2.3.1. Tesis Düzenleme Türleri

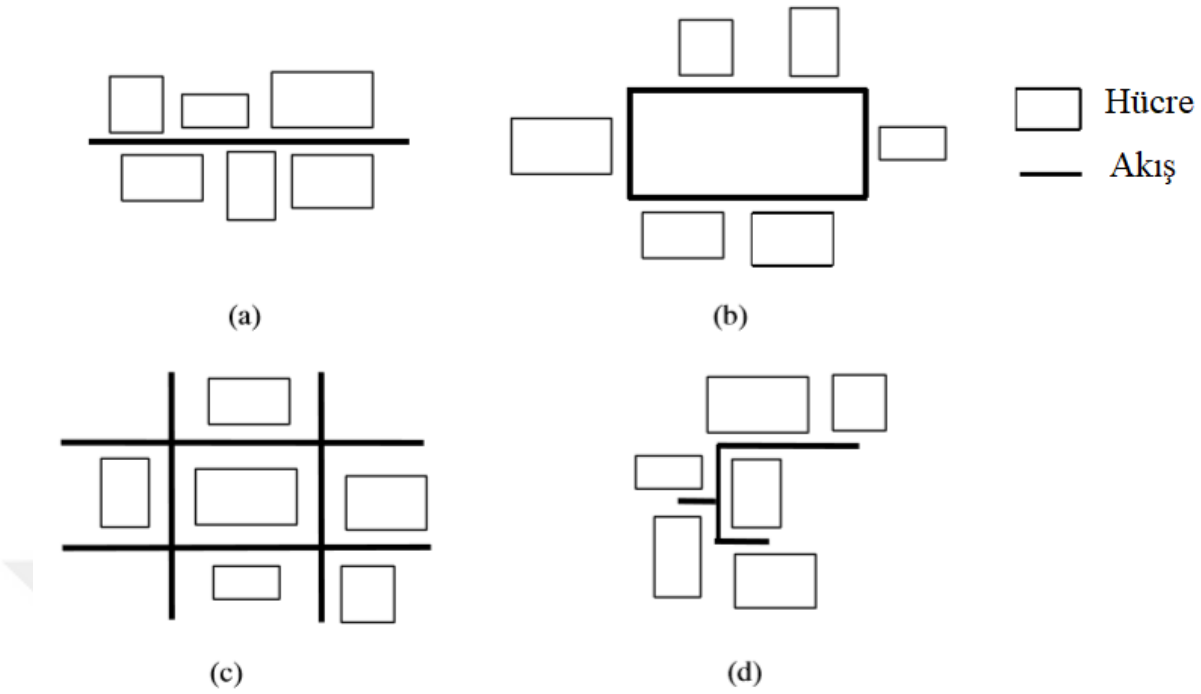
Luggen (1991) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, hücrelerin tesis içerisine dört temel türde yerleştirilebileceği değerlendirilmiştir. Bu yerleştirme türleri aşağıdaki kısaca açıklanmıştır:

- **Çizgisel Türü Yerleşim:** Omurga türü yerleştirme Şekil 2.2 (a)'da gösterilmiştir. Bu yerleştirme türü tek bir kılavuzlu makine düzeninde, malzeme akışının düz bir yol izlenerek gerçekleştirilmesi gerektiğinde uygundur. Genel olarak bu düzende hücreler akış hattının tek bir tarafına yerleştirilebildiği gibi hattın iki tarafına da yerleştirilebilir.

- **Döngüsel Yerleşim:** Genel olarak bu tür yerleştirmede Şekil 2.2 (b)'de gösterildiği gibi, sistem içerisinde dairesel bir şekilde yerleştirilen hücreler arasında tek yönlü bir akış sistemi tesis edilir. Ayrıca bazı durumlarda malzemelerin hücre içerisine kabul edilip işlem göresini sağlayan ve hücre içerisine doğru ikincil bir akış sistemi de tesis edilebilir. Böylelikle akıştaki malzemelerin birbirleri ile karışması engellenmiş olur.

- **Izgara Türü Yerleşim:** Bazı kaynaklarda merdiven türü yerleşme olarak da adlandırılan bu yerleşim türünde Şekil 2.2 (c)'de gösterildiği gibi hücreler basamaklar halinde yerleştirilir. Böylelikle hücreler arasındaki ortalama iletim süresi ve dolayısı ile ürünün elde edilmesi süresi kısalır.

- **Açık Alan Yerleşim**: Bazı kaynaklarda akış türü yerleştirme olarak da anılan bu yerleştirme türü Şekil 2.2 (d)'de gösterildiği gibi; esasen dairesel yerleştirmenin bir türevidir. Bu yerleşimde hücreler gerçekleştirdikleri işlemlerin türüne göre dairesel ve ızgaralar halinde karışık olarak yerleştirilebilir. Ürünler sınırlı sayıdaki makinelere, makinelerin müsaitliğine göre sevk edilir. Bu yerleştirme türü genellikle geniş bir yelpazeye sahip olan ürün grupları için oldukça avantajlıdır.



Şekil 2.2: Esnek Üretim Sistemi Yerleşim Türleri (a) Çizgisel Türü Yerleşim (b) Döngüsel Türü Yerleşim (c) Izgara Türü Yerleşim (d) Açık Alan Yerleşim

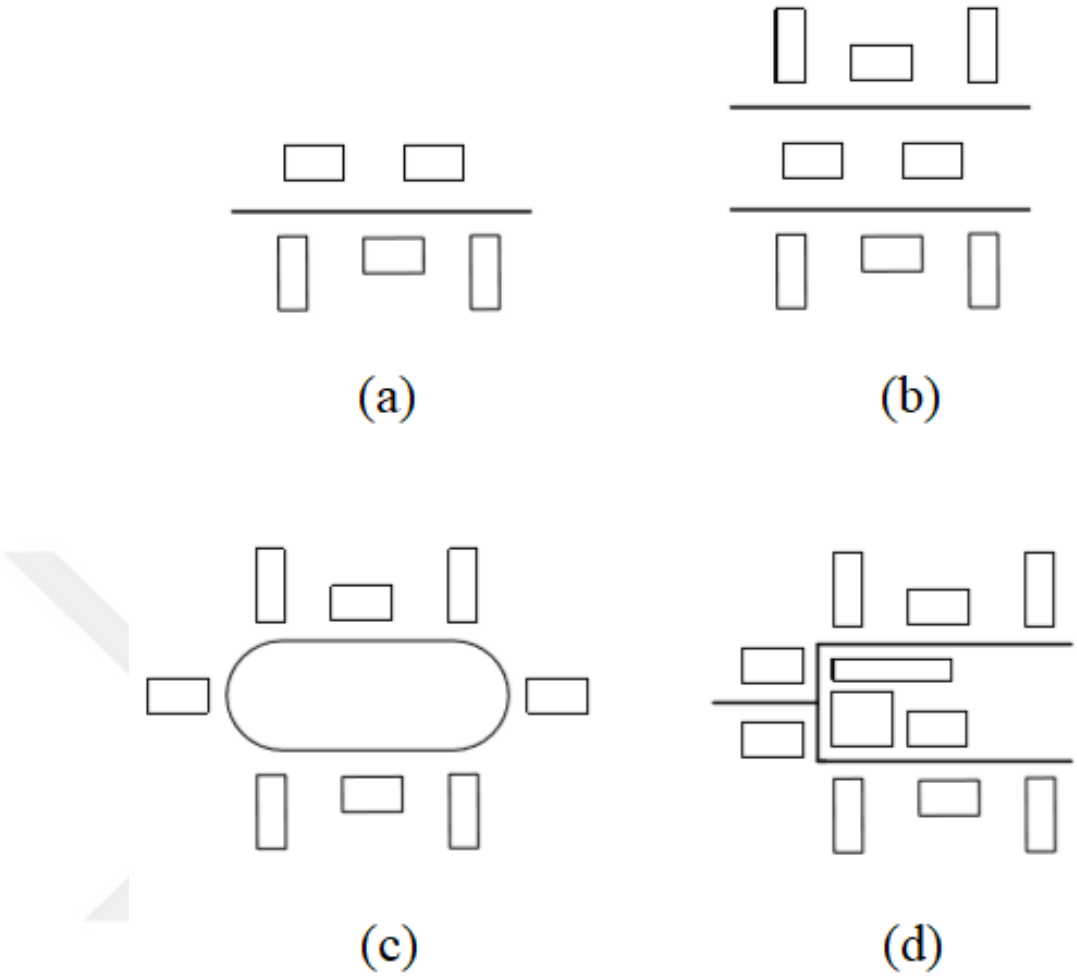
Listelenen yerleştirme türlerine ek olarak, zikzak, U-tipi yerleştirme, L-tipi yerleştirme, Atlı Karınca türü yerleştirme vb. gibi çeşitli farklı yerleşim türlerinin de var olduğu görülür. Zikzak tipi yerleştirme genellikle yerleştirme alanı nispeten küçük olan işletmelerde tercih edilir. U-tip yerleşim ise, genel taşıma sistemleri fabrikanın bir tarafındayken veya üretimin ilk ve son basamağında ortak tesislerin kullanılması gerektiğinde seçilir, böylece ürünün başlangıç noktasına döndürülmesi kolaylaştırılmış olur. Kapalı döngü modeli, bir ürünün tam olarak başlangıç noktasına iade edilmesi gerektiğinde veya gönderilen ve alınan birimlerin aynı yerde olması gerektiğinde kullanılır. Ayrıca, üretimdeki özel bir makinenin birden fazla kullanılması ihtiyacı bulunduğunda uygulanır (Moghaddam ve Panahi, 2007).

Söz konusu yerleştirmelerin temel ortak hedefi, sistemin üretim için gerekli olan kaynakların makul bir şekilde harcanabilmesi için etkin bir işlem sırası sağlamaktır. Dolayısı ile sistemin temel hedefi üretim süresini kısaltmak ve malzeme akışında kilitlenmeyi ve beklemeyi önleyerek işlem envanterini ve ara stok miktarını azaltmaktır. Bu şekilde makinelerin iş yükleri dengelenmiş ve darboğaz yaşanan alanlar tespit edilerek kaynak gereksinimleri azaltılmış olur. Bu hedefler ile her işletme kendi yapılarına, üretim

yöntemlerine, üretim ihtiyaçlarına ve üretim alanlarının özelliklerine göre en uygun olan yerleştirme yöntemini belirlerler.

Açık alan tipi düzen, en az kısıtlı olan ve bu nedenle potansiyel olarak en iyi çözümleri üreten yerleşim düzenlerinin başında yer alır. Buna karşılık, bu yerleşim türünü gerçekleştirmek oldukça zordur ve çoğu zaman karmaşık bir malzeme taşıma sistemi gerekli olduğu durumlarda istenmeyen durumların ortaya çıkması ile sonuçlanır. Alternatif olarak döngüsel yerleşim türünün daha etkin sonuçlar verdiği bilinmektedir. Döngüdeki dairesellik, sistemdeki hücreleri birbirine bağlayan merkezi bir malzeme taşıma yolu sağlar ve böylece basitleştirilmiş bir malzeme taşıma sistemi oluşturulur. Ayrıca, düzenlemede herhangi bir değişiklik gerçekleştirilmesi ihtiyacı doğduğunda bu değişikliğe uyum sağlayan esnek bir yapı oluşturur. Çoğu durumda kapalı halka düzenleri, malzeme hareketini en aza indirgemek açısından neredeyse açık alan düzeni kadar iyi sonuçlar verebilir. Bu nedenle, dairesel düzen, yapısal bir malzeme taşıma sistemi ve genişleme esnekliğini birlikte gerçekleştiren iyi bir çözüm sunar (Chae ve Peters, 2006).

Genel olarak üretim tesisleri, bir üretim sistemi ve bir malzeme taşıma sistemlerinden oluşur. Yukarıdaki paragraflarda izah edildiği üzere, üretim sistemleri hücre olarak adlandırılan müstakil birimler ile tesis edilir. Hücrelerin içerisinde çok sayıda operasyonel alt birim bulunur. Hücreler bazı kaynaklarda, makine, tesis, istasyon, tezgâh, takım, bölüm, bölme vb. olarak da adlandırılmaktadır. Bir hücrede hazırlanan veya işlenen parçalar malzeme taşıma sistemi üzerinden bir diğer hücreye aktarılır. Şekil 2.3'te gösterildiği üzere malzeme taşıma sistemleri de farklı şekillerde organize edilebilir. Bunlar tek sıralı, çok sıralı, kapalı çevrim ve açık alan düzenlemeleri olarak sıralanabilir (Lasrado, 2011).



Şekil 2.3: Üretim Taşıma Sistemleri Düzenleme Türleri (a) Tek Sıralı (b) Çok Sıralı (c) Kapalı Çevrim (d) Açık Alan

2.3.2. Döngüsel (Loop) Yerleşim

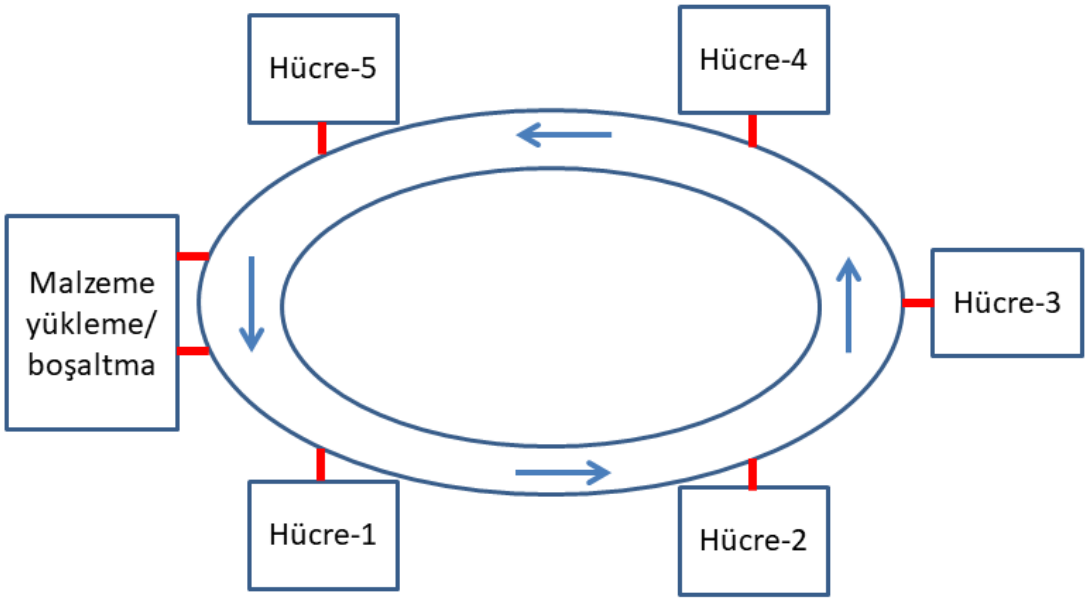
Döngüsel tesis yerleşiminde, malzemelerin sisteme girişinden çıkışına kadar olan süreçte hücreler sanal bir çember oluşturacak şekilde yerleştirilir ve hücreler arasındaki akış tek yönlü (uni-directional) veya iki yönlü (bi-directional) olarak gerçekleştirilir. Genel olarak incelendiğinde tek yönlü dairesel yerleşim tekniklerinin daha sıklıkla tercih edildiği görülür.

Tek yönlü bir dairesel yerleşim düzeni Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere bu düzende parçalar sadece tek yönde hareket ederler. Her parça, işlem süreci içerisinde, sırası gelen hücreye yönlendirilir. Bir parçanın hücredeki iş istasyonlarından birinde işlenmesi tamamlandığında, parça tek yönlü olarak malzeme taşıma sistemi üzerinden işlem planında belirtilen bir sonraki iş istasyonuna taşınır. İş istasyonu

meşgulse, parça iş istasyonu kullanılabilir duruma gelinceye kadar kuyrukta bekletilir (Altınel ve Öncan, 2005).

Her iş istasyonu, maddeyi malzeme taşıma sisteminden alma, maddeyi işleme ve malzeme taşıma sistemine değiştirme yeteneğine sahiptir. Bu sistemler için en yaygın kullanılan operasyonel strateji, tüm parçaların yükleme (giriş) ve boşaltma (çıkış) istasyonlarında sisteme girip çıkmasıdır. Yükleme ve boşaltma istasyonları elleçleme konusunda uzmanlaşmıştır. Bu istasyonlarda malzemeler, döngü dışından döngü içine üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan aktarılır.

