

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MODERN ÜRETİM YAPISINA UYGUN BİLGİSAYAR
DESTEKLİ TESİS YERLEŞTİRME TEKNİKLERİ VE
BUNA YÖNELİK BİR UYGULAMA**

128755

Endüstri Müh. Umut Rıfat TUZKAYA

FBE Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. H. İbrahim ERDEM

Doç. Dr. Mesut ÖZGÜRER

Doç. Dr. Ahmet EKERİM

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 2002

128755

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. TESİS PLANLAMASI.....	2
2.1 Tesis Planlamasının Tanımı.....	2
2.2 Tesis Planlamasının Önemi.....	5
2.3 Tesis Planlamasının Amaçları.....	8
2.4 Tesis Planlaması Prosesi.....	9
3. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	13
3.1 Temel Yerleşim Tipleri.....	14
3.2 Tesis Yerleştirmenin Tarihsel Gelişimi.....	19
3.2.1 Bilgisayarın tesis problemi üzerindeki etkisi.....	21
3.3 Yerleşim Prosedürleri.....	22
3.3.1 Apple'ın tesis yerleşim prosedürü.....	23
3.3.2 Reed'in tesis yerleşim prosedürü.....	24
3.3.3 Muther'in sistematik yerleşim planlama prosedürü (SYP).....	25
3.4 Akış Alan ve Faaliyet İlişkileri.....	28
3.4.1 Departman yapısına göre planlama.....	29
3.4.2 Faaliyet ilişkileri.....	32
3.4.3 Akış şekilleri.....	37
3.4.3.1 İş istasyonu içinde akış.....	37
3.4.3.2 Departman içi akış.....	38
3.4.3.3 Departmanlar arası akış.....	39
3.4.4 Akış planlaması.....	40
3.4.5 Akış ölçümü.....	42
3.4.5.1 Kantitatif akış ölçümü.....	42
3.4.5.2 Kalitatif akış ölçümleri.....	43
3.4.6 Alan ihtiyacı.....	44
3.4.6.1 İş istasyonu özellikleri.....	46
3.4.6.2 Departman özellikleri.....	49
3.4.6.3 Koridor ayarlaması.....	49

3.5	Değişimin Tesis Yerleştirme Üzerindeki Etkisi	50
3.6	Yerleşim Alternatiflerinin Geliştirilmesinde Dikkat Edilecek Hususlar	52
4.	TESİS YERLEŞTİRMEDE MODELLEME	55
4.1	Tek Sıralı Yerleşim Problemi İçin Modelleme	56
4.1.1	ABSMODEL 1	57
4.2	Eşit Alanlı Tesislerde Çok Sıralı Yerleşim Problemi İçin Modelleme	58
4.2.1	Kuadratik atama problemi	58
4.3	Tesis Yerleşiminde Kullanılan Yazılımlar	61
4.3.1	FactoryCAD	61
4.3.2	FactoryPLAN	62
4.3.3	FactoryFLOW	62
4.4	Modern Üretim Sistemlerinde Yerleşim Konuları	64
5.	BİLGİSAYAR DESTEKLİ TESİS YERLEŞTİRMEDE KULLANILAN ALGORİTMALAR	68
5.1	Sezgisel Algoritmalar	69
5.1.1	Kuruluş algoritmaları	69
5.1.1.1	CORELAP	70
5.1.1.2	Grafik tabanlı kuruluş metodu	74
5.1.2	Geliştirme algoritmaları	79
5.1.2.1	CRAFT	79
5.1.2.2	Çift değişim metodu	83
5.2	Optimal Algoritmalar	86
6.	UYGULAMA	88
6.1	İşletme Tanıtımı	88
6.2	1. Alternatif Yerleşim	91
6.3	2. Alternatif Yerleşim	100
6.4	3. Alternatif Yerleşim	103
6.5	Alternatif Yerleşimlerin Karşılaştırılması	107
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER	108
7.1	Gelecek İçin Yönlendirmeler	109
	KAYNAKLAR	110
	ÖZGEÇMİŞ	112

SİMGE LİSTESİ

n	tesislerin ve alanların toplam sayısı
c_{ij}	standart bir birimi, i ve j tesisleri arasında birim mesafede taşıma maliyeti
f_{ij}	i ve j tesisleri arasındaki gidiş geliş sayısı
l_i	i tesisinin yatay uzunluğu
d_{ij}	i ve j tesislerinin (sınırları) arasındaki minimum mesafe
H	zemin planının yatay uzunluğu
x_i	i tesisi ile dikey referans doğrusu (DRD) arasındaki mesafe
a_{ij}	i tesisini j bölgesine yerleştirmenin sağladığı net kazanç
$\bar{A}$	her katın ortalama alanı
$A_{\max}$	her katta ihtiyaç duyulan büyük alanlar
$A_{\min}$	her katta ihtiyaç duyulan küçük alanlar
BS	Bölme skoru
AFF	Alan farklılık faktörü
R_{ij}	i ve j tesisleri arasındaki ilişki koduna verilen nümerik değer
D_{ij}	i ve j tesislerinin bulunduklara kata göre değişen katsayı
@BIN	LINGO7 programında değişkene 1 ya da 0 değerini veren fonksiyon
TM	Toplam maliyet

KISALTMA LİSTESİ

GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
SKÜD	Sabit konumlu ürün departmanları
ÜHD	Üretim hattı departmanları
ÜAD	Ürün ailesi departmanları
PD	Proses departmanları
SYP	Sistematik yerleşim planlaması
CRAFT	Computerized Relative Allocation of Facilities Technique
JIT	Just in time
DRD	Dikey referans doğrusu
QAP	Quadratic assignment problem
WIP	Work in process
EDI	Electronic data interchanging
LAP	Lineer atama problemi
GSP	Gezen satıcı-adam problemi
CORELAP	Computerized relationship layout planning
AGV	Automated guided vehicles
TYO	Toplam yakınlık oranı
ALDEP	Automated layout design program
CE	Conformity of Europe
KOBİ	Küçük ve orta boyutlu işletmeler
PVC	Poli vinil klorür
YO	Yerleştirme oranı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tesis planlamasını sürekli geliştirme çevrimi	3
Şekil 2.2 Tesis planlama hiyerarşisi	4
Şekil 2.3 Belirli tipteki tesisler için tesis planlaması (a) fabrika, (b) ofis, (c) hastane.....	5
Şekil 2.4 Tesis Yaşam Çevrimi	10
Şekil 3.1 Alternatif yerleşim tipleri (a)üretim hattı ürün departmanı (b)sabit malzeme konum ürün departmanı (c)ürün ailesi ürün departmanı (d)süreç departmanı	15
Şekil 3.2 Kronolojik olarak listelenmiş “tesis yerleşim” bilgisayar yazılımı	22
Şekil 3.3 Sistematik yerleşim planlama (SYP) prosedürü	26
Şekil 3.4 İlişkiler diyagramı	27
Şekil 3.5 Alan İlişki Diyagramı	27
Şekil 3.6 Alternatif blok yerleşimi	28
Şekil 3.7 Malzeme yönetim sistemi	34
Şekil 3.8 Malzeme akış sistemi	35
Şekil 3.9 Fiziksel dağıtım sistemi	36
Şekil 3.10 Lojistik sistemi	37
Şekil 3.11 Proses departmanları içi akış (a) Paralel, (b) Dikey, (c) Çapraz	38
Şekil 3.12 Genel Akış Patikaları	39
Şekil 3.13 Giriş ve çıkış noktaları göz önüne alındığında tesis içi akış	40
Şekil 3.14 Akış planlama hiyerarşisi	41
Şekil 3.15 İlişkiler tablosu	44
Şekil 3.16 Esnek yerleşime bir örnek (U, I, S tipi yerleşimler ve genişlemeler ve daralmalar sonucu yerleşimde meydana gelen değişiklikler)	52
Şekil 4.1 Tek sıralı yerleşim	55
Şekil 4.2 Çok sıralı yerleşim	56
Şekil 4.3 Tek sıralı yerleşim probleminin parametreleri ve karar değişkenleri	58
Şekil 4.4 Alanlara tesis atama	59
Şekil 5.1 CORELAP tarafından geliştirilmiş örnek bir yerleşim	74
Şekil 5.2 Alternatif blok yerleşimleri için komşuluk grafikleri	75
Şekil 5.3 Grafik tabanlı örneğin faaliyet şeması ve faaliyet diyagramı	76
Şekil 5.4 Grafik tabanlı prosedürün adımları	78
Şekil 5.5 Son yakınlık grafiğine göre blok yerleşimi	79
Şekil 5.6 Dört tesisli bir yerleşim	81
Şekil 5.7 Herbir iterasyona göre yerleşimler	84
Şekil 6.1 Uygulamanın yapıldığı işletmenin organizasyon şeması	88
Şekil 6.2 Mevcut durumun yerleşim planı	90
Şekil 6.3 1. Alternatif için tesislerin atanacağı yerleşim bölgeleri	91
Şekil 6.4 LINGO7 ile elde edilen çözümün raporu	100
Şekil 6.5 CORELAP algoritması ile geliştirilmiş yerleşim	102
Şekil 6.6 Çift değişim metodu için ilk yerleşim	103
Şekil 6.7 Çift değişim metodu ile geliştirilmiş son yerleşim	106

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	1955-1975 Yılları arasında, yeni tesisler için GSMH'dan yapılan harcamaların endüstri gruplarına göre yüzdeleri (Tompkins vd., 1996)	6
Çizelge 2.2	Tasarım prosesi mühendisliği ile tesis yaşam çevriminin karşılaştırılması	11
Çizelge 3.1	Sabit konumlu ürün yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları	17
Çizelge 3.2	Ürün yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları	17
Çizelge 3.3	Grup yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları	18
Çizelge 3.4	Proses yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları	18
Çizelge 3.5	From-to tablosu	42
Çizelge 5.1	Tesislerin yakınlık ilişkileri ve alanları	73
Çizelge 5.2	TYO değerlerinin hesaplanması	73
Çizelge 5.3	Malzeme akış matrisi	84
Çizelge 5.4	Mevcut yerleşim için mesafe matrisi	86
Çizelge 6.1	1. Alternatif için tesisler arası günlük gidiş-geliş sayıları	91
Çizelge 6.2	1. Alternatif için tesisler arasındaki mesafe matrisi	92
Çizelge 6.3	Tesislerin yakınlık ilişkileri ve alanları	101
Çizelge 6.4	TYO Değerlerinin Hesaplanması	101
Çizelge 6.5	Mevcut yerleşimde mesafe matrisi	103
Çizelge 6.6	Departmanlar arası malzeme akışı matrisi	104
Çizelge 6.7	Departman çiftlerinin değişimi ile oluşan maliyetler matrisi (1. iterasyon)	105
Çizelge 6.8	Departman çiftlerinin değişimi ile oluşan maliyetler matrisi (2. iterasyon)	106

ÖNSÖZ

Tesis planlama konusu, yıllardır üzerinde tartışılan popüler bir konu olmuştur. Uzun geçmişine rağmen, günümüzde de bu konuda yayınlar, konferanslar ve araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Tesis planlama konusunun uygulanması, basit kontrol listelerinden karmaşık matematiksel modellere kadar geniş bir alanı kapsamaktadır.

Bu çalışmada, tesis planlama hiyerarşisi içerisinde yer alan tesis yerleştirmeye ait, gerçeğe uygun, geleneksel ve analitik yaklaşımlar gözönünde bulundurularak pratik bir yaklaşım uygulanmaya çalışılmıştır.

Bilgisayar destekli tesis yerleştirme teknikleri konusunda çalışmama fırsat veren ve bu çalışmanın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Y. Doç. Dr. H. İbrahim ERDEM'e, tezimin yazımı ve düzenlenmesi aşamasında yardımda bulunan ve beni destekleyen Gülfem BIYIK, Arzum ESER ve Zeynep DERMAN'a, ayrıca bugüne kadar daima arkamda olup, bana güç veren aileme en içten teşekkürlerimi belirtirim.



ÖZET

Tesis yerleştirme problemi, departmanların birbirleriyle olan pozisyonlarına bağlı olarak verilen bir amacın optimize edilmesi için departmanların optimal yerlerinin belirlenmesiyle ilgilenmektedir. Tesis, tek katlı bir bina, çok katlı bir bina veya bir kompleks içinde tek veya çok katlı binalardan oluşabilir. Karşılaşılan problem, mevcut bir tesis içine yeni bir departmanın eklenmesi veya tamamen yeni bir tesisin tasarlanması olabilir. Yerleştirme problemi, 1900'lerin başından buyana oldukça önemli bir konu olmuştur. Çözüm prosedürü, karmaşık matematiksel modellerden elde edilmiştir.

Bu tezde, giriş bölümünün ardından tesis planlamasının tanımı, önemi, amaçları ve tesis planlaması prosedürü anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, tesis yerleştirme ile ilgili detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Temel yerleşim tiplerine değinilerek, tesis yerleştirmenin tarihsel gelişimine geçilmiştir. Daha sonra tesis yerleştirmenin temelini oluşturan, akış, alan ve ilişkiler incelenerek, değişimin tesis yerleştirme üzerindeki etkilerine değinilmiştir. Dördüncü bölümde, tek sıralı ve çok sıralı yerleşim problemleri için geliştirilmiş modellerden ABSMODEL1 ve kuadratik atama problemleri anlatılmıştır. Bu bölümün sonunda, tesis yerleştirmede kullanılan bazı bilgisayar yazılımları tanıtılmıştır. Beşinci bölümde, bilgisayar destekli tesis yerleştirme algoritmaları sınıflandırılarak anlatılmıştır. Sezgisel algoritmalar daha detaylı incelenerek, kuruluş ve geliştirme algoritmalarından ikişer tanesi incelenmiştir. Uygulama ise plastik profiller üreten bir işletme için alternatif yerleşimler geliştirmek şeklinde yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde ise, uygulamada elde edilen bilgilerde göz önüne alınarak, genel bir değerlendirme yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tesis tasarımı, tesis planlama, yerleşim planlama, modelleme, bilgisayar destekli yerleştirme

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BORDURASYON MEMBERS

ABSTRACT

The facility layout problem deals with the determination of the optimal locations of departments within a facility, optimizing a given objective that depends on the relative position of the departments. The facility can be a single-floor building, a multi-story one, or it can comprise of a number of single or multi-story buildings within a given complex. The problem encountered could range from adding a new department within an existing facility to designing a totally new facility. The layout problem has been of importance since the early 1900's. The solution procedure has evolved from using iconic models to complex mathematical programming models.

In this study, after the introduction, definition, importance and objectives of facilities planning and facility planning procedures were discussed. In the third section, a detailed literature research has been done about layout planning. It was also mentioned about basic layout types and historical improvement of layout planning issues. Then, it was discussed about other basic subjects such as flow, relationship and space requirements. In the forth section, the models for single-row and multi-row layout problems called ABSMODEL1 and Quadratic Assignment Problem were explained. Also in the same section, three kinds of computer software were explained about layout planning. In the fifth section, computer aided layout planning algorithms were classified. Some heuristic algorithms that are called constructive and improvement algorithms were examined. In the final section, three alternative layouts generated for a plastic profile manufacturing facility and the results obtained were compared. In the conclusion, general comments and some suggestions were given considering application results.

Key Words: Facilities design, facilities planning, layout planning, modeling, computer aided layout.

1. GİRİŞ

Bir sistem olarak varlığını sürdüren ve bunun devamlılığını isteyen her işletmenin belirli amaçları vardır. Bu amaçlara ulaşılabilmesi için, daha kuruluş aşamasındayken doğru planlar yapılmalıdır. Fakat birçok belirsizliğin bulunduğu bir ortamda faaliyet gösteren işletmelerin, başlangıçtaki şartlar altında doğru olarak görünen planları, zaman içinde yenilenmeye ve geliştirilmeye gereksinim duyabilir.

İşlemenin, kuruluş aşamasında ve daha sonra, sürekli olarak planlama gerektiren konularının başında tesis yerleştirme problemi gelmektedir. Tesis yerleştirme problemi, departmanların birbirleriyle olan pozisyonlarına bağlı olarak verilen bir amacın optimize edilmesi için departmanların optimal yerlerinin belirlenmesiyle ilgilenmektedir.

Genellikle tesisler, büyük sabit yatırımlar gerektirdiği için, yerleştirme konusu ayrı bir önem taşımaktadır. Kuruluş aşamasında ki eksik veya yanlış planlamalar, sonradan düzeltilmesi çok maliyetli olabilecek sonuçlar çıkarabilirler. Tesis yerleştirme problemleri çok çeşitli senaryolarda ortaya çıkabilir. Örnek olarak, ürün tasarımıındaki bir değişim, işletmenin üretim hattından bir ürünü çıkarması veya eklemesi, ürünlerin talep karşısında değişmesi, üretim teknolojilerindeki değişimler, üretim planlamadaki değişimler, yeni iş güvenliği standartlarının adaptasyonu ve işletmedeki organizasyonel değişimler tesis yerleşiminde de değişiklikler gerektirebilir. Yerleştirme problemi; üretimdeki tıkanıklık, gecikmeler ve boş zaman, malzeme akışının engellenmesi ve üretim zamanına göre yüksek bir malzeme taşıma maliyeti gibi kademeli değişimleri de kapsamaktadır.

Uzun yıllardır tesis yerleştirme ve planlama konusu ile ilgili bir çok çalışma yapılmaktadır. Günümüzde de bu konu önemini ve güncelliğini korumaktadır. Geçmişte yapılmış birçok temel çalışma, günümüzde bilgisayarın da desteği ile ileri boyutlara taşınmıştır. Simülasyon teknikleri, uzman sistemler ve ileri algoritmalar kullanılarak yapılan sezgisel yerleştirmeler çok iyi sonuçlar vermektedir.

Büyük veya küçük tüm işletmelerde, tesislerin yerleştirilmesi rasgele yada işletmenin gelişimine göre yapıldığında, üretimdeki verimlilik dolayısıyla karlılık düşecektir. Bu temel ilke dahilinde günümüz rekabetçi piyasasında buradan sağlanacak etkinlik ve karlılık büyük önem kazanmaktadır.

2. TESİS PLANLAMASI

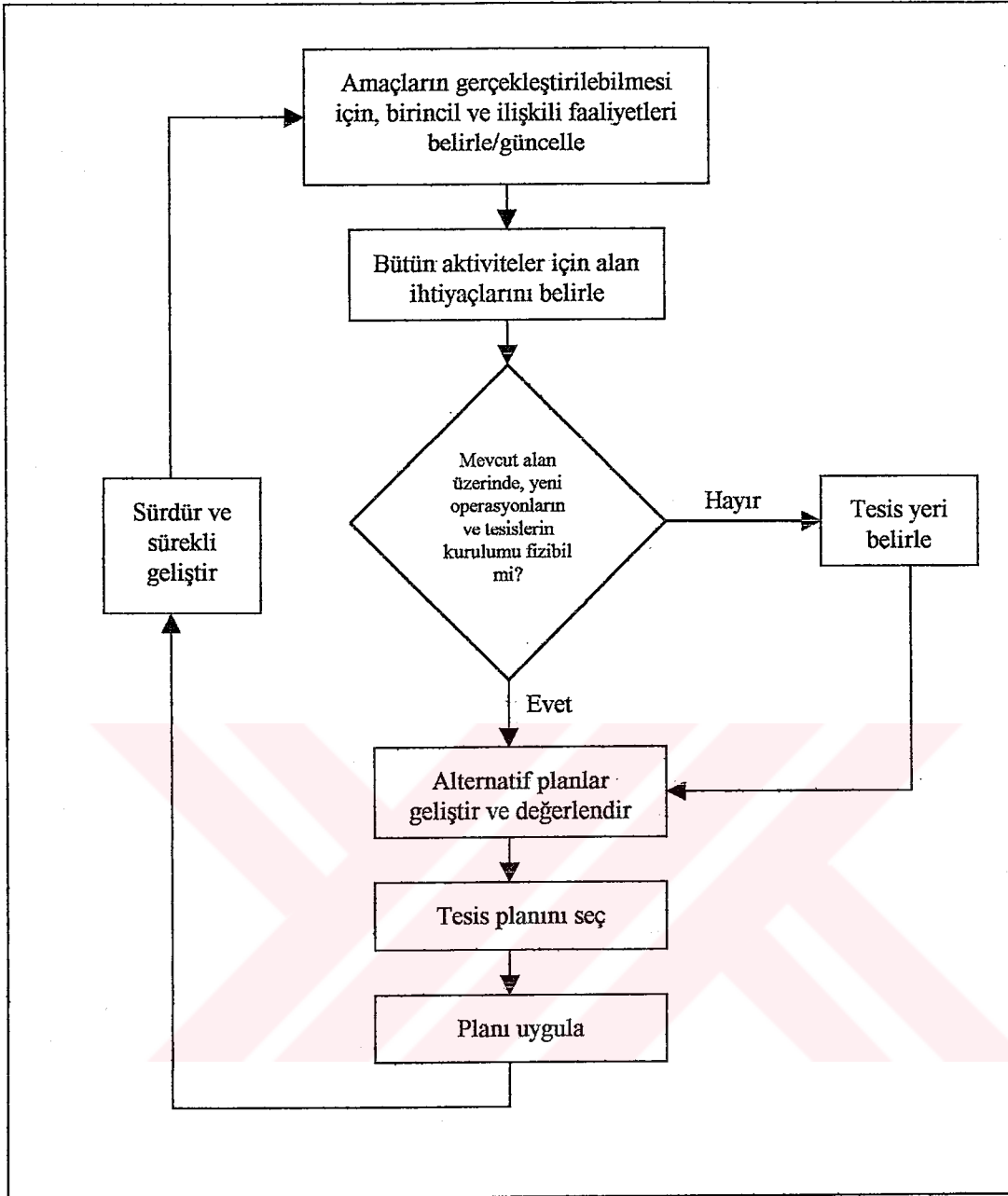
Tesis planlamanın konusu karmaşık ve geniş olmakla beraber, belirli disiplinlerin birleşiminden oluşmaktadır. Örneğin, mühendislik dallarından inşaat, elektrik, endüstri ve makine mühendisliği tesis planlama ile ilgilenmektedir. Ayrıca mimarlar, danışmanlar, müteahhitler, yöneticiler, gayrimenkul komisyoncuları ve şehir planlamacıları da bu alanda görev almaktadırlar (Tompkins vd., 1996). Bununla birlikte, tesis planlama ve tesis yerleştirme konuları burada, endüstri mühendisliğinin görüş açısına göre ele alınmıştır.

2.1 Tesis Planlamasının Tanımı

Tesis planlama konusu, yıllardır üzerinde tartışılan popüler bir konu olmuştur. Uzun geçmişine rağmen, günümüzde de bu konuda yayınlar, konferanslar ve araştırmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Tesis planlama konusunun uygulanması, basit kontrol listelerinden karmaşık matematiksel modellere kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışmada, tesis planlama hiyerarşisi içerisinde yer alan tesis yerleştirmeye ait, gerçeğe uygun, geleneksel ve analitik yaklaşımlar gözönünde bulundurularak pratik bir yaklaşım uygulanmaya çalışılmıştır.

Tesis planlaması konusunun çok geniş uygulamaları içerdiği gözönünde bulundurulmalıdır. Buradaki uygulamalara örnek olarak, bir hastanenin, montaj departmanının, mevcut bir ambarın veya hava alanındaki bir bagaj departmanının planlanması gösterilebilir (Tompkins vd., 1996). Tüm bu tesislerin ilk defa planlanması veya mevcut tesislerin yeniden düzenlenmesi söz konusu olabilir. Doğru şekilde yapılan tesis planlama çalışmaları büyük kazanç ve fayda sağlamaktadır. Değişen şartlarla birlikte, kazanç ve faydaların artırılabilmesi için, tesislerin mevcut yerleşimlerinde de bazı değişiklikleri sürekli olarak gerçekleştirilmelidir. Şekil 2.1 sürekli tesis planlama çevrimini göstermektedir.

Tesis planlaması, bir aktivitenin gerçekleştirilmesinde faydalanılan fiziksel sabit varlıkların, ilgili aktivitenin amaçlarına en uygun şekilde kullanılması için karar vermektedir. Bir üretim işletmesi için tesis planlaması, üretim tesisinin, üretimi en iyi nasıl gerçekleştireceğini tayin etmektedir. Örneğin, bir hava alanında tesis planlaması, yolcu ve uçak arasındaki arabirimlerin desteklenmesi olarak tanımlanabilir. Benzer şekilde bir hastanedeki tesis planlaması ise, hastane tesisinin hastalara tıbbi tedaviyi en iyi şekilde sağlanmasını desteklemek olarak tanımlanabilir (Tompkins vd., 1996).



Şekil 2.1 Tesis planlamasını sürekli geliştirme çevrimi (Tompkins vd., 1996)

Tesis planlama kavramının, tesis yer seçimi, tesis tasarımı, tesis yerleşimi yada fabrika yerleşimi ile aynı anlama gelmediğine dikkat etmek gerekmektedir. Tesis planlaması ile bu terimler arasındaki farkı ortaya koyabilmek için tesisi, tesis kuruluş yeri ve tesis bileşenleri olarak bölümlere ayırmak uygun olmaktadır.