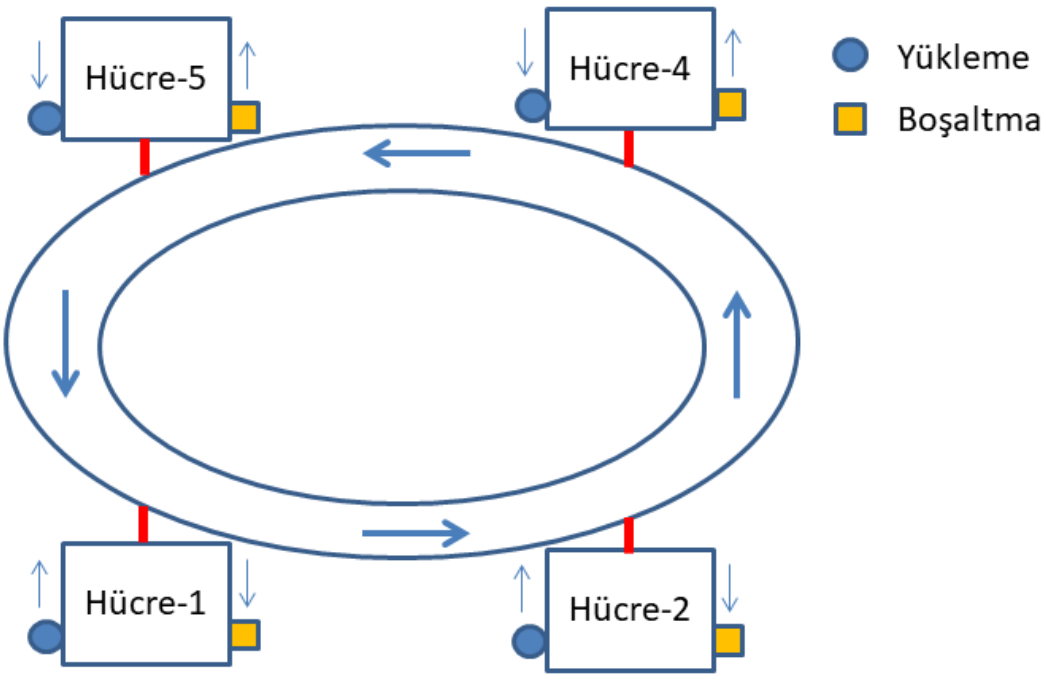
Şekil 2.4'te beş adet hücreden ve bir adet malzeme yükleme/boşaltma istasyonundan oluşmuş bir dairesel yerleşim düzeni gösterilmiştir. Bu yerleşimin tesis edilmesindeki temel amaç, *n* adet hücrenin *n* adet aday bölgeye yerleştirilmesidir. Bu yerleşim gerçekleştirilirken de, hücrelerde üretilen parçaların toplam taşıma maliyetini ve üretim süresini en kısa süre içinde gerçekleştirmek hedeflenir. Afentakis (1989) 'a göre, nispeten daha düşük ilk yatırım maliyetleri, yüksek malzeme taşıma esnekliği ve gelecekteki yeni parçaların ve işlem değişikliklerinin esneklikle ele alınabilmesi kabiliyetleri nedeniyle, tek yönlü dairesel düzenler daha çok tercih edilmektedir (Özçelik ve Islıer, 2011).



Şekil 2.4: Tek Bir Yükleme / Boşaltma Noktası Olan 5 Hücreli Bir Tek Yönlü Döngüsel Yerleşim Örneği

Tek bir yükleme/boşaltma istasyonu olan dairesel/döngüsel yerleşim düzenlerinin yanı sıra, birden fazla yükleme/boşaltma istasyonu bulunan çeşitli sistemlerin de önerildiği/tasarlandığı görülür. Örneğin, Bozer ve Hseieh (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, her hücreye ayrı birer yükleme/boşaltma noktasının tesis edildiği bir döngüsel yerleşim önerilmiştir. Şekil 2.5'te gösterildiği üzere, çalışma kapsamında hücresel ayrık uzayda (discrete space) kapalı çevrim tek yönlü döngüsel bir taşıma bandı tasarlanmıştır. Hücreler, birer yükleme ve boşaltma eki ile birleştirilmiştir.

Yukarıda verilen iki örnekte öncelikle tek bir yükleme/boşaltma noktasının varlığı ve her hücrede bir adet yükleme/boşaltma noktalarının varlığı şeklinde iki tür yaklaşım söz konusudur. Bunların yanı sıra bir adet yükleme ve birden çok boşaltma noktası, birbirlerinden farklı sayıda yükleme ve boşaltma noktalarının bulunduğu karmaşık yerleşim ihtiyaçları da bulunabilmektedir (Yang ve diğ., 2005).

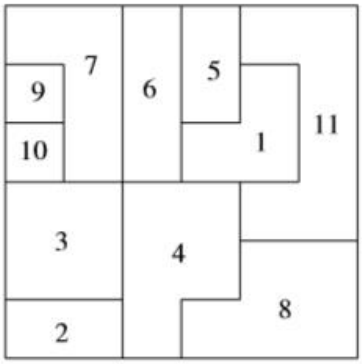


Şekil 2.5: Birden Çok Yükleme/Boşaltma Noktası Olan 4 Hücreli Bir Tek Yönlü Döngüsel Yerleşim Örneği

Döngüsel yerleşimde hücreler arasındaki geçişin taşıma bantları vasıtası ile gerçekleştirilmesi her zaman mümkün/gerekli olamayabilir. Örneğin hizmet sektöründe

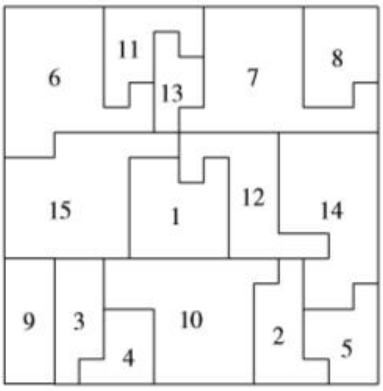
faaliyet gösteren firmaların genel olarak taşıma bandı sistemine ihtiyaç duymadığı görülür. Spor salonlarında hizmet alan müşteri makineleri hazırlanan program sırası ile kullanmaktadır, sistem içerisinde taşınmasına gerek duymadan programdaki sırayı takip eder ve hizmeti almış olur. Hizmet sektöründe yer alan hayvanat bahçesi örneğine bakılırsa müşteri talebi doğrultusunda taşıma bandı niteliğinde servis aracı (shutle) hizmetinin verilmesi de mümkündür. Spor salonlarına yerleştirilecek spor istasyonlarının salon içerisine müşterilerin programları dahilinde optimum olarak yerleştirilmesi bu duruma örnek olarak verilebilir. Benzer şekilde bir kamu görevi icra eden ve birden fazla aşama gerektiren bürolarda hizmet masalarının yerleştirilmesi de bu duruma örnek olarak verilebilir.

Bu gibi durumlarda kullanılabilecek blok yerleşime dayalı yöntem Yang ve diğ. (2005) tarafından önerilmiştir. Çalışmada, yürüyen bantlar yerine bir blok yerleşimi tasarlanmıştır. Şekil 2.6'te gösterildiği üzere hücreler, akış maliyetlerinin azaltılması amacı birbirleri ile bağlantılı olarak uzay doldurma eğrisi (spacefilling curve) yöntemi ve tavlama benzetimi yöntemleri kullanılarak yerleştirilir. Çalışma kapsamında sunulan örneklerde, farklı boyutlarda çeşitli sayıda istasyonların kare bir alana sahip olan tesise yerleştirilmek istenmesi durumu incelenmiştir. Bu yerleşimin amaç fonksiyonu ise istasyonlar arası geçişlerin maliyetini minimize etmek olarak belirlenmiştir.



$2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 2$

(a)



$9 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 10 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 14 \rightarrow 12 \rightarrow 1 \rightarrow 15 \rightarrow 6 \rightarrow 11 \rightarrow 13 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9$

(b)

Şekil 2.6: Kare Bir Alanda Döngüsel Blok Yerleşim Örnekleri (a) 10 Hücreli Yerleşim ve Akış (b) 15 Hücreli Yerleşim ve Akış

2.3.3. Tesis Düzenleme Modelleri

Çalışmanın bu bölümünde tesis düzenlemesi probleminin çözümü için önerilen çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalar, problemin çözümü için kullanılan sezgisel, meta-sezgisel, tam çözüm, doğrusal programlama ve diğer yöntemlere göre sınıflandırılmıştır.

Tesis düzenlemesi problemi için önerilen matematiksel modeller ve problemin çözümü için önerilen çözüm yöntemleri büyük ölçüde üzerinde çalışılan üretim sisteminin karakteristiklerine bağlı olarak farklılık gösterir. Ayrıca düzenlemeye diğer birçok faktör

ve tasarım kısıtı etki eder. Ürün çeşidi ve çeşitliliği, kullanılan malzeme işleme sisteminin türü, hücreler arası akışın ne yönde ve ne şekilde olduğu, işletmenin kaç katlı olduğu, işletmenin kapladığı alan, yükleme/boşaltma istasyonlarının sayısı ve kullanım şekilleri vb. söz konusu faktörlere örnek olarak verilebilir. Bu nedenle işletme türüne göre değişiklik gösteren ve oldukça karmaşık birçok unsurun etki ettiği tesis düzenleme problemlerinin çözümünde matematiksel modellerin varlığına ihtiyaç duyulmuştur. Tesis düzenleme problemleri genel olarak,

- Graf teorisi
- Tam sayılı programlama
- İkinci dereceden programlama

yöntemlerine göre modellenmektedir (Saravanan ve Kumar, 2013).

Graf teorisi yaklaşımına göre tesis düzenleme problemlerinin modellemesi ilk olarak Afentakis (1989) ve sonrasında Leung (1992) tarafından önerilmiştir. Buna göre döngüsel düzenleme, düğüm noktaları hücreleri (veya işlem gerçekleştirilen makineleri) ve kenar noktaları taşıma sistemini gösteren bir graf yapısı olarak tasarlanmıştır. Bu model problemin oldukça basitleştirilmesinde ve esneklik kazandırılmasında oldukça faydalıdır. Graf modelinin kullanıldığı tesis düzenlemesi çözüm yöntemlerinden daha ziyade *en kısa yol* ve *en kısa çevrim* yöntemleri uygulanmıştır. Her ne kadar bu model, düğüm ve kenarların sayılarının düşük olduğu durumlarda oldukça etkili olsa da bunların sayısının artması ile birlikte graf işlemleri karmaşık bir hal almaktadır.

Tam sayılı programlama modelleri ise ilk olarak Sharp ve Liu (1992) tarafından önerilmiştir. Sharp ve Liu (1992), genel amaçlı bir tamsayı programlama algoritması kullanarak, sabit akışlı bir ağ ile kapalı döngü malzeme taşıma sisteminin kullanıldığı bir model önermişlerdir. Modelde ağın yapılandırılması ve yük taşıyıcı maliyetlerinin toplamını en aza indirmek için tamsayı programlama yöntemlerine göre analitik bir yol izlenir. Problem çözümü hücrelerin yerlerini, taşıyıcı sistemi adedini, kestirme yolların yerlerini ve taşıma bandı üzerindeki ortalama akış miktarını verir.

Vaziri ve diğ. (2000), döngüsel düzenleme problemleri için en kısa taşıma sisteminin oluşturulması amacı ile bir blok düzeninin lineer tam sayılı programlama yöntemlerinin

kullanılarak, orta büyüklükteki işletmeler için (hücre sayısı 40'tan küçük olan) modellenebileceğini savunmuşlardır. Çalışmada, bu modelin kullanılması ile birlikte hücrelerin taşıma sistemine olan bağlantı kısıtlamalarının oldukça basit bir şekilde ele alınabileceği ve sadeleştirilebileceği belirtilmiştir.

Potts ve Whitehead (2001) tarafından gerçekleştirilen ve esnek üretim sisteminde iş yükü dağılımın sağlanmasına yönelik olarak en verimli döngüsel yerleşimin gerçekleştirilmesinin amaçlandığı bir çalışmada tam sayılı programlama yöntemi kullanılmıştır. Önerilen modelde, esnek bir üretim sistemindeki makine yerleşimi sorunları ele alınmış, tüm makineler farklı işlem türlerini gerçekleştirme kabiliyetine sahip olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, her bir işlem tipi, tek yönlü bir konveyör bant halkası etrafında konumlandırılacak olan makinelerin sadece birine atanmış ve böylelikle temel amaç iş hacmini en üst düzeye çıkarmak ve ikincil amaç ise makineler arasındaki iş hareketini en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Verimliliğin, iş yükü ile makineler arasında dengelenmesiyle en üst seviyeye çıkarılabildiği ve dolayısı ile birincil hedefin darboğaz oluşturabilecek alanlarda iş yükünü en aza indirmeye eşdeğer olduğu belirtilmiştir. Modelde üç aşamalı bir tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. İlk aşamada, makinelere işlem atanarak makine iş yükünün dengelenmesi ve ikinci aşamada makineler arası taşıma miktarının en küçüklenmesi gerçekleştirilmektedir. Üçüncü ve son aşamada ise makineler döngü düzenindeki en uygun pozisyonlara atanır, böylece ürünler tarafından üretilen toplam parça döngüsü miktarı en aza indirilir. Bir vaka çalışmasında uygulanan bu yöntemin orta ölçekli işletmelerde başarı ile uygulanabileceği değerlendirilmiştir.

Niroomand ve Vizvari (2003) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise döngüsel bir yerleşim düzenindeki bir tesisin hücreleri arasındaki mesafelerin tam olarak bilindiği durumlar için karışık bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen modelin temel amacı toplam taşıma maliyetini en küçüklemektir. Bunun için hücreler arasındaki mesafelerin öneminin oldukça büyük olduğu ve literatürde döngüsel yerleşim düzenleri için önerilen modellerde mesafe ölçümlerinin genel olarak Manhattan mesafesi olarak belirlendiği açıklanmıştır. Bu mesafe tayini yönteminin çoğu durumda gerçekçi sonuçlar üretemediği ve hücreler arasındaki mesafelerin kesin olarak belirlenmesine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Çalışmada, önerilen ve kesin mesafelerle

kapalı döngü düzeni için kullanılabilecek modelin diğer yöntemlerle kıyaslanabilecek bir altyapı ürettiği belirtilmiştir.

İkinci dereceden programlama modelleri ise genel olarak ilk defa Kaku ve Rachamadugu (1992) tarafından önerilmiştir. Bu model, döngüsel ve doğrusal türdeki tesis düzenlerinde ortaya çıkan bazı sorunları çözmek için yapıcı değişim ve iyileştirmeye dayalı bir yaklaşım izlemektedir.

2.3.4. Tesis Düzenlemesi Çözüm Yöntemleri

Çalışmanın bu bölümünde literatürde özellikle döngüsel tesis düzenlemesi problemi için tam çözüm, sezgisel ve meta sezgisel çözüm yöntemlerinin önerildiği bazı çalışmalar incelenmiştir. Tam çözümler optimal değerler üretirken, sezgisel ve meta sezgisel yöntemler optimale yakın olan çözümler üretmektedir.

2.3.4.1 Tam (Optimum) Çözümler

Tesis düzenlemesi problemi esasen NP karmaşıklıkta olan ve arama uzayı problemin çözümünü makul bir zaman diliminde gerçekleştiremeyecek kadar geniş olan problemlerdir. Buna karşılık, problemde tesisin genişliğinin nispeten küçük, kısıtların ve yerleştirilecek hücrelerin sayısının az olduğu durumlarda tam (optimal) çözüme ulaşılabilmektedir. Bu nedenle literatürde çeşitli arama algoritmalarının önerildiği görülür. Dal sınır algoritması ve kesme düzlemi algoritması kullanılan en yaygın iki algoritmadır.

Dal sınır algoritmasını genel olarak bir minimizasyon probleminde, problemin uygun çözüm alanının daha küçük alt kümelere bölünmesi ve her alt küme içerisinde alt sınır çözüm değerinin hesaplanması işlemidir. Algoritma, sistemli bir şekilde mümkün çözümlerin araştırılarak optimal çözümün bulunması için kullanılan genel amaçlı bir yöntemdir. Tüm mümkün çözümlerin araştırılması yerine daha az sayıda mümkün çözüm incelenerek optimal sonuca ulaşılır. Bu yöntemde dallanma ve budama olmak üzere iki işlem uygulanır. Her dal için bir alt sınır değeri hesaplanır. Bulunan bu değer mümkün çözüm değerinden büyükse bu dal budanır. Bütün dallarda bir mümkün çözüme ulaşılıncaya veya bütün dallar budanıncaya kadar işlemlere devam edilir.

Gilmore (1962) tarafından gerçekleştirilen çalışma, tesis düzenleme problemleri için geliştirilen ve dal-sınır algoritmasının kullanıldığı bir algoritmadır. Bozer ve Rim (1989)'in çalışmaları ise döngüsel tesis düzenlemesi problemine optimal çözüm getiren yöntemlerin ilk örneklerindendir. Çalışmalarında yazarlar bir dal-sınır algoritmasının kullanılmasını önermişlerdir. Geliştirdikleri algoritmanın temel hedefi her hücreyi daha önceden belirlenen alanlardan bir tanesine yerleştirmek ve aynı zamanda döngüsel taşıma sistemindeki toplam zamanı minimize etmektir.

Kouvelis and Kim (1992) ise tek yönlü döngüsel bir tesis yerleşimi probleminde dal-sınır algoritmasını bir sezgisel yöntem ile birlikte kullanmıştır. Çalışmada geliştirilen algoritmanın temel hedefi, yükleme/boşaltma istasyonlarından geçen parçaların sayısının azaltılarak parça işleme süresinin optimize edilmesidir. Bu problemde, her seviyede dallanma için yayılım öncelikli arama (breadth first search) algoritması kullanılmış ve alt sınır değeri iş istasyonları için yerleşim sırasının geçirgenliği ile hesaplanmıştır.

Lacksonen ve Enscore (1993) geliştirdikleri çalışmada dinamik tesis düzenleme problemlerin çözümü için beş farklı algoritmayı karşılaştırmışlardır. Bu algoritmalar CRAFT, hibrit kesme düzlemi, hibrit dal sınır, dinamik programlama ve kesme ağaç algoritmalarıdır. Dal sınır algoritmasını büyük boyutlu problemlerin çözümündeki yetersizlikler nedeniyle sezgisel yöntemler ile birleştirerek kullanmışlardır. Böylece büyük boyutlu problemlerin çözümünde nispeten daha başarılı sonuçlar elde eden bir dal sınır algoritması önermişlerdir.

Benzer şekilde Lee ve diğ. (2001) de dal-sınır algoritmasını tek yönlü döngüsel bir tesis yerleşimi problemini sezgisel bir yöntem ile birlikte kullanmışlardır. Optimal olan bir tesis yeri düzenlemesi için derin öncelikli arama (depth first search) algoritması kullanılmış ve aramadaki yayılım, tesis düzeni ağındaki düğüm sayısını oluşturan hücrelerin sayısına göre sınırlandırılmıştır.

Öncan ve Altınel (2008), dengeli ve tek yönlü döngüsel tesis düzenleme problemi için dal-kesme ve dinamik programlama yöntemlerinin birbirleri ile kıyaslandığı bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemde dal-kesme algoritması ile 50 adet, dinamik programlama ile ise sadece 20 adet hücrenin tesis içerisine başarılı bir şekilde yerleştirilebildiği gözlenmiştir. Dolayısı ile dal-kesme algoritması dinamik programlama yönteminden daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

Palubeckis (2012) ise yaptığı çalışmada tesis düzenleme problemlerinin çözümü için bir dal sınır algoritması geliştirmiştir. Geliştirilen teknik, mantığını tabu arama algoritmasından almış olan bir baskınlık testi içerir.

Kesme düzlemi algoritmaları da dal sınır algoritması gibi optimal çözüm veren algoritmalardır. Doğrusal programlama problemlerin tam sayılı çözümlerini araştırmaya dayalı bir yöntemdir. Doğrusal programlama problemin en iyi çözümünü bulur. Eğer çözüm değerleri tam sayı ise, çözüme ulaşılmıştır. Eğer çözüm değerleri tamsayı değilse bir sonraki aşamaya geçilir. Bu aşamada, çözüm değerlerinden tam sayı olmayan bir tanesi seçilir. Daha sonra probleme bu değerle ilgili kısıtlar ilave edilerek problem yeniden çözülür. İlave edilen kısıt çözüm alanını küçültür. Bu şekilde bütün çözüm değerleri tamsayı oluncaya kadar işlemlere devam edilir. Ancak dal sınır algoritmalarında olduğu gibi, kesme düzlemi algoritmaları da yüksek miktarda bilgisayar depolama alanına ve yüksek çözüm zamanına ihtiyaç duyarlar.

Kesme düzlemi algoritmaları pek çok optimizasyon probleminde kullanıldığı gibi tesis düzenlenmesi problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır. Örneğin Amaral (2009), gerçekleştirdikleri bir çalışmada tesis düzenleme probleminin çözümü için kesme düzlemi yöntemini kullanarak bir teknik geliştirmiştir. Bu çalışmada geliştirilen tekniğin literatürdeki diğer tekniklere göre daha hızlı sonuçlar ürettiği gösterilmiştir. Geliştirilen tekniğin büyük boyutlu problemlerin çözümün de dahi optimal sonuca ulaşabildiği gözlemlenmiştir.

Amaral ve Letchford (2013) ise yaptıkları çalışmada TDP'nin çözümü için kesme düzlemi algoritmasını bazı düzenlemeler yaparak kullanmışlardır. Dal sınır algoritmasının bazı özelliklerini kesme düzlemi algoritması ile sentezlemiştir. Yapılan testler sonucunda tekniğin etkin sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

2.3.4.2 Sezgisel ve Meta Sezgisel Yöntemler

Tesis düzenleme problemlerinin NP-tam (bazı kaynaklarda NP-zor) olduğu bilinmektedir. Bunun temel nedeni ise tesis içerisinde yerleştirilecek olan hücrelerin sayısının artması veya düzenleme için göz önünde bulundurulması gereken kısıtların artması ile birlikte çözüm uzay genişliğinin de üstel olarak artmasıdır. Bu denli geniş bir çözüm uzayında optimal çözüme ulaşmanın mantıklı bir zaman dilimi içerisinde oldukça

zor olacağı değerlendirildiğinde, problemlerin çözümü için sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin kullanılmasındaki temel sebepler anlaşılmaktadır.

Genetik Algoritmalar, literatürde ilk olarak geliştirilen meta sezgisel algoritmaların başında yer alır. Genellikle; çözüm uzayı oldukça geniş olan, faktörlerin çok fazla olduğu, zor ve karmaşık problemlerin çözümünde kullanılır. Evrim teorisinden esinlenerek ortaya çıkmış olan ve stokastik bir arama algoritması türü olan genetik algoritmalar, diğer çözüm yöntemlerinden farklı olarak tek bir noktada değil, bir grup içerisinden (popülasyon) çözüme ulaşmaya çalışır ve başarı düzeyi önceden kestirilemez. Genetik algoritmalar sadece amaç fonksiyonunu iyileştiren çözümleri dikkate almasıyla da diğer meta sezgisellerden ayrılırlar.

Genetik algoritmalar farklı türdeki tesis düzenleme problemlerinin çözümünde de sıklıkla kullanılmıştır. Örneğin, Cheng (1996, 1998) tarafından gerçekleştirilen iki adet çalışmada, döngüsel bir yerleşim türü için genetik algoritma çözümü, diğer bir sezgisel yöntem olan komşu arama yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Yazar, tesis düzenleme probleminin NP-zor karmaşıklıkta olduğunu savunmuş ve bu sebeple problemin çözümünde sezgisel algoritma tercih edildiğini belirtmiştir. Çalışmada, Afentakis (1989) tarafından önerilen modele benzer olarak, hücreler arasındaki taşıma sisteminin dairesel ve tek yönlü olarak tesis edildiği ve üretim sistemine yükleme ve boşaltma işlemlerinin tek bir noktadan gerçekleştirildiği durumlar ele alınmıştır. Modelde $M=\{0, 1, 2, \ldots. n\}$, makine numaralarını göstermek üzere n adet makine bulunur. Her bir makine diziliş sırası genetik algoritmanın bir kromozomunu ifade etmektedir. 0'ncı makine yükleme boşaltma istasyonudur. Her parça, işlem görmesi gerekli olan yolun belirtildiği şekilde numaralandırılır. Örneğin j makinesindeki işlemin i makinesindeki işlemin bitiminde gerçekleşmesi gerektiği varsayılsın. Eğer j makinesinin numarası i makinesinin numarasından küçük ise parçanın tekrardan yükleme boşaltma istasyonundan geçmesi (bir tur dönmesi) gerekir. Bu işlem tekrar yükleme (reload) olarak adlandırılır. Cheng (1995)'in modelinde amaç, söz konusu tekrar yükleme işlem sayısını minimum olmasını sağlayarak makine yerleşimlerinin bulunmasıdır. Ayrıca, önerilen yöntemde genetik algoritmanın performansı, mutasyon operatörü olarak bir lokal arama gerçekleştirilmesi ile arttırılmıştır. Çalışmada kullanılan genetik algoritma bileşenleri aşağıda belirtilmiştir:

- **Kodlama:** *k*, kromozom numarası, m_i makine numarası olmak üzere her kromozom $v_k = \{m_1, m_2, \ldots . m_n\}$ olarak ifade edilmiştir. Kromozomlarda 0'ncı istasyon yükleme/boşaltma istasyonu olduğundan yer almaz. Popülasyon sayısı 20 adet olarak belirlenmiştir.

- **Çaprazlama**: Modelde kısmi eşleştirmeli çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.

- **Mutasyon**: Her popülasyonda λ adet genin değiştirilmesi ve bu genlerin yerel arama algoritması ile bulunması sağlanmıştır.

- **Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim:** Uygunluk fonksiyonu, sistemdeki tekrar yükleme sayısını gösterir. Önerilen metodun temel amacı bu fonksiyonu en küçükleyen değeri sağlayan yerleşimi tespit etmektir. Seçim işleminde ise her popülasyonun en iyi kromozomlarının seçildiği *elitist* yöntem kullanılmıştır.

Çalışma neticesinde önerilen model özelikle 15 adet makine ve 9 adet parça için gerçekleştirilen testlerde önemli performans başarısı göstermiştir. Modelin performansına en çok etki eden aşamanın ise mutasyon operatörünün işlenmesi olduğu belirtilmiştir.

Moghaddam ve Panahi (2007), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise kapalı çevrimde döngüsel bir tesis yeri düzenleme probleminde, eşit olmayan hücre boyutlarının en optimum şekilde yerleştirilmesi bir genetik algoritma yöntemi kullanılarak ele alınmıştır. Problemde öncelikle, hücrelerin yerleştirilebileceği alanlar ve yerleştirilemeyeceği yasaklı olan alanlar belirlenmiştir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında ise bir lokal arama algoritması kullanılmıştır. Çalışmada tesisin yerleşim alanı kare olarak kabul edilmiş olup kullanılan genetik algoritma bileşenleri aşağıda listelenmiştir:

- **Kodlama:** *k*, kromozom numarası, m_i makine numarası olmak üzere her kromozom $v_k = \{m_1, m_2, \ldots . m_n\}$ olarak ifade edilmiştir. Ortaya çıkan kromozomların bazıları, tesiste boşluklar oluşturduğundan veya yasaklı bölgelere yerleşim gerçekleştirdiğinden, kabul edilmez ve işleme alınmaz.

- **Çaprazlama**: Modelde tek düzenli çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.

- **Mutasyon**: Her popülasyonda değişim (swap) yöntemi ile genler arası değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Mutasyon oranı ise 0.01 olarak belirlenmiştir.

- **Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim:** Çalışmada uygunluk fonksiyonu, hücrelerin merkezleri arasındaki mesafenin en küçüklenmesinin sağlanması amacı ile tanımlanmıştır. Uygunluk değeri, sistemdeki en düşük tekrar yükleme sayısına göre hesaplanır. Seçim işleminde ise *rulet tekeri* yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada her ne kadar genetik algoritma tabanlı bir metot önerilmiş olsa da genetik algoritmasının etkinliğinin en önemli bileşeni olan uygunluk değeri tanımlaması oldukça yetersizdir. Bu çerçevede problemin performansının daha ziyade lokal arama algoritmasının yürütülmesine dayandığı görülür.

Zhang ve diğ. (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise tek yönlü döngüsel bir tesis düzenlemesinin atölye benzeri işletmelerde genetik algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilmesi önerilmiş ve bir bıçak atölyesindeki yerleşim problemi örneklendirilmiştir. Çalışmada tesis düzenleme probleminin en temel unsurunun lojistik maliyetlerinin ve dolayısı ile üretim hattı taşıma sistemindeki kat edilen mesafelerin asgari seviyelere indirgenmesi olduğu belirtilmiştir. Modelde *n* adet makine bulunur ve 0'ncı makine yükleme/boşaltma istasyonunu temsil eder. w_{ij} ise *n* adet makine arasındaki lojistik mesafe ilişkisini tanımlar. Burada *i* ve *j* indisleri makine numaralarını temsil eder. İlişki, *i*'nci makineden *j*'nci makineye doğru olan lojistik taşıma kapasitesinin maliyet değeridir. Nihai hedef, ise toplam taşıma maliyetinin minimize etmektir. Çalışma kapsamında başlangıç popülasyonu rastgele olarak oluşturulmuştur. Bunun dışında kullanılan genetik algoritma bileşenleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- **Kodlama:** Kromozomların kodlanmasında reel sayılı gösterim kullanılmıştır.

- **Çaprazlama**: Modelde, çok noktadan çaprazlama (Multi-point Crossover) yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama sonucu oluşan ve ebeveyn ve

çocuklardan oluşan geniş popülasyondan sadece uygunluk değeri en yüksek olanlar mutasyon işlemine sokulur. Dolayısı ile çaprazlama işleminin içerisinde bir elitist yaklaşım yöntemi izlenmiştir.

- **Mutasyon**: Her popülasyonda mutasyonel değişim, kromozomdaki tek bir değerin rastgele olarak değiştirilmesi ile sağlanmıştır.

- **Uygunluk Değeri ve Seçim:** Çalışmada uygunluk fonksiyonu, hücrelerin merkezleri arasındaki mesafenin en küçüklenmesinin sağlanması amacı ile tanımlanmıştır. Seçim işleminde ise *turnuva seçimi* yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın özellikle çaprazlamada kullanılan elitist yaklaşım nedeni ile çözüme hızlıca yakınsadığı görülür. Ayrıca mutasyonda kullanılan yöntemin karmaşıklığı çalışmada önerilen metodun zayıf yönlerindendir.

Liv ve diğ. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Moghaddam ve Panahi (2007)'nın çalışmasındakine benzer eşit olmayan boyutlardaki hücrelerin bir tesis içerisine döngüsel düzende yerleştirilmesi için genetik algoritma yöntemini esas alan bir model önerilmiştir. Çalışmada, tesis düzeni hakkında literatürde yer alan diğer çalışmaların malzeme taşıma maliyetlerini en aza indirmeyi hedefledikleri fakat bu çalışmalarda boş taşıt seyahat maliyetlerine bakılmadığı ve sadece yüklü seyahat maliyetlerinin göz önünde bulundurulduğu vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında eşit olmayan büyüklükteki hücrelerin tesis içerisine döngüsel olarak optimum şekilde yerleştirilmesi için boş ve dolu taşıma araç yolculuk maliyetlerinin en küçüklemesi üzerine bir metot önerilmiştir. Çalışmada ayrıca bir üretim tesisine ait olan malzeme taşıma sisteminin ana maliyetlerinin, taşıma araçları satın alma yatırımı, güç tüketimi, sürücü ücretleri ve bakım maliyetleri olduğu belirtilmiştir. Bu maliyetlerin dışında sistemin işletilmesinde, aracın yüklü ve boş iken gerçekleştirdiği hareketlerin toplam mesafesi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, toplam yüklü ve boş araç yolculuk maliyetlerinin başarılı tesis düzenlemesi ile en aza indirilmesinin, araç sayısını azaltabileceği ve tüm malzeme taşıma sisteminin yatırım ve işletme maliyetlerini azaltabileceği savunulmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan *partheno genetik algoritma* bileşenleri ve operatörleri hakkında sınırlı bilgi paylaşılmıştır. Buna karşılık kromozomların makine sırasını gösteren vektörler olarak oluşturulduğu, tek noktalı çaprazlama operatörünün kullanıldığı ve seçim aşamasında rulet tekeri yönteminin

kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışma nihayetinde, 100 iterasyon sonucunda partheno genetik algoritması yardımı ile tespit edilen yeni tesis düzeni ile yaklaşık %20 oranında bir taşıma maliyeti tasarrufu sağlanabildiği gösterilmiştir.

Özçelik ve Islier (2011), çalışmalarında tek yönlü taşıma sistemlerinin modelleme çalışmalarında kullanılabileceğini bir genelleme ile önermişlerdir. Tesis düzeni probleminin çözümünde ise bir genetik algoritma yöntemi kullanmışlardır. Çalışma kapsamında, döngüsel bir tesis düzeni yerleşiminde malzemelerin yükleme/boşaltma istasyonlarının sayısının ve yerinin oldukça önemli olduğu vurgulanmış, bazı durumlarda tek bir yükleme/boşaltma istasyonunun bazı durumlarda ise her hücreye ait olan birer yükleme/boşaltma istasyonunun var olmasının daha avantajlı olabileceği vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında önerilen genellemede, yükleme ve boşaltma istasyonları sayılarının farklı olabileceği de belirtilmiştir. Dolayısı ile önerilecek metotlar ile söz konusu tüm durumları kapsayabilen çözüm üretebilmelerinin amaçlandığı belirtilmiştir Özcelik ve Islier (2011). Önerdikleri yöntemde yükleme ve boşaltma istasyonlarının yerlerinin ve sayılarının belirli olmasına gerek kalmadan optimum sonuç elde edilebilen bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu sebeple öncelikle, işletmede yer alan tüm hücrelerin bir yükleme/boşaltma istasyonuna sahip olabilmesi için kapasitelerinin var olduğu öngörülmüştür. Çalışmada kullanılan genetik algoritma bileşenleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- **Kodlama:** Kromozomlar iki segmentten oluşmaktadır. İlk segment 0-3 arasındaki bir sayıdır. 0 değeri yükleme/boşaltma istasyonunun bulunmadığını, 1 değeri sadece yükleme istasyonunun bulunduğunu, 2 sadece boşaltma istasyonunun bulunduğunu, 3 ise hem yükleme hem boşaltma istasyonunun bulunduğunu göstermektedir. Kromozomun ikinci segmenti ise hücre numarasını gösterir. Dolayısı ile kromozomun her bir indeksi, her hücrenin yükleme/boşaltma istasyonlarının varlığını/yokluğunu belirten bir yapısı vardır.

- **Çaprazlama**: Modelde, kromozomların her iki segmentine farklı çaprazlama yöntemleri uygulanmıştır. Örneğin yükleme/boşaltma istasyonu varlığını gösteren birinci segmentte klasik iki noktalı

çaprazlama uygulanmıştır. İkinci segmentte ise düzen çaprazlaması (Order Crossover) yöntemi uygulanmıştır.

- **Mutasyon**: Basit bir değiştirme mutasyonu uygulanmıştır. Bunun için her iki segmentten bir tanesi rastgele olarak belirlenmiş, kromozom içerisinde iki adet gen belirlenerek bunların yerleri değiştirilmiştir.

- **Uygunluk Değeri ve Seçim:** Çalışmada uygunluk fonksiyonu taşıma maliyetlerinin en küçüklemesini amaçlayan bir fonksiyondur. Bu sebeple fonksiyonda hücreler arası taşıma maliyetleri ile yükleme ve boşaltma istasyonu bulundurma maliyetleri birlikte ele alınmıştır. Seçim işlemi için ise turnuva seçimi yöntemi kullanılmıştır.

Özçelik ve Islier (2011)'den sonra benzer bir çalışmada Rifai ve diğ. (2015), çoklu yükleme/boşaltma istasyonu bulunabilen ve taşıma sisteminde çeşitli kısa yollar kurulabilen bir sistem önermiştir.

Lasrado (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında ise kuyruk teorisi ve genetik algoritmalar kullanılarak döngüsel bir tesis düzeni yerleşimi problemi ele alınmıştır. Çalışmada, dairesel olarak hareket eden ve kısa yollar kullanan bir taşıma bandı sistemi üzerindeki operasyonel performans değeri, düzenleme kriteri olarak belirlenmiştir. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran temel özellik ise önerilen tesis düzenleme yönteminin parça işlem maliyeti, kat edilen mesafe ve parçaların sistemde geçirdiği zaman değerlerini birlikte ele alarak optimize etmesidir.