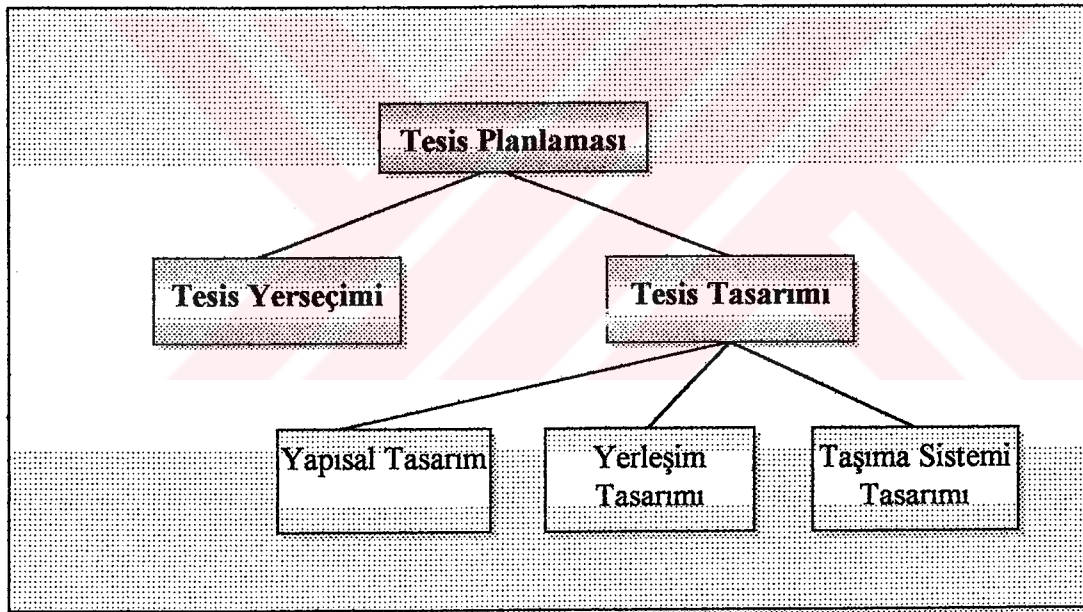
Tesis kuruluş yeri seçimi, müşteriler, tedarikçiler ve diğer tesislerin yerleri arasındaki ilişkiye göre belirlenmektedir. Kuruluş yeri aynı zamanda, tesisin yerleşimini, belirlenen bir bölgede belirli bir arazi noktasına yönlendirmeyi de içermektedir.

Bir tesisin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bileşenler ise, bina yapısı, yerleşim ve taşıma sistemidir. Bina yapısı, binalar ve hizmetlerden, yerleşim, yapı içindeki bütün

ekipman, makine ve eşyalardan, taşıma sistemi ise, yerleşimin gerektirdiği yöndeki tüm hareketleri gerçekleştirecek taşıma mekanizmalarından oluşmaktadır.

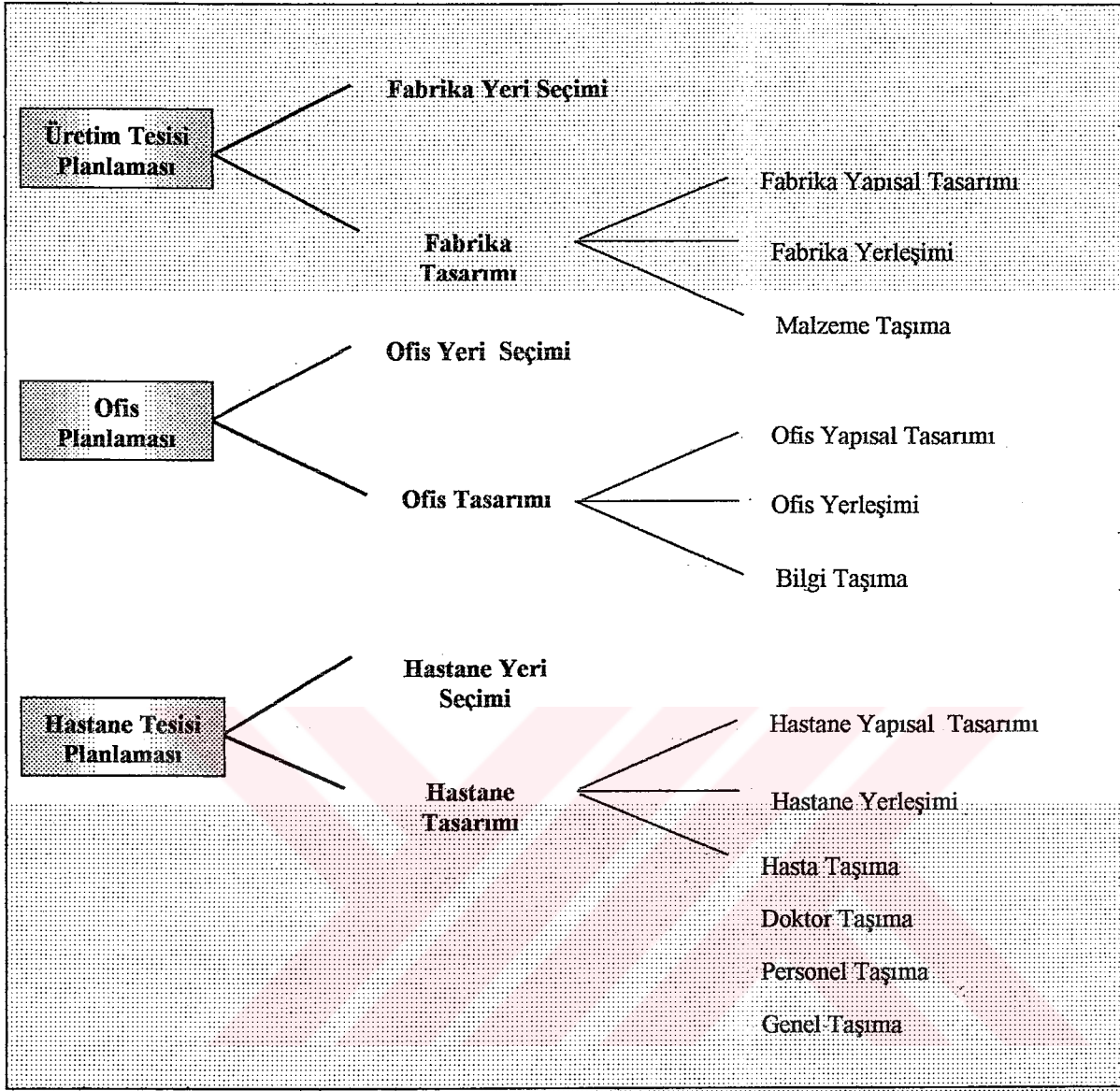
Bir üretim tesisi için yapı, üretim binalarını, yakıt, su, enerji, ısıtma, aydınlatma, havalandırma ve kanalizasyon gibi hizmetleri kapsamaktadır. Yerleşim, bina içindeki, üretim alanları, üretimle ilgili veya destekleyici alanlar ve kişisel alanlardan oluşmaktadır. Taşıma sistemi ise, yerleşimin gerektirdiği şekilde, malzeme, personel, bilginin ve ekipman taşıma sistemlerinden oluşmaktadır (Tompkins vd., 1996).

Bir faaliyetin gerçekleştirileceği yerin, o faaliyetin amaçlarını en iyi şekilde nasıl karşılayacağını kararı tesis yeri seçimi ile ilgilidir. Bir faaliyetin bileşenlerinin, o faaliyetin amaçlara en uygun şekilde gerçekleştirilebilmesi için nasıl bir araya getirileceği tesis tasarımı ile ilgilidir. Böylece bir tesis planlaması, tesis yeri seçimi ve tesis tasarımı olarak ikiye ayrılabilir. Şekil 2.2 tesis planlaması ve onun elemanlarını göstermektedir.



Şekil 2.2 Tesis planlama hiyerarşisi (Tompkins vd., 1996)

Tesis planlama hiyerarşisi, çok sayıdaki değişik tipte tesislere uygulanabilir. Uygulanabilirliği çok geniş alana yayılması nedeni ile, tesis planlamaya tek tip bir yaklaşım getirmek uygun olmaktadır. Şekil 2.3'te bazı belirli tipteki tesisler için planlama örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.3 Belirli tipteki tesisler için tesis planlaması (a) fabrika, (b) ofis, (c) hastane
(Tompkins vd., 1996)

2.2 Tesis Planlamasının Önemi

Amerika'da 1955'den buyana her yıl, Gayri Safi Milli Hasılanın (GSMH) %8'i yeni tesislerin kurulmasında kullanılmaktadır. Çizelge 2.1'de, temel endüstri grupları için GSMH'dan harcamaların yüzdeleri gösterilmektedir. Her yıl yeni tesisler için yapılan yatırımların boyutuna dikkat edilirse, konunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Ayrıca, önceden kurulmuş tesislerin, yenilenmesi ve bu yönde yeniden planlanmaları da söz konusu olmaktadır. Bu nedenle, her yıl tesislerin planlanması veya geliştirilmesi için 250 milyar \$'ın üzerinde harcamalar yapılmaktadır (Tompkins vd., 1996).

Çizelge 2.1 ABD’de 1955-1975 yılları arasında, yeni tesisler için GSMH’den yapılan harcamaların endüstri gruplarına göre yüzdeleri (Tompkins vd., 1996)

<u>Endüstri</u>	<u>GSMH %’si</u>
İmalat	3.2
Madencilik	0.2
Demiryolu	0.2
Havayolu ve diğer taşımacılıklar	0.3
Kamu hizmeti	1.6
İletişim	1.0
Ticaret ve diğer	1.5
<i>Tüm endüstriler</i>	<i>8.0</i>

Amerika’da bile tesis planlama ve yeniden planlama faaliyetlerinin yıllık bu kadar çok harcama gerektirmesine rağmen, planlama işleminin yeterli düzeyde yapıldığı sonucu çıkarılamamaktadır. Genel tecrübelerle göre, günümüz endüstrisinde uygulanan tesis planlamasının geliştirilmesinde önemli fırsatlar bulunmaktadır.

Tesis planlamanın iyi bir şekilde yapılabilmesi, aşağıdaki soruların göz önünde bulundurulmasına bağlıdır. Bunlar:

1. Tesis planlamanın, taşıma ve bakım maliyetleri üzerindeki etkisi nedir?
2. Tesis planlamanın, çalışanların morali üzerinde ve çalışanların moralinin operasyon maliyetleri üzerindeki etkisi nedir?
3. Organizasyonlar sermayelerinin büyük kısmı ile nasıl bir yatırım yaparlar ve bu yatırım yapıldıktan sonra başka şeylere dönüştürülmesi ne kadar mümkündür?
4. Tesis planlamanın, tesis yönetimi üzerindeki etkisi nedir?
5. Tesis planlamanın, tesisin gelecekteki ihtiyaçlarını da uygun şekilde karşılayabilme yeteneği üzerindeki etkisi nedir? (Tompkins vd., 1996)

Tüm bu sorular kolay şekilde cevaplandırılmasa da, etkin bir tesis planlamanın önemini ortaya çıkarmaktadır. Örneğin birinci soruya bakılırsa, üretim içindeki toplam harcamaların %20 ile

%50'lik bir kısmı malzeme taşıma faaliyetlerine harcanmaktadır. Bunun yanında, etkin bir tesis planlamasının bu maliyetleri %10 ile %30 arasındaki oranlarda azalttığı görülmüştür. Sonuç olarak, etkin tesis planlamaları yapıldığında, üretimdeki verimlilik kat ve kat artacaktır.

Ekonomik etkenler; mevcut sistemler, personel ve ekipmanlar üzerinde kararlı bir yeniden değerlemeye ve yeniden organizasyona zorlamaktadır. Yeni makineler ve prosesler, geçmişteki model ve metotları eskimiş hale getirmektedir. Tesis planlaması, her organizasyon için devamlı bir aktivite olmalıdır ve bu alandaki gelişmeler yakından takip edilmelidir.

Son yıllarda, üretim tekniklerinde ve ekipmanlarında hızlı bir değişim yaşanmış ve gelecekte de bu şekilde devam etmesi beklenirken, ancak çok az sayıda işletme büyük yaralar almadan, eski tesis ve yerleşimleriyle, piyasadaki rekabetçi pozisyonlarını koruyabilmektedir. Bu nedenle, verimlilik artırma çalışmaları olabildiğince çabuk şekilde uygulanmaya çalışılmalıdır.

Fabrika verimliliğini arttıracak ve maliyetleri düşürecek en etkin metotlardan biri, gereksiz faaliyetlerin azaltılması veya elimine edilmesidir. Bir tesis tasarımı bu amaçları, malzeme taşıma, personel ve ekipman kullanımı ile düşük envanter noktalarına bağlı olarak gerçekleştirmelidir.

Bir organizasyon sürekli olarak, üretim operasyonlarını optimum düzeyde verimli olacak şekilde yeniliyorsa, akıştaki aktiviteler ve yerleşim de sürekli olarak yenilenmelidir. Çok nadir bazı durumlarda, yeni bir proses veya bir ekipman grubu mevcut faaliyetleri bozmadan sisteme eklenebilmektedir. Entegre bir teknoloji, yönetim ve personel sistemi üzerindeki tek bir değişiklik bile önemli etkiler oluşturabilmektedir. Sonuç olarak, oluşan bazı optimizasyon problemleri de sadece tesis tasarımı uygulamalarıyla çözümlenebilmektedir.

Tesis planlama çalışmalarında dikkat edilmesi gereken bir başka husus ise, çalışanların sağlığı ve iş güvenliğidir. Özellikle ABD'de 1970'li yıllarda mesleki güvenlik ve sağlıkla ilgili kanunlar çıkarılmıştır. Bu kanunlarla birlikte, işçi çalıştıran tüm işletmelerin yapılarında, yerleşimlerinde ve taşıma sistemlerinde büyük değişiklikler olmuştur. Bu zorunlu ve yapılmadığı takdirde cezaları olan gereksinimler sebebiyle, çalışma alanlarında güvenlik ve sağlık normlarına göre birçok yeni düzenlemeler yapılmıştır.

Bir tesisin yeniden tasarımı sırasında üzerinde durulması gereken diğer bir konu ise enerji tasarrufudur. Günümüzde enerji, önemli ve pahalı bir hammaddedir. Bu sebeple, enerji tasarrufu sağlamaya yönelik ekipmanlar, prosedürler ve malzemeler olabildiğince hızlı şekilde endüstriyel piyasalara sunulmuştur.

Yukarıdaki değişiklikler, genellikle tesis tasarımının diğer bazı yönlerinde de değişiklikler gerektirebilmektedir. Örneğin, bazı enerji yoğun endüstrilerde, üretim proseslerinden açığa çıkan enerjinin, suyun veya ofislerin ısıtılmasında kullanılması için tesisler yeniden düzenlenebilmektedir.

Yeni tesis yatırımlarına veya mevcut tesislerin yenilenmesine sebep olan diğer faktörler ise kamu faktörleri, yangından korunma ve güvenlidir. Gürültü, hava kirliliği ve katı veya sıvı atıkların boşaltımı ile ilgili kamu kuralları ve düzenlemeleri yeni ekipmanları, tesislerde yenilikleri ve operasyonlarda değişiklikleri gerektirmektedir.

Günümüzde halen birçok fabrika ile ilgili yangın haberlerini duymak mümkündür. Bu yangınların sebepleri genellikle fabrika temizliği, düzeni ve tasarımdaki zayıflıklardan doğmaktadır. Bu yüzden işletmeler artık malzeme taşıma, depolama ve üretim sistemlerinde yangın riskini azaltıcı tedbirler almaktadırlar.

Bir diğer problem ise güvenlik yetersizliğinden dolayı yaşanan hırsızlık olaylarıdır. Üretim fabrikalarından çalınan malzeme ve ekipmanlar, işletmelere büyük zararlar vermektedir. Yine malzeme taşıma, malzeme akışı ve tesislerin fiziksel tasarımında yapılacak değişikliklerle şirketlerin kayıpları minimuma indirilebilmektedir.

2.3 Tesis Planlamasının Amaçları

Tesis planlaması, resim çizmeye ya da bir müzik aleti çalmaya benzetilebilir. Etkili bir tesis planı yaparken, bir sanat eseri yaratırken veya yüksek performans gerektiren bir iş yaparken, uyulması gereken genel bazı kurallar, prensipler ve teknikler vardır. Bununla beraber, kurallar, prensipler ve teknikler çok iyi bir şekilde anlaşılmalı ve sonuçlar üzerinde etkili olacak uyumsuzluklar ve amaçlarla ilişkili bir düşünce geliştirilmelidir. Tesis planlaması, her ne kadar bilimsel bir iş olsa da başarısı planlayıcının deneyimleriyle yakından ilişkilidir.

Bir tesis planı için kısa, özlü ve anlamlı bir amaç belirlemek zordur. Bununla beraber, tesis planlaması, tesis yeri seçimi ve tesis tasarımı olarak bölümlere ayrıldığında, daha uygun amaçlar ortaya çıkarılabilir. 1930 yılında W. G. Holmes, endüstriyel tesislerin yer seçimindeki amaçlar için, aşağıdaki genel kabul görmüş tanımı yapmıştır. Buna göre, “tesis yeri seçimi kararı verilirken amaç; üretilen ürün üzerindeki, tedarikten müşteriye kadarki tüm süreç içerisinde oluşan maliyetlerin göz önünde bulundurulması ile belirlenecek yerin işletmeye en iyi avantajları sağlamasıdır”. Bu tanım basit şekilde genelleştirilerek, sadece ürün değil, hizmetlerde de göz

önünde bulundurulursa, endüstriyel veya endüstriyel olmayan tüm işletmeler için geçerli hale getirilebilir.

Tasarım veya ekipmanlar ile ilgili alanların düzenlenmesi işlemi, genel tesis planlaması prosesinin bir yönü olsa da, tesis planlaması faaliyetlerinin asıl amacı mümkün olabilecek en iyi tesis tasarımının geliştirilebilmesi olmalıdır. Tesis planlamasının tipik bazı amaçları aşağıda belirtilmiştir (Tompkins vd., 1996):

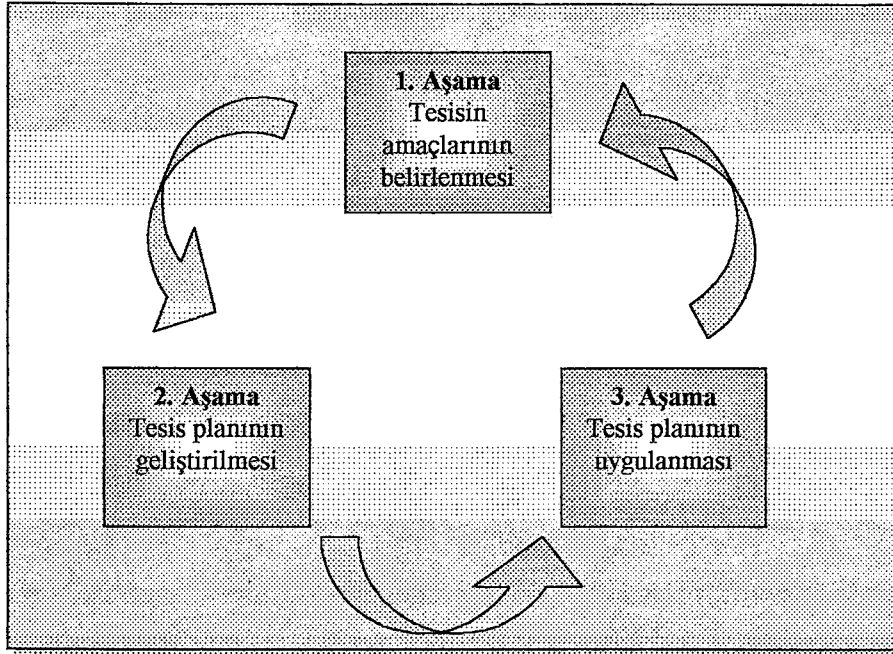
- 1- Organizasyon misyonunu, malzeme taşıma, malzeme kontrol ve tezgahların temizliği sistemlerinin geliştirilmesi yönünde desteklemek.
- 2- İnsanların, ekipmanların, alanların ve enerjinin etkin şekilde kullanılması.
- 3- Parasal yatırımların azaltılması.
- 4- Bakım kolaylığı ve esnekliğinin sağlanması.
- 5- Çalışanların iş güvenliğinin ve tatmininin sağlanması.

Bir tesis tasarımında yukarıda listelenmiş olan tüm amaçların birlikte gerçekleştirilmesini beklemek yanlış olacaktır. Buradaki bazı amaçlarda uyumsuzluklar olabilmektedir. Bunun ardından, uygun kriterler kullanılarak her alternatifin performansının dikkatlice değerlendirilmesi önemlidir.

Tesis planlaması, tesis yeri seçimi ve tesis tasarımının bir bileşimidir. Bu anlamda tesis planlamasının amacı, tesis yeri seçimi ve tesis tasarımının amaçlara uygun olarak planlanmasıdır.

2.4 Tesis Planlaması Prosesi

Tesis planlaması prosesini en iyi şekilde anlayabilmenin yolu, onu tesis yaşam çemberi içinde incelemektir. Tesisler, bir defa planlanarak kurulmalarına rağmen, yenilemek ve değişen amaçlara uygun hale getirmek için sık sık yeniden planlanması gerekmektedir.



Şekil 2.4 Tesis Yaşam Çevrimi (Tompkins vd., 1996)

Tesis planlaması ve yeniden planlama prosesleri, Şekil 2.4’de gösterilen sürekli yaşam çevrimine bağlıdır. Tesis planlaması, tam bir bilim dalı olmamasına rağmen organize ve sistematik bir yaklaşım gerektirmektedir. Burada özellikle, altı aşamayı içeren aşağıdaki tasarım prosesi mühendisliği uygulanmalıdır:

1. Problemin tanımlanması.
2. Problemin analizi.
3. Alternatif tasarımların geliştirilmesi.
4. Alternatiflerin değerlendirilmesi.
5. Tercih edilen tasarımın seçilmesi
6. Tasarımın uygulanması.

Çizelge 2.2’de, tasarım prosesi mühendisliği ve tesis yaşam çevrimi aşamaları karşılaştırılmıştır. Tesis yaşam çevriminin birinci aşaması, yeni kurulacak bir tesisin veya mevcut bir tesisin amaçlarının belirlenmesini içermektedir. İlk aşama, tesis planlama ve tesis yönetimi işinin tüm sorumluluklarını üstlenen kişiler tarafından gerçekleştirilir.

Tesis yaşam çevriminin ikinci aşaması olan tesis planının geliştirilmesi, Çizelge 2.2’de de gösterildiği gibi tasarım prosesi mühendisliğinin dört adımı olan analiz, oluşturma, değerlendirme ve seçmeden oluşmaktadır. Tasarım prosesi mühendisliği, tesis planlamasında

uygulandığında, tatmin edici tesis planlarının elde edilebilmesi için tekrar eden prosesler gerekmektedir. Tekrarlı proses, tasarım prosesi mühendisliğinin adımları olan analiz, oluşturma, değerlendirme ve seçmenin oluşturduğu çevrimi içerir.

Çizelge 2.2 Tasarım prosesi mühendisliği ile tesis yaşam çevriminin karşılaştırılması
(Tompkins vd., 1996)

Tasarım Prosesi Mühendisliği	Tesis Yaşam Çevrimi
• Problemin tanımlanması.	• Tesisin amacının tanımlanması.
• Problemin analizi. • Alternatif tasarımların oluşturulması • Alternatiflerin değerlendirilmesi • Tercih edilen tasarımın seçilmesi	• Tesis planının geliştirilmesi
• Tasarımın uygulanması	• Tesis planının uygulamaya konulması

Tasarım prosesi mühendisliği uygulandığında, tesis tasarımı aşağıdaki proses şeklinde sonuçlanır:

1. *Tesisin amacının tanımlanması (yeniden tanımlanması):* İster yeni bir tesisin planlanması olsun ister mevcut bir tesisin geliştirilmesi amaçlı planlama yapılsın, üretilecek ürünler veya sunulacak hizmetler açıkça ve nicel olarak ortaya konmalıdır. Faaliyetlerin hacimleri ve seviyeleri mümkün olduğu durumlarda tanımlanmalıdır.
2. *Amaçların başarılabilmesi için, birincil ve destekleyici faaliyetlerin açık şekilde belirtilmesi:* Gerçekleştirilmesi gereken birincil ve destekleyici aktiviteler ve karşılanması gereken ihtiyaçlar; operasyonlar, ekipman, personel ve malzeme akışı terimleri yönünden açıkça belirtilmelidir. Destekleyici faaliyetler, birincil faaliyetin en az kesintiye uğrayacak şekilde gerçekleştirilebilmesini sağlar. Bir örnek olarak, üretim faaliyeti için bakım onarım, destekleyici faaliyettir.
3. *Bütün aktiviteler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi:* Tesis sınırları içindeki faaliyetlerin birbirini nasıl etkilediği yada desteklediği, ilişkilerinin kurulmasıdır. Kantitatif ve kalitatif tüm ilişkiler tanımlanmalıdır.