Benzer bir çalışma Ou-Yang ve Utamima (2013) tek sıralı tesis düzeni probleminin NP-tam olduğu vurgulanmış ve problemin tesis içi mesafeler toplamını minimum olacak şekilde ayarlaması amacı ile oldukça geniş bir çözüm uzayına sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarında, iterasyon sayısının düşük olması halinde çözüm kalitesinin zenginleştiği fakat artan iterasyon sayıları ile birlikte çözüm çeşitliliğinin giderek azaldığı belirlenmiştir. Çeşitliliği korumak adına meta sezgisel algoritmalar kullanılarak melez algoritmaların bu sınırlamanın üstesinden gelebileceği vurgulanmıştır. Çalışmalarında genişletilmiş yapay kromozom genetik algoritma (eACGA) adını verdikleri yeni bir meta sezgisel algoritmayı, parçacık sürüsü optimizasyonu ve tabu araştırması ile birleştirerek kullanmışlardır. Geliştirilen yöntem, 15 kriter üzerinden değerlendirilerek başarılı

optimum çözüm elde edildiğini ve ortalama hata oranı açısından her durumda diğer algoritmalara göre en düşük kaldığını ve döngüsel tesis düzeni yerleşimi problemlerinde etkinlikle kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Diğer bir çalışmada ise Mallikarjuna ve diğ. (2015), döngüsel bir düzendeki esnek üretim sistemi yerleşimi probleminde, genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmalarının birlikte kullanıldığı bir model önermişlerdir. Söz konusu model bir sonraki bölümde kısaca açıklanmıştır.

Tavlama Benzetimi Algoritması, ilk olarak Kirkpatrick ve diğ. (1983) tarafından optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen rastsal bir meta sezgisel yöntemdir. Pek çok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan bu yöntem, var olan probleme adapte edilme kolaylığı, yakınsama özelliği ve yerel en iyilerden kaçınmak için kullandığı strateji nedeniyle son yıllarda optimizasyon problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan bir meta sezgisel algoritmadır. Tavlama benzetimi ismini, katıların fiziksel tavlanması işlemi ile olan benzerlikten alan ve işlemlerde adım adım iyileştirme yapan bir yöntemdir. Bu işlem sırasında sadece daha iyi sonuçlar kabul edilmez, aynı zamanda belli bir olasılıkla kötü çözümler de kabul edilir. Böylece algoritmanın yerel en iyilerden kurtulması sağlanır. Bu işlem tavlama benzetiminin temel özelliklerinden birisidir. Tavlama benzetiminde hedef yerel en iyilerden kurtularak genel en iyiye ulaşmaktır. Kolay uygulanabilirliği ve optimizasyon problemleri için iyi kalitede çözümler üretmesine karşın, tavlama benzetiminin daha fazla bilgisayar zamanına ihtiyaç duyması ve parametre seçiminin iyi yapılması ihtiyacı dezavantajlarıdır.

Üretim tesislerinin düzenlenmesi amacı ile tavlama benzetimi yönteminin çeşitli çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, Meller ve Bozer (1996), gerçekleştirdikleri bir çalışmada tavlama benzetimi algoritmasının tek katlı ve çok katlı tesislerde kullanılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, tesis düzenleme probleminin bir hayli karmaşık ve birçok yerel minimum sonuçları veren bir doğası olduğu belirtilmiş ve bu nedenle tavlama benzetimi algoritmasının tesis düzenleme problemleri için oldukça uygun olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, yeni bir aday düzen oluşturma rutini (candidate layout generation routine) ve alan doldurma eğrilerinin (spacefilling curves) kullanıldığı genişletilmiş bir departman değişimi setini dikkate alan bir iyileştirme tipi düzen algoritması geliştirilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan algoritmanın,

başlangıç düzenine göre diğer yaklaşımlara göre çok daha az bağımlı olan düşük maliyetli çözümler sunduğu belirtilmiştir. Simüle edilmiş tavlama tabanlı algoritmanın performansını literatürdeki en dik iniş (steepest-descent) ve rastgele arama yaklaşımlarla karşılaştırılmış, tavlama benzetimi algoritmasının başarısı ortaya konulmuştur.

Baykasoglu ve Gindy (2001) ise öncelikle günümüz üretim dünyasında artan dinamizm ve değişkenlikten ötürü tesis yerleşim problemi gibi bilinen sorunların çoğunu modellemek ve çözmek için yeni yaklaşımlara gereksinim duyulduğunu vurgulamıştır. Dinamik bir tesis yerleşimi probleminin tavlama benzetimi yöntemi ile çözülmesine yönelik olarak önerilen bu çalışmada, tavlama benzetimi algoritması arama işleminde özellikle etkin komşu oluşturulmasına yönelik olarak kullanılmıştır. Çözüm vektörü iki boyutlu bir matris olarak sunulmuş ve bu matristeki elemanların değiştirilmesi ile komşu çözüm kümesi değerleri elde edilmiştir. Önerilen algoritma, literatürde kullanılan test verilerine göre değerlendirilmiş ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tavlama benzetimi yönteminin dinamik programlama algoritmasından daha iyi bir performans sergilediği belirtilmiştir.

Chae ve Peters (2006), esnek üretim sistemlerinde kullanılan döngüsel tesis düzeni tasarımında kullanılabilecek, tavlama benzetimi yöntemini esas alan bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada öncelikle döngüsel tesis yerleşimi yaklaşımının açık alan yaklaşımına göre çok daha zorlu bir problem olduğu belirtilmiştir. Çalışmada önerilen yöntemde, düzenin belirlenmesinde döngüsel şeklin her iterasyonda değiştirilerek en iyi sonucun bulunması esası temel alınmıştır. Diğer bir ifadeyle, geliştirilen yöntemde döngünün dikdörtgen şeklini farklı boyutlara değiştirerek kapalı döngü yapılandırmasının verimliliği sürekli olarak arttırılmıştır. Çoğu durumda, sonuçta ortaya çıkan kapalı döngü düzeni, açık alan düzeni kadar verimli olmuştur. Toplam malzeme taşıma maliyetlerini en aza indiren konfigürasyonu aramak amacı ile tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır. Sonuçlar, mevcut yöntemlerle karşılaştırılmış ve çözüm kalitesine ve hesaplama süresine bağlı olarak, tavlama benzetiminin verimli tesis düzeni tasarımı için uygun bir alternatif sunduğunu belirtilmiştir.

Mallikarjuna ve diğ. (2015) ise esnek üretim sistemlerindeki döngüsel tesis düzenleme işlemlerinde kullanılabilecek genetik algoritma ve tavlama benzetimi yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem önermişlerdir. Geliştirilen algoritma, birçok değişik

konfigürasyonda test edilmiş, genetik algoritma çözümünün tavlama benzetimi algoritmasına göre daha optimal sonuçlar ürettiği belirtilmiştir.

Karınca Kolonisi Algoritması, ilk olarak Dorigo (1992) tarafından önerilmiştir. Karınca kolonisi algoritması, karıncaların sürü halindeki biyolojik hareketlerinden esinlenilerek geliştirilen bir algoritmadır. Karıncalar özellikle yuvaları ile besin maddeleri arasındaki en kısa yolları bulma konusunda etkin çözümler üretebilen canlılardır. Karınca sürüleri, yuvalarından yiyeceklere veya yiyeceklerden yuvalarına ilerlerken feromon adı verilen bir hormonsal madde bırakırlar ve yol tercihlerinde bu maddeye göre karar verirler. Karıncaların yaptıkları bu tercihler bilim insanlarının dikkatini çekmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda bu sistem sayesinde karıncaların en kısa yolu bulabildikleri ortaya çıkmıştır. Her karınca etkin bir sonuca ulaşma yolunda çözümün bir parçasıdır. Her bir karıncanın problem çözümü, kendi çözümünü oluşturur ve oluşturduğu bu çözüm ile sonuca ulaşma konusunda bilgi taşır. Karınca yaptığı bu çalışma ile diğerlerinin çözümüne de etkide bulunur. Sonuç olarak işbirlikçi bir sistem ortaya çıkar. Karınca kolonisi algoritmaları da karıncaların bu hareketlerinden esinlenerek etkin çözümler üretmeyi amaçlayan algoritmalardır.

Her ne kadar diğer tesis kombinatoryal optimizasyon problemlerinde karınca kolonisi algoritmasının sıklıkla kullanıldığı görülmüş olsa da tesis düzeni problemlerinde bu yöntemin kullanılması çalışmalarına nadiren rastlanmaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesi, Manita ve Korbaa (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ortaya konulmuştur. Çalışmada tek bir yükleme/boşaltma istasyonu bulunan döngüsel bir tesis düzeni ele alınmıştır. Geliştirilen yöntemde, diğer çalışmalardan farklı olarak, hücrelerin birbirlerine olan uzaklıkları ve hücrelerin boyutları da hesaba katılmıştır. Çalışma neticesinde, yerleştirilecek hücre sayısının artması durumlarında karınca kolonisi algoritmasının, genetik algoritmasına göre daha iyi sonuçlar ürettiği savunulmuştur.

Diğer bir çalışmada ise Kültürel-Konak ve Konak (2011), karınca kolonisi algoritmasını birbirinden farklı boyutlarda olan hücrelerin üretim tesisi içerisinde optimal olarak yerleştirilmesinin sağlanması için kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemde karıncaların feromonları, hücrelerin tesis içerisindeki birbirlerine göreli olarak konumlarını belirtmektedir. Tesis alanı bir kare blok (kare) matris yapısı olarak kabul edilmektedir. Bloğun sol alt köşesi koordinat sisteminde (0,0) noktası olarak kabul

edilmiş ve hücrelerin bu blok içerine yerleştirilmesi düşey olarak gerçekleştirilmiştir. Hücrelerin birbirleri ile yerlerinin değiştirilmesi ise yatayda gerçekleştirilmiştir. Kültürel-Konak ve Konak (2011) tarafında önerilen bu çalışma, 62 adet hücrenin yerleştirildiği 21 adet farklı yöntemle karşılaştırılmış ve sonuç olarak karınca kolonisi algoritmasının diğer yöntemlere kıyasla yaklaşık %18 daha iyi yerleşim performansı sunduğu belirtilmiştir.

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Temel olarak sürü zekâsına dayanan bir algoritmadır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rasgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. Bu yöntem bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır. Arama işlemi genetik algoritmalarda olduğu jenerasyon sayısınca yapılır. Her bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü (swarm) denir. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. Yöntem, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır.

Genel olarak, her ne kadar sezgisel ve meta sezgisel çözüm gerektiren birçok problemde başarı ile uygulanmış olsa da tesis düzeni problemlerinde parçacık sürüsü optimizasyonu yönteminin kullanılması pek yaygın değildir. Bu konu hakkında gerçekleştirilen bir çalışma Asl ve Wong (2015) tarafından önerilmiştir. Çalışmada birbirinden farklı uzunluk ve genişlikleri olan hücrelerin dinamik üretim işletmelerine optimal olarak yerleştirilebilmeleri için değiştirilmiş bir parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin temel hedefi toplam üretim maliyetlerinin ve tesisi ortaya çıkan dinamik ihtiyaçlara göre yeniden düzenlemenin maliyetlerini minimize etmektir.

Yöntemde yerel arama algoritmaları ve tesis yerlerinin karşılıklı olarak değiştirilmesi yöntemleri de kullanılmış ve problem, literatürde yer alan bazı kıyaslama senaryoları ile test edilmiştir.

Diğer bir çalışmada ise Rai ve Jayswal (2018), parçacık sürüsü algoritmasını döngüsel bir esnek üretim tesisi yeri düzenleme işleminde kullanmışlardır. Çalışmanın temel amacı, sistemin yerleşimini, parça tiplerinin imalat sürecinde geçtiği makine sayısını en aza

indirilecek şekilde tasarlamak olarak belirtilmiştir. Çalışma neticesinde bazı senaryolarda bu algoritmanın daha iyi performans sergilediği savunulmuştur.

Yukarıda belirtilen yöntemlerin dışında literatürde bazı farklı optimal çözüm, sezgisel, meta sezgisel vb. yöntemlerin de önerildiği görülmektedir. Örneğin Kumar ve diğ. (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yapay bağışıklık sistemi (Artificial immune system) algoritması, tek yönlü döngüsel bir tesis yeri düzenleme problemi, esnek üretim sistemleri için kullanılmıştır. Çalışmada, optimal bir düzen bulma problemin zor olduğu ve deterministik teknikler ile büyük boyutlu problemlerin çözümünün elde edilmesinin oldukça zor olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çalışmada tasarımın ilk aşaması olarak, hem min_sum hem de min_max hedefleri göz önünde bulundurularak tek yönlü döngü düzeni problemini çözmek için sezgisel bir yöntem olan yapay bir bağışıklık sistemi algoritması önerilmiştir. Hesaplamalı sonuçlar önerilen algoritmanın yerleşim problemlerini çözmede ve kaliteli çözümler üretmede verimli olduğu savunulmuştur. İkinci aşamada, sistemin performansını artırmak için döngü düzeninin akış yolunda kısa yollar oluşturulmuştur. Kısa yolların, toplam malzeme taşıma maliyetinin en küçüklenmesinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir.

Baki (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, tek sıra tesis düzenine sahip üretim işletmeleri için Harmoni algoritmasının kullanıldığı bir çözüm önerilmiştir. Sezgisel bir çözüm olan bu yöntemin etkinliği, ürünlerin makinalar arasında kat ettiği mesafeye göre değerlendirilmiş ve bu mesafeler elde edilirken, firmada üretilen ürünlerin işlem sıraları, gelecekteki talep tahminleri ve tezgâhlar arasındaki uzaklıklar dikkate alınmıştır. Geliştirilen algoritma literatürdeki çeşitli test problemlerine göre ve yeni oluşturulan bazı problemlere göre çözülmüştür. Çözüm sonuçları geliştirilen algoritmanın tesis düzenleme problemlerinin çözümünde etkin olduğunu göstermiştir. Küçük boyutlu problemlerde optimal sonuca ulaşılırken, büyük boyutlu problemlerde ise optimal sonuca yakın çözümler ürettiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin oldukça etkin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yöntem ile 14 makinadan oluşan bir tesisin düzenlemesi gerçekleştirilmiş ve elde edilen yerleşim düzenlemesi ile tesisin toplam taşıma maliyetini azaltılmış ve etkinliği arttırılmıştır.

Saravanan ve Kumar (2014) ise esnek üretim sistemlerinde kullanılan döngüsel taşıma sistemlerinin düzenlenmesinde koyun sürüsü kalıtım (sheep flock heredity)

algoritmasının kullanıldığı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde temel olarak genetik algoritmalarda kullanılan mutasyon ve çaprazlama işlemlerini değişik şekilde ele alınır. Çiftli mutasyon işlemi, yerel arama alanındaki çözümlerin uygulanabilirliğini garanti eden tek noktalı mutasyon işlemi ile değiştirilir. Kromozomaların çaprazlanması ise sağlam-yerine (robust-replace) olarak adlandırılan bir sezgisel arama yöntemi ile değiştirilmiştir. Çalışma neticesinde koyun sürüsü kalıtım algoritmasının diğer yöntemlere göre daha avantajlı yönleri olduğu savunulmuştur.

Kang ve diğ. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise döngüsel bir üretim tesisi düzenleme probleminin guguk kuşu arama (cuckoo search) algoritması ile çözümüne yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Guguk kuşu arama algoritması, guguk kuşlarının yumurtalarını diğer kuşların yuvalarına bırakmaları ve böylece nüfuslarını arttırmayı hedeflemeleri esasına göre şekillendirilmiş bir algoritmadır (Yang ve Deb, 2009). Çalışmada, literatüre kısa süre önce girmiş olan guguk kuşu arama algoritmasının tesis düzenleme problemlerinde ilk defa uygulandığı vurgulanmış ve algoritmanın diğer yöntemlere göre üstün özelliklerinin bulunduğu savunulmuştur.

2.4 LİTERATÜR TARAMASI DEĞERLENDİRMESİ

Tesis düzenlemesinin, gerek büyük ölçekli gerekse küçük ve orta ölçekli işletmeler için oldukça önemli bir faaliyet olduğu değerlendirilmektedir. Tesislerin yerleşim düzeni tesisin üretim kapasitesine ve dolayısı ile üretim maliyetlerine doğrudan etki eden bir unsurdur.

Bu çalışma kapsamında, esnek üretim sistemleri ve tesis düzenlemesi problemi ve özellikle döngüsel tesis düzenleme yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Tesis yeri düzenlemesi ve esnek üretim sistemleri konularındaki literatürün oldukça geniş olduğu ve özellikle 1970'li yılların başından itibaren birçok çalışma gerçekleştirildiği görülmüştür. İlk başlarda söz konusu çalışmalarda, tam (optimal) çözüm elde edilmesine yönelik algoritmaların kullanıldığı ve 1980'li yıllardan sonra ise ortaya çıkmaya

başlayan sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin daha ziyade tercih edildiği görülmüştür.

- Tesis yeri düzenlemesi problemlerinin matematiksel modellemesinin özellikle üç tür modele göre gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu modeller
    - Graf teorisi,
    - Tam sayılı programlama,
    - İkinci dereceden programlama,

  yöntemleri olarak sıralanır. Literatür incelendiğinde tam sayılı programla modellerinin diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edildiği görülmüştür.

- Tesis yeri düzenlemelerinin işletmenin türüne, üretilen malzemelerin veya müşterilere sunulan hizmetlerin türüne göre değişiklik gösterebileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte üretim gerçekleştirilen işletmelerde genellikle tek sıralı ve döngüsel olarak gerçekleştirilen düzenleme çalışmalarının daha yoğun olarak önerildiği görülür. Bunun temel nedeni ise ilk yatırım maliyetlerinin ve hücrelerin birbirleri ile bağlantılarının sağlanması için gerekli olan donanım ihtiyaçlarının düşük olmasıdır. Aynı zamanda bu tür düzenlemelerin işletmelere ciddi oranda esneklik sağladığı da birçok çalışmada savunulmuştur.

- İşletmelerin verimlilik performansının tesis düzenlemesine bağlı olduğu belirtilmiştir. Buna karşılık bu işlem klasik yöntemlerle, kâğıt üzerinde, el yordamı ile vs. gerçekleştirilemeyecek kadar karmaşıktır. Öyle ki çoğu çalışmada tesis düzenleme işleminin NP-tam ve bazı çalışmalarda ise NP-zor seviyede bir karmaşıklığa sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenlerden ötürü söz konusu problemlerin çözümünde sıklıkla sezgisel ve meta sezgisel yöntemlere başvurulmuştur.