4. *Tüm faaliyetler için gerekli alanların hesaplanması:* Her bir faaliyet için gerekli alanların hesaplanmasında bütün ekipman, malzemeler ve personel ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır.
5. *Alternatif tesis planlarının oluşturulması:* Alternatif tesis planları, alternatif tesis yeri seçimlerini ve alternatif tesis tasarımlarını içerecektir. Alternatif tesis tasarımları, alternatif yerleşim tasarımlarını, yapısal tasarımları ve malzeme taşıma sistemlerini içerecektir. Bazı özel durumlarda tesis yeri seçimi ve tesis tasarımı kararları birleştirilerek verilebilir.
6. *Alternatif tesis planlarının değerlendirilmesi:* Kabul edilen kriterin temelinde, belirtilen planların sıraya konulması vardır. Her aday plan için, subjektif faktörler belirlenir ve bu faktörlerin tesisi yada operasyonları nasıl etkilediği bulunur.
7. *Bir tesis planının seçilmesi:* Buradaki problem, organizasyon amaçları açısından en faydalı ve kabul edilebilir planın hangisi olduğuna karar vermektir. Bir tesis planının değerlendirilmesinde maliyet, genellikle göz önünde bulundurulan ilk unsur değildir. 6. adımda oluşturulan bilgi, son planın seçiminde kullanılmaktadır.
8. *Tesis planının uygulamaya konulması:* Bir plan seçildiğinde, planlamanın büyük kısmı tesisin gerçek yapısından veya bir alanın yerleşiminden önce gelmelidir. Yerleştirmenin denetlenmesi, başlamaya hazır hale gelinmesi, başlanması devam edilmesi ve hataların analizi tesis planlamanın uygulama safhasının parçalarıdır.
9. *Tesis planının devam ettirilmesi ve adaptasyonu:* Tesislerde yeni ihtiyaçlar ortaya çıktıkça, planlarda eş zamanlı olarak modifiye edilmelidir. Enerji tasarruflarının olup olmayacağı veya geliştirilmiş malzeme taşıma sistemlerinin kullanılıp kullanılmayacağı düşünülmelidir. Ürün tasarımında yapılacak bir değişiklik, taşıma ekipmanlarında veya akış şekillerinde ve dolayısıyla tesis planında değişiklikler gerektirebilir.
10. *Tesisin amacının yeniden belirlenmesi:* Daha önce 1. adımda da belirtildiği gibi, üretilecek ürünler veya sunulacak hizmetler ölçülebilir terimlerle belirtilmelidir. Mevcut tesislerde modifikasyon, genişleme vb. potansiyeli durumuna göre, bütün bilinen değişiklikler göz önünde bulundurulmalı ve yerleşim planına entegre edilmelidir (Tompkins, 1996).

Bu noktada, bir uyarı yapılması gerekmektedir. Yani, burada yapılan vurgulardan dolayı, bütünleştirilmiş bir tesis planlamada şu sonuç çıkarılmamalıdır; “bir kafeteryadaki, kilerin yeniden planlama prosesi ile yeni bir üretim tesisinin planlaması hemen hemen aynıdır”. Bir projenin faaliyet alanı, çalışmanın yoğunluğunu, büyüklüğünü ve titizliğini etkilemektedir.

3. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Yerleşim, faaliyetler arasındaki fiziksel ilişkilerin kurulmasında rol oynadığından dolayı, yerleşim alternatiflerinin oluşturulması tesis planlama sürecinde kritik bir adım teşkil etmektedir. Son olarak seçilen yerleşimin, oluşturulan yerleşimler arasından seçildiği yada bir tanesinin baz alındığı kabul edilirse, tesis planlamacı için önemli olan nokta yerleşim alternatiflerini oluştururken hem yaratıcı hem de geniş kapsamlı düşündürmektir (Tompkins, 1996).

Bu bölümde, yerleşim alternatiflerini geliştirme süreci üzerine yoğunlaşmaktadır. Pazarlama, dağıtım, imalat ve tesis planlama arasındaki stratejik ilişkilere dikkat edilerek uzun vadeli görüş açısına sahip olunmaktadır. Diğer organizasyonel birimlerin planları ile tesis planının koordine edilmesinin önemi açıktır. Tesis yerleşim stratejisi genel stratejik plandan ortaya çıkmalıdır. Ürün, imalat, pazarlama, dağıtım, yönetim ve insan kaynakları planları tesis yerleşimini etkileyecek ve onun tarafından etkilenecektir. Tesis planlamasını etkileyen alan ihtiyaçları ve faaliyet ilişkilerinin de kapsamlı olarak gözden geçirilmesi gereklidir. Hem alan ihtiyaçlarının saptanmasının, hem de faaliyet ilişkilerinin kurulmasının, bir tesisin yerleşiminin tasarımında kritik öneme sahip olduğu açıktır.

Öncelikle, tesis yerleşimini mi, yoksa malzeme taşıma sistemini mi oluşturmanın uygun olduğu belirlenmelidir. Bir çok görüşe göre önce yerleşim tasarlanmalı ve sonra malzeme taşıma sistemi geliştirilmelidir. Ama malzeme taşıma kararları, bir yerleşimin etkinliği üzerinde önemli etkilere sahip olabilmektedir. Örneğin aşağıdaki sorgular yerleşimi etkileyecektir.

- 1) Yarı mamul, ekipman ve hammaddenin merkezi yada merkezi olmayan şekilde depolanması.
- 2) Sabit yada değişken taşıma hatları.
- 3) Sistemler için planlanan taşımanın birim miktarı.
- 4) Taşımada kullanılan otomasyonun derecesi.
- 5) Malzemelerin bilgisayarlı kontrol, fiziksel kontrol yada envanter kontrol seviyesinin tipi (Tompkins, 1996).

Bu sorguların her biri, fonksiyonlar arasında ihtiyaç duyulan yakınlık derecesi, personel, teçhizat ve alan ihtiyaçlarını etkiler. İnsanların ilk olarak yerleşim üzerinde odaklanmalarının nedeni, imalat süreci üzerindeki aşırı önem olabilmektedir. Örneğin eğer B süreci A sürecinden

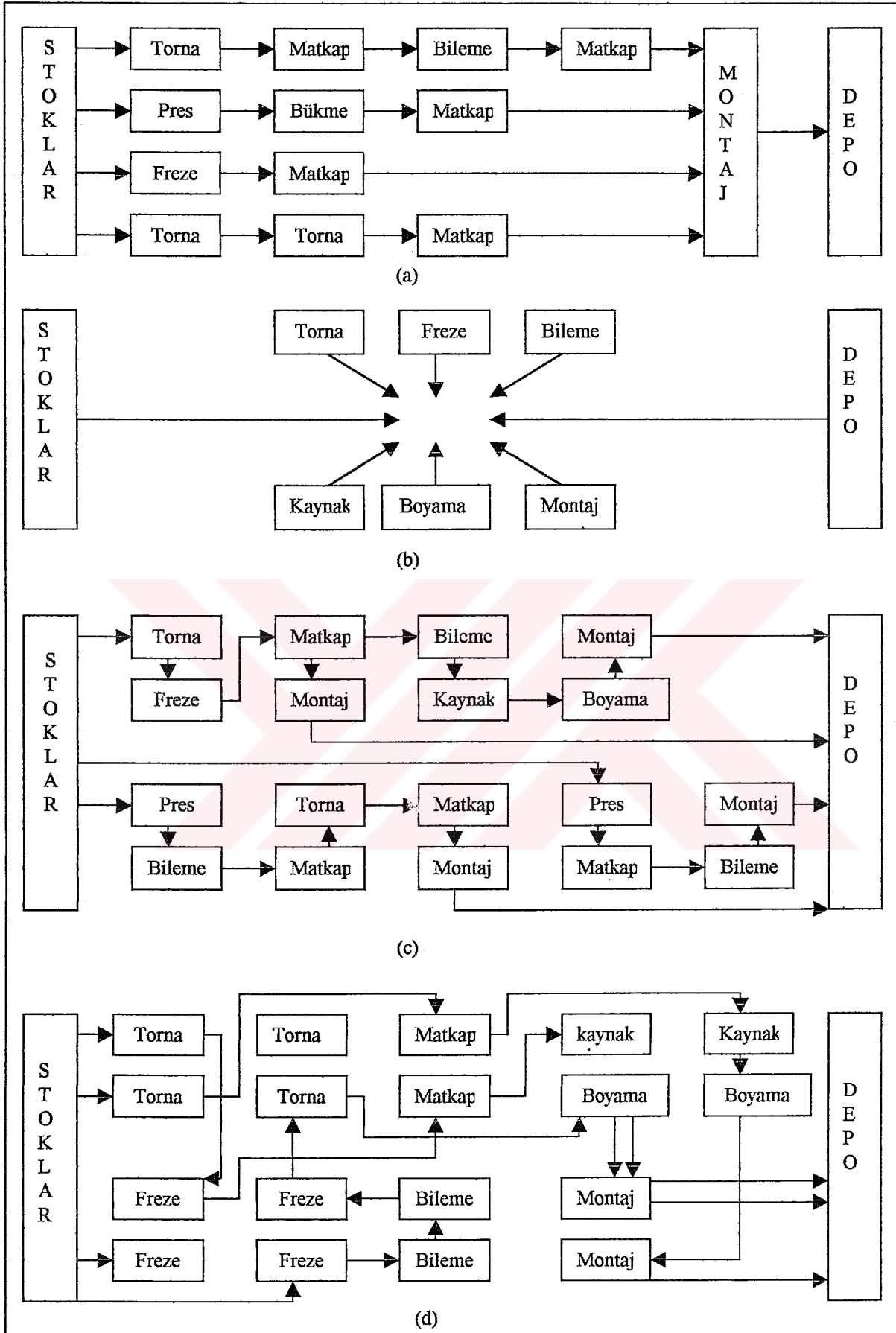
hemen sonra gerçekleşiyorsa, bölüm B'yi bölüm A'nın yanına yerleştirmek kusursuz şekilde mantıklı görünebilir. Böyle bir durumda taşıma problemi, malzemeleri A'dan B'ye en kolay şekilde taşıyacak yolu bulmak, durumuna indirgenebilir. Geleneksel görüş taşıma probleminin yerleşim tamamlandıktan sonra belirlenebileceğini ileri sürmektedir. Ancak, malzemeler A'daki bir makineden B'deki bir makineye direkt olarak taşınamıyorsa, A'da, B'de veya herhangi bir yerde yarı mamul (WIP) depolamaya gereksinim duyulmaktadır. Depo ve kontrol gereksinimlerine dayanarak, merkezi bir yarı mamul depolama alanı kullanılabilir. Böylece, malzemeler A'dan depoya taşınırlar, oradan da B'ye gönderilirler. Merkezileşmiş bir yarı mamul depolama sistemi ile malzemeler A'dan B'ye taşınmamakta ve B'nin A'nın yanına yerleştirilme zorunluluğu ortadan kalkmaktadır. Bunun yanında merkezileşmiş sistem, süreç sırasının değiştiği durumlarda arttırılmış esneklik sağlamaktadır. Önce yerleşimin oluşturulması görüşünün diğer bir sebebi de, daha az taşımanın en iyisi olacağı ile ilgili kalıplaşmış yanlış görüş olabilmektedir. Bütün sistemin depo ve kontrol içerdiği kabul edildiği zaman, “daha az” ve “daha çok ” kavramları mesafeyle ilgili ise, daha fazla taşıma daha az taşımadan iyi olabilmektedir. Tecrübeler, malzemelerin işlenme sayıları konusunda “daha az taşıma en iyisidir” görüşünün doğru olduğunu göstermektedir, fakat asıl sorun her zaman taşıma mesafesi değildir. Buna göre, problem malzeme taşıma sisteminin mi yoksa tesis yerleşiminin mi öncelikli geldiği ile ilgilidir. Buradaki cevap “her ikisi de” olmalıdır. Yerleşim ve taşıma sistemleri eş zamanlı olarak tasarlanmalıdır. Bununla birlikte, tasarım sürecinin karmaşıklığı genellikle sıralı bir sürecin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle birkaç taşıma sistemi alternatifinin geliştirilmesi ve bunların herbiri için uygun yerleşimlerin tasarlanması uygun olacaktır. Tercih edilen yerleşim bütün sistemin düşünülmesiyle sonuçlanan olacaktır (Tompkins, 1996).

3.1 Temel Yerleşim Tipleri

4 tipteki departmanın planlamasından söz edilebilir;

- 1) Sabit konumlu ürün departmanları (SKÜD)
- 2) Üretim hattı departmanları (ÜHD)
- 3) Ürün ailesi departmanları (ÜAD)
- 4) Proses departmanları (PD)

Şekil 3.1'de, her tip departman için malzeme akışları gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Alternatif yerleşim tipleri (a) üretim hattı ürün departmanı (b) sabit konumlu ürün departmanı (c) ürün ailesi ürün departmanı (d) proses departmanı (Tompkins vd., 1996)

SKÜD için yerleşim, kavram olarak diğer 3'ünden ayrılır. Diğer yerleşimlerde malzeme iş istasyonuna getirilir, SKÜD'de ise iş istasyonu malzemeye götürülür. Uçak montajında, gemi yapımında ve bir çok inşa projesinde kullanılır. SKÜD yerleşimi iş istasyonunun malzeme yada ürün çevresinde sıralanmasını ve yerleşmesini içerir. SKÜD genelde çok büyük, hantal ürünler ile ilgili olmasına rağmen, uygulamada kesin olarak sınırlandırılmamışlardır. Örneğin bilgisayar sistemlerinin montajında malzemeler, alt montaj parçaları, kasalar, dış donanımlar ve diğer parçalar bir sistem bütünlüğüyle, test istasyonuna getirilirler ve ürün tek bir konumda monte ve test edilmiş olur. Bu çeşit yerleşimler sabit ürün yerleşimi olarak değerlendirilebilir.

Bir ÜHD için yerleşim, hatta üretilen parçaların ilerleme sırası üzerine kurulmaktadır. Malzemeler tipik olarak bir iş istasyonundan direkt olarak bitişik bir diğerine taşımaktadırlar. Yüksek hacimli üretimin yapıldığı yerlerde, iyi planlanmış akış yolları bulunmaktadır. Bu çeşit yerleşimler ürüne göre yerleşim olarak değerlendirmektedirler.

Bir ÜAD için yerleşim, parçaların ürün aileleri oluşturmak için gruplanmaları üzerine kuruludur. Farklı parçalar ortak işlem sıralarına, şekillerine, malzeme bileşimlerine, alet gereksinimlerine, depolama veya kontrol gereksinimlerine vs. göre ailelere gruplanabilirler. Ürün ailesi sahte ürün olarak işlem görür ve sahte ürün yerleşimi gerçekleştirilir. Sahte ürün için gereken işlem teçhizatı bir imalat hücresine yerleştirilir ve gruplanırlar. Sonuçta oluşan yerleşim tipik olarak yüksek derecede departman içi akışa ve biraz da departmanlar arası akışa sahip olacaktır; bu da bir grup yerleşimi ve ürün ailesi yerleşimi olarak değerlendirilmektedir.

Bir PD yerleşimi, benzer proseslerin birlikte gruplanmaları ve ayrı proses departmanlarının, departmanlar arasındaki akış baz alınarak birbirleri ile ilgili olarak yerleştirilmelerini içermektedir. Tipik olarak, yüksek derecede departmanlar arası akış ve düşük derecede departman içi akış ortaya çıkmaktadır. Böyle yerleşimler proses yerleşimi olarak değerlendirilmekte ve ayrılamaz parçalar veya parça grupları için faaliyet hacmi, grup yerleşimini veya ürün yerleşimini gerçekleştirilmeye yeterli olmadığında kullanılmaktadırlar. Sabit ürün, ürün, grup ve proses yerleşimleri Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te karşılaştırılmaktadır. Tipik olarak, her bir yerleşim tipine uyan bazı ürünlerin bulunduğu özel bir durum oluşabilir. Bu yüzden, genellikle sonucun bir kombinasyon veya melez bir yerleşim olacağı düşünülebilir (Tompkins vd, 1996).

Çizelge 3.1 Sabit konumlu ürün yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları
(Tompkins vd., 1996)

Sabit Ürün Yerleşimi	
<i>Avantajlar</i>	<i>Sınırlamalar</i>
1. Malzeme taşınması azalır.	1. Personel ve araç-gereç taşınması artar.
2. Takım yaklaşımı uygulandığında işlem ve sorumluluk devamlılığı sağlanır.	2. Benzer ekipmanların kullanımını gerektirebilir.
3. İş zenginleştirme fırsatları sağlar.	3. Personel için daha yüksek yetenekler gerektirir.
4. Kalite ve saygınlığı iletir çünkü birey "tüm işi" tamamlayabilir.	4. Genel denetim gerektirir.
5. Yüksek derecede esnek; ürün tasarımındaki, ürün karışımındaki ve üretim hacmindeki değişikliklere imkan tanır.	5. Arttırılmış alan ve daha fazla yarı mamülle sonuçlanabilir.
	6. Üretim terminlemede sıkı kontrol ve koordinasyon gerektirir.

Çizelge 3.2 Ürün yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları (Tompkins vd., 1996)

Ürün Yerleşimi	
<i>Avantajlar</i>	<i>Sınırlamalar</i>
1. Düzgün, basit, mantıklı ve direkt akış hatları ile sonuçlanır.	1. Makinenin durması hattı durdurur.
2. Küçük yarı mamul envanterleri ile sonuçlanmalıdır.	2. Ürün tasarımındaki değişimler yerleşimin kullanılmaz duruma gelmesine sebep olur.
3. Birim başına düşen toplam üretim zamanı kısadır.	3. En yavaş istasyon hattın hızını belirler.
4. Malzeme taşıma gereksinimleri azaltılmıştır.	4. Genel denetim gereklidir.
5. Personel için daha az yetenek gerekir.	5. Genellikle yüksek araç-gereç yatırımı ile sonuçlanır.
6. Basit üretim kontrolü mümkündür.	
7. Özel amaçlı araç-gereçler kullanılabilir.	

Çizelge 3.3 Grup yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları (Tompkins vd., 1996)

Grup Yerleşimi	
<i>Avantajlar</i>	<i>Sınırlamalar</i>
1. Ürünleri gruplayarak daha yüksek makine yararları sağlanabilir.	1. Genel denetim gereklidir.
2. Proses yerleşimine göre daha düzgün akış hatları ve daha kısa taşıma mesafeleri beklenir.	2. Takım üyelerinin tüm işlemler üzerinde yetiştirilebilmeleri için daha fazla çalışan yeteneği gerektirir.
3. Genellikle takım ruhu ve iş genişlemesi yararları ile sonuçlanır.	3. Kritik olarak ayrılmaz hücrelerden geçen akışları dengeleyen üretim kontrolüne bağlıdır.
4. Ürüne göre yerleşimin ve prosese göre yerleşimin bazı yararlarına sahiptir; ikisinin bir uzlaşımıdır.	4. Eğer her hücredeki akış dengelenmemiş ise, hücreden veya hücreye ek malzeme aktarma ihtiyacını ortadan kaldırmak için hücrede yarımamül depoları gereklidir.
5. Genel amaçlı araç-gerecin değerlendirilmesini teşvik eder.	5. Ürün ve prosese göre yerleşimler bazı dezavantajlarına sahiptir; ikisinin bir uzlaşımıdır.
	6. Özel amaçlı araç-gereç kullanımını azaltır.

Çizelge 3.4 Proses yerleşimlerinin avantajları ve sınırlamaları (Tompkins vd., 1996)

Proses Yerleşimi	
<i>Avantajlar</i>	<i>Sınırlamalar</i>
1. Arttırılmış makine kullanımı.	1. Arttırılmış malzeme taşıma ihtiyaçları.
2. Genel amaçlı araç-gereçler kullanılabilir.	2. Daha fazla karışık üretim kontrolü gereksinimi.
3. Personel ve ekipman tahsisinde yüksek derecede esneklik.	3. Arttırılmış yarı mamul.
4. Malzeme aktarma ihtiyaçları azaltılmıştır.	4. Daha uzun üretim hatları.
5. Personel için görev değişikliği.	5. Görev değişikliği gereksinimini karşılayabilmek için daha yüksek yetenek gereksinimi.
6. Özelleşmiş denetim mümkündür.	

3.2 Tesis Yerleştirmenin Tarihsel Gelişimi

Tesis yerleřimi, birbirleriyle kuvvetli iliřkileri olan tesisler arasındaki hareketleri dűzgűnleřtiren, bir alıřma alanı dűzenlemesidir. Tesis yerleřimi amaları, organizasyonun hizmet yada űretim iřletmesi olduėuna bakılmaksızın benzerdir. Tesisler organizasyonların en bűyűk ve en pahalı varlıklarını temsil etmeleri sebebiyle, bűyűk űnem tařımaktadır (Sthahl, 1990).

Tesislerin yerleřim planlamaları, bir organizasyon tarafından karřılanması gereken űnemli bir lojistik yűnetimi konusunu oluřturmaktadır. Erken ařamalarda ilgilenilmezse, iřletme iin lojistik karıřıklıklar ortaya ıkartabilirler. Tesis yerleřim planlamasındaki ana kaygı, kűtű bir malzeme tařıma sisteminin, iř problemleri oluřturacaėını gűz űnűne alarak, malzeme tařıma maliyetlerini dűřűrebilmektir. Bir anlamda “en iyi malzeme tařıma hi tařımamaktır” (Sims, 1990)

Matematiksel modelleme, yerleřim problemlerini űzmek iin kullanılabilir. Yinede, problemin sadece kantitatif gűrűnűmlerinin dikkate alınmayacaėı gűz űnűnde bulundurulmalıdır. Karar verme sűrecini etkileyebilecek ve tesisin uzak bir yere konumlandırılmasına sebep olacak estetik, gűvenlik ve űrűn karıřımı gibi kalitatif faktűrler de vardır. Dolayısıyla, bu gűrűnűmler gűz ardı edilmemelidir. Bazı uzmanlar bazen en iyi uzlařmanın, doėru (optimal) űzűm olduėunu vurgulamaktadırlar. Bu yűzden tesis yerleřim problemini ilgilendiren senaryonun tamamı, pratik iřlemsel bir űzűm űzerinde anlařmaya varılmadan űnce yűnetim tarafından gűzden geirilmelidir. Tesis yerleřtirme ile ilgili arařtırmalar, Jajodia ve Heragu tarafından ilerletilmiřtir. Bununla birlikte, yakın zamandaki bilgisayarlı yerleřim arařtırmaları Welgama ve Gibson tarafından yapılmıřtır. Vollman ve Buffa yerleřim problemlerinin analizinde yardımcı olacak ip uları űnermiřlerdir: ne var ki her yerleřim probleminin kendi karakteristik űzeliėi vardır.

3.2.1 Tesis problemleri iin űzűmler aranması

Tesis yerleřim problemi, “nasıl, farklı tesis dűzenlemelerinin yapılabilceėi” ile ilgilidir. Literatűre bakıldıėında, yerleřim probleminin űzűműyle alakalı; kabul edilebilir bir taneden, optimal olan űzűm sınıflandırmasına varıncaya kadar birok yaklařım kullanılabilir. Bir yaklařım, kendi yaratıcılıkları ve deneyimlerine dayanarak metodlar geliřtirecek olan iřletme iindeki bir takım ile ilgili olabilir. Her műmkűn űzűm űnceden belirlenmiř bazı kriterlere gűre deėerlendirilir ve en iyisi seilir. Bu doėru bir yaklařım olarak gűrűlebilir, fakat genellikle yorucu ve zaman alıcı olabilir. Dolayısıyla bu, probleme űzűm űretmek iin istenen bir metot olmayabilir. Bununla birlikte karar verme sűrecinde yardım etmesi iin insanların deneyimleri

dikkate alınmalıdır. 1970'lerin ortasında, Scriabin ve Vergin tarafından yayınlanan bir yazıdan sonra tesis yerleşim problemini ilgilendiren literatürde, bir tartışmanın ortaya çıktığını söylemek uygun olacaktır. Bu yazı, bilgisayar algoritmaları tarafından oluşturulan ile insanın görsel metodlarına dayanan yerleşim çözümleri arasındaki karşılaştırma ile ilgilidir. Araştırmanın sonuçları, görsel metodların, o zamanki bilgisayar yazılımlarının kabiliyetlerinden daha iyi performans verdiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, Buffa tarafından değerlendirilmiş ve Scriabin ile Vergin birlikte bir cevap vermişlerdir (Buffa, 1976). Coleman sonuçlara kendi şartlarını eklemiştir. Block daha fazla araştırmanın yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bazen akış karakteristiklerine göre saklı yolları açığa çıkarmak ve bunu, yerleşimi belirlemeye yardım etmek için kullanmak gerekli olmaktadır. Bu çeşit bir yaklaşım herhangi bir kuraldan yada tahmin çalışmasından daha iyi çözümler sağlamaktadır.