- En çok kullanılan sezgisel arama yöntemi dal-kesme algoritmasıdır. En çok kullanılan meta sezgisel yöntemler ise sırası ile genetik algoritmalar ve tavlama benzetimi algoritmalarıdır.

- Düzenleme işlemleri genel olarak minimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Burada minimize edilmek istenen faktörler, üretim maliyetleri, parçaların yükleme boşaltma istasyonlarından tekrar geçiş sıklıkları, parçaların taşıma sisteminde kalış süreleri ve parçaların hücreler arası taşıma maliyetleri olarak belirlenmiştir. Genel olarak incelendiğinde sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerde kullanılan amaç fonksiyonlarının
    - İlk yatırım maliyetlerinin minimize edilmesi
    - Üretim esnekliğinin maksimize edilmesi
    - Ürün ve süreç esnekliğinin sağlanması
    - Hücrelerin artışı ve genişlemesi ile birlikte ortaya çıkan maliyetlerin minimize edilmesi
    - Sistemin güvenilirliğinin maksimize edilmesi
    - Sistemin genel gecikme sürelerinin minimize edilmesi

  olarak kullanıldığı görülmüştür.

- Özellikle döngüsel tesis düzenlemesi problemlerinin matematiksel modellerinin ortaya konulmasında graf teorisi ve tam sayılı programlama yöntemlerinden daha sıklıkla faydalanıldığı görülmüştür.

- Tesislere yerleştirilecek hücrelerin sayısının düşük ve var olan kısıtların az olması durumlarında tam (optimal) çözüm yöntemlerinin kullanılabildiği fakat hücre sayılarının (20 ve üstü) ve tesis düzenlemesi için var olan kısıtların sayısının fazla olması durumlarında sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülür.

- Döngüsel düzenlemelerin yer aldığı tesislerde yer alacak hücre sayısının artması ile birlikte yeni bir taşıma hattı kurulması yerine taşıma hattı üzerinde çeşitli kısa yollar ihdas edilmesi daha yaygın olarak önerilmiş ve problem çözümlerinde kullanılmıştır.

- Her ne kadar meta sezgisel yöntemlerin kullanılması daha yaygın olsa da literatüre yeni sunulan çeşitli algoritmaların da kullanıldığı görülmüştür.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Tesis düzenleme problemleri NP-tam türü bir problemdir (Sahni ve Gonzales, 1976). Bu problemlerin NP-Tam olarak değerlendirilmesindeki temel neden ise dizilimi yapılacak makinelerin sayılarının artması ile birlikte çözüm uzayının üstel olarak artması ve böylelikle mantıklı bir zaman içerisinde tam bir sonucun elde edilebilmesinin imkânsız olmasıdır. Ayrıca, genel olarak incelendiğinde yerleştirilmek istenen makine sayısının *n* olduğu varsayıldığında, değerlendirilmesi gereken yerleştirme düzeni sayısı *n!* olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenlerden ötürü literatürde tesis düzenleme problemlerinin çözümü için, NP türü problemlerin çözümünde sezgisel ve meta sezgisel algoritmaların sıklıkla kullanıldığı görülür. Bununla birlikte literatürde tam sayılı programlama, lineer programlama, quadratik programlama, çeşitli arama algoritmaları, vb. yöntemlerin de önerildiği çalışmalar oldukça yaygındır. Ayrıca, çalışmaların tesislerin türüne ve/veya tesislerde yerleştirilecek hücrelerin, iş istasyonlarının, tezgâhların vs. niteliklerine göre de farklı çözüm önerileri sunulduğu görülmektedir (Baki, 2014).

Spor salonlarında makine yerleşim problemi konusunda akademik çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışmada spor salonlarındaki makinelerin sezgisel bir yöntem ile etkili parametreler değerlendirilerek çözülmesi sonucu makinelerin en iyi dizilimi bulunmuştur.

Spor salonlarındaki makineler; oldukça ağır, taşınması ve/veya yer değiştirmesi zor olan, kurulumunun tekrar yapılması için montaj-demontaj işlemine gereksinim duyulabilecek makinelerdir. Makine dizilimi tesis kurulumu sırasında yapılmaktadır ve sonradan değişimi yüksek bir maliyet oluşturacağından tercih edilmemektedir. Bu nedenle makine dizilimi tesis kurulum aşamasında ve yeniliklerin takip edilebilmesi esnek bir üretim sistemi kurulmasında rekabet edilebilir bir ortam sunacağından büyük önem taşımaktadır.

3.2. SEZGİSEL/METASEZGİSEL ALGORİTMALAR

Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bilgi ve bilgisayar teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler ile birlikte kâğıt üzerinde el yordamı ile çözülmesi mümkün olmayan birçok problemin hızlı ve doğru sonuçlar üretecek şekilde çözülmesi imkânı sağlanmıştır. Buna karşılık birçok problemin makul bir süre içerisinde en gelişmiş bilgisayarlarla bile çözülemeyecek kadar geniş çözüm uzayı bulunur. Bu gibi durumlarda, problemler için tam çözümün bulunması yerine çözüme en yakın olan "optimum" çözümün bulunması yeterli olarak kabul edilir. Genel olarak, sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar bu sebeplerle geliştirilmiş olan ve günümüzde birçok optimizasyon probleminde sıklıkla kullanılan algoritmalardır. Sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar; genel olarak doğada var olan bazı canlı türlerinin hareketlerin ve davranışlarının taklit edilmesi ile geliştirilmiş olan optimizasyon yöntemleridir.

Esasen optimizasyon, bir sistemde var olan gelir, işgücü, zaman, süreç, hammadde, kapasite, ekipman vb. gibi kaynakları en verimli şekilde kullanarak, maliyetin azaltılması, kârın arttırılması, kapasitenin yükseltilmesi, verimliliğin çoğaltılması vb. amaçlara ulaşmayı sağlayan yöntemdir. Diğer bir tanıma göre optimizasyon, verilen kısıtları aşmamak kaydı ile birçok karar değişkeninin kullanılıp gerçekleştirilmesi amaçlanan hedefler arasından en iyi sonucu seçme işlemidir. Matematiksel olarak optimizasyon, verilen bir amaç fonksiyonunu maksimize etmek (en büyükleme) veya minimize etmek (en küçükleme) için geliştirilen ve problemin öncelikle modellendiği ve bu modelin kullanılması ile problemin çözümlendiği yöntemlerdir. Modelleme aşamasında gerçek yaşamda karşılaşılan problemler matematiksel olarak ifade edilir. Problemin çözümleme aşamasında ise modeli sağlayan en iyi çözümler araştırılarak optimum sonuçlar elde edilmeye çalışılır. Geliştirilen bir bilgisayar programında bu işlemlere "belirli sayıda iterasyon adedine" ulaşılıncaya veya "belirli derecede iyi" sonuçlar elde edilinceye kadar devam edilir. Algoritmanın başarısı ise genel olarak optimuma en yakın sonucu elde etme süresine bağlı olarak değerlendirilir (Türkay, 2006).

Sezgisel algoritmalar, *deterministik* ve *probabilistik* olmak üzere iki kısımda incelenir. Deterministik optimizasyon algoritmaları, verilen zaman içerisinde mutlaka bir optimum sonuç elde edilmesi için tasarlanmıştır. Dolayısı ile bu algoritmaların uygulanabilmesi için, probleme ait arama uzayının tamamen ve etkin bir şekilde taranabilmesi gereklidir.

Buna karşılık, bazı durumlarda arama uzayı oldukça geniş olabilmekte ve böylelikle deterministik algoritmaların rasyonel bir süre zarfında istenilen sonucu elde edememeleri söz konusu olmaktadır. Probabilistik optimizasyon algoritmaları, her iterasyonda eldeki sonucun daha da iyileştirilerek verilen süre zarfında optimuma en yakın çözümlerin elde edilmesini amaçlar. Buna karşılık bu algoritmaların optimum sonucu verme garantisi yoktur (Nyarko ve diğ., 2014). Sezgisel algoritmalara, yerel arama ve parçala yönet arama algoritmaları örnek olarak verilebilir (Kokash, 2018).

Meta sezgisel algoritmalar, optimizasyon problemlerinde optimumum sonuçlara ulaşmak amacı ile mevcut çözümlerin komşuluğundaki çözümleri de inceleyen, bazı sonuçları sonraki iterasyonlarda kullanılmasını sağlayan, bazı çözümleri yasaklayan yöntemlerin kullanılması ile oluşturulmuş olan algoritmalardır. Bu tür algoritmalar çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilemeyen algoritmalar olarak da tanımlanmaktadır dolayısı ile bu algoritmalar, yakınsama özelliğine sahiptir fakat kesin çözümü garanti etmemektedir. Diğer bir ifade ile bu algoritmalar optimuma en yakın çözümleri üretirler.

Bu algoritmalara,

- Tavlama Benzetimi Algoritması,
- Tabu Araması Algoritması,
- Genetik Algoritmalar,
- Karınca Kolonisi Algoritması,
- Parçacık Sürü Optimizasyonu,

örnek olarak verilebilir (Baki, 2014).

Bilgisayar bilimlerinde, hesaplama karmaşıklığı teorisi (computational complexity theory), verilen bir hesaplama problemini çözmek için gereken hesaplamanın kaynaklarını veya maliyetini inceleyen hesaplama teorisinin dalıdır. Bu teorinin bir çalışma alanı ise hesaplanabilir fonksiyonların göreceli hesaplama zorluğuna dair hesaplama karmaşıklığının ortaya konulmasıdır. Bu teoriye göre, bir karmaşıklık sınıfı olarak tanımlanan *P (Polynomial time)*, polinom zamanında belirleyici sürede çözülebilen karar problemleri kümesidir. Bu sınıf, en kötü durumlarda etkin biçimde çözülebilecek

problemlerin karmaşıklık değerini ifade eder. Diğer bir karmaşıklık sınıfı olan *NP (non-polynomial time)* ise belirli olmayan bir polinom zamanında çözülebilecek karar problemleri kümesidir. *NP-Tam (NP-Complete)* türü karmaşıklık ise, her adımdaki çözümleme zamanı kendinden önceki adımdaki çözümleme zamanlarından daha fazla olan problemlerin sınıflandırılmasında kullanılır. Bu problem tiplerinin çokterimli zamanda (*polynomial time*) çözülmesi mümkün değildir. *NP-Zor (NP-Hard)* türü problemler ise polinomsal zamanda bir çözümünün bulunup bulunmadığı ispatlanmamış problemlere ait bir karmaşıklık seviyesidir[1].

Sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar söz konusu NP türü karmaşıklık seviyesine sahip olan problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılır. Tesis düzenleme problemlerinin çözümünde de sıklıkla kullanılan bu yöntemlerde, başarılı bir şekilde gerçekleşen ürün işlem düzeni, malzeme ve insan hareketinin maliyetini minimize etmek amaçlanır. Bu nedenle, genel olarak aşağıda sıralanan unsurlara gereksinim duyulur (Heragu, 1997):

- Makinalar/tesisler arası malzeme akışı,
- Makinaların şekil ve alan bilgisi,
- Tüm makinaların yerleşeceği kullanılabilir alan,
- Makinalar için varsa yerleşim kısıtları,
- Makina çiftleri arasındaki yakınlık gereksinimleri.

3.3. SPOR SALONLARI YERLEŞİM PROBLEMİ

Spor salonları; müşterilerin belirli bir amaç doğrultusunda spor yapabilmek için kullandıkları alanlardır.

Spor salonları tesis yerleşiminde ilgili makine dizilimleri yanı sıra; spor salonu tesis tasarımı bünyesinde, mekânsal uygunluğun, mimari ve görsel tasarımın, müzik donanımının ve ekipmanları, güncel ve farklı spor alternatifleri ve teknolojik gelişmeleri takip edilmesi büyük önem taşımaktadır. Tüm bu faktörlerin entegre edilerek tasarlanması sonucu ortaya çıkan spor salonu fark yaratarak müşterilerin tercih sebebi

[1] Computational Complexity Theory: http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_complexity_theory

olmaktadır. Ayrıca bu unsurlar müşterilerin devamlılığını da etkileyen faktörlerin başındadır.

Spor salonu makineleri yerleşimi, ilk kurulum aşamasında planlanabilen, sonrasında meydana gelebilecek olası değişimlerin pek mümkün olmadığı bir karar verme sürecidir. İncelenen spor salonlarındaki makinelerin vücuttaki çalıştırılmak istenen bölümlere göre sınıflandırılarak yerleşiminin yapıldığı görülmüştür.

Spor salonu tesis yerleşimi probleminde; müşterilerin kullandığı programlar, bu programların makine sıralaması, gelen müşteri sayısı ve programları kullanan kadın-erkek oranları ile makinelerin programda bulunma sıklığı makine dizilimine etki eden faktörler olarak ele alınmıştır.

Spor salonları hizmet sektöründe müşterilere spor yapma imkânı veren tesisler olarak da adlandırılabilir. Müşterilerin spor salonuna girişi ile süreç başlamış ve ardından eğitmenler tarafından talep ve kişiye özel bir program hazırlanarak müşteri sisteme dâhil edilmiş olur.

3.4. ARAŞTIRMANIN MODELİ

Bu çalışmada, spor salonunda bulunan makinelerin sezgisel bir algoritma ile yerleşim sıralaması belirlenmiştir.

Spor salonu tesis yerleşim probleminde fayda değer sağlayan parametreler araştırılmıştır. Spor eğitmenleri tarafından kadın-erkek ve spor yapma amacına göre farklı sıralamada makinelerin olduğu programlar eşliğinde spor yapıldığı görülmüştür.

Amaç fonksiyonunu oluştururken dikkat edilen parametrelerden biri; makinelerin eğitmenler tarafından hazırlanmış olan programlara istinaden birbiri arasındaki birim mesafelerdir. Diğer bir parametre; makinelerin programlarda toplam bulunma sıklığıdır. Son olarak makineleri kullanan kişi oranları hesaplanarak amaç fonksiyonu parametresi olarak değerlendirilmiştir.

Her bir müşterinin ihtiyacı ve talebi doğrultusunda makine rotası oluşturularak müşterilere çalışma programı hazırlanmaktadır. Makinelerin sırası problemde M_i olarak

adlandırılmıştır. Makine sayısı l olarak tanımlanmıştır. Spor salonlarındaki makinelerin bölgesel vücut çalıştırmasına göre sınıflandırılarak dizildiği görülmüştür.

Spor eğitmenleri tarafından hazırlanan programlar kullanım amacına göre kadın-erkek olarak ayrılmaktadır. Bu programlar belirli bir sıralamayı takip etmektedir. Eğitmenler tarafından belirlenen programlar P_k olarak tanımlanmıştır.

Programlar kadın – erkek ve kullanım amacına göre belirlenmiştir. Kullanım amacı gelen müşterilerin spor yapma nedeni olarak tanımlanabilir. Müşteriler kilo vermek, kilo almak ya da sağlık amacı ile fitness yapmak gibi farklı sebepler ile spor salonunu kullanmaktadır. Problem çözümü için eğitmenlerin spor salonundaki müşteriler için hazırladıkları programlar temin edilerek sınıflandırma yapılmıştır.

Her bir programda farklı sayıda makine bulunmaktadır. Ayrıca her bir program farklı sıralamadaki makinelerden oluşmaktadır. Programların rotaları belirlenmiştir

Algoritma sonuçlarının performansını inceleyebilmek için makinelerin programlarda belirtilen rotadaki birbirine olan uzaklığı bir parametre olarak kullanılmıştır. Bu parametre $C^k_{M_i,M_{i+1}}$ olarak tanımlanmıştır. Bir makinenin yanındaki diğer makine ile arasındaki mesafe 1 birim olarak dikkate alınmıştır. Programda kullanılmayan makinelerin birim mesafe değeri 0 olarak alınmıştır. Algoritma çözümü için her bir programa makineler arası birim mesafe matrisi oluşturulmuştur.

Amaç fonksiyonunu oluştururken spor salonundaki makinelerin kullanım amacına göre kullanan kişilerin oranı T_k olarak tanımlanmıştır

Amaç fonksiyonunu oluşturabilmemiz için; makine listeleri, program rotaları ve programları kullanan kişi oranları belirlendikten sonra amaç fonksiyonuna etki edecek parametre olarak makinelerin programlarda bulunma sıklığı da hesaplanmıştır. Makinelerin programlarda kaç defa kullanıldığı $N_{M_i,M_{i+1}}$olarak tanımlanmıştır.

3.5. NOTASYONLAR

Algoritma çözümünde kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir.

i: Makine sırası

l: Makine sayısı

k: Program sayısı

P_k: k. Program

M_i: i. Makine (karar değişkeni)

$C^k_{M_i,M_{i+1}}$: k. Programındaki $i. ve\ (i+1)$. makine arasındaki mesafe

T_k: k. Programındaki kişi oranı

$N_{M_i,M_{i+1}}$: $i. ve\ (i+1)$. Makinelerin programlarda bulunma sıklığı

Z: i. Makine toplam fayda değer (amaç fonksiyonu)

3.6. MATEMATİKSEL MODELİ

Spor salonu tesis yerleşimi optimizasyon problemi çözümünde tüm değişkenler ve yerleşimde etkili, sisteme fayda değer sağlayan parametreler tespit edilmiştir. Bu çalışmaların ardından amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Spor salonu tesis yerleşimi optimizasyonu matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

İndisler:

i: Makine sırası

l: Makine sayısı

k: Program sayısı

Parametreler:

P_k: k. Program

$C^k_{M_i,M_{i+1}}$: k. Programındaki $i. ve\ (i+1)$. makine arasındaki mesafe

T_k: k. Programındaki kişi oranı

$N_{M_i,M_{i+1}}$ $i. ve\ (i+1)$. Makinelerin programlarda bulunma sıklığı

Karar Değişkeni:

M_i: i. Sıradaki makinenin numarası

Amaç Fonksiyonu:

$$\forall M\ için\ \min Z = \sum_{k=1}^{k} \sum_{i=1}^{l-1} \frac{C^k_{M_i,M_{i+1}} * T_k}{N_{M_i,M_{i+1}}} \tag{3.1}$$

Kısıtlar:

$$0 < M_i \leq l \quad (M_i = 1,2,3, \dots \dots \dots \dots l) \tag{3.2}$$

$$M_i \; tamsayı \tag{3.3}$$

$$M_i \neq M_{i+1} \tag{3.4}$$

Spor salonu döngüsel makine dizilimi probleminde, Denklem 3.1 amaç fonksiyonunu göstermektedir. Değişkenlerin tamsayı ve toplam makine sayısından küçük eşit olduğunu gösteren kısıtlar Denklem 3.2 ve 3.3'de tanımlanmıştır. Denklem 3.4 problemin karar değişkenlerinin birbirinden farklı olması gerektiğini ifade etmektedir.

4. BULGULAR

4.1. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada, bir spor salonundaki 50 adet makinenin en iyi dizilimi sezgisel bir algoritma yöntemi kullanılarak bulunmuştur.

Spor salonu tesis yerleşim problemine etki eden faktörler dikkate alınarak problem oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmada bir amaç fonksiyonu oluşturularak minimizasyon problemi sezgisel bir yöntem yardımıyla çözülmüştür.

Makinelerin sırası problemde M_i olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada; spor salonunda toplam 50 adet makine bulunmaktadır ($i = 50$). Bu makine bilgileri bin metrekarelik bir alana sahip bir spor salonundan alınmıştır. Spor salonundaki mevcut dizilim incelenmiştir. Makinelerin bölgesel vücut çalıştırmasına göre sınıflandırılarak dizildiği görülmüştür.

Problemi oluştururken dikkate alınmayan kısıtlar müşterilerin sistemde geçirdiği süre, makinelerde oluşabilecek kuyruk ve makine kullanımı için müşterilerin bekleme süresi ile benzer bölgesel vücut hareketleri için kullanılan makinelerin birlikte konumlandırılması olarak sıralanabilir. Problemi oluştururken harcanan toplam mesafe ile birlikte makinelerin programda bulunma sıklığı ve programları kullanan kişi oranları dikkate alınmıştır. Spor salonundaki koşu bantları, yatay-dikey bisikletler ve uzay yürüyüşü makineleri sayısı 1'den fazla olduğu için makine grubu olarak değerlendirme yapılarak numaralandırma grup olarak yapılmıştır, hepsinin yan yana dizildiği varsayılmıştır.

Problem sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritma ile çözülmüştür. Çözüm aracı olarak *excel open solver* kullanılmıştır.

Makinelerin listesi aşağıdaki Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo4.1: Makine Listesi

MAKİNE İSMİ	**KOD**	**MAKİNE İSMİ**	**KOD**
KOŞU BANDI	M_1	T-BAR ROWING	M_{26}
ELİPTİK	M_2	TRICEPS CURL	M_{27}
YATAY BİSİKLET	M_3	LOWER BACK	M_{28}
DİKEY BİSİKLET	M_4	BICEPS CURL	M_{29}
BENCH PRESS	M_5	ABDOMINAL MACHINE	M_{30}
INCLINE BENCH PRESS	M_6	SEATED HORIZONTAL PULLY	M_{31}
DICLINE BENCH PRESS	M_7	ROMAN CHAIR	M_{32}
SEATED CHEST PRESS	M_8	CRUNCH	M_{33}
INCLINE CHEST PRESS	M_9	TOTAL ABDOMINAL	M_{34}
DICLINE CHEST PRESS	M_{10}	TWIST	M_{35}
BUTTERFLY	M_{11}	SQUAT	M_{36}
SEATEDSTRAIGHT ARM CLIP CHEST	M_{12}	HACK SQUAT	M_{37}
DIPS	M_{13}	SEATED LEG CURL	M_{38}
CABLE CROSS	M_{14}	HORIZONTAL LEG CURL	M_{39}
SHOULDER PRESS	M_{15}	LEG EXTENSION	M_{40}
FRONT SHOULDER PRESS	M_{16}	LEG PRESS	M_{41}
DUMBELL PRESS	M_{17}	SEATED CALF	M_{42}
DELTOID MACHINE	M_{18}	ABDUCTOR IN	M_{43}
SEATED ROW	M_{19}	ABDUCTOR OUT	M_{44}
ROW	M_{20}	TOTAL HIP	M_{45}
PULLDOWN	M_{21}	CALF	M_{46}
PULLDOWN FRONT	M_{22}	GLUTE	M_{47}
LAT PULLDOWN	M_{23}	4 STATION	M_{48}
LAT PULLDOWN FRONT	M_{24}	MULTI PRESS	M_{49}
BARFIKS	M_{25}	BAR VE DUMBELL İSTASYONU	M_{50}

Spor eğitmenleri tarafından hazırlanan programlar kullanım amacına göre kadın-erkek olarak ayrılmaktadır. Bu programlar belirli bir sıralamayı takip etmektedir. Spor eğitmenlerinin ortalama haftada üç gün spor yapılmasını önerdikleri tespit edilmiştir. Bu sebeple hazırlanan programlar her bir birey için 3 farklı güne 3 ayrı program rotası şeklinde hazırlanmıştır. Eğitmenler tarafından belirlenen programlar P_k olarak tanımlanmıştır. Yerleşim problemi 18 farklı program dikkat alınarak oluşturulmuştur($k = 18$). Programlar $P_1, P_2, P_{3,\ldots\ldots}, P_{18}$ olarak gösterilmiştir. Programlar kadın – erkek ve kullanım amacına göre belirlenmiştir. Kullanım amacı gelen müşterilerin spor yapma nedeni olarak tanımlanabilir. Müşteriler kilo vermek, kilo almak ya da sağlık amacı ile fitness yapmak gibi farklı sebepler ile spor salonunu kullanmaktadır. Problem çözümü için eğitmenlerin spor salonundaki müşteriler için hazırladıkları programlar temin edilerek sınıflandırma yapılmıştır. Her bir programdaki makine sıralaması bulunmuştur. Programlar; P_1, P_2, P_3, kadın 3 günlük zayıflama; P_4, P_5, P_6 erkek 3 günlük zayıflama; P_7, P_8, P_9 kadın 3 günlük kilo alma; P_{10}, P_{11}, P_{12} erkek 3 günlük kilo alma; P_{13}, P_{14}, P_{15} kadın 3 günlük fitness; P_{16}, P_{17}, P_{18} erkek 3 günlük fitness programı olarak tanımlanmıştır. Programlar aşağıdaki Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Program Listesi

KOD	PROGRAM ADI	KOD	PROGRAM ADI
P_1	KADIN ZAYIFLAMA 1	P_{10}	ERKEK KİLO ALMA 1
P_2	KADIN ZAYIFLAMA 2	P_{11}	ERKEK KİLO ALMA 2
P_3	KADIN ZAYIFLAMA 3	P_{12}	ERKEK KİLO ALMA 3
P_4	ERKEK ZAYIFLAMA 1	P_{13}	KADIN FITNESS 1
P_5	ERKEK ZAYIFLAMA 2	P_{14}	KADIN FITNESS 2
P_6	ERKEK ZAYIFLAMA 3	P_{15}	KADIN FITNESS 3
P_7	KADIN KİLO ALMA 1	P_{16}	ERKEK FITNESS 1
P_8	KADIN KİLO ALMA 2	P_{17}	ERKEK FITNESS 2
P_9	KADIN KİLO ALMA 3	P_{18}	ERKEK FITNESS 3

Her bir programda farklı sayıda makine bulunmaktadır. Ayrıca her bir program farklı sıralamadaki makinelerden oluşmaktadır. Programların rotaları aşağıda Tablo 4.3'de gösterilmiştir. Tablodan örnek olarak; P_6 , 6. Program olarak erkek zayıflama programının 3. gününe ait rotayı göstermektedir. Bu rotadaki 5. sıradaki makinenin M_{10} Dicline Chest Press olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3: Programların Rotası

SIRA	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9
1	M_1	M_3	M_1	M_1	M_3	M_1	M_5	M_5	M_5
2	M_2	M_4	M_3	M_2	M_4	M_3	M_6	M_8	M_9
3	M_{30}	M_8	M_{30}	M_5	M_{13}	M_4	M_{11}	M_{11}	M_{10}
4	M_{31}	M_9	M_{32}	M_6	M_{14}	M_9	M_{21}	M_{20}	M_{20}
5	M_{32}	M_{10}	M_{33}	M_7	M_{30}	M_{10}	M_{22}	M_{23}	M_{23}
6	M_{33}	M_{11}	M_{35}	M_8	M_{31}	M_5	M_{25}	M_{24}	M_{24}
7	M_5	M_{13}	M_5	M_9	M_{32}	M_6	M_{15}	M_{15}	M_{15}
8	M_6	M_{23}	M_7	M_{10}	M_{33}	M_7	M_{16}	M_{17}	M_{19}
9	M_8	M_{24}	M_9	M_{11}	M_{34}	M_{20}	M_{19}	M_{27}	M_{30}
10	M_9	M_{25}	M_{11}	M_{13}	M_{35}	M_{21}	M_{27}	M_{28}	M_{33}
11	M_{11}	M_{15}	M_{23}	M_{14}	M_{23}	M_{22}	M_{29}	M_{48}	M_{37}
12	M_{23}	M_{16}	M_{24}	M_{21}	M_{24}	M_{23}	M_{50}	M_{36}	M_{40}
13	M_{24}	M_{17}	M_{25}	M_{22}	M_{37}	M_{24}	M_{37}	M_{40}	M_{41}
14	M_{25}	M_{37}	M_{15}	M_{23}	M_{38}	M_{15}	M_{40}	M_{41}	M_{47}
15	M_{15}	M_{40}	M_{27}	M_{24}	M_{40}	M_{16}	M_{41}	M_{32}	M_{48}
16	M_{16}	M_{41}	M_{29}	M_{25}	M_{41}	M_{19}	M_{30}	M_{34}	M_{50}
17	M_{18}	M_{43}	M_{28}	M_{15}	M_{46}	M_{27}	M_{33}		
18	M_{27}	M_{44}	M_{36}	M_{16}	M_{47}	M_{28}			
19	M_{29}	M_{45}	M_{38}	M_{17}	M_{48}	M_{29}			
20	M_{28}	M_{30}	M_{40}	M_{18}	M_{50}	M_{48}			
21	M_{36}	M_{31}	M_{41}	M_{19}		M_{49}			
22	M_{38}	M_{34}	M_{43}	M_{27}					
23	M_{40}	M_{35}	M_{44}	M_{28}					
24	M_{41}	M_{50}	M_{50}	M_{29}					
25	M_{43}								
26	M_{44}								
27									
28									
29									
30									

Tablo 4.3 (devam): Programların Rotası

SIRA	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}
1	M_5	M_9	M_5	M_1	M_3	M_1	M_2	M_1	M_2
2	M_7	M_{10}	M_6	M_3	M_4	M_2	M_4	M_3	M_3
3	M_{11}	M_{11}	M_9	M_5	M_5	M_5	M_5	M_5	M_5
4	M_{23}	M_{20}	M_{10}	M_8	M_9	M_8	M_8	M_6	M_{11}
5	M_{25}	M_{21}	M_7	M_{11}	M_{10}	M_{11}	M_{11}	M_7	M_{12}
6	M_{24}	M_{22}	M_{14}	M_{12}	M_{11}	M_{21}	M_{13}	M_9	M_{20}
7	M_{26}	M_{25}	M_{23}	M_{21}	M_{25}	M_{22}	M_{14}	M_{10}	M_{21}
8	M_{15}	M_{17}	M_{24}	M_{22}	M_{26}	M_{24}	M_{21}	M_{12}	M_{22}
9	M_{16}	M_{18}	M_{25}	M_{23}	M_{15}	M_{25}	M_{22}	M_{13}	M_{26}
10	M_{17}	M_{19}	M_{26}	M_{24}	M_{18}	M_{17}	M_{23}	M_{16}	M_{17}
11	M_{27}	M_{48}	M_{49}	M_{25}	M_{50}	M_{15}	M_{24}	M_{18}	M_{18}
12	M_{28}	M_{49}	M_{50}	M_{15}	M_{27}	M_{19}	M_{25}	M_{19}	M_{19}
13	M_{29}	M_{37}	M_{39}	M_{49}	M_{28}	M_{48}	M_{26}	M_{50}	M_{48}
14	M_{50}	M_{40}	M_{40}	M_{16}	M_{29}	M_{50}	M_{15}	M_{28}	M_{27}
15	M_{36}	M_{41}	M_{41}	M_{18}	M_{49}	M_{37}	M_{49}	M_{37}	M_{29}
16	M_{37}	M_{43}	M_{31}	M_{27}	M_{36}	M_{38}	M_{16}	M_{38}	M_{38}
17	M_{41}	M_{44}	M_{32}	M_{28}	M_{38}	M_{39}	M_{17}	M_{40}	M_{39}
18	M_{30}	M_{30}	M_{34}	M_{50}	M_{39}	M_{40}	M_{19}	M_{41}	M_{40}
19	M_{32}	M_{33}		M_{37}	M_{45}	M_{41}	M_{27}	M_{42}	M_{41}
20	M_{33}	M_{34}		M_{39}	M_{46}	M_{47}	M_{48}	M_{46}	M_{42}
21				M_{43}	M_{30}	M_{31}	M_{28}	M_{30}	M_{47}
22				M_{44}	M_{32}	M_{32}	M_{29}	M_{32}	M_{31}
23				M_{45}	M_{33}	M_{35}	M_{50}	M_{33}	M_{32}
24				M_{31}			M_{36}	M_{35}	M_{33}
25				M_{34}			M_{38}		
26				M_{35}			M_{40}		
27							M_{31}		
28							M_{32}		
29							M_{34}		
30							M_{35}		

Algoritma sonuçlarının performansını inceleyebilmek için makinelerin programlarda belirtilen rotadaki birbirine olan uzaklığı bir parametre olarak kullanılmıştır. Bu parametre $C^k_{M_i,M_{i+1}}$ olarak tanımlanmıştır. Örnek olarak $C^2_{4,23}$ matematiksel gösterimi; 2. programa göre 4. makine ile 23. makinenin arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Örneğin; Denklem 4.5'de gösterildiği gibi $C^2_{4,23} = 6$ 'dır. Bir makinenin yanındaki diğer

makine ile arasındaki mesafe 1 birim olarak dikkate alınmıştır. Algoritma çözümü için her bir programa makineler arası birim mesafe matrisi oluşturulmuştur.

Amaç fonksiyonunu oluştururken spor salonundaki makinelerin ortalama kaç kişi tarafından kullanıldığını müşterilerin aylık kayıt bilgilerinden belirlenmiştir. Bu çalışmada spor salonu kayıtlarından alınan bilgilere istinaden bireylerin makineleri kullanım amacı ve programı kullanma yüzdesi Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Oluşturulan 18 program için kullanım yüzdesi problemin çözümünde T_k olarak tanımlanmıştır ($k = 18$). Tablo 4.4'de 6. programı kullanan kişi oranının $T_6 = 0{,}04$ olduğu görülmektedir. 6. Program kullanan kişi oranı Denklem 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Programları Kullanan Kişi Yüzdesi

P_k	KİŞİ ORANI
P_1	**0,1**
P_2	**0,09**
P_3	**0,08**
P_4	**0,04**
P_5	**0,03**
P_6	**0,04**
P_7	**0,02**
P_8	**0,01**
P_9	**0,02**
P_{10}	**0,06**
P_{11}	**0,05**
P_{12}	**0,06**
P_{13}	**0,03**
P_{14}	**0,03**
P_{15}	**0,02**
P_{16}	**0,11**
P_{17}	**0,11**
P_{18}	**0,1**
TOPLAM	**1**

Tablo 4.4'deki bilgilere istinaden; spor salonuna gelen müşterilerin ortalama %27 si kadın ($P_1, P_2, P_{3,}$) ve kilo verme amacı ile spor salonunu kullanmaktadır. Gelen müşterilerin %32 si erkek (P_{16}, P_{17}, P_{18}) ve fitness çalışma amacı ile kullanım sağlamaktadır sonucunu ulaşabiliriz. Tablodan görüleceği gibi bir spor salonuna gelen müşterilerin ortalama %60'ı erkek ve %40'ı bayandan oluştuğu tespit edilmiştir.

Amaç fonksiyonunu oluşturabilmemiz için; makine listeleri, program rotaları ve programları kullanan kişi oranları belirlendikten sonra amaç fonksiyonuna etki edecek parametre olarak makinelerin programlarda bulunma sıklığı da hesaplanmıştır. Tablo 4.5'de da gösterilmiştir. Makinelerin programlarda kaç defa kullanıldığı $N_{M_i,M_{i+1}}$olarak tanımlanmıştır. Örneğin; oluşturulan matriste 5. makine ile 20. makinenin programda toplam bulunma sayısı $N_{5,20} = 5$ 'dir. Denklem 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Makinelerin Programda Bulunma Sıklığı

MAKİNE	BULUNMA SIKLIĞI	MAKİNE	BULUNMA SIKLIĞI
M_1	7	M_{26}	5
M_2	5	M_{27}	11
M_3	8	M_{28}	10
M_4	5	M_{29}	9
M_5	15	M_{30}	10
M_6	6	M_{31}	8
M_7	6	M_{32}	11
M_8	7	M_{33}	10
M_9	10	M_{34}	7
M_{10}	8	M_{35}	7
M_{11}	13	M_{36}	6
M_{12}	3	M_{37}	9
M_{13}	5	M_{38}	8
M_{14}	4	M_{39}	5
M_{15}	13	M_{40}	13
M_{16}	9	M_{41}	13
M_{17}	8	M_{42}	2
M_{18}	7	M_{43}	5
M_{19}	9	M_{44}	5
M_{20}	5	M_{45}	3
M_{21}	8	M_{46}	3
M_{22}	8	M_{47}	4
M_{23}	12	M_{48}	8
M_{24}	13	M_{49}	6
M_{25}	12	M_{50}	12

4.2. PROBLEMİN ADIMLARI

Algoritma verileri spor salonuna gelen gerçek müşteri bilgileri ve eğitmenlerden temin edilen program rotaları ile oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonunu oluştururken; makineler, bu makineleri belirli bir amaca göre kullanan kadın–erkek kişi oranları ile rotalar ve makinelerin programda bulunma sıklığı dikkate alınmıştır. Problemin adımları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Adım1: Dizilimi yapılacak olan makineler belirlenmiştir. Spor salonunda bulunan toplam 50 adet makine sıralanmıştır. (M_i)

Adım 2: Eğitmenlerin hazırladığı programlar temin edilmiştir. 18 farklı program kişilerin spor yapma amacına ve kadın-erkek ayrımına uygun olarak hazırlanmıştır, (P_k).