Başka bir yaklaşım, Muther'ın sistematik yerleşim planlamasıdır (SLP). Burada grafiksel bir ifade kullanılır ve bir yakınlık matrisi veya her bir tesis çiftinin: A (mutlaka gerekli), E (çok önemli), I (önemli), O (sıradan), U (önemsiz) ve X (kesinlikle istenmeyen) gibi yakınlık oranını ifade eden harfleri paylaştığı bir faaliyet ilişkileri grafiği kurmak ile ilgilidir. Bu arzulanabilirlik seviyeleri, yönetimin isteğini ifade etmektedir. Bunlar güvenlik, maliyet ve tesisler arasındaki mantıksal ilişkiler gibi bilgilerin üzerine kurulmuştur. Akış diyagramları, tesis çiftleri arasındaki gidiş-gelişlerin sayısı gibi kantitatif ilişkileri gösterecek şekilde de oluşturulabilir.

Yakınlık matrisinden, yerleşimi oluşturmak için bir deneme yanılma süreci kullanılabilir ama yine de bu yaklaşım uygulamada etkin bir metod olarak gösterilmemiştir.

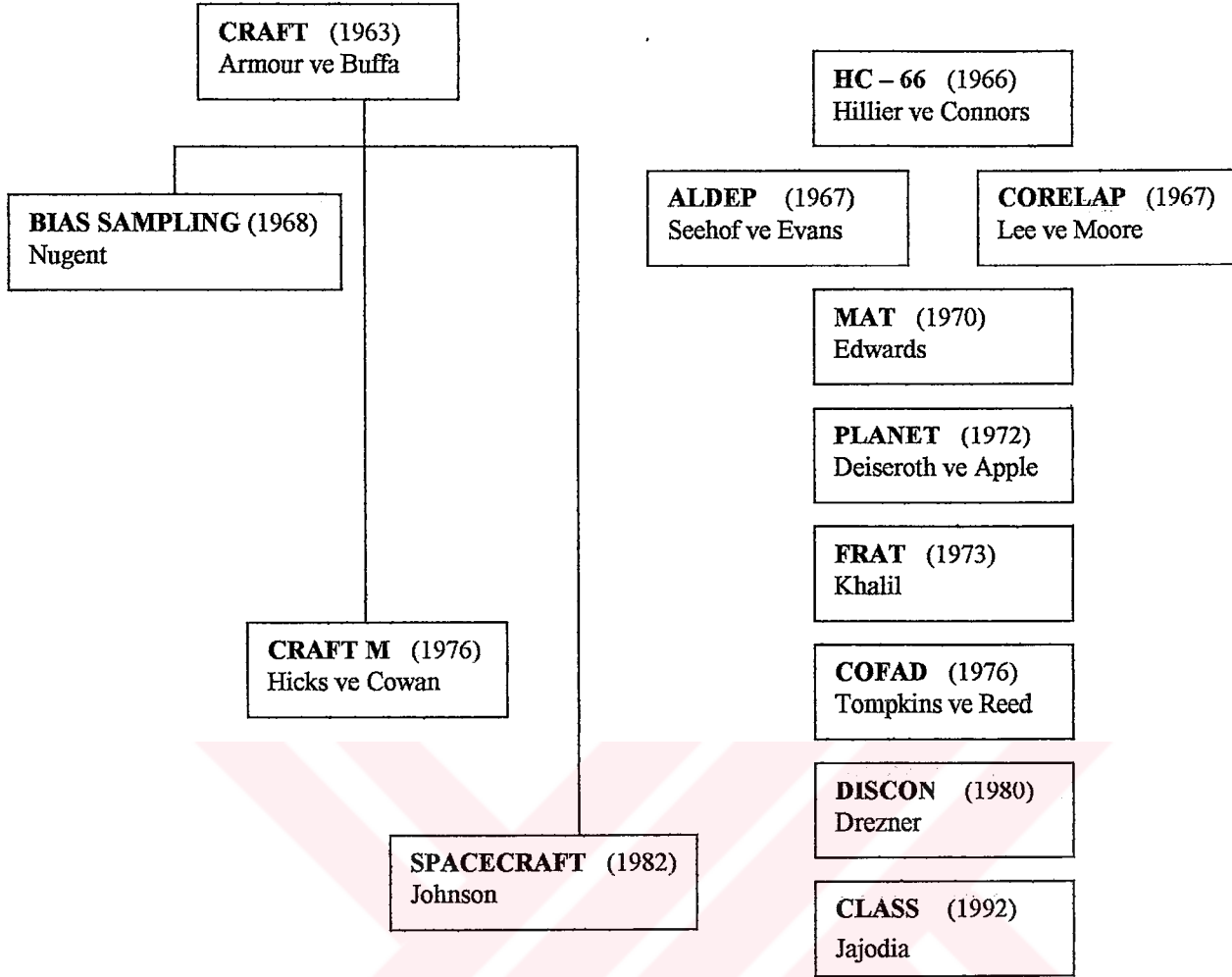
Bununla birlikte, tesis yerleşim problemleri için matematiksel modelleme, optimal bir çözüm elde etmenin yolu olarak önerilmiştir. Koopmans ve Beckmann tarafından geliştirilen ve ilk matematiksel model olan kuadratik atama probleminden bu yana, bu alandaki ilgiler artmıştır. Bu araştırmacılar için yeni ve ilginç bir alan açmıştır. Tesis yerleşim problemine bir çözüm ararken, araştırmacılar kendilerini matematiksel bir model geliştirmeye şartlamışlardır. Tesis yerleşim problemleri ile ilgili birkaç matematiksel model şöyle sıralanabilir; Houshyar ve White tesis planlama problemini tamsayılı programlama modeli olarak görmüşlerdir. Rosenblatt ise yerleşim problemini dinamik programlama olarak formüle etmiştir. Palekar belirsizlik ile uğraşmış, Shang ise çoklu kriter yaklaşımını kullanmıştır. Öte yandan, Leung grafik teorisi formülasyonunu ortaya çıkarmış ve Vancamp da problem için lineer olmayan optimizasyon yaklaşımını kullanmıştır. Montreuil de bir tasarım taslağından yerleşim oluşturmak için lineer programlama modelini kullanmıştır (Conen ve Williamsan, 1998).

3.2.1 Bilgisayarın tesis problemi üzerindeki etkisi

Yerleşim problemine optimal bir çözüm tanımlamak için literatürde birçok uygun matematiksel model bulunmaktadır. Bunlar, basit bir atama modeli formülasyonundan başlayıp, çok daha karışık olanlara doğru değişmektedir. Tesis sayısı arttıkça, problemi analitik olarak ele almak karmaşık ve zor bir hale gelmektedir. Modeli destekleyecek önemli verileri bulmak da formülasyonun bir diğer sıkıntısıdır. Bu yüzden, büyük bir yerleşim problemini çözecek etkin modelin geliştirilmesi, bir araştırma alanına ve mücadeleye dönüşmüştür. Bu sebepler araştırmacıları yerleşim problemi için çözüm arayan bilgisayar programları geliştirmeye yöneltmiştir. Bilgisayarlı yerleşim metotları sezgiseldir; bir optimal çözümü garanti etmemektedirler. Fakat yinede, bilgisayarlardan etkin çözüm beklenmektedir. Bu bilgisayar programları kuruluş ve geliştirme metotları olarak sınıflandırılabilir. Geliştirme metotları bir başlangıç yerleşimini başlama noktası olarak almaktadırlar. Sonuçlar tesislerin konumlarındaki değişikliklerin etkilerinin ışığında değerlendirilmektedirler. Öte yandan, kuruluş metodu algoritmaları ise yerleşime en baştan başlamaktadırlar.

Geliştirme metodu, dezavantaj olarak görülen bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duyarken, değerlendirilebilecek yerleşimler sağlamaktadır. Kuruluş metodu ise bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duymamaktadır; fakat en sonda beklenenden çok farklı tek bir çözüm üretebilmektedirler. Bununla birlikte, tesis yerleşim literatüründe geliştirme ve kuruluş metodu kombinasyonlarını içinde barındıran melez algoritmalar da mevcuttur. Bazı örnekler Kaku, Waescher ve Chamoni'dir.

Literatür, endüstri mühendisliğinin klasik problemlerinden biri olan tesis yerleşim problemi için bilgisayar yazılımları alanında zengindir. Bu yazılımların çoğu yukarıdaki iki kategoriden birine girmektedir. Bazı yazılımlar ticari olarak uygun iken bazıları da akademik olarak uygundur. Şekil 3.2'de tesis yerleşimi için en çok bilinen bilgisayar yazılımlarının kronolojik sırasını çok fazla ayrıntıya girmeden vermeye çalışan bir yapı oluşturulmuştur. Her kutu programın adını, referans yılını ve geliştiren kişinin ismini içermektedir. Ticari kullanım için ilk program, Armour ve Buffa tarafından geliştirilen CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique)'tır ve orijinal olarak geliştirildikten sonra birçok genişletilmiş versiyonu çıkmıştır.



Şekil 3.2 Kronolojik olarak listelenmiş “tesis yerleşim” bilgisayar yazılımı (Canen ve Williamson, 1998)

Sonuç olarak, tesis yerleşim problemi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Bu alanda literatür zengindir. Şirketler tesis yerleşim problemini rekabetçiliği geliştirmek için hayati olarak kabul etseler de bu literatürü ve yazılımı yararlı kılmak için fazla birşey yapmamakta ve çoğu zaman yukarıdakiler birer akademik çalışma olarak kalmaktadır (Canen ve Williamson, 1998).

3.3 Yerleşim Prosedürleri

Tesis planlamacıların yerleşimleri tasarlarlarken faydalanabilecekleri birçok değişik prosedür geliştirdiğinden söz edilmişti. Tesis yerleşimi ile ilgili mevcut literatürün çoğunluğu *kuruluş tipi* prosedürlerin gelişimi üzerine yoğunlaşmış olmasına rağmen, birçok yerleşim çalışması hala mevcut tesis yerleşiminin düzeltilmesini içermektedir.

Tesis yerleşiminin planlanması işlerinin büyük bir kısmı; yeni makinelerin yerleştirilmesi, tesisin bir bölümünün revize edilmesi ve ara sıra malzeme taşıma çalışmaları yapılması gibi mevcut

yerleşimde yapılacak ufak değişikliklerden ibaret olacaktır. Bütün bir yeni üretim hattı veya yeni bir fabrika için planlar oluşturulması ana işi oluştursa da, bir çatışma veya yeni bir genişleme durumları hariç, yerleşim planlamacısının bu tip problemleri değerlendirmesi çok seyrek olmaktadır (Immer, 1950).

Ancak, malzeme taşıma hakkındaki bu tanım, daha önce belirtilen yerleşim ve malzeme taşıma sisteminin tasarımlarının eş zamanlı yapılması gerektiği fikri ile çelişebilir ve bir tesis yerleşiminin düzenlenmesi süreci, mevcut malzeme taşıma sisteminin etkinliğinin gözden geçirilmesi için bir fırsat olarak görülmelidir.

Yerleşim prosedürleri konusu içinde, yerleşim problemi konusunda ki bazı orijinal yaklaşımlara değinmek gereklidir. Bu yaklaşımlarda ki kavramlar bugün önerilen metodolojilerin çoğuna, bir temel olarak hizmet etmektedir

3.3.1 Apple'ın tesis yerleşim prosedürü

Apple bir tesis yerleşimi üretmek için aşağıdaki detaylı şekilde sıralanmış adımları önermiştir (Apple, 1977).

- 1) Temel veriyi elde et.
- 2) Temel veriyi analiz et.
- 3) Üretken süreci tasarla.
- 4) Malzeme akış modelini planla.
- 5) Genel malzeme taşıma planını göz önünde tut.
- 6) Ekipman gereksinimlerini hesapla.
- 7) Her bir iş istasyonunu planla.
- 8) Spesifik malzeme taşıma araçlarını seç.
- 9) İlişkili operasyon gruplarını koordine et.
- 10) Faaliyetler arası ilişkileri tasarla.
- 11) Depolama gereksinimlerini belirle.
- 12) Hizmet ve yardımcı faaliyetleri planla.

- 13) Alan ihtiyalarını belirle.
- 14) Toplam alanı faaliyetlere tahsis et.
- 15) Bina tiplerini göz önünde tut.
- 16) Ana yerleşimi oluşturun.
- 17) Uygun kişiler ile yerleşimi değerlendir, ayarla ve kontrol et.
- 18) Resmi izinleri al.
- 19) Yerleşimi kur.
- 20) Yerleşimin işleyişini izle.

Apple bu adımların verilen sırada uygulanmak zorunda olmadığını belirtmiştir. Çünkü ne iki tane yerleşim, ne de onları oluşturmak için uygulanan prosedürler birbirinin aynıdır. Bununla birlikte, adımlar arasında kabul edilebilir atlamalar yapmak her zaman mümkündür. Geliştirmelerin sonuçları önceden görülemediği için önceki adımlardan birine dönmek veya o adımı tekrarlamak gerekebilir (Apple, 1977).

3.3.2 Reed'in tesis yerleşim prosedürü

Reed, yerleşimin planlanması ve hazırlanmasında ihtiyaç duyulacak adımları, sistematik atak planı olarak, aşağıdaki şekilde önermiştir (Reed, 1961).

- 1) Ürün ve üretilecek ürünleri analiz et.
- 2) Ürünleri imal etmek için gerekli süreçleri belirle.
- 3) Yerleşim planlama çizelgelerini hazırla.
- 4) İş istasyonlarını belirle.
- 5) Depo alan ihtiyaçlarını analiz et.
- 6) Hatlar arası minimum yol genişliğini hesapla.
- 7) Ofis gereksinimlerini hesapla.
- 8) Personel hizmet ve imkanlarını kararlaştır.
- 9) Fabrika hizmetlerini gözden geçir.

10) Gelecekteki genişlemeler için gereksinimleri göz önünde bulundur.

Reed, yerleşim plan çizelgelerini, “yerleşim prosedürünün en önemli safhası” olarak değerlendirmiştir (Reed, 1961). Bu çizelge aşağıdaki adımlardan oluşur.

- 1) Akış prosesleri, dahili işlemler, taşımalar, depolama ve gözlemler.
- 2) Her işlemin standart zamanı.
- 3) Makine seçimi ve dengesi.
- 4) İşgücü seçimi ve dengesi.
- 5) Malzeme taşıma ihtiyaçları.

3.3.3 Muther’in sistematik yerleşim planlama prosedürü (SYP)

Muther, “sistematik yerleşim planlama (SYP)” diye adlandırdığı bir prosedür geliştirmiştir. SYP’nin ana yapısı Şekil 3.3’de verilmiştir.

Faaliyetler arasındaki ilişkiler ve roller anlaşılabilir ve giriş verileri baz alınarak, bir malzeme akış (from-to çizelgesi) ve bir faaliyet ilişkileri analizi (faaliyet ilişkisi çizelgesi) yapılmaktadır. Yapılan analizlerden bir ilişkiler diyagramı oluşturulmaktadır. Bu diyagram Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

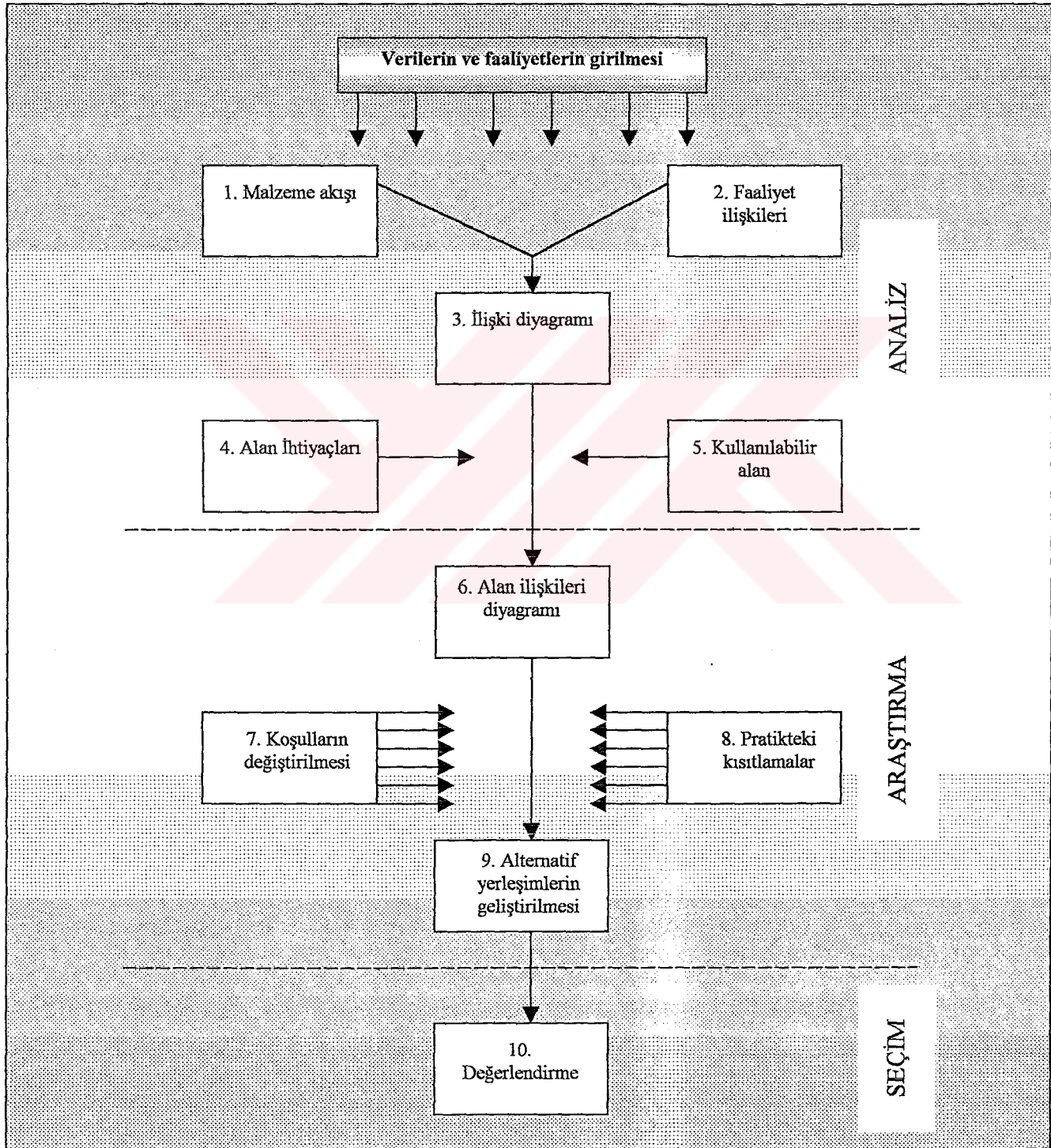
İlişkiler diyagramı, faaliyetleri uzamsal olarak yerleştirir. Yakınlıklar, faaliyet çiftleri arasındaki ilişkiyi yansıtmak için kullanılır. İlişkiler diyagramı, 2 boyutlu olmasına rağmen, çok katlı binalar için 3 boyutlu diyagramların oluşturulduğu bazı örneklerde bulunmaktadır.

Sonraki iki adım ise her bir faaliyete atanacak alan miktarının belirlenmesinden meydana gelir. Her bir departman için departmansal hizmet ve alan gereksinimleri ile ilgili bilgiler önceden hazırlanacaktır. Bir kere alan atamaları yapıncı, her bir departman için alan şablonları oluşturulur ve alan ilişkileri diyagramını elde etmek için alan ilişkiler diyagramına eklenir.” İlişkiler diyagramı örneği Şekil 3.5’de verilmiştir.

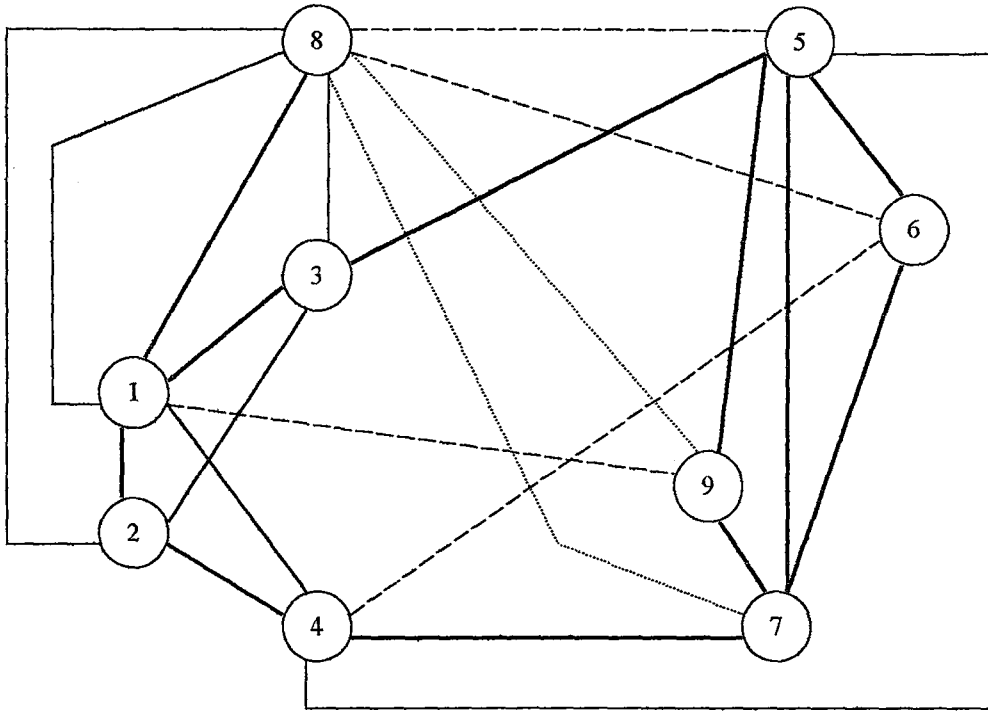
Geliştirilmiş sorgulamalar ve pratik sınırlamalar baz alınarak, belli bir sayıda yerleşim alternatifleri oluşturulur ve değerlendirilir. Bu alternatiflere örnek Şekil 3.6’da verilmiştir. Daha sonra tercih edilen alternatif önerilir (Tompkins vd., 1996).

SYP’yi gerçekleştirme prosesi açık ve nettir, ama bu uygulama aşamasında zorluklar doğmayacağını göstermemektedir. Genellikle faaliyet ilişkilerine ön atama yapılmakta ve

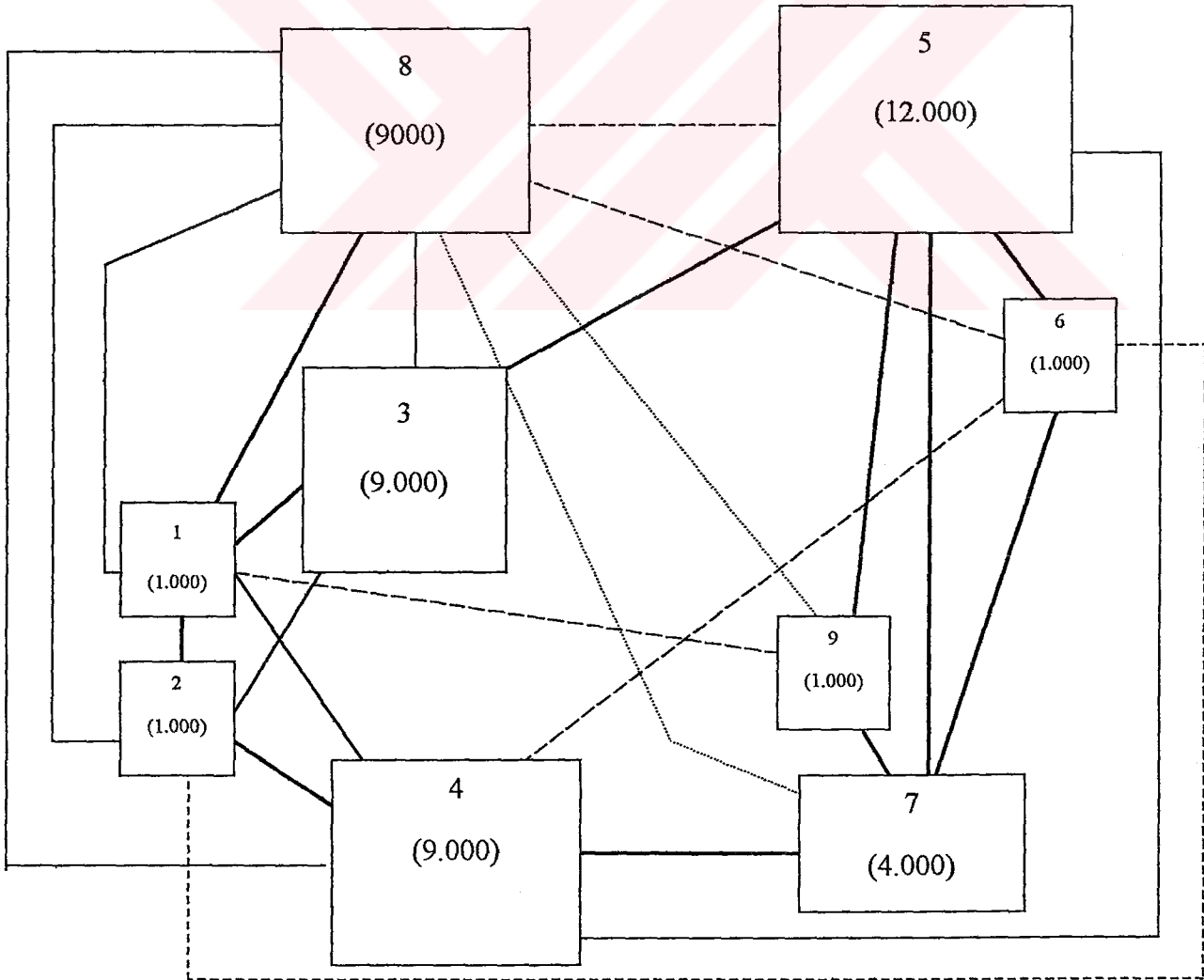
yakınlıklar, faaliyet ilişkilerinin tatmin derecesinin ölçümü için bir kriter olarak kullanılmaktadır. Bu bilgilere ek olarak, denk fayda sağlayacak, bazı alternatif ilişkiler diyagramlarının geliştirilmesi mümkündür. Aynı şekilde, alan ilişki diyagramının kurulmasında kullanılan ayrı ayrı alan şablonlarının şekilleri, alternatiflerin oluşturulmasına etki edebilmektedir. Bunlarla birlikte, bir alan ilişki diyagramının, fizibil yerleşim alternatiflerine dönüştürülmesi, mekanik bir süreç değildir; sezgi, yargılama ve tecrübe bu süreçteki önemli parçalardır .