Adım 3: Programların makineleri içeren rotası belirlenmiştir. Her bir program rotası birbirinden farklı sayıda makine ve sıralama içermektedir, ($C^k_{M_i,M_{i+1}}$).

Adım 4: 18 farklı programın kaç kişi tarafından kullanıldığı gelen müşterilerin spor salonu kullanım amacı ve hazırlanan program sayılarına göre belirlenmiştir, (T_k).

Adım 5: Makinelerin programlarda kullanılma sıklığı araştırılmış, amaç fonksiyonunda sıralamayı önemli ölçüde etkileyen parametre olduğundan her bir makinenin programlarda bulunma sıklığı tespit edilmiştir, ($N_{M_i,M_{i+1}}$).

Adım 6: Spor salonu tesis yerleşim optimizasyonu probleminde amaç fonksiyonundaki hedefimiz en iyi sıralamanın bulunmasıdır. Problemde fayda değer fonksiyonun en küçük değeri bulunmuştur. Fayda değer fonksiyonu; makinelerin birbiri arasındaki mesafe, sisteme giren kişilerin makineleri kullanım oranı ve makinelerin programlarda bulunma sıklığı dikkate alınarak oluşturulmuştur, (Z).

4.3. NOTASYON (PARAMETRELER) VE KARAR DEĞİŞKENLERİ

Algoritma çözümünde kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir.

i: i.Makine sırası

l: Makine sayısı

k: Program sayısı

P_k: k. Program

M_i: i. Sıradaki makinenin numarası (Karar Değişkeni)

$C^k_{M_i,M_{i+1}}$: k. Programındaki $i. ve\ (i+1)$. Sıradaki makineler arasındaki mesafe

T_k: k. Programındaki kişi oranı

$N_{M_i,M_{i+1}}$ $i. ve\ (i+1)$. Makinelerin programlarda bulunma sıklığı

Z: Toplam fayda feğer (Amaç fonksiyonu)

4.4. MATEMATİKSEL MODELİ

Spor salonu tesis yerleşimi optimizasyon problemi çözümünde tüm değişkenler ve yerleşimde etkili, sisteme fayda değer sağlayan parametreler tespit edilmiştir. Bu çalışmaların ardından amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Spor salonu tesis yerleşimi optimizasyonu matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

$$\forall M\ için\ \min Z = \sum_{k=1}^{18}\sum_{i=1}^{49} \frac{C^k_{M_i,M_{i+1}} * T_k}{N_{M_i,M_{i+1}}} \tag{4.1}$$

$$0 < M_i \leq 50\ \ ve\ M_i\ tamsayı \tag{4.2}$$

$$M_i \neq M_{i+1} \tag{4.3}$$

$$N_{5.20} = 5 \tag{4.4}$$

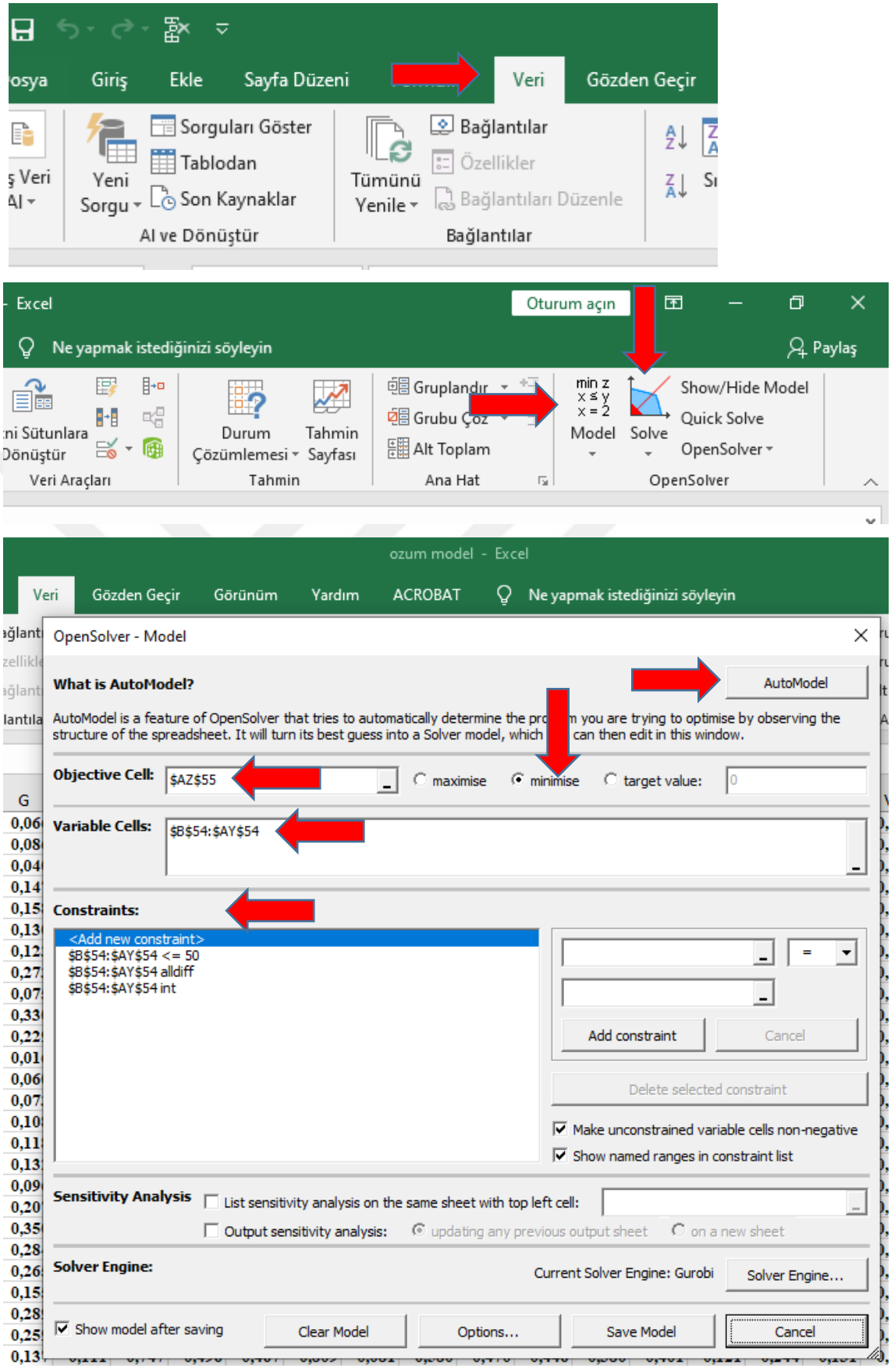
$$C^2_{4,23} = 6 \tag{4.5}$$

$$T_6 = 0{,}04 \tag{4.6}$$

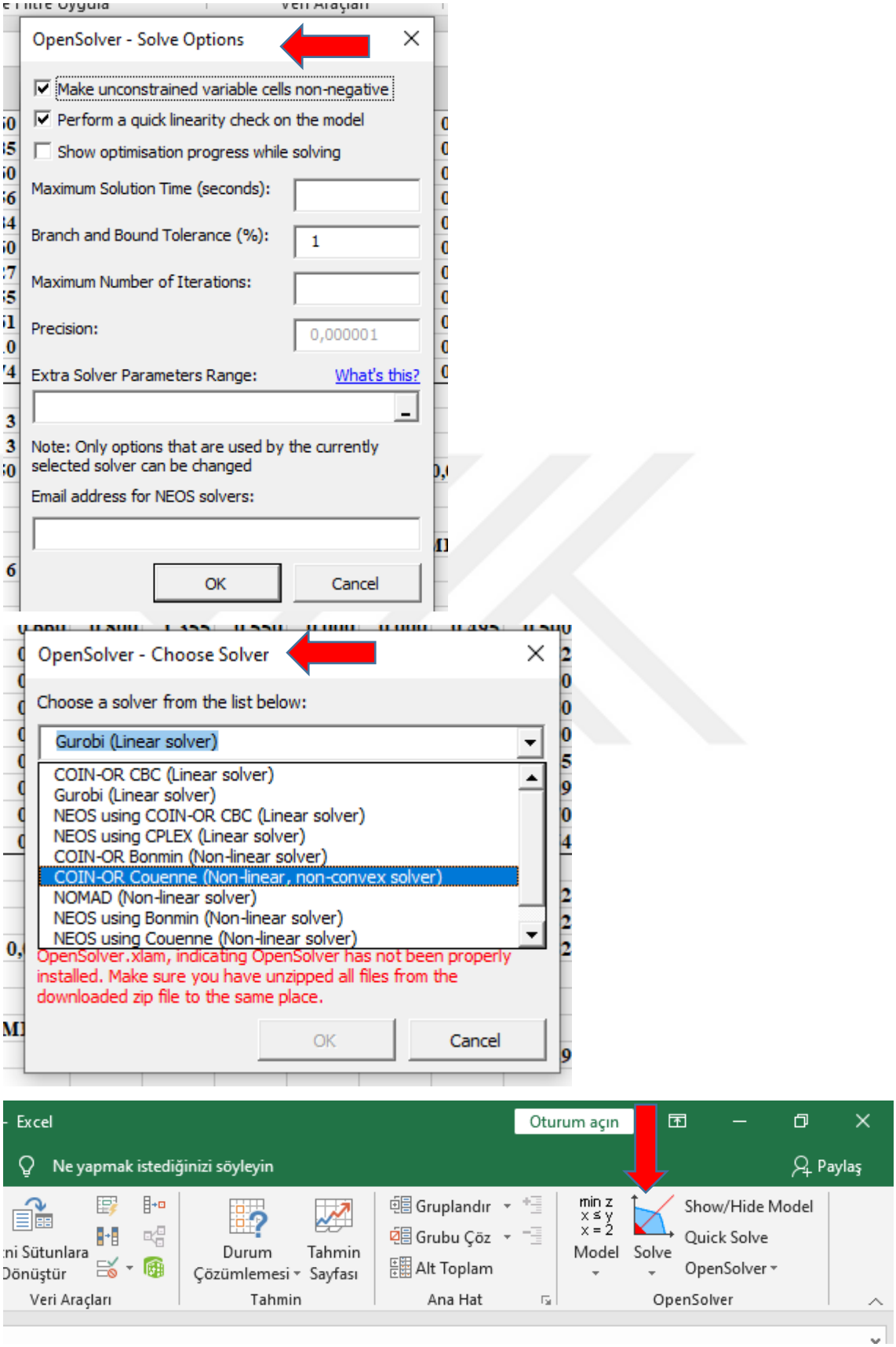
$$minZ = 1{,}47 \tag{4.7}$$

4.5. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Çalışmada; problem genetik algoritma ile elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan amaç fonksiyonu matrisinin toplam minimum değeri bulunarak çözülmüştür. Amaç fonksiyonu ve dikkate alınan kısıtların excel open solver'a giriş yapılarak sonuca ulaşılmıştır. Excel open solver adımları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Öncelikle excel veri sekmesinden model içine problemin girişi (amaç fonksiyonu, değişken, kısıtlar) yapılmıştır. Ardından seçenek ve model seçilerek solve sekmesinden sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 4.1: Excel Open Solver Adımları



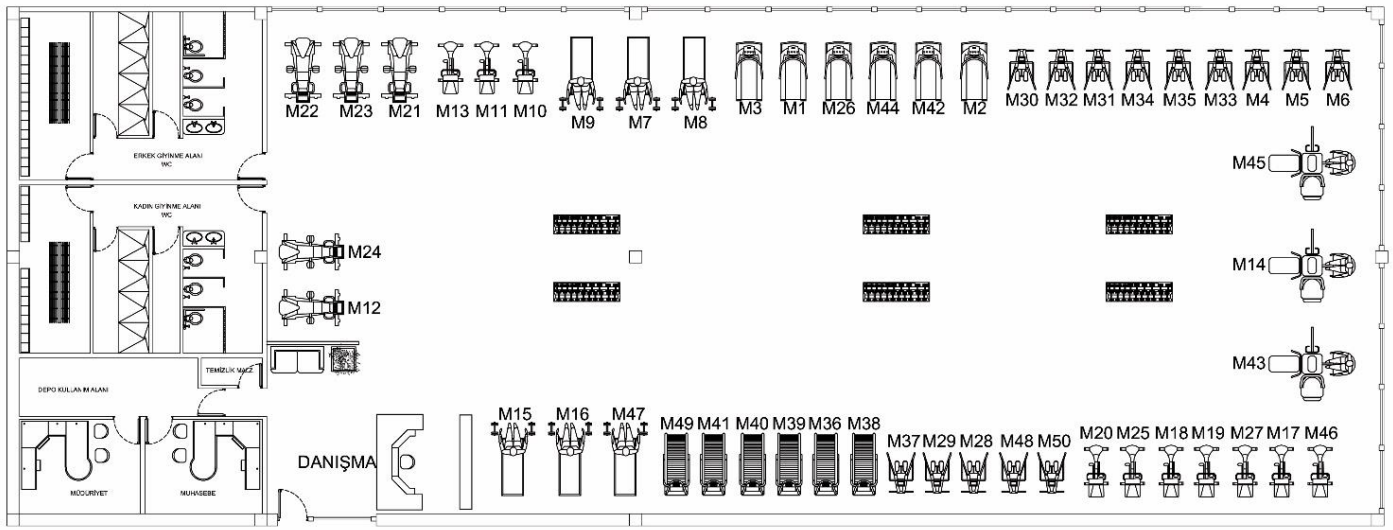
Şekil 4.1 (Devamı): Excel Open Solver Adımları

Excel open solver sonucu sezgisel bir yöntem ile spor salonu verileri kullanılarak oluşturulan tesis yerleşim problemi optimizasyonu amaç fonksiyonu toplam değeri en küçük 1,47 olarak bulunmuştur. Problemin sonucunu minimum değer olan amaç fonksiyonunu Denklem 4.7 ifade etmektedir. En iyi makine sıralamasını gösteren her bir makinenin minimum değerleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6: En İyi Makine Sıralaması Sonucu

SIRA	M_i	SONUÇ	SIRA	M_i	SONUÇ
1	M_{22}	0,02	26	M_{14}	0,00
2	M_{23}	0,04	27	M_{43}	0,00
3	M_{21}	0,04	28	M_{46}	0,00
4	M_{13}	0,05	29	M_{17}	0,07
5	M_{11}	0,02	30	M_{27}	0,04
6	M_{10}	0,06	31	M_{19}	0,03
7	M_{9}	0,06	32	M_{18}	0,06
8	M_{7}	0,01	33	M_{25}	0,01
9	M_{8}	0,03	34	M_{20}	0,02
10	M_{3}	0,05	35	M_{50}	0,03
11	M_{1}	0,00	36	M_{48}	0,03
12	M_{26}	0,00	37	M_{28}	0,05
13	M_{44}	0,00	38	M_{29}	0,02
14	M_{42}	0,00	39	M_{37}	0,02
15	M_{2}	0,01	40	M_{38}	0,04
16	M_{30}	0,05	41	M_{36}	0,01
17	M_{32}	0,04	42	M_{39}	0,01
18	M_{31}	0,08	43	M_{40}	0,05
19	M_{34}	0,04	44	M_{41}	0,07
20	M_{35}	0,04	45	M_{49}	0,00
21	M_{33}	0,08	46	M_{47}	0,00
22	M_{4}	0,02	47	M_{16}	0,07
23	M_{5}	0,06	48	M_{15}	0,01
24	M_{6}	0,00	49	M_{12}	0,01
25	M_{45}	0,00	50	M_{24}	0,14

Spor salonu tesis yerleşim optimizasyonu minimizasyon probleminin sonuçlarına göre makinelerin döngüsel yerleşim dizilimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2: Spor Salonu Tesis Yerleşim Planı Optimizasyonu

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Üretim sektörü, hammaddelerin veya yarı mamullerin nihai ürünlere dönüştürüldüğü endüstrilerdir. Hizmet sektörü ise hizmetten yararlananın bizzat kendisinde veya onun yararına bazı değişikliklere neden olan, zaman, mekân ve şekil faydası meydana getiren endüstrilerdir. Üretim sektöründe somut mamuller elde edilirken hizmet sektöründe ise müşterilere soyut faydalar sunulur. Gerek üretim sektöründe gerekse hizmet sektöründe, 20. yüzyılın başlarından itibaren, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde ciddi değişimler yaşanmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler ve artan nüfus ile birlikte giderek küreselleşen dünyada söz konusu sektörlerin de gelişerek önceleri geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen üretim ve hizmet sağlama faaliyetleri daha çağdaş ve verimli yapılara çevrilmiştir.

Tesisler, üretim ve hizmet sektöründe ürünlerin ve hizmetlerin belirli aşamalarla müşterilerin kullanımına sunulduğu alanlardır. Günümüzde, özellikle üretim süreçlerinin bütünleşik olarak tasarlanması ve üretimde kullanılan fiziksel unsurların tesis içerisinde en iyi şekilde yerleştirilmesi, verimliliğin arttırılması ve maliyetlerin düşürülmesi adına oldukça önemli olmaktadır. Bunun temel nedeni ise oldukça pahalı olan tesis içi donanımlarının mümkün olan en iyi derecede etkin ve asgari seviyede maliyetli olacak şekilde yerleştirilmesi gerekliliğidir. Bu amaçların karşılanması amacı ile ortaya çıkan tesis düzenlemesi problemi, gerek üretim sektöründe gerekse hizmet sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde fiziksel bileşenlerin, en verimli ve etkin olarak destekleyecek şekilde yerleştirilmesi için karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik olarak uzun yıllardır literatürde oldukça sıklıkla çalışılmış olan bir problem türüdür.