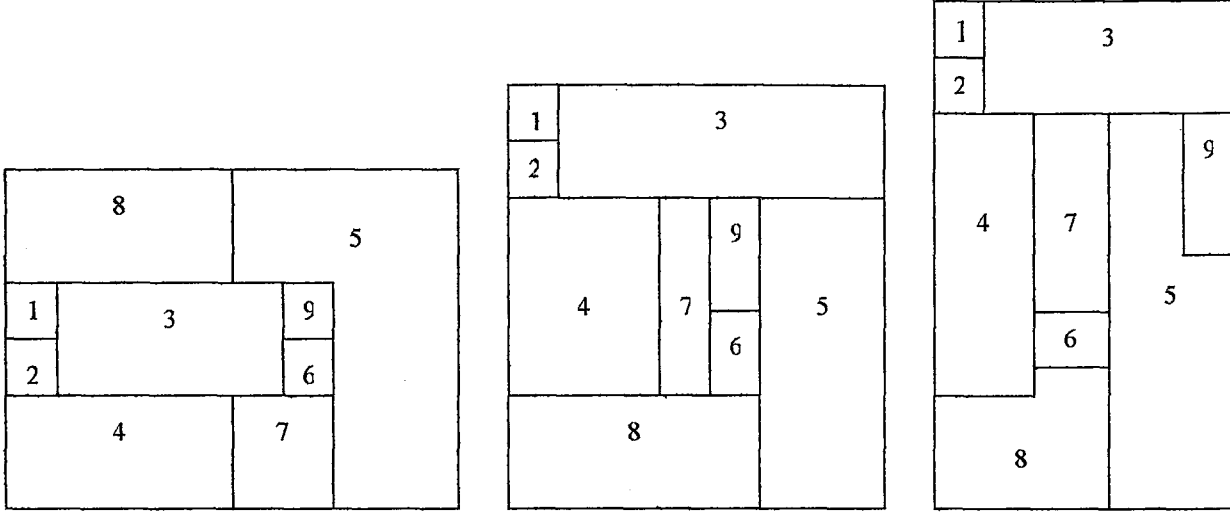
Şekil 3.3 Sistematiik yerleşim planlama (SYP) prosedürü (Tompkins vd., 1996)



Şekil 3.4 İlişkiler diyagramı (Tompkins vd., 1996)



Şekil 3.5 Alan İlişki Diyagramı (Tompkins vd., 1996)



Şekil 3.6 Alternatif blok yerleşimi (Tompkins vd., 1996)

SYP prosedürü ilk olarak blok yerleşim ve daha sonrada planlanan her departman için ayrıntılı bir yerleşim oluşturmak için kullanılabilir. İkinci uygulamada, iş istasyonları arasındaki ilişkiler, depo konumları ve departmanların girişleri ve çıkışları faaliyetlerinin ilgili konumlarını belirlemek için kullanılabilir.

3.4 Akış Alan ve Faaliyet İlişkileri

Bir tesisin ihtiyaçlarını belirlemek söz konusu olduğunda göz önünde bulundurulması gereken üç kavram *akış*, *alan* ve *faaliyet* ilişkileridir. *Akış*, parti boyutuna, ünitenin yüklenme miktarına, malzeme taşıma ekipman ve stratejilerine, yerleşim düzenlemelerine ve binanın yapısına bağlı bulunmaktadır. *Alan*, parti boyutunun, depolama sisteminin, ürün ve ekipmanın tipi ve boyutunun, yerleşim düzenlemelerinin, binanın yapısının, organizasyon ve yönetim politikasının, malzeme taşıma sistemlerinin ve ofis, kafeterya, dinlenme yerlerinin tasarımının ortak bir fonksiyonudur. *Faaliyet ilişkileri* ise malzeme veya personel akışı, çevre durumu, organizasyon yapısı, sürekli iyileştirme metodu (takım çalışması faaliyetleri), kontrol ve proses ihtiyacına göre belirlenmektedir.

Tesis planlaması, tekrarlı (devamlı) bir süreçtir. Tesis planlamacı veya planlama takımı sadece ürün, proses ve üretim planlamacılarıyla değil, alternatifleri ve analiz edilmesi gereken stratejileri (parti boyutu, depolama stratejileri, ofis tasarımı, organizasyon yapısı, çevre politikaları gibi) belirlemek üzere üst yönetimle de beraber çalışmalıdırlar.

Tesis planlamacısı aynı zamanda modern üretimin, akış, alan ve faaliyet ilişkileri konusunda ulaştığı noktaları sürekli araştırmalıdır. Örneğin merkezi olmayan depolama, kullanım noktalarına ulaştırmalar, merkezi olmayan yönetim ve destek fonksiyonları, kaynağında kalite, hücresele üretim, yalın organizasyon yapıları ve küçük boyutlarda satın alma ve üretim, geleneksel faaliyet ilişkilerini etkileyip, değiştirebilir ve akış ve alan ihtiyacını azaltabilir.

Değişime uğrayan bazı geleneksel faaliyet ilişkileri; merkezi ofisler, merkezi bir depolama alanı, tek noktadan hammadde girişi ve yeniden işleme alanlarıdır. Akış gereksinimleri, içeriden veya dışarıdan kullanım noktalarına ulaştırmalar, kullanım alanlarına yakın ve merkezi olmayan depolama, malzeme hareketinin çekme sistemindeki kanbanlar ile kontrolü ve üretim hücrelerindeki gelişmeler sayesinde azalmıştır. Stoklar, üretim, taşıma ekipmanları, ofisler, park alanları ve dinlenme alanları ihtiyacı da gelişmeler doğrultusunda azalmıştır (Tompkins vd., 1996).

3.4.1 Departman yapısına göre planlama

Departmansal planlama; akış, alan ve faaliyet ilişkileri üzerinde düşünmeyi basitleştirmeye yardımcı olmaktadır. Tesis planlamasının bu noktasında organizasyonun kendisiyle çok fazla ilgilenilmemektedir. Daha çok departmanları planlamayla ilgilenilir. Departman planlaması üretim, destek, yönetim ve servis alanlarını kapsamaktadır.

Üretim departmanları, tesis planlama prosesi boyunca beraber gruplanmış olan çalışma istasyonlarından oluşmaktadır. Organizasyon ünitelerinin yapısı, planlama departmanının formasyonuna paralel olmalıdır. Eğer atölyelerin yerleşimi herhangi bir sebeple organizasyonu bozuyorsa, yerleşimde iyileştirmeler yapılmalıdır.

Genel bir kural olarak, departman planlama, fonksiyonel şekilde çalışan atölyelerin birleştirilmesiyle belirlenebilir. Bunun zorluğu “fonksiyonel şekilde” ifadesinin tanımlanmasındadır. “Fonksiyonel şekilde”, basit ürün veya bileşen operasyonlarının gerçekleştirildiği atölyeleri işaret edebileceği gibi, basit prosesleri gerçekleştiren atölyeleri de belirtebilir.

Ürünün hacmi ve ürün çeşidi sayısına bağlı olarak, üretim departmanlarının planlanması, ürüne, sabit ürünlere, ürün ailesine (veya grup teknoloji) ve prosese göre sınıflandırılabilir. Benzer ürün veya komponent operasyonlarının gerçekleştirildiği atölyelerin kombinasyonundan oluşan **ürüne göre planlanan departmanlara** örnek olarak; motor bloğu üretim hattı, uçak gövdesi

montaj departmanı ve düzgün levha metal üretimi departmanları gösterilebilir. Bunlar ürüne göre planlanmış departmanlar olarak gösterilmişlerdir; çünkü bunlar, benzer ürünlerin veya komponentlerin operasyonlarının gerçekleştirildiği atölyelerin birleştirilmesinden oluşmaktadırlar. Ürüne göre planlanmış departmanlar, üretilecek ürünlerin karakteristiklerine göre daha da bölümlendirilebilir.

Motor bloğu gibi standart bir ürüne dair sabit ve büyük miktardaki taleplerin karşılanması durumunda, bu ürünü üretmek için ihtiyaç duyulan bütün atölyelerin bir departman içinde planlaması uygun olacaktır. Sonuçta ortaya çıkan ürüne göre planlanan departmanı da **üretim hattı departmanı** olarak tanımlanabilir.

Seyrek miktarda ve düşük hacimlerde, örneğin uçak gövdesi gibi hantal, hareket ettirilmesi zor ve geniş parçaların talebi söz konusu olduğunda; ürünün üretilmesi için gerekli tüm atölyelerin birleştirildiği tarzda bir departman planı yapılmalıdır. Bu şekilde ürüne göre yapılan planlama departmanları **sabit mamule göre yerleşim departmanı** olarak tanımlanabilir.

Orta düzeyde çeşitlilikteki komponentlere yine orta düzeyde bir talep söz konusu ise, üçüncü bir ürüne göre planlanmış departman tanımlanabilir. Benzer komponentler, grup teknoloji terminolojisinde bir atölyeler “grubu” tarafından üretilir ve komponent aileleri şeklinde tanımlanır. Bu atölyeler grubunun birleştirilmesi, **ürün ailesine göre departmanlaşma** olarak sonuçlanır.

Metal kesme, frezeleme ve tornalama departmanları, benzer prosesler içeren atölyelerin birleştirilmesi ile planlanan departmanlara örnek olarak gösterilebilir. Bu şekilde planlanan departmanlar **prosese göre yerleştirilmiş departmanlar** olarak belirtilir, çünkü benzer prosesleri içeren atölyelerin birleşmesiyle oluşmuşlardır (Tompkins vd., 1996).

Proses departmanlarını tanımlanmadaki zorluk, “benzer” sözcüğünün yorumudur. Örneğin, çark üretimi alanında faaliyet gösteren bir tesiste; çark taşıma, çark şekillendirme ve mil kesme kesin bir şekilde benzer kabul edilmeyerek her biri ayrı departmanlar şeklinde planlanarak gruplanabilirler. Buna karşın, mekanik elektrik anahtarı mekanizmaları üreten bir tesis için, bu üç planlama departmanının ikiye düşürülmesi mümkündür. Hatta daha uç bir örnek olarak, bir mobilya tesisinde, bütün metal işleri bir metal işleri departmanı olarak planlanabilir. Böylelikle aynı üç proses benzer ve gruplanmış basit bir prosese göre yerleştirilmiş departmana dönüştürülebilir. Hangi atölyelerin benzer olarak kabul edileceği sadece atölyelere değil, aynı zamanda atölyeler arasındaki ilişkilere ve atölyelerle tüm tesis arasındaki ilişkilere de bağlıdır.

Tesislerin çoğu ürüne ve prosese göre planlanmış departmanların bir karışımını bulundurur. Örneğin, çok çeşitli ve birbiri ile ilişkisiz ürünler üreten bir tesisin ana yerleşimi, prosese göre planlanmış departmanlardan oluşabilir. Fakat, ayrı atölyelerin detaylı yerleşimine inilirse ürüne göre yerleştirilmiş hatlar görülecektir. Bunun tersi olarak, büyük hacimli ve az çeşitli üretim yapan bir tesiste, bazı özel komponentler için prosese göre yerleştirilmiş departmanlara rastlamak mümkün olabilecektir.

Atölyelerin birleştirilerek departmanların oluşturulması için sistematik bir yaklaşım gerekmektedir. Bu işlem için, her ürün ve bileşen değerlendirilmeli ve en iyi yaklaşım tanımlanmalıdır.

Destek, yönetim ve hizmet departmanlarının planlanması; ofisleri ve depolama alanlarını, kalite kontrolü, bakım işlerini, yönetim süreçlerini, dinlenme alanlarını vs. kapsar. Geleneksel olarak destek, yönetim ve hizmet departmanlarının planlanması, prosese göre departmanlaşmış (benzer faaliyetlerin aynı alanda gerçekleştirildiği) olarak kabul edilmektedir.

Modern üretim yaklaşımlarını kullanan organizasyonlar, üretim, tedarik, idari ve hizmet departmanlarını birleştirerek, bütünsel üretim-tedarik-idari-hizmet departmanlarını oluşturmuşlardır. Örneğin, bir ürün ailesinin üretimi için ayrılmış ve kendi idari ve destek personeli, servisleri (bakım, kalite, malzeme, mühendislik, satın alma, yönetim vb. gibi) olan bir üretim hücresi entegre bir departman planı oluşturulabilir.

Bir çok işletme, özellikle destek, idari ve yönetim alanlarında çalışan operatörlerini, özverileşebilmeleri için eğitmektedirler. Bu durumda, operatörler ve bir tesis koordinatörü üretim ünitesinin, dışardan karşılanan ihtiyaçlarını minimuma indirerek çalışmasını sağlayabilirler.

Kendini yönetebilen takımların bulunduğu bir tesisteki aktivite ilişkileri, alan ve akış ihtiyacı; geleneksel üretim, destek ve idari anlayışla yürütülen bir tesistekinden tamamen farklı olacaktır. Daha az malzeme, personel, araç-gereç ve bürokrasi, daha az akış ihtiyacı ve daha az alan gerekecektir (Tompkins, vd., 1996).

Bir çok firma, tesislerini ürün ve ürün ailesine göre (grup teknoloji) planlanmış departmanlara dönüştüren modern üretim yaklaşımlarını benimsemişlerdir. Grup teknolojisine göre yerleşimler, hücresel üretim düzenlemelerindeki, tam zamanında üretim (JIT) kavramıyla birleştirmiştir. Fakat burada hücresel imalat ile ilgili daha fazla detaya girilmemiştir.

3.4.2 Faaliyet ilişkileri

Faaliyet ilişkileri tesis planlama prosesindeki bir çok kararın temelini oluşturur. Göz önünde bulundurulması gereken önemli ilişkiler:

1. Kontrol süreleri ve raporlama ilişkilerinden etkilenen, “*organizasyon ilişkileri*”.
2. Malzeme, insan, ekipman, bilgi ve para akışını kapsayacak “*akış ilişkileri*”.
3. Merkeziye karşılık çok merkezli malzeme kontrolünü, tam zamanlı envanter kontrolüne karşılık yığın halindeki envanterlerin kontrolünü, atölye düzeyinde kontrolü ve otomasyon ve entegrasyon seviyesini kapsayan, “*kontrol ilişkileri*”.
4. Güvenlik, gürültü, sıcaklık, toz ve nem durumunu kapsayan “*çevre ilişkileri*”.
5. Yukarıdaki durumlardan daha farklı olarak, atölyelerdeki yüklemelerle, kimyasal prosesle ve özel servislerle ilgili “*proses ilişkileri*”dir (Tompkins, vd., 1996).

Buradaki birkaç ilişki sayısal olarak ifade edilebilir; diğerleri nitel olarak belirtilmek durumundadır. Örneğin akış ilişkileri tipik olarak, saatteki hareketlerin sayısı, vardiya başına taşınan malzemelerin miktarı, envanter devir oranı, bir ayda işlem gören dokümanların sayısı ve iş ve malzemeler için aylık beklentiler gibi terimlerle ifade edilmektedirler.

Organizasyonel ilişkiler ise genellikle organizasyon şemaları ile belirtilir. Buna karşın, resmi olmayan organizasyon ilişkileri de bulunmaktadır ve bir organizasyonun faaliyet ilişkilerini belirlemede göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, kalite kontrol fonksiyonu bir ambardaki teslim alma fonksiyonu ile sınırlı sayıda organizasyonel ilişkiye sahip gibi görünmektedir. Bununla birlikte, yakın şekilde çalışmaları gerektiğinden dolayı bu iki fonksiyon arasında resmi olmayan bir organizasyonel ilişki geliştirilmektedir. Modern üretim yaklaşımları ve uluslararası rekabete bağlı olarak ortaya çıkan organizasyonel yeniden yapılanmalar, fonksiyonları merkezcilikten uzak tutarak yeniden yerleştirmeye götürmektedir.

Akış ilişkileri; malzemeyi, bilgiyi, insanları ve eşyaları hareketli olarak gören bir tesis planlamacısı için çok önemlidir. Örneğin bir buzdolabının üreticiden çıkarak, çeşitli dağıtım kademeleri üzerinden son kullanıcıya ulaşması önemli bir akış prosesidir. Satış siparişlerinin, satış departmanından üretim planlama departmanına iletilmesi de bir bilgi akışı örneğidir. İnsanların akışı için de, bir hastanedeki hasta, personel ve ziyaretçilerin akışından bahsedilebilir.

Anlatılan dört durum da farklı akış prosesleridir. Her bir akış prosesinde farklı bir madde hareket etmektedir. Başka bir akış prosesi de sürekli olandır. Örneğin, elektriğin akışı, bir proses tesisindeki kimyasal akış ve bir boru hattındaki petrol akışı sürekli akış prosesidir.

Bir akış prosesi, akışın konusu, akışın kaynakları ve bu kaynakları koordine eden iletişim olayları gibi terimlerle tanımlanabilir. Akışın konusu, akış prosesine uğrayan maddelerdir. Kaynaklar, gerekli akışı tamamlamak için gereken proses ve taşıma tesisleridir. Kaynakları koordine eden iletişim olaylarından kastedilen ise akış prosesinin yönetiminde söz konusu olan prosedürlerdir. Akış prosesinde benimsenecek bakış açısı, konunun büyüklüğüne, kaynaklara ve o duruma ait iletişim olaylarına göre belirlenecektir.

Bir üretim tesisinde malzemelerin akışından bahsedildiğinde, bu akış prosesi tipik bir malzeme yönetimi sistemini belirtir. Bu sistemin konuları malzemeler, parçalar ve üretim için gerekli alımlardır. Malzeme yönetimi sistemin kaynakları aşağıdakileri içermektedir:

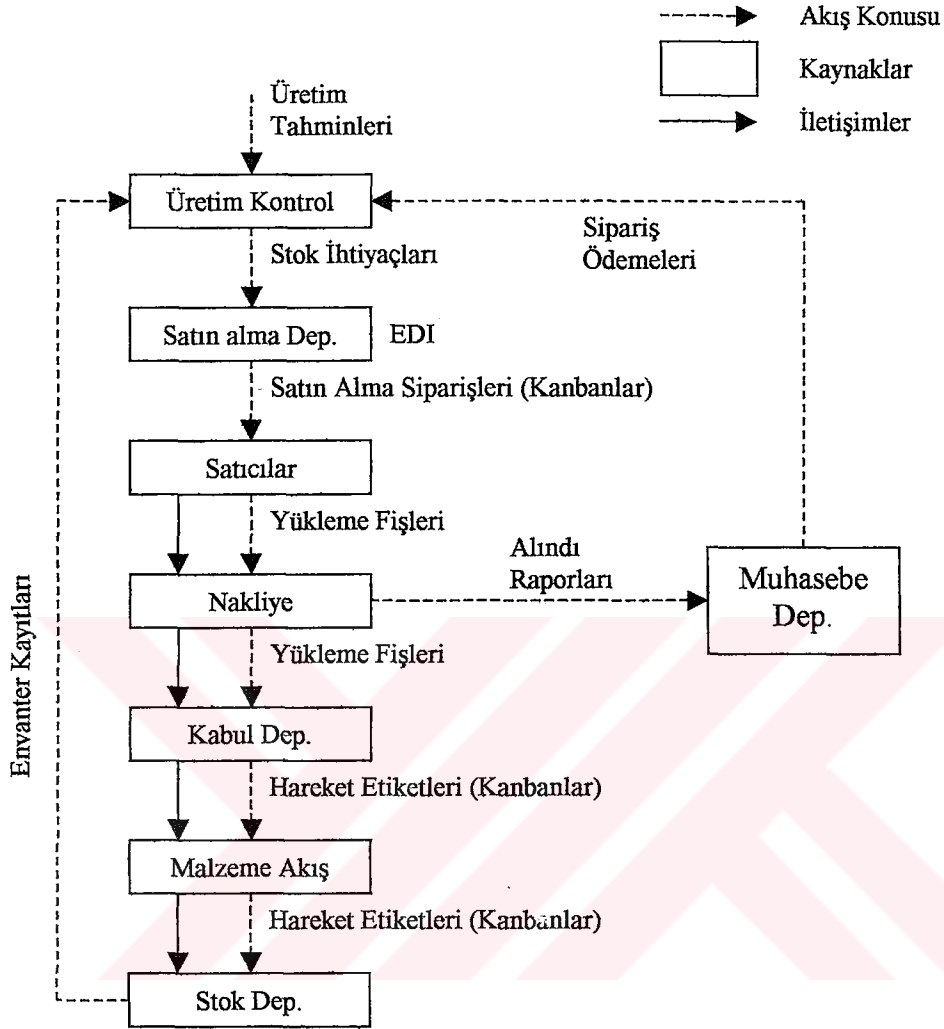
1. Üretim kontrol ve satın alma fonksiyonlarını.
2. Satıcıları.
3. Satın alınan malları, parçaları ve malzemeleri taşıma amaçlı, malzeme taşıma ve transportasyon ekipmanlarını.
4. Satın alma, depolama ve muhasebe fonksiyonlarını.

Malzeme yönetimi sistemindeki iletişim olayları, üretim tahmini, envanter kayıtları, stok talepleri, sipariş emirleri, yükleme faturaları, hareket etiketleri, alındı raporları, kanbanlar, elektronik veri değişimi ve sipariş ödemeleridir. Malzeme yönetim sistemi şematik olarak Şekil 3.7’de verilmiştir (Tompkins, vd., 1996).