Tesis içerinde verimliliğin ve müşterilerin memnuniyetlerinin arttırılması amacı ve bununla birlikte karlılığın maksimize edilebilmesi için, ekipman, malzeme, tezgah, takım, istasyon, insan, masa, depolama, taşıma unsurları, enerji vb. unsurların etkin bir şekilde yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hücre olarak adlandırılan bu unsurların tesis içerisinde ilk seferde etkin bir şekilde yerleştirilmesi, hücrelerin sonradan ortaya çıkabilecek ihtiyaçlar doğrultusunda tekrardan düzenleme maliyetlerini asgari sevilere indirgeyebilecek düzeydedir.

Bunun temel nedeni yerleştirme işleminin uzun vadeli etkileri olan, sonradan tekrar düzeltilmesi oldukça maliyetli ve tesisin verimli bir şekilde işletilmesinde oldukça etkili olan bir endüstriyel sorun olmasından kaynaklanır. Tesisin özensiz ve başarısız bir şekilde düzenlenmesi ise işletmeyi, zaman, mekân, işgücü vb. kaynaklar açısından ciddi zararlara uğratabilecek niteliktedir.

Tesislerin etkin bir şekilde düzenlemesinin işletmelere %30 ile %80 arasında bir yer tasarrufu sağladığı literatürde sıklıkla belirtilmektedir. Söz konusu tasarruf ise işletmelerin genel maliyetlerini en az %10 kadar düşürdüğü belirtilmiştir. Bu çerçevede, işletmeler için oldukça stratejik bir öneme sahip olan tesis düzenlemesi faaliyetlerinin gerek endüstriyel alanlarda gerekse akademik camiada oldukça geniş kapsamlı olarak çalışılmış olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışmaların ortak amaçlarının ise özellikle üretime yönelik faaliyetlerde ve bu faaliyetlere ait her aşamada yer alan tüm varlıkların hareketlerini ve taşınması için ortaya çıkabilecek maliyetleri asgari seviyeye indirgemek olduğu görülür. Böylelikle her firmanın temel hedefi olan maliyet azaltma ve karlılık arttırmaya önemli ölçüde katkı sağlanabilmektedir.

Günümüzde, klasik üretim anlayışından esnek üretim anlayışına doğru ciddi bir eğilim olduğu görülmektedir. Esnek üretim sistemlerinde otomasyon unsurları ve hücreler arası taşıma sistemlerinin kullanılmaktadır. Söz konusu üretim sistemlerinde hücrelerin tesis içerisine yerleştirilmesinde çeşitli konfigürasyonların yaygın olarak kullanıldığı görülür. Tesis içi yerleşim türleri olarak da adlandırılan bu konfigürasyonlara örnek olarak, döngüsel (loop) türü, çizgisel (Line) türü, ızgara (Grid) türü, açık alan (Open field) yerleşim, zikzak yerleşim, U-tipi yerleşim, L-tipi yerleşim, atlı karınca (carousel) türü yerleşim vb. gibi çeşitli farklı yerleşim türlerinin kullanıldığı görülür. Her birisinin kendisine göre çeşitli özellikleri ve avantajları olan yerleşim türlerinden özellikle döngüsel yerleşim türünün esnek üretim sistemlerinde daha ziyade tercih edildiği görülmektedir. Döngüsel tesis yerleşiminde, malzemelerin sisteme girişimden çıkışına kadar olan süreçte hücreler ister kare bir alanda isterse dairesel bir alanda, bir çember oluşturacak şekilde yerleştirilir ve hücreler arasındaki akış tek yönlü (uni-directional) veya iki yönlü (bi-directional) olarak gerçekleştirilir. Genel olarak incelendiğinde tek yönlü dairesel yerleşim tekniklerinin daha sıklıkla tercih edildiği görülür.

Döngüsel tesis düzenlemesi yönteminin tercih edilmesinde, yerleşim maliyetlerinin düşük olması, üretimde ve süreçlerde esnekliğin kolaylıkla sağlanabilmesi, makine ve teçhizatlarının genişletme maliyetlerinde ciddi tasarruf sağlaması, sistemin işletilmesinde sıkışıklıkların rahatlıkla çözülebilmesi ve böylelikle güvenilirliğin arttırılması ve sistemin genel gecikme sürelerinin düşürülmesi adına oldukça önemli faydalar sağladığı görülmüştür.

Bununla birlikte tesis düzenleme probleminin, el yordamı ile veya kâğıt üzerinde kısa süre içerisinde çözülemeyecek derecede karmaşık olması ve probleme ait çözüm uzayının, probleme katılan her hücre ile birlikte üstel olarak artış göstermesi söz konusu problemlerin NP-tam karmaşıklığa sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle söz konusu problemlerin çözümüne yönelik olarak literatüre sunulan yöntemlerin genellikle sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar olduğu görülmüştür. Her ne kadar, tesis içerisine yerleştirilecek hücrelerin sayılarının düşük ve kriterlerin az olması durumlarında en uygun çözümler sunan tam-çözüm algoritmalarının kullanılabildiği görülse de hücre sayılarının 40 ve 50'den fazla olduğu durumlarda sezgisel ve meta sezgisel algoritmalarının kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde, bu problemler için sunulan yöntemlerin en başında genetik algoritmaların yer aldığı görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, bir spor salonunda spor aletlerinin en iyi nasıl sırlanabileceği konusu incelenmiştir. Döngüsel tesis yerleşiminde, malzemelerin sisteme giriş ve çıkışı arasındaki süreçte hücreler sanal bir çember oluşturacak şekilde yerleştirilir ve hücreler arasındaki akış tek yönlü ya da iki yönlü olarak gerçekleştirilir. Spor salonu makine dizilimi de bu sanal çembere benzer nitelikte bir dizilim oluşturmaktadır. Makinelerin dizilimi ile ilgili dikkat edilen parametreler; makinelerin kullanım sıklığı, makineleri kullanan kişilerin oranı, programlara göre rotalanmış makinelerin arasındaki mesafelerdir.

Çalışmada geliştirilen algoritmada; makine sayısının 50 olması sebebi ile problem çözümü NP-zor olarak saptanmış ve sezgisel bir yöntem ile minimizasyon problemi çözülmüştür. Algoritmanın temel hedefi; amaç fonksiyonunun miminum olmasıdır. Amaç fonksiyonu; makineler arası mesafelerin, kişilerin bu makineleri kullanım oranı ile makinelerin programlarda yer alma sıklığı parametreleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, tesis yerleşimi planlanmış ve makinelerin

konumlandırılması gereken yerler belirlenmiştir. Bu çalışmada, spor salonunda bulunan makinelerin genetik algoritma ile yerleşim sıralaması belirlenmiştir. Spor salonundaki makinelerin hazırlanan spor programları dikkate alınarak birbiri arasındaki mesafeler hesaplanmıştır. Problem; makine doluluk oranı, bekleme süresi, kuyruk, benzer bölgesel makinelerin gruplandırılarak yan yana dizilmesi gibi yeni kısıtlar eklenerek ileride yapılacak çalışmalarda araştırma konusu olarak değerlendirilebilir.

Mevcut makine dizilimi ile problemde elde edilen sonuçlar doğrultusundaki makine dizilimi detaylı olarak incelenmiştir. Mevcut makine diziliminde bölgesel benzer makinelerin yan yana konumlandırıldığı görülmüştür. Fakat problemde dikkat edilen makinelerin programda bulunma sıklığı ve programları kullanan kişi oranları ile kat edilen toplam mesafenin en küçük değeri için mevcut durumdan oldukça farklı bir sonuç elde edilmiştir. Problemdeki veriler doğrultusunda minimum bulunan değer 1,47 iken; mevcut düzendeki sıralama ile aynı kısıt ve amaç fonksiyonu oluşturulduğunda bulunan toplam değer 3,34 olarak hesaplanmıştır.

Spor salonu tesis yerleşim probleminde fayda değer sağlayan faktörler incelenmiştir. Amaç fonksiyonunu oluştururken; makinelerin eğitmenler tarafından hazırlanmış olan programlara istinaden birbiri arasındaki birim mesafeleri, makinelerin programlarda toplam bulunma sıklığı, makineleri kullanan kişi oranları hesaplanmıştır. En iyi makine dizilimi problemi minimum amaç fonksiyonu değeri genetik algoritma ile excel open solver kullanılarak çözülmüştür.

KAYNAKLAR

Acar, D., Tekin, M. ve Alkan, H., 2007, Esnek üretim sistemlerinin işletme faaliyetlerine olan etkisi ve maliyet unsurlarında meydana getirdiği değişiklikler, *S.D.Ü İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi,* 12 (2), 1-20.

Afentakis, P., 1989, *A Loop Layout Design Problem for Flexible Manufacturing Systems*, The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 1 (1989), 175-196.

Ak, R., 2009, *İşyeri Düzenleme Algoritmalarının İncelenmesi ve Bir Fabrika Uygulaması*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Altınel, I.K. and Öncan, T., 2005, Design of unidirectional cyclic layouts. *International Journal of Production Research*, 43 (19), 3983–4008.

Amaral, A.R.S., 2009, A new lower bound for the single row facility layout problem. *Discrete Applied Mathematics*, 157 (1), 183-190.

Amaral, A.R.S., Letchford, A.N., 2013, A polyhedral approach to the single row facility layout problem. *Mathematical Programming*, 141 (1-2), 453-477.

Asl, A.D., Wong, K.Y., 2015, Solving unequal-area static and dynamic facility layout problems using modified particle swarm optimization, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28 (6), 1327-1336.

Baki, R., 2014, *Harmoni Arama Algoritması İle Tek Sıra Tesis Düzenleme Probleminin Çözümü*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Baykasoglu, A., Gindy, N.N.Z., 2001, A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem. *Computers & Operations Research*, 28 (14), 1403-1426.

Bozer, Y.A. and Hsieh, Y.J., 2004, Expected waiting times at loading stations in discrete-space closed-loop conveyors. *European Journal of Operational Research*, 155 (2), 516–532.

Browne, J., Dubois D., Rathmill K. and Sethi S.P., 1984, *Classification of flexible manufacturing systems*.

Chae, J., Peters, B.A.,2006, A simulated annealing algorithm based on a closed loop layout for facility layout design in flexible manufacturing systems, International Journal of Production Research, 44 (13), 2561-2572.

Cheng, R., Gen, M., Tosawa, T., 1996, Genetic Algorithms For Designing Loop Layout Manufacturing Systems, *18th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 31 (4), 587-591.

Cheng, R., Gen, M., 1998, Loop Layout Design Problem in Flexible Manufacturing Systems Using Genetic Algortihms, *Computers ind. Engng*, 34 (1), 53-61.

Demir, M.H., Gümüşoğlu, Ş., 1998, Üretim İşlemler Yönetimi, 5. Baskı, Beta Basım Yayım A.Ş., İstanbul.,

Dorigo, M., 1992, *Optimization Learning and Natural Algorithms*, Ph. D. Thesis, Politecnico di Milano, Milano.

Erkut, H. ve Baskak, M., 2003, *Tesis Tasarımı*. İrfan Yayımcılık, Divanyolu, İstanbul.

Francis, R.L. and White, J.A., 1974, *Facility Layout and Location*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Gilmore, P.C., 1962, Optimal and suboptimal algorithms for the quadratic assignment problem. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 10 (2), 305-313.

Heragu, S.S., 1997: Facilities Design. PWS Publishing Company, USA.

Kaku, B.K., Rachamadugu, R., 1992, Layout design for flexible manufacturing systems, *European Journal of Operational Research*, 57 (2), 224–230.

Kang, S., Kim, M., and Chae, J., 2018, A closed loop based facility layout design using a cuckoo search algorithm. *Expert Systems with Applications*, 93, 322–335.

Kennedy, J., Eberhart, R.C., 1995, Particle swarm optimization, *proc. of the ıeee ınt. conference on neural networks*, 4(1995), 1942-1948.

Kouvelis, P., Kim, M.W., 1992, Unidirectional loop network layout problem in automated manufacturing systems. *European Journal of Operational Research*, 40 (3), 533–550.

Kokash, N., 2018, *An introduction to heuristic algorithms*, https://www.researchgate.net/publication/228573156_An_introduction_to_heuristic_algorithms, [Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2019].

Kulturel-Konak, S., Konak, A., 2011, Unequal area flexible bay facility layout using ant colony optimisation, *International Journal of Production Research*, 49 (7), 1877–1902.

Kumar, R.M.S., Asokan, P., Kumanan, S., 2009, Artificial immune system-based algorithm for the unidirectional loop layout problem in a flexible manufacturing system, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 40 (2009), 553-565.

Lacksonen, T.A., Enscore, E. E., 1993, Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout problem, *International Journal of Production Research*, 31 (3), 503-517.

Lasrado, V., Nazzal, D., 2011. Design of a manufacturing facility layout with a closed loop conveyor with shortcuts using queueing theory and genetic algorithms. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*,1959-1970.

Lee, S. D.,, Huang, K.H., Chiang, C.P., 2001, Configuring layout in unidirectional loop manufacturing systems. *Int J Prod Res* 39 (6),1183–1201.

Leung, J., 1992. A graph theoretic heuristic for designing loop layout manufacturing systems. Europian Journal of Operational Research, 57 (2), 243–252.

Liv, Y., Li, B., and Luo, S. J., 2010, An Unequal-sized Unidirectional Loop Layout Design Problem Considering Empty Vehicle Trip, *Applied Mechanics and Materials*, 37-38 (2010), 116-121.

Luggen, W.W., 1991, *Flexible Manufacturing Cells and Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Mallikarjuna, K., Veeranna, V., Reddy, K.H., 2015, A new meta-heuristics for optimum design of loop layout in flexible manufacturing system with integrated scheduling, *International Journal of Advanved Manufacturing Technologies*, 84 (2016), 1841-1860.

Manita, G., Korbaa, O., 2013, A min-max ant colony algorithm for machine loop layout problem, *2013 21st Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)* Platanias-Chania, Crete, Greece, June 25-28.

Meller, R. D. and Gau. K-Y., 1996, The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 15 (5), 351-366.

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.

Moghaddam, R. T., Panahi, H., 2007, Solving a new mathematical model of a closed-loop layout problem with unequal-sized facilities by a genetic algorithm, *Proceedings of the 2007 IEEE IEEM*, 327-331.

Niroomand, S., Vizvari, B., 2013, A mixed integer linear programming formulation of closed loop layout with exact distances, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30 (3), 190-201.

Nyarko, E.K., Cupec, R., Filko, D., 2014, A Comparison of Several Heuristic Algorithms for Solving High Dimensional Optimization Problems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems.* 5 (1).

Ou-Yang, C. Utamima, A., 2013, Hybrid estimation of distribution algorithm for solving single row facility layout problem, *Computers & Industrial Engineering*, 66, 95–103.

Öncan, T., Altınel, İ.K., 2008, Exact solution procedures for the balanced unidirectional cyclic layout problem, European Journal of Operational Research, 189 (2008), 609-623.

Özçelik, F. and Islıer, A.A. 2011, Generalisation of unidirectional loop layout problem and solution by a genetic algorithm, *International Journal of Production Research*, 49 (3), 747-764.

Palubeckis, G., 2012, A branch-and-bound algorithm for the single-row equidistant facility layout problem. *OR Spectrum*, 34 (1), 1-21.

Panneerselvam, R., 2006, *Production and Operations Management*. New Delhi: PKI Learning Pvt. Ltd.

Picard, J.C., and Queyranne, M., 1981, On the one-dimensional space allocation problem, *Operations Research*, 29 (2), 371-391.

Potts C. N. and Whitehead, J. D. 2001, Workload balancing and loop layout in the design of a flexible manufacturing system, *European journal of Operational Research*, 129 (2), 326-336.

Rai, S., Jayswal, S.C., 2018, Design and Optimization of Loop Layout in Flexible Manufacturing System using Particle Swarm Optimization, International Journal of Advancements in Technolog, 9 (2), 1-5.

Sahni, S., and Gonzales, T., 1976, *P-complete approximation problems*. Journal of ACM, 23 (3), 555-565.

Saravanan, M., Ganesh Kumar, S., 2013. Different approaches for the loop layout problems: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69 (9-12), 2513–2529.

Sever, L., 2004, *Esnek üretim sistemlerine geçiş süreci ve bir uygulama*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı.

Sharp, G.P., Liu, F. H. F., 1990, An analytical method for configuring fixed path closed loop material handling systems. *International Journal of Prod Res*, 28 (4),757–783.

Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., and Tanchoco, J.M.A., 2003, *Facilities Planning* (Third edition). New York: John Wiley & Sons, New York, 780.

Türkay, M., (2006). Optimization Models and Solution Algorithms, *New Frontiers in Total Quality and Strategic Management, S. Kingir (Ed.)*, 141-152, Gazi Publishing, Ankara.

Vaziri, A. A., Laporte, G., Srıskandarajah, C., 2000, The block layout shortest loop design problem, *IIE Transactions*, 32 (8), 727-734.

Weigl, K. H., 1991, A survey of varied production systems and different aspects using computer simulation, *Proceedings of The 23rd Conference on Winter Simulation*.

Yang, X. S., Deb, S., 2009, Cuckoo search via levy flights. *In World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing*, 210–214.

Yang, T., Peters, B.A., Tu, Mingan., 2005, Layout design for flexible manufacturing systems considering single-loop directional flow patterns, *European Journal of Operational Research*, 164 (2005), 440-455.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	ÖZÜM ARAS ÇINAR
Doğum Yeri	BAKIRKÖY
Doğum Tarihi	15.06.1988
Uyruğu	■T.C.❒ Diğer:
Telefon	+90 533 027 13 72
E-Posta Adresi	ozumcinar@ozumcinar.com.tr
Web Adresi	www.ozumcinar.com.tr



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Pamukkale Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2011

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler
-