Malzemeler, parçalar ve diğer tedarikler bir üretim sistemindeki akış prosesine konu ediliyorsa, proses “Malzeme Akış Sistemi” adını almaktadır. Malzeme Akış Sisteminin tipi, akan materyale göre, planlama departmanınca şekillendirilmektedir. Daha önce anlatıldığı gibi dört çeşit üretim planlama sistemi vardır:

1. Üretim hattına göre,
2. Sabit ürün yerleşimine göre,
3. Ürün ailesine göre,

4. Prosese göre.

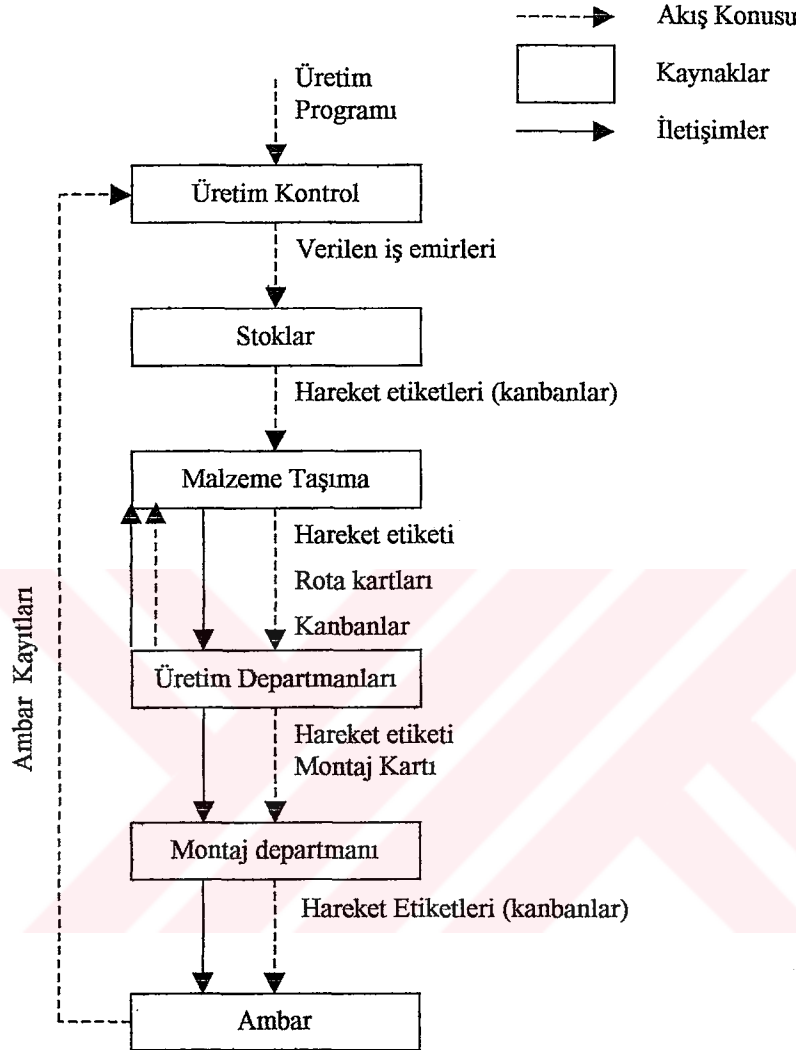


Şekil 3.7 Malzeme yönetim sistemi (Tompkins vd., 1996)

Malzeme akış sisteminin konuları, işletmenin kendi ürününü üretmede kullandığı malzemeler, parçalar ve diğer tedariklerdir. Malzeme akış sisteminin kaynakları ise;

1. Üretim ve kalite kontrol departmanları
2. Üretim, montaj ve depolama departmanları
3. Malzeme taşıma ekipmanları
4. Ambar

Malzeme akış sistemdeki iletişim olayları ise; üretim programını, verilen iş emirlerini, hareket etiketlerini, kanbanları, barkodları, montaj föylerini, rota kartlarını ve ambar kayıtlarını kapsamaktadır. Malzeme akış sistemine dair bir şema aşağıda Şekil 3.8’de verilmiştir.

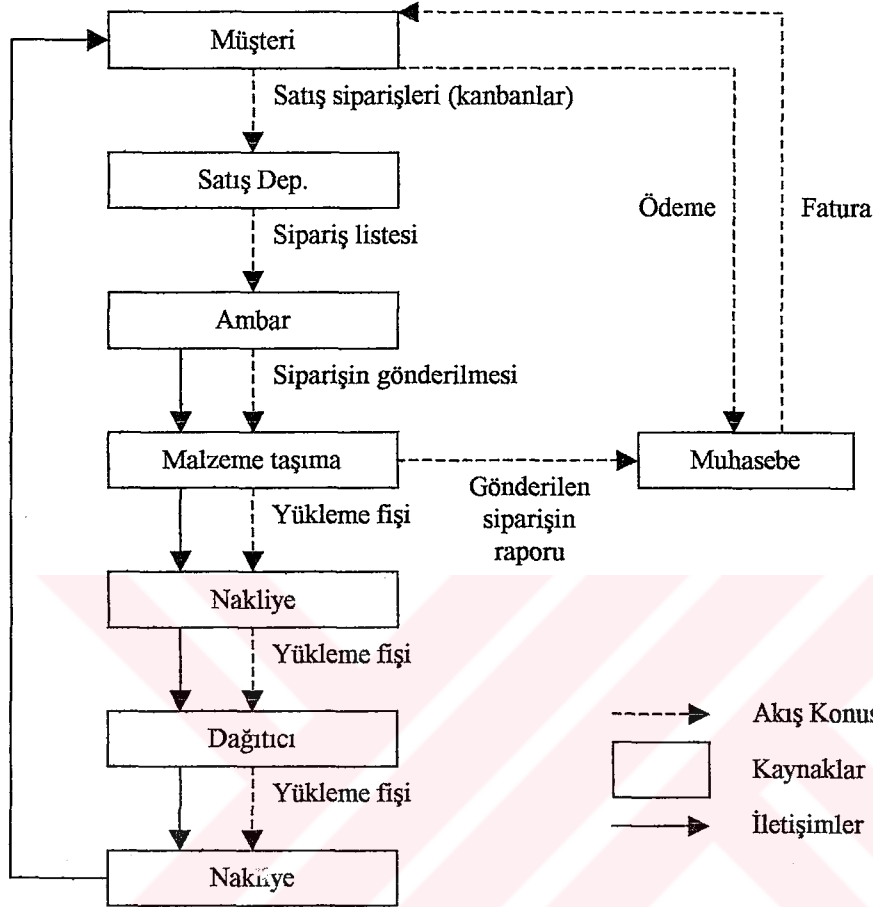


Şekil 3.8 Malzeme akış sistemi (Tompkins vd., 1996)

Eğer konu bir işletmedeki ürünlerin akışı ise, bu akışa “Fiziksel Dağıtım Sistemi” adı verilir. Fiziksel dağıtım sistemlerinin konusu, işletmede üretilip bitirilmiş ürünlerdir. Fiziksel dağıtım sistemlerinin kaynaklar ise;

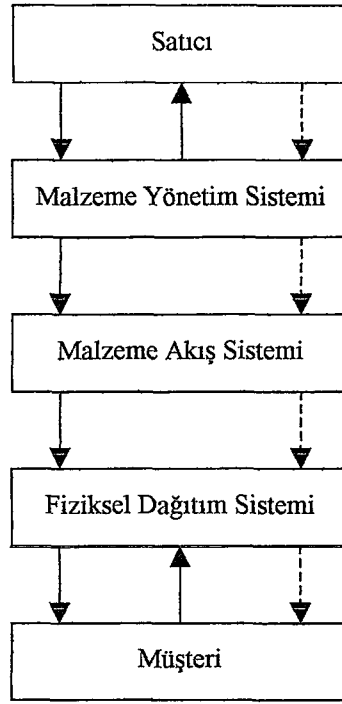
1. Müşteriler,
2. Satış ve muhasebe departmanları ve ambarlar,
3. Bitmiş ürünlerin taşınması için gerekli malzeme taşıma ve nakliye ekipmanları,
4. Bitmiş ürünün dağıtıcılarıdır.

Fiziksel dağıtım sisteminin iletişim olayları da şunları kapsar; satış siparişleri, paketleme listeleri, teslimat raporları, teslimatlar, kanbanlar, Elektronik veri transferi (EDI) faturaları ve yükleme fişleridir. Fiziksel dağıtım sistemi ile ilgili şematik gösterim Şekil 3.9'daki gibidir.



Şekil 3.9 Fiziksel dağıtım sistemi (Tompkins vd., 1996)

Malzeme akış sistemi ve fiziksel dağıtım sisteminin üst bileşeni, "Lojistik Sistemi"dir. Modern üretim yaklaşımları, lojistik sistemlerini farklı yönlerden etkilemektedir. Mesela bazı tedarikçiler, daha küçük partilerle teslimat yapabilmek için tesislerini, müşterilerinin üretim sahasına yakın yerlerde kurmaktadır. Ya da tam zamanında üretimi sağlayabilmek için şirketler arasında elektronik veri iletim ve kanban sistemleri kurulmakta, nakliye operatörleriyle de çeşitli iletişim cihazlarıyla sürekli bir bağlantı halinde bulunmaktadır. Malzemeler farklı havuzlara ulaştırılmakta, merkezi olmayan depolama alanları kullanılmakta ve malzemeler kullanım yerine teslim edilmekte, daha az bürokrasi uygulanmakta, -örneğin, bir süper marketin ihtiyacını karşılamak üzere operatör malzeme götürebilmekte-, hücreli üretim yaklaşımıyla ürünlerin nakliye mesafesi ve süresi kısaltılmakta ve daha basit depolama ve malzeme taşıma ekipmanları geliştirilmektedir. Bu gelişmeler sayesinde daha ucuz, daha kaliteli ve daha etkili lojistik sistemleri ortaya çıkmaktadır. Bir lojistik sistem şeması Şekil 3.10'da belirtilmiştir.



Şekil 3.10 Lojistik sistemi (Tompkins vd., 1996)

3.4.3 Akış şekilleri

Malzeme yönetimi, malzeme akışı, fiziksel dağıtım ve lojistik sistemleri içindeki makro düzeydeki akışta göz önüne alınanlar; tesis planlamacı için, hareketin gerçekleşeceği mekan olarak tanımladığı kapsamlı akış çevresinin oluşturulmasında çok kullanılır. Tüm bu akış çevresinde göz önüne alınan ise akışın şeklidir. Akış şekilleri; istasyonların içi, departmanlar arası ve departman içi yönlerinden ele alınabilirler (Tompkins, vd., 1996).

3.4.3.1 İş istasyonu içinde akış

Hareket etütleri ve ergonomik yaklaşım, istasyon içindeki akışın kurulmasında önemlidir. Çalışma istasyonunda ideal akış, simetrik, doğal, ritmik, eş zamanlı, daimi olmalıdır. Eş zamanlı akış, el, kol ve bacakların koordinasyonunu belirtmektedir. Eller, kollar ve bacaklar hareketlerine aynı zamanda başlamalı ve bitirmeli; dinlenme periyotlarının dışında aynı anda boş kalmamalıdır. Simetrik akış da bedenin merkezinin koordineli hareket etmesiyle sonuçlanır. Sağ ve sol kollar koordineli hareket etmelidir. Doğal akış hareketleri ritmik ve daimi akış düzenlerinin temelidir. Doğal hareketler akıcı, oval ve momentumdan faydalanan hareketlerdir. Ritmik ve daimi akış, faaliyetlerin metotsal ve otomatik sırasını kastetmektedir. Bu akış şekilleri göz ve kas yorgunluklarını da azaltırlar.

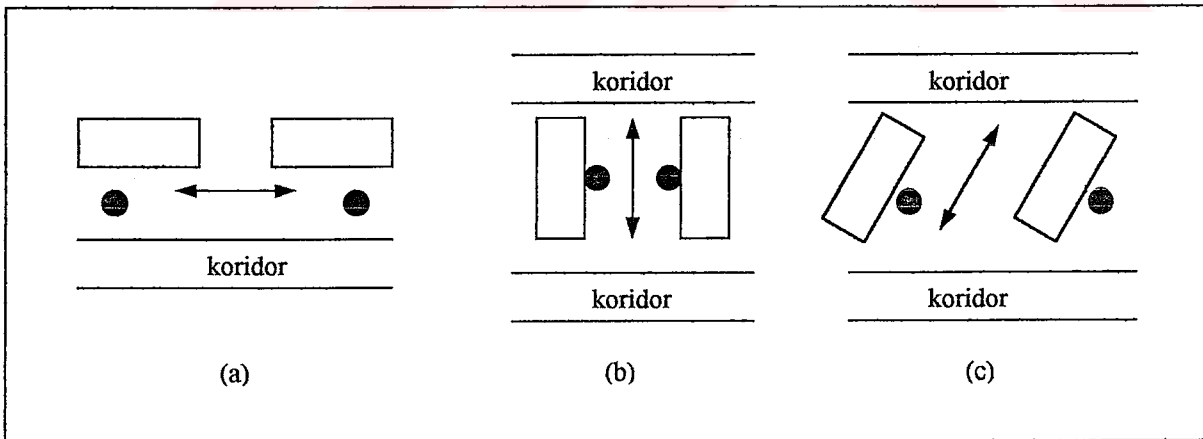
3.4.3.2 Departman içi akış

Departman içi akış düzeni, departman tipine bağlıdır. Bir ürün ve/veya ürün ailesi departmanında iş akışı, ürün akışını izlemektedir. Tipik ürün akışlarında iş istasyonları;

- Biri bittiğinde diğeri başlayacak şekilde yan yana,
- Arkaları birbirlerine bakacak şekilde yerleştirilip aralarından ürün akışı sağlanarak,
- Önleri birbirlerine bakacak şekilde yerleştirilip aralarından ürün akışı sağlanarak,
- Dairesel şekilde,
- Bunların dışındaki şekillerde veya şekilsiz dizilebilirler.

a, b ve e akış düzenleri, her operasyonda bir operatörün olduğu akışlardır. c akış düzeni, iki operasyonu tek operatör idare ediyorsa kullanılır. Birden fazla operasyonun başında tek operatör varsa, bu taktirde de (d) dairesel akış düzeni uygulanır.

Prosesse göre yerleşmiş bir departman içinde bulunan iş istasyonları arasında az miktarda akış gerçekleşmektedir. Akış tipik olarak istasyonlar ve koridorlar arasındandır. Akış şekilleri, iş istasyonları ile koridorların birbirlerine uyumlu hale getirilmesi ile ortaya çıkar. Şekil 3.11'de istasyon-koridor düzenlemeleri ve sonuçta ortaya çıkan akış düzenleri örneklenmektedir:



Şekil 3.11 Proses departmanları içi akış (a) Paralel, (b) Dikey, (c) Çapraz (Tompkins vd., 1996)

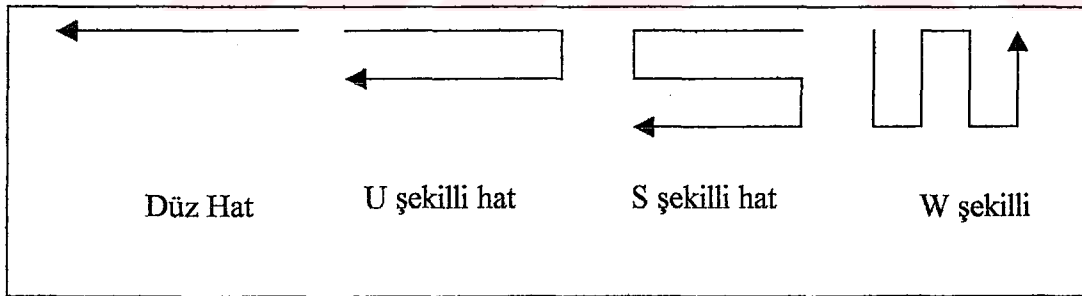
Seçilecek akış düzeni, istasyonlar arası alandaki olaylara, ulaşılabilir alan ve taşınması gereken malzemenin boyutlarına göre belirlenir.

Çapraz akış düzeni (c) tek yönlü koridorların bulunduğu tesislerde kullanılır. Çapraz akışı destekleyen koridorlar diğerlerinden daha az yer kaplarlar; buna karşılık daha az esnektirler. Bundan dolayı çapraz düzen sıklıkla tercih edilen bir düzen değildir.

İstasyonlar ve departmanlar arası akış, operatörlerin sadece kaslarını değil, akıllarını da çalıştırabilecekleri şekilde genişletilmeli ve zenginleştirilmelidir. Çok fonksiyonlu operatörler, gerektiği durumlarda birden fazla makineyle çalışabilirler ve kalite, yalın üretim, malzeme taşınması, kayıtlar, performans ölçüm teknikleri ve takım çalışması gibi destek ve sürekli geliştirilebilir fonksiyonlar konusunda kullanılabilirler. Bu, akış ile malzemelerin yerleşimi, araç gereç, bürokrasi ve kalite belgeleme yöntemlerinin entegre bir yaklaşımla incelenmesi gerekliliğini gösterir.

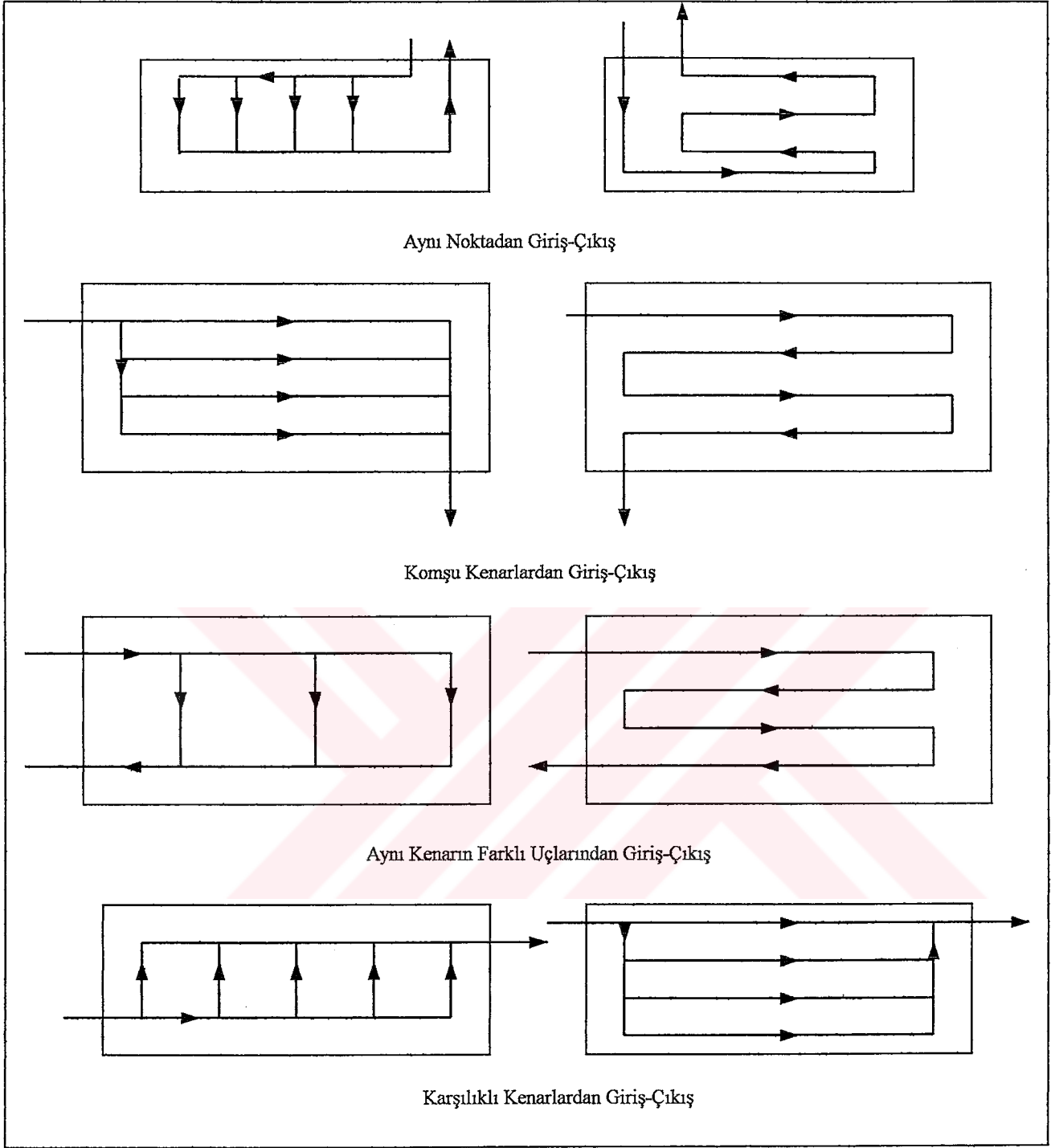
3.4.3.3 Departmanlar arası akış

Departmanlar arası akış, bir tesisteki genel akışı değerlendirmek için kriterdir. Akış, tipik olarak, Şekil 3.12’de verilen dört genel akış düzeninin kombinasyonundan oluşur. Akış düzenlerini kombine ederken üzerinde durulması gereken önemli bir nokta, akışın giriş ve çıkış noktalarıdır. Arsa planı veya bina yapısının bir sonucu olarak girişin yeri (kabul departmanı) ve çıkış (sevk departmanı) genellikle tesisin kısıtlarına göre sabittir. Bir tesiste akışın, giriş ve çıkış kısıtlarına göre nasıl planlanabileceğine dair örnekler Şekil 3.13’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Genel akış yolları (Tompkins vd., 1996)

Tam zamanında üretim tesislerinde önemli bir tasarım konusu da, kabul ve sevk noktalarının optimum sayısı, merkezi olmayan depolama alanları ve bunların yerleridir. Bu bileşenlere dair her kombinasyon detaylı ve entegre bir şekilde analiz edilerek, akış, zaman, maliyet ve kalite dördlüsünü optimum yapacak yerleşim planı oluşturulmalıdır.

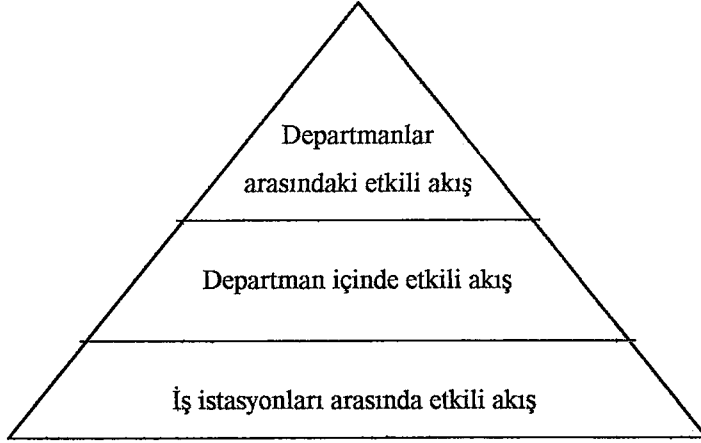


Şekil 3.13 Giriş ve çıkış noktaları göz önüne alındığında tesis içi akış (Tompkins vd., 1996)

3.4.4 Akış planlaması

Etkin bir akış planı, verilmiş olan akış şekillerini birleştirerek, yeterli koridorları oluşturup kaynaktan hedefe doğru ilerlemeyi sağlayarak gerçekleştirilir. Bir tesisteki etkin akış, malzemelerin, bilginin ve insanların departmanlar arasındaki akışı ile ilgilidir. Bir departman içindeki etkin akış ise, malzemelerin, bilginin ve insanların iş istasyonları arasındaki akışı ile

ilgilidir. Çalışma istasyonuna kadar inildiğinde de yine malzemenin, bilginin ve insanların iş istasyonunun içindeki akışının etkinliği önemlidir. Etkin bir akış planlaması hiyerarşik bir planlama işlemidir. Bu hiyerarşinin şeması aşağıda Şekil 3.14’te verilmiştir:



Şekil 3.14 Akış planlama hiyerarşisi (Tompkins vd., 1996)

Etkili bir akışın sağlanması için şu prensipler ortaya konulmuştur:

- Direkt akış yollarını maksimum yap.
- Akışı minimuma indir.
- Akış maliyetini minimuma indir.

Direk akış yolu kaynaktan hedefe kesintiye uğramadan giden yollardır; yani olabildiğince diğer yollarla kesilmemiş olan yollardır. Bir direkt yolda ayrıca geri dönüş olmaması da gerekir; geri dönüşler yolun uzunluğunu arttırarak ikinci prensibe ters düşmektedirler. Akışı minimuma indirme prensibi, iş basitleştirme yaklaşımının sonucudur. İş basitleştirme yaklaşımının malzeme akışına uyarlanması şunları içerir:

1. Malzeme, bilgi ve insanı, bulunmaları gereken son noktalara koyarak, ara akış adımlarından kurtulmak.
2. Arka arkaya gelen kullanım noktalarını, mümkün olduğunca az hareketle ulaşılacak noktalarda planlamak suretiyle çoklu akışları minimuma indirmek.
3. Malzeme bilgi ve ya insanların akışını planlayarak, akış ve operasyonları mümkün olan her alanda birleştirmek.

Akış maliyetini düşürme prensibi de aşağıdaki iki açıdan biriyle ele alınabilir:

1. Yürümeyi, manuel hareket yollarını ve hareketleri minimize ederek, manuel taşımayı minimuma indirmek.
2. Çalışanların tüm zamanlarını kendi görevlerine ayırabilmeleri için manuel taşımaları, mekanik ve ya otomatik sistemlere geçmek suretiyle elemek (Tompkins, vd., 1996).

3.4.5 Akış ölçümü

Bölümler arası akış, bir tesiste departmanların planlanmasında en önemli faktörlerden birisidir. Alternatif düzenlemelerin elenebilmesi için bir akış ölçüsü belirlenmelidir. Akışlar kantitatif veya kalitatif tarzda belirlenebilirler. Kantitatif ölçüler, saatte parça, günde hareket veya hafta başına ton olabilir. Kalitatif ölçüler de iki departmanın kesinlikle yan yana olması gereği, iki departmanın çok yakın olmamasının tercih edilmesi gibi koşullardır. Tesislerde, departmanlar arasında hareket eden, çok miktarda malzeme, bilgi ve insanın olması halinde, tipik olarak kantitatif akış ölçüleri departmanların yerleştirilmesinde önemli bir kriter olacaktır. Buna karşılık, bölümler arasında malzeme, bilgi ve insanların gerçekleşen hareketleri az miktarda; fakat belirgin bir iletişim ve ilişki içeriyorsa, kalitatif akış ölçüsü bölümlerin düzenlenmesinde temel teşkil edecektir. Çoğunlukla, aynı olay için hem kantitatif, hem de kalitatif ölçüme gerek duyulur.

3.4.5.1 Kantitatif akış ölçümü

Akış, bölümler arası hareket miktarı açısından kantitatif olarak ölçülebilir. Bu akışlar genellikle from-to şemasıyla belirtilir; şema bir kare matris ise de ters yönde bazı akışların olması nedeniyle simetrik olmamaktadır. Çizelge 3.5’de bu şemaya bir örnek verilmiştir.

Çizelge3.5 From-to tablosu

	STOK	TORNA	MATKAP	PRES	LEVHA	MONTAJ	AMBAR
STOK		12	6	9	1	4	
TORNA					7	2	
MATKAP		3			4		
PRES					3	1	1
LEVHA		2	1			4	3
MONTAJ	1						7
AMBAR							

From-to tablosu aşağıdaki yapılarından oluşur.

1. Akışın şekline göre bütün departmanlar ilk sütuna ve satıra sıralanır.
2. Tesis içindeki eş akış hacimlerini tam olarak gösteren bir akış ölçüsü kurulur. Eğer hareket eden eş birimler söz konusu ise, hareketin kolaylığı açısından, hareketlerin sayıları from-to şemasına kaydedilebilir. Eğer hareket eden birimler büyüklük, ağırlık, değer, hasar riski, biçim vb. açısından değişiklerse, from-to tablosuna kaydedilen nicelikler, hareket hacimleri arasındaki uygun ilişkiyi gösterecek şekilde oluşturulabilir.
3. Taşınacak birimlerin akış yoluna ve oluşturulmuş akış ölçüsüne dayanarak, akış hacimleri from-to tablosuna kaydedilir.

3.4.5.2 Kalitatif akış ölçümleri

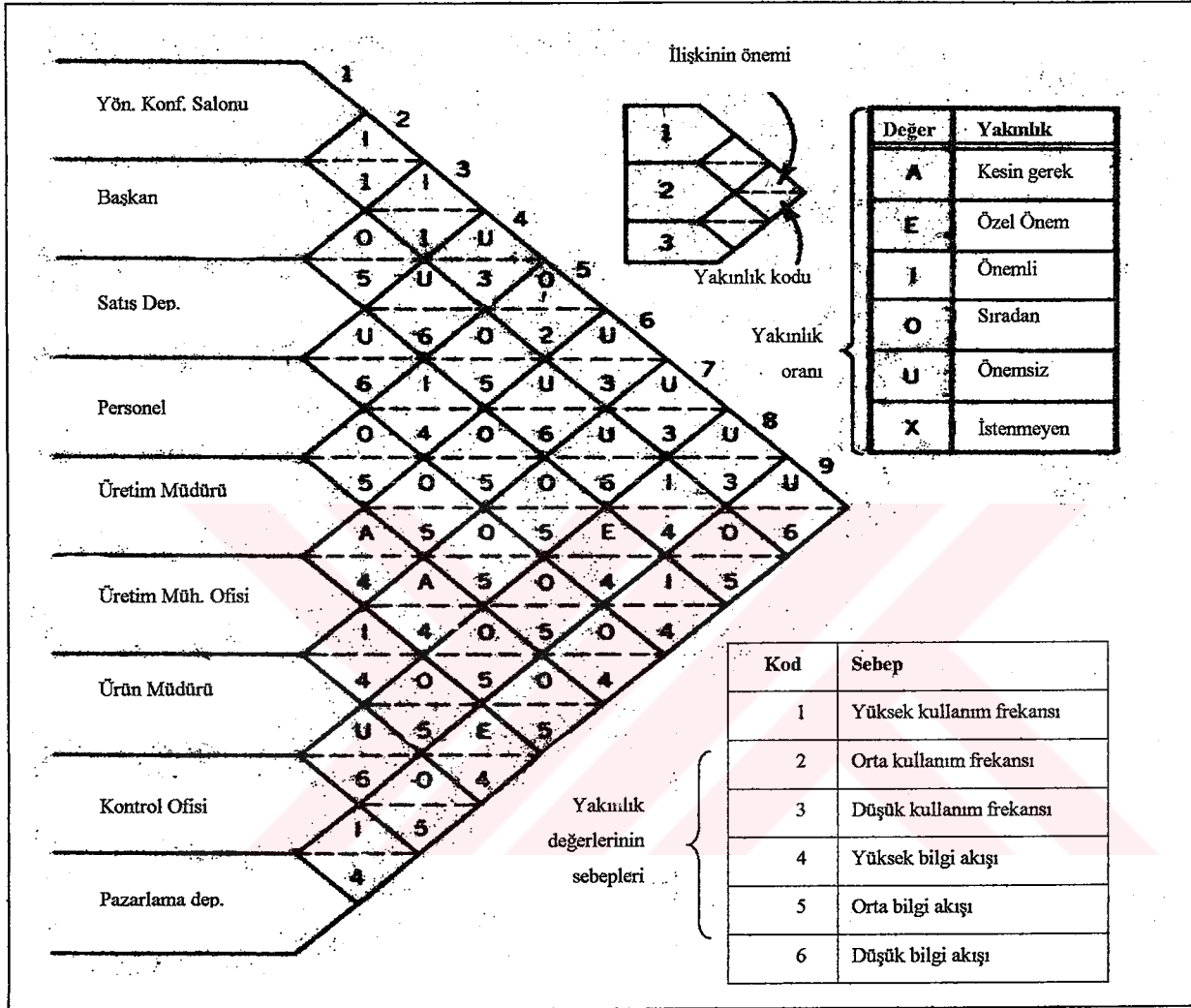
Akışlar, Muther tarafından geliştirilen, yakınlık ilişkileri değerlerini kullanarak, kalitatif olarak ölçülebilir. Bu konu kuruluş algoritmaları konusu içindeki, CORELAP algoritması anlatılırken daha detaylı incelenecektir.

Bir yakınlık ilişkileri tablosu şöyle oluşturulur:

1. İlişkiler tablosu üzerinde bütün departmanları listele.
2. Listelenmiş her bölümdeki insanlar ile bölümlerden sorumlu yönetim arasındaki görüşmeleri ve incelemeleri yürüt.
3. Yakınlık ilişkilerini atamak için kriterler tanımla ve ilişkiler tablosundaki ilişkilerin sebepleri olarak bu kriterleri detaylandır ve kaydet.
4. İlişki değerini ve her bölüm çifti için atanan değerlerin nedenlerini belirle.
5. İlişki tablosunun geliştirilmesinde katkısı olan herkesin tablodaki değişiklikleri hesaplama ve tartışma olanağı olmasına izin ver.

İlişki tablosu oluşturmakta bu prosedürün takip edilmesi önemlidir. Eğer planlayıcı ilişkileri yukarıda tanımlandığı gibi sentez etmek yerine, bölüm sorumlularının diğer bölümlerle olan ilişkilerini belirlemelerine izin verilseydi, tutarsızlıklar oluşabilirdi. Tutarsızlıklar tablo üzerinde de görölürdü. Tanımlandığı üzere ilişki haritası A ile B bölümleri arasındaki ilişkinin aynı olmasını gerektirir. Bağımsız değerler bölüm sorumlularınca tanımlansaydı ve A bölümünün sorumlusu, B ile ilişkinin önemsiz (U) olduğunu söyleseydi ve B bölümünün sorumlusu A ile

olan ilişkinin bayağı önemli (O) olduğunu söyleseydi, bir tutarsızlık ortaya çıkacaktı. Tutarsızlıklardan kaçınmak için, önemli büyüklükteki partilerin katkısına bağlı olarak, planlayıcının belirlediği ilişki değerlerinin olması ve daha sonra yine bu parti büyüklüklerine göre sonucun oluşturulması gereklidir. Şekil 3.15’de ilişkiler tablosuna örnek verilmiştir.



Şekil 3.15 İlişkiler tablosu (Tompkins vd., 1996)

3.4.6 Alan ihtiyacı

Tesis planlama çalışmalarında en zor saptamalarından biri de alan ihtiyacının karşılanmasıdır. Bir tesisin tasarımı genellikle gelecek 5 ile 10 yıl için yapılmaktadır. Göz önünde bulundurulması gereken belirsizlikler genellikle teknolojinin etkileriyle, değişen üretim karışımıyla, değişen talep seviyeleriyle ve organizasyon düzenlemeleriyle ilişkilidir. Bu sayılan belirsizlikler yüzünden, organizasyondaki kişiler belirsizliği (riski) yaymaya çalışarak, biraz daha büyük alanlara ihtiyaç duyulacağı yönünde tahmin yaparlar. Bundan sonra tesis

planlamacılar, belirsiz bir gelecek için doğru alan ihtiyaçlarını karşılayacak bir tasarım yapma işine girerler.

Daha karmaşık konular için Parkinson'un kuralı bulunmaktadır. Kural; "her şey, planlanmış kullanılabilir tüm kapasiteyi doldurmak için kısa zamanda genişleyecektir" şeklindedir. Buradan çıkarılacak sonuç; tesis gelecekteki büyümeye uygun olacak şekilde planlansa dahi gelecek geldiğinde, yeterli alan bulunmayacaktır.

Problemin doğasında, alan ihtiyaçlarının çözülmesi olduğundan, sistematik bir yaklaşım önerilmektedir. Özellikle, alan ihtiyaçları temelden başlanarak belirlenmelidir.

Depolama faaliyetleri, envanter seviyeleri, depo üniteleri, depolama metotları ve stratejileri ekipman ihtiyaçları, bina yapıları ve personel ihtiyaçları, alan ihtiyacının belirlenmesinde göz önüne alınması gereken hususlardır.

İmalatta ve ofis yerleşimlerinde, alan ihtiyacı saptamaları öncelikle teker teker iş istasyonları için yapılmalı, ardından iş istasyonlarının birleşiminden oluşan departmanlar bazında alan ihtiyacı belirlenmelidir.

Daha önce de açıklandığı gibi; modern imalat yaklaşımları, üretiminde, depolama alanlarında ve ofislerdeki alan ihtiyaçlarını büyük oranda değiştirmektedir. Alan gereksinimleri özellikle düşürülmektedir, çünkü;

1. Ürünler kullanılacakları noktalara daha küçük miktarlarda ve daha küçük birim yüklerle getirilmektedir.
2. Çok merkezli depolama alanları kullanım alanlarının mümkün olduğunca yakınına yerleştirilmektedir.
3. Daha az envanter taşınmaktadır. (ürünler, çekme sistemine göre önceki prosesten kanbanların kullanılması ile çekilmektedir.)
4. Daha etkin yerleşim düzenlemeleri kullanılmaktadır. (İmalat hücreleri gibi)
5. Şirketler küçülme yoluna gitmektedirler. (odaklanmış fabrikalar, yalın organizasyon yapıları, merkezi olmayan fonksiyonlar, çok fonksiyonlu çalışanlar, yüksek performanslı takımlar vb.)

3.4.6.1 İş istasyonu özellikleri

Tesis tanımı içerisinde, belirli bir amacı gerçekleştirmek için sabit yatırımların yapılması gerektiği bulunmaktadır. Bir iş istasyonu, belirli bir operasyonu gerçekleştirdiğinden, tek başına bir tesis gibi düşünülebilir ve bu operasyonu gerçekleştirebilmesi için bazı sabit yatırımlara gereksinim duyulur. Daha dar bir amacı olmasına rağmen, iş istasyonu gerçekten önemlidir. Bir tesisin verimi, her bir iş istasyonunun verimine bağlıdır. Bir iş istasyonu bütün tesisler gibi, ekipman, malzemeler ve personel için alana gereksinim duyar (Tompkins, vd., 1996).

Bir iş istasyonundaki ekipman alanı, aşağıdakiler için gerekli alanları kapsamaktadır;

1. Ekipman
2. Makine dolaşımları
3. Makine bakımı
4. Fabrika hizmetleri

Ekipmanlar için yer ihtiyacı, makine bilgi kataloglarından edinilebilir. Halen çalışan makineler için, makine bilgi katalogları ya bakım ya da muhasebe departmanının kayıtlarından bulunabilir. Yeni makineler için, makine bilgi katalogu ekipman tedarikçisinden temin edilebilir. Eğer yoksa, ekipman ile ilgili aşağıdaki veriler saptanmalıdır.

1. Makine üreticisi ve tipi
2. Model ve seri numarası
3. Emniyet noktalarının yerleşimi
4. Zeminde kaplayacağı alan
5. Maksimum yükseklik
6. Maksimum dikey hareket
7. Maksimum genişlik
8. Sağa maksimum hareket
9. Sola maksimum hareket
10. Maksimum derinlik

11. Operatöre doğru maksimum hareket
12. Operatörden maksimum uzaklıktaki hareket
13. Bakım ihtiyacı ve gerektirdiği alan
14. Fabrika servisi ihtiyacı ve gerektirdiği alan.

Makine hareketleri de dahil edildiğinde, her bir makine için gerekli alan, toplam en (sağa ve sola maksimum hareket) ve derinliğin (operatöre doğru ve tersi yöndeki maksimum hareket) çarpılması ile elde edilir.

Makinenin yer ihtiyacına, bakım ve fabrika servis alanı ihtiyaçları da eklenmelidir. Sonuç bir makine için toplam kapsama alanını verir. Her makine için saptanan sonuçların toplamı, iş istasyonu için gerekli alanını verir.

Bir iş istasyonunda malzeme alanları şunlar için gerekir:

1. Satın alınan ve depolanan malzemeler,
2. Proses içindeki malzemeler,
3. Depolanan ve taşınan malzemeler,
4. Depolanan ve taşınan hurda ve çöpler,
5. Araçlar, kalıplar, vs. ve bakım malzemeleri.

Satın alınan ve depolanan malzemeler, prosesteki malzemeler, depolanan ve taşınan malzemeler için gerekli alanın saptanması için taşınacak olan birim yükün boyutları ve malzemenin makine içindeki akışı bilinmelidir ve makinenin girişinde ve çıkışında depolanan birim yükler için yeterli alan sağlanmalıdır.

Kanbanları kullanan operasyonlar, malzemeler için daha az alan gerektirecektir. Genellikle, bir yada iki konteynırlık veya paletlik yük iş istasyonunda bekletilir, kalanları ise istasyon yakınındaki süpermarket adı da verilen, merkezi olmayan stok alanlarında saklanır.

Alan ihtiyacı belirlenirken sözü edilen tüm bu alanlara eklenecek olan diğer bazı alanlar ise araç, kalıp, tamir ve bakım malzemeleri için ihtiyaç duyulan alandır. Araç, kalıp, tamir ve bakım malzemelerinin iş istasyonunda ya da merkez depoda bulundurulması ile ilgili bir karar, alan ihtiyaçları üzerinde direkt etkili olacaktır. Fakat sonuçta dikkat edilmesi gereken nokta, makine

yükleme düzeni değiştirilirken araç, kalıp, tamir ve bakım malzemelerinin birikiminden korunmaktır.

Makinedeki ayarlar sayıca arttıkça, iş istasyonundaki araç, kalıp, tamir ve bakım malzemeleri için gerekli alan ihtiyaçları da artacaktır. Ayrıca güvenlik, hasar ve alan açılarından bakıldığında bir merkezi depolama yerinin daha uygun olacağı görüşü ortaya çıkabilir. Güven, eşitlik ve gerekli her şeyin çok merkezli hale getirilmesi üzerine kurulu, çalışanlara yetkilerin devredilmesi yaklaşımı, üretim programları, kaynağında kalite, otonom bakım, ortamın temizliği, sürekli geliştirme, iletişim vb. konular açısından gereklidir.

Sonuç olarak, bu yaklaşımları yerine getiren organizasyonlar, uygulanacak kavrama göre iş istasyonları için tahsis edilmelidir.

İş istasyonundaki personelin ihtiyacı şu alanları içerir:

1. Operatör
2. Taşınan malzemeler
3. Giriş-çıkış operatörleri

Operatörler ve taşınan malzemeler için alan ihtiyacı, işlemi gerçekleştirme metoduyla direkt ilişkilidir. Bu metot, iş ile ilgili hareket etütlerini ve operatör ile ilgili ergonomik etütleri kullanarak belirlenmelidir. Aşağıdaki genel ilkeler, dikkat edilmesi gereken faktörlerin çeşitlerini göstermek için verilmiştir (Tompkins, vd., 1996):

1. İş istasyonu; operatörün, uzun yürüyüşler yapmadan malzemeleri yükleyebileceği ve boşaltabileceği şekilde tasarlanmalıdır.
2. İş istasyonu; operatörden yeterli ve etkin şekilde faydalanılmasına uygun şekilde tasarlanmalıdır.
3. İş istasyonu; elle taşınan malzemelere harcanan zamanı minimum yapacak şekilde tasarlanmalıdır.
4. İş istasyonu; operatörün emniyetini, rahatlığını ve verimliliğini maksimize edecek şekilde tasarlanmalıdır.
5. İş istasyonu; tehlike, yorgunluk ve göz zorlanmasını minimize edecek şekilde tasarlanmalıdır.

3.4.6.2 Departman özellikleri

İş istasyonlarının alan ihtiyaçları belirlendikten sonra, her departmanın alan ihtiyacı tespit edilebilir. Bunu gerçekleştirmek için departmanlara ait hizmet ihtiyacını bilmek gerekmektedir. Departman bazında alan ihtiyacı, iş istasyonlarının alanlarının toplamından ibaret değildir. Araçlar, kalıplar, bakım ekipmanları, temizlik ve düzen konuları, depolama alanları, operatörler, yedek parçalar, kanban levhaları, iletişim, kayıt ve bilgi tabelaları, problem tabelaları ve benzeri materyallerin paylaştığı alanlar da söz konusudur. Her departman için bir de malzeme taşıma alanına ihtiyaç olacaktır. Departman yapıları, iş istasyonlarının sıralanması ve malzeme taşıma için gereken alan kesin olarak belli olmadan koridorlar için gerekli alan da hala tam olarak bulunamayacaktır. Yine de taşınacak yüklerin yaklaşık büyüklükleri biliniyorsa, bu noktada koridorların yaklaşık alan ihtiyacı belirlenebilir.

Departman servis ihtiyacı da, o departmandaki her bir iş istasyonunun servis ihtiyacının toplamına eşittir. Bütün bu alanlar belirlendikten sonra düzenli olarak kayıtları tutulmalı, departman bazlı hizmet ve alan ihtiyaçları sayfası oluşturulmalıdır (Tompkins, vd., 1996).

3.4.6.3 Koridor ayarlaması

Koridorlar bir tesiste etkili akışı gerçekleştirmek üzere yerleştirilirler. Departman koridorları ve ana koridorlar gibi bir sınıflandırmaya yapılabilir. Departman yerleşimi saptanana kadar, departman koridorlarını planlamak ertelenmelidir. departman özellikleri anlatılırken, koridorlar için gereken takribi alanın belirlenip kaydedileceği belirtilmişti.

Çok dar koridorlar, yoğun tesislerde yüksek seviyede zarar ve iş güvenliği problemlerine neden olabilmektedir. Tam aksine, çok geniş koridorlarsa, yer kaybına ve servis maliyetlerinin artmasına yol açacaktır. Koridorun genişliğine, koridordaki akışın yoğunluğuna ve taşınan maddelerin cinsine bakılarak karar verilmelidir.

Koridorlar planlanırken kavisler, zig zaglar ve düzgün olmayan açılardan kaçınılmalıdır. Koridorlar düz ve kapılara yöneltici olmalıdır. Tesisin dış duvarları boyunca uzanan koridorlardan, koridor giriş veya çıkış için kullanılmadıkça kaçınmak gereklidir. Koridor yerleştirmesi tasarlanırken binanın kolonlarına da dikkat etmek gerekir; aksi halde kolonlar sıklıkla koridorlara denk gelecektir. Kolonlar genelde koridorun sınırlarına denk getirilmelidir, koridora düşmesi hiç de iyi bir şey değildir.

3.5 Değişimin Tesis Yerleştirme Üzerindeki Etkisi

Tesis yerleştirme konusuna duyulan ihtiyaç çok çeşitli durumlarda ortaya çıkabilir. Bazı genel sebepler aşağıda sıralanmıştır:

1. Mevcut ürünün tasarımındaki değişiklikler, ürün hattında bulunan bazı ürünlerin elimine edilmesi ve yeni ürünlerin üretilmesi.
2. Mevcut ürünlerin üretim proseslerindeki sıralarının değişmesi, proses ekipmanlarının değişmesi ve genel ve özel amaçlı ekipmanların kullanımındaki değişiklikler.
3. Üretim miktarındaki ve bununla ilgili üretim programındaki değişikliklerin sonucunda oluşan kapasite değişikliği ihtiyaçları.
4. Organizasyonel yapıdaki değişiklikler. Örneğin, “Tam Zamanında Üretim” ve “Toplam Kalite Yönetimi” gibi üretim stratejilerini kapsayan, yönetim felsefesi değişiklikleri.

Eğer gereksinimler sık sık değişiyorsa, o zaman değişim için bir plan hazırlamak ve esnek bir üretim sistemi kurmak daha cazip olacaktır. Böyle bir yerleşim kurulduğunda, kolayca geliştirilir, genişletilebilir yada daraltılabilir. Esneklik; modüler ofis ekipmanları, iş istasyonları ve malzeme taşıma sistemleri ekipmanları kullanılarak; genel amaçlı üretim ekipmanları kurularak ve modüler yapılar oluşturularak sağlanabilir. Ek olarak tesisin tasarımı, çalışma kolaylığı ve genişleme maliyeti üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Değişimi planlamaya daha detaylı şekilde girmeden önce bir adım geriye giderek ve birçok üretim organizasyonunun, genişleme ve gerileme döngüsü içinde olduğunu kavramak ve bu durumun, iş çevresinin doğal bir durumu olduğunu kabul etmek uygun olacaktır. Kısacası, üretim sektörü çok dinamik bir ortamdır. Yine tesis yerleştirme de dinamik bir yapıdadır. İşleri uzun dönemli iş stratejileri ile planladıkça, tesis yerleşimi için de ana planlar hazırlanmalıdır. Bu ana plan gelecekle ilgili ihtiyaçları önceden sezinlemeli ve tesisle ilgili ihtiyaçlardaki değişimlere adapte olabilecek koşulları hazırlamalıdır. Genellikle önemli kararlar şiddetli kısıtlamalara zorlar ve bu kısıtlamalar tesis yerleşiminde büyük değişimler yapmayı çok zorlaştırır.

Ana yerleşim planı, değişimlere çabuk karşılık verecek bir tesis yapısı sağlamalıdır. Kısa süre içerisinde daha yüksek veya düşük üretim hacimlerinde çalışabilir yapıda bir tesis planlanmalıdır. Tesisin tasarımı, uyumluluğun yüksek seviyede olduğu bir esnekliğe sahip olmalıdır. Bununla birlikte, şu da fark edilmelidir ki, üretim ihtiyaçlarındaki bu değişimler, her zaman tesis yerleşiminin değişmesi gerektiğine bir işaret değildir. Genellikle, daha etkin tezgah

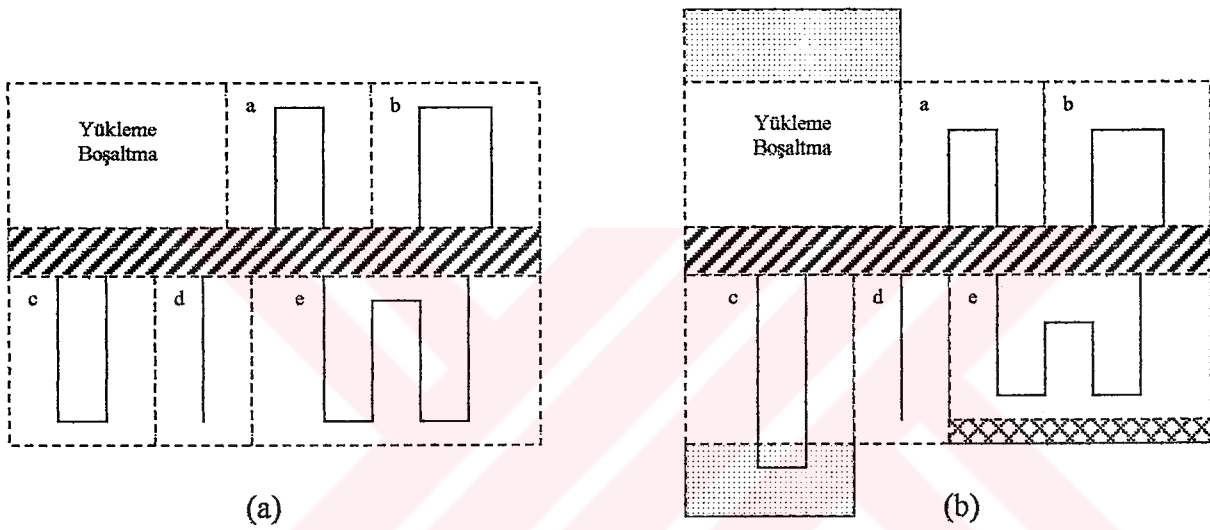
programları, ekipmanların daha iyi bakımı, daha düzgün malzeme akışı ve müşteriler ile tedarikçiler arasında yakınlığın sağlanması şeklinde ayarlamalar ile bir çok fırsat değerlendirilebilir. Tüm bunlar denendikten ve yetersiz olduğu görüldükten sonra, yeni bir tesis planlamasından söz edilebilir. Bazı durumlarda ise değişimin maliyeti karşılanamayacak kadar büyükse, kısmi uygulamalar yapmak daha kolay bir yol olabilir. Böyle bir fırsat ortaya çıktığında, yerleşim, bu değişimlere çabuk uyum sağlayacak kadar esnek olmalıdır.

Böyle bir esnek yerleşimin geliştirilebilmesi için Harmon ve Peterson aşağıdaki maddelerin uygulanmasını önermiştir:

1. Daha etkin bir imalat yapısının oluşturulabilmesi için, fabrikadaki atölyeleri yeniden organize etmek.
2. Pratikte atölyelerin birbirine yakınlığının artırılması ile malzemelerin, komponentlerin ve ürünlerin yüklenmesi ve taşınmasında maksimum çevresel geçişi sağlamak.
3. Bir ürün yada ürün ailesine ayrılmış atölyeleri; envanteri ve yetersizlikleri minimize etmek ve iletişimi artırmak amacıyla, prosesin son işleminin gerçekleştirildiği atölye etrafına toplamak.
4. Genel komponent üreten atölyelerin, tedarikçileri olan atölyelerini, komponent taşıma mesafesini minimize etmek amacıyla merkezi bir yere yerleştirmek.
5. Çalışanların hareketlerini ve boşa geçirdikleri zamanı azaltmak için tesis boyutlarını minimize etmek.
6. Satın alınan malzemelerin komponentlerin ve montaj parçalarının merkezi bir yerde depolanmasını engellemek ve bunları ilgili atölyelere dağıtmak.
7. Gelecekteki büyüme ve değişimlerden dolayı oluşacak yeniden yapılanmaların miktarını minimize etmek.
8. Ofisleri ve destek hizmetlerini fabrika sınırları içerisine yerleştirmekten kaçınmak.
9. Geçiş alanlarının, üretim prosesi alanlarına oranını minimize etmek.

Fabrikayı bölerek daha küçük birim parçalara ayırmak fikri yeni bir kavram değildir. Tabi ki her bir alt birim veya atölye daha etkin şekilde organize edilebilir. Her bir atölye kendi ürün ve proses ihtiyaçlarını avantajlı duruma getirebilmek için alternatif yerleşim konfigürasyonları tasarlayabilir. Şekil 3.16'da atölye kavramına göre organize edilmiş bir fabrika görülmektedir.

Şekil; ana hat etrafında dönerek ilerleyen bir akış yapısını göstermektedir. Şekil 3.16 (a)'da malzeme akışı, U, I ve S şeklinde akış yapısına göre organize edilmiş atölyeler arasında yapılmaktadır. Tesislerin genişletilmesi yada daraltılması, modüler konfigürasyon sayesinde kolay şekilde sağlanabilir. Şekil 3.16 (b)'de gösterildiği gibi, her bir alt ünite (atölye) kendi içinde içe ve dışa doğru daraltılıp, genişletilebilir. Bununla birlikte, göz önünde bulundurulması gereken kritik nokta, merkezdeki akışın yapısıdır. Atölyelerdeki genişleme ve daralmalar sonucunda ana akıştaki, malzeme taşıma ekipmanlarının kapasitesinin aşılması ve sonucunda darboğazların oluşması ile karşılaşılabilir. Bu yüzden ilk tasarımda, gelecekteki malzeme akışı ihtiyacı sezinlenerek, yeterli olacak kapasite hesaba katılmalıdır (Tompkins, vd., 1996).



Şekil 3.16 Esnek yerleşime bir örnek (U, I, S tipi yerleşimler ve genişlemeler ve daralmalar sonucu yerleşimde meydana gelen değişiklikler) (Tompkins, vd., 1996).

3.6 Yerleşim Alternatiflerinin Geliştirilmesinde Dikkat Edilecek Hususlar

Son yerleşim planı, alternatif olarak geliştirilmiş yerleşim planlarının arasından seçilerek oluşturulacağı için, alternatif tasarımların sayısı, kalitesi ve çeşitleri fizibil olmalıdır. Eğer bir kişi tesis planlamanın sanat ve bilimin ikisini birden içerdiğini söylerse, o zaman “sanatın” yerleşim alternatiflerini oluşturma safhasında ortaya çıktığının söylenmesi uygun olacaktır. Bu aşama tasarımcının yaratıcılığının gerçekten test edildiği bir aşamadır.

Tasarımcı, düşüncelerini mevcut metottan ayırmaya ve etkilenmemeye çalışmalıdır. İdeal sistem yaklaşımı, alternatiflerin yaratıcı şekilde oluşturulmasını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Bunun yanında kişinin daha çok ve daha iyi tasarım alternatifleri oluşturma kabiliyetini geliştirecek

başka yardımlar da vardır. Aşağıda yararlı oldukları kanıtlanan ve önerilmiş bazı yaklaşımlar verilmiştir.

- 1) Gerekli efor için çabalamak.
- 2) Zaman limiti koymak.
- 3) Birçok alternatif aramak.
- 4) Bir amaç belirlemek.
- 5) Soru sorma konusunda açık fikirli ve cömert olmak.
- 6) Ayrıntılara takılıp kalmamak.
- 7) “Bir iki ağaç yüzünden, ormanı görmekte başarısız olmamak.”
- 8) Önce büyük, sonra küçük düşünmek.
- 9) Tutucu olmamak.
- 10) Olgunlaşmamış retlerden kaçınmak.
- 11) Olgunlaşmamış kabullerden kaçınmak.
- 12) Diğerlerinin benzer problemlerine başvurmak.
- 13) Literatüre başvurmak.
- 14) Diğer organizasyonlardaki meslektaşlara başvurmak.
- 15) Beyin fırtınası tekniğini kullanmak.
- 16) Düşünceleri, mevcut çözümlerden uzaklaştırmak.
- 17) Eforu tüm zamana yaymak.
- 18) Çalışmaya, operasyon elemanlarını dahil etmek.
- 19) Çalışmaya, yönetimi dahil etmek.
- 20) Çalışmaya, tecrübeli insanları dahil etmek.
- 21) Çalışmaya, tecrübesiz insanları dahil etmek.
- 22) Çalışmaya, değişime karşı olanları dahil etmek.

- 23) Çalışmaya, değişimin yanında olanları dahil etmek.
- 24) Rekabet ortamında neler olduğundan haberdar olmak.
- 25) Kendi sınırlamalarının farkında olmak.
- 26) Eğilimleri gözlemek.
- 27) Önce ev ödevini yapmak.
- 28) Gereksinimleri anlamak.
- 29) Geliştirilen mevcut bir metodu gözden kaçırmamak.
- 30) Uzun vadeli düşünmek.

Herhangi büyüklükteki bir problem için mümkün olan tesis yerleşimlerinin sayısı çok fazla olabilir. Bunun yanında, kısıtların ayrıntıları ve doğru bir amaç fonksiyonunun kurulması en iyi olarak “bulanık bir şekilde” başarılabilecek görevlerdir. Bu yüzden tasarım süreci, mümkün fizibil tasarımlar arasından en iyisinin seçimini gerektirmemektedir. Aksine, birkaç mantıklı tasarım arasından seçim yapılmasını içermektedir. Tasarımcıdan, “optimize” etmesi değil “tatmin” sağlaması istenmektedir (Tompkins, vd., 1996).

4. TESİS YERLEŞTİRMEDE MODELLEME

Bir yerleşimin geliştirilmesinde birçok amacın olmasına rağmen, birincil amaç aşağıda belirtilen noktalarda maliyeti ve zamanı minimize etmektir.

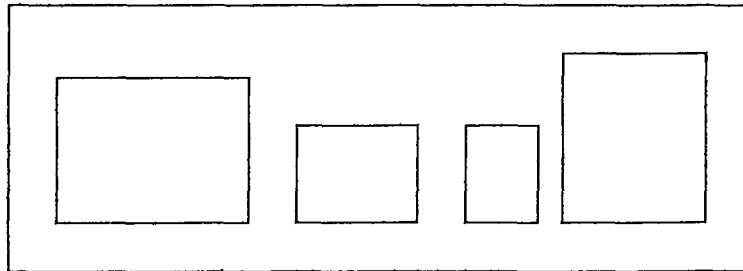
- Bir ofis yerleşimi söz konusu ise, personelin ve malzemelerin ofisler arasındaki hareketi,
- Bir makine yerleşimi söz konusu ise, yarı mamullerin, bitmiş ürünlerin, malzemelerin ve diğer araçların makineler ve iş istasyonları arasındaki taşınmaları,
- Bir depo yerleşimi söz konusu ise, depo alanından maddelerin alınması (Heragu, 1997).

Malzeme taşıma ve transportasyon maliyetlerini minimize edecek bir yerleşim çözümünün geliştirilmesi, yerleşim probleminin modellenmesini gerektirmektedir. Bu amaç doğrultusunda çoğunlukla matematiksel modeller kullanılmaktadır. Daha sonra da bu modeller uygun algoritmalar ile çözülmektedir.

Modelleme amacı doğrultusunda, yerleşim problemlerini iki tipte sınıflandırmak uygundur;

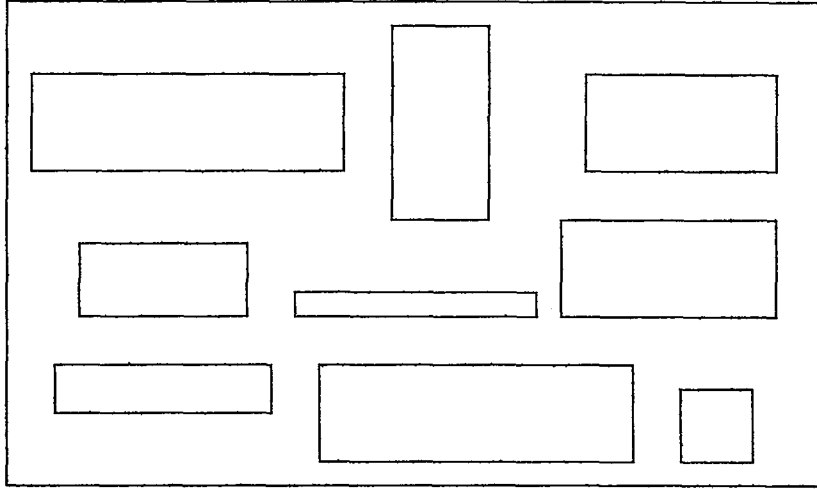
- Tek sıralı yerleşim problemleri,
- Çok sıralı yerleşim problemleri.

Tek sıralı ve çok sıralı yerleşim problemleri sırasıyla, tek boyutlu ve iki boyutlu alan tahsis etme problemleri olarak da adlandırılmaktadır. İsimlerden anlaşılacağı gibi, tek sıralı yerleşim problemlerinde tesisler doğrusal olarak Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, tek bir sıra boyunca dizilirler.



Şekil 4.1 Tek sıralı yerleşim (Heragu, 1997)

Çok sıralı problemlerde ise, tesisler doğrusal olarak, iki veya daha fazla sıra boyunca dizilirler. Yapılan bu tanımdan, tesislerin çok düzgün sıralar halinde dizilmeleri gerektiği sonucu çıkarılmamalıdır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, tesislerin merkezleri dikeyde veya düşeyde aynı doğrultuda bulunmayabilirler.



Şekil 4.2 Çok sıralı yerleşim (Heragu, 1997)

Burada yerleşim problemleri ile ilgili matematiksel modellerin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Uygun bir süre içerisinde çözüme ulaşabilen genel veya özel algoritmalar geliştirebilmek için kolaylaştırıcı bazı kabuller yapılması gereklidir. Bir çok uygulamada, bu tarz kabuller uygundur çünkü, elde edilen son çözüm kolay bir şekilde gerçek duruma adapte edilebilir. Bu değişiklikler yerleşimin verimliliği ve etkinliği ile ilgili kriterler üzerinde önemli farklar yaratmamaktadırlar. Örneğin tesislerin farklı boyutlarda olduğu bazı problemlerde, bütün tesislerin kare yada dikdörtgen şeklinde olduğu kabulü yapılabilir. Böyle bir kabul altında, uygun bir matematiksel model oluşturulur, bu modele göre bir yerleşim geliştirilir ve en sonunda göreceli pozisyonlarda değişiklik yapmadan, tesisler gerçekteki şekillerine uygun olacak şekilde değiştirilir. Bu değişiklikler yapıldığında, tesis çiftleri arasındaki mesafeler değişecek ve ilk hesaplanan amaç fonksiyonu değerinden daha farklı bir sonuç elde edilecektir. Genellikle, bu değişiklikler çok önemli bir fark yaratmayacaktır ve kabullerle oluşturulan şekil uygun olacaktır. Fakat bu kabullerin önemli farklılıklara neden olduğu ve modelin uygun olmayacağı sonucuna varılan durumlarda ortaya çıkabilir. Bu yüzden modelleri uygulamaya geçmeden önce, modelde yapılan kabuller ile problemin içeriğinin uygun olup olmadığı incelenmelidir (Heragu, 1997).

4.1 Tek Sıralı Yerleşim Problemi İçin Modelleme

Tek ve çok sıralı problemler anlaşılması kolay fakat optimal şekilde çözümleri zor olan problemlerdir. Bunlar lineer modeller olmamasına rağmen, tam sayılı ve gerçek bazı değişkenler eklenerek lineer hale getirilebilir. Tek sıralı yerleşim problemine uygun lineer olmayan bir model, ABSMODEL 1'dir. Bu model aşağıdaki kabulleri yapmaktadır;

1. Tesisler kare veya dikdörtgendir ve şekilleri önceden bilinmektedir.
2. Tesisler düz bir hat boyunca sıralanır.
3. Tesislerin oryantasyonu önceden bilinmektedir.
4. Tesislerin yerleştirileceği binanın şekli ile ilgili bir kısıtlama yoktur.

4.1.1 ABSMODEL 1

ABSMODEL 1’da kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir:

Parametreler

n	problemdeki tesis sayısı
c_{ij}	standart bir birimi, i ve j tesisleri arasında birim mesafede taşıma maliyeti
f_{ij}	i ve j tesisleri arasındaki gidiş geliş sayısı
l_i	i tesisinin yatay uzunluğu
d_{ij}	i ve j tesislerinin (sınırları) arasındaki minimum mesafe
H	zemin planının yatay uzunluğu

Karar Değişkeni

x_i	i tesisi ile dikey referans doğrusu (DRD) arasındaki mesafe
-------	---

Bu parametreler ve karar değişkenleri Şekil 4.3’de gösterildiği gibi şematize edilebilir. Burada tek sıralı bir yerleşim düzeninden bahsedildiği için, zeminin ve i tesisinin dikey boyutlarının bir önemi yoktur ve hesaba katılmamaktadır. ABSMODEL 1’in formülasyonu;

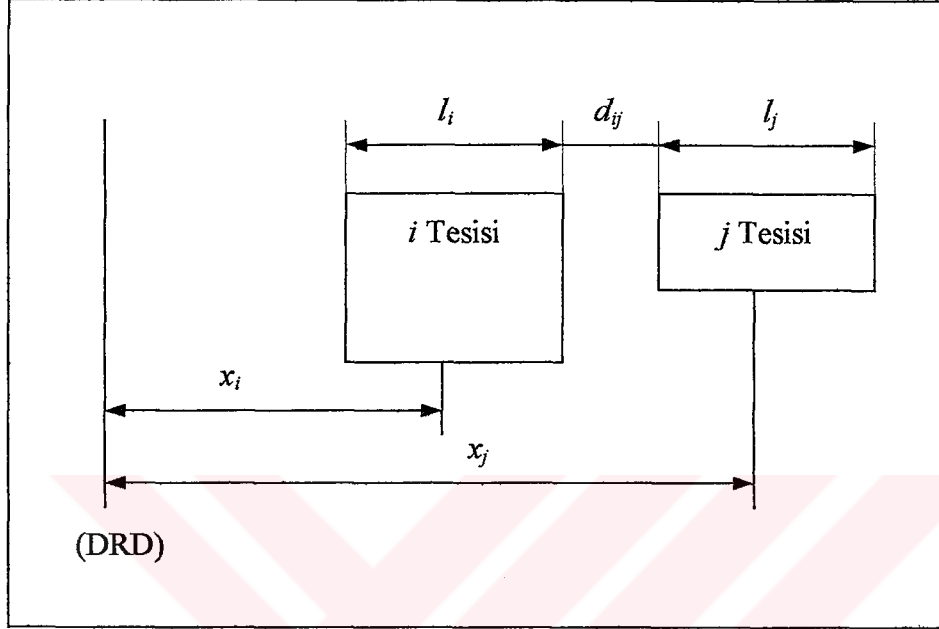
$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} |x_i - x_j| \quad (4.1)$$

$$\text{Kısıt} \quad |x_i - x_j| \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + d_{ij} \quad i=1,2,\dots,n-1, \quad j=i+1,\dots,n \quad (4.2)$$

Eğer, tesislerin yerleştirileceği binanın yatay uzunluğu belirli ise ve buna uygun bir yerleştirme söz konusu olacak ise modele bir kısıt daha eklemek gerekecektir.

$$H - \frac{1}{2}l_i \geq x_i \geq \frac{1}{2}l_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (4.3)$$

Bu kısıt (4.3), i tesisi, binanın sağ veya sol sınırındaki alanlarda bulunduğu durumlarda faydalı olacaktır.



Şekil 4.3 Tek sıralı yerleşim probleminin parametreleri ve karar değişkenleri (Heragu, 1997)

4.2 Eşit Alanlı Tesislerde Çok Sıralı Yerleşim Problemi İçin Modelleme

Kontrol panellerinin yerleşimi, otomatik üretim sistemlerindeki makine ve tezgahların yerleşimi ve ofis yerleşimi, çok sıralı yerleşim problemine verilebilecek birkaç örnektir. Kurulan modeller bu problemleri formüle edebilmek için geliştirilmişlerdir. Bu modellerden bazıları, kuadratik atama problemi, lineer karma tamsayılı programlama modeli ve lineer olmayan modeldir. Burada kuadratik atama problemi anlatılacaktır (Heragu, 1997).

4.2.1 Kuadratik atama problemi

Tesislerin aralarındaki malzeme akışına göre yerleştirilmesi problemi ilk olarak Koopmans ve Beckmann tarafından 1957 yılında, kuadratik atama problemi olarak modellenmiştir. Bir tesis yerleştirme probleminde, n tane tesisin verilen n adet alana atanması söz konusu ise, buradaki “atama” terimi, her bir tesisin belirli bir alan ile eşleştirilmesini belirtmektedir. Kuadratik atama problemi formülasyonu, eşit sayıda tesis ve alan gerektirmektedir. n tane alandan daha az sayıda, m tane tesis bulunuyorsa, bu durumda kuadratik atama problemi formülasyonunu

kullanabilmek için, $n-m$ tane yapay tesis yaratılmakta ve bu tesisler ile diğerleri arasındaki akışa sıfır değeri atanmaktadır. Eğer tesis sayısından daha az, alan bulunmakta ise, problem çözülebilir değildir. Kuadratik atama problemi adından da anlaşıldığı gibi, amaç fonksiyonu, değişkenlerin ikinci dereceden fonksiyonu olan bir atama problemidir ve iki değişkenin çarpımını içermektedir. Kısıtlar, değişkenlerin oluşturduğu lineer fonksiyonlardır. Şekil 4.4'te, dört alan, dört tesis ve her bir tesisin belirli alanlara atanmış hali görünmektedir (Heragu, 1997).

1	2	a	b	b,1	d,2
3	4	c	d	c,3	a,4

Şekil 4.4 Alanlara tesis atama (Heragu, 1997)

Kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir:

Parametreler

- n tesislerin ve alanların toplam sayısı
- a_{ij} i tesisini j bölgesine yerleştirmenin sağladığı net kazanç
- f_{ik} i tesisinden, j tesisine malzeme akışı
- c_{jl} j bölgesinden, l bölgesine birim malzeme taşıma maliyeti

Karar Değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ tesisi } j \text{ bölgesine atandıysa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Kuadratik atama problemi formülasyonunda dört kabul vardır:

1. a_{ij} , brüt gelirden, tesisler arasında malzeme taşıma maliyeti hariç, birincil maliyetlerin çıkarılması ile elde edilir.
2. f_{ik} , tesislerin yerleştirileceği alanlardan bağımsızdır.
3. c_{jl} , tesislerden bağımsızdır.

4. Malzemeleri i tesisinden k tesisine, üçüncü bir bölgeyi kullanmadan direkt olarak taşımak daha ucuzdur.

Bu durumda, kuadratik atama problemi modeli şu şekilde kurulur:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (4.4)$$

$i \neq k \quad j \neq l$

$$\text{Kısıtlar} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.7)$$

Amaç fonksiyonu, brüt gelirden birincil maliyetlerin ve tesisler arasındaki malzeme taşıma maliyetlerinin çıkarılmasından elde edilen sonucu maksimize etmeye çalışmaktadır. İkincil maliyetler, tesis çiftleri arasındaki akışın büyüklüğünün bir fonksiyonudur. (4.5) ve (4.7) kısıtları i tesisinin belirli bir tek alana atanmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde, (4.6) ve (4.7) kısıtları da, j alanının belirli bir tek tesise atanmasını garantilemektedir. a_{ij} , i tesisini, j alanına atamanın sabit maliyeti olarak yeniden tanımlanırsa, kuadratik atama problemi aşağıdaki şekilde değişir:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (4.8)$$

$i \neq k \quad j \neq l$

$$\text{Kısıtlar} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.7)$$

a_{ij} değerleri sıfır yada aynı ise, amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde kısılır:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (4.9)$$

$i \neq k \quad j \neq l$

(4.5) ve (4.7) ifadelerini içeren kuadratik atama probleminde, genellikle (4.9) ifadesi kullanılmaktadır. Kuadratik atama probleminin iki özel durumu, “lineer atama problemi” (LAP) ve “gezen satıcı-adam problemi” (GSP)’dir. LAP, bir objeler setinin her elemanını, aynı boyuttaki diğer objeler setinin elemanlarına atayarak, toplam atama maliyetini minimize etmektedir. GSP için verilebilecek bir örnek ise; n adet şehirden oluşan ve her bir şehir çiftinin arasındaki mesafelerin verildiği bir durumda, bütün şehirleri dolaşıp, başlanılan şehre geri dönerken en kısa yolu kullanmaktır. Diğer kuadratik atama problemlerinde olduğu gibi, LAP ve GSP’de de aynı sayıda objelere sahip iki set gerekmektedir. Eğer sayılar eşit değilse, eşitleyecek sayıda yapay değişken oluşturulur.

Kuadratik atama problemi, tesis yerleştirme problemlerinde sıkça kullanılsa da, her tip yerleşim problemine uygun değildir. Örneğin makinelerin yerleşiminde problem oluşabilir. Bütün makinelerin şekli ve büyüklüğü aynı olmadığı için alanlar arasındaki mesafeleri önceden bilmek mümkün olmamaktadır. Aslında bu çözülmesi zor bir problemidir. Bu tarz problemler kuadratik atama problemi ile formülize edilememişlerdir.

4.3 Tesis Yerleşiminde Kullanılan Yazılımlar

Detaylı olarak anlatılacak olan CORELAP ve CRAFT gibi yazılımların yanında, yerleşim problemlerinin, modellenmesinde, tasarımında ve analizinde kullanılan bazı paket programlar da mevcuttur. Her paket programın kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Burada AutoCAD tabanlı çalışan, FactoryCAD, FactoryPLAN ve FactoryFLOW paket programları anlatılacaktır.

4.3.1 FactoryCAD

FactoryCAD, AutoCAD’in ihtiyaçlara göre özelleştirilmiş bir yazılım aracıdır. Kullanıcıya yeni tesis planı oluşturma yada mevcut olanı geliştirme olanağı tanır. Program bir tasarımı tamamen oluşturmaya da, kullanıcıya bina duvarları, kapıları, pencereleri, kolonlarını, kullanım yollarını çizme ve çizimin seçilmiş bir kısmına yaklaşarak daha detaylı çalışma imkanı veren iyi bir taslak oluşturma aracıdır. Kullanıcı sembol kütüphanesinden makineler, malzeme taşıma araçları ve paket çizimleri seçebilir ve böylece tasarıma kolayca yeni makineler ya da malzeme taşıma sistemleri eklenebilir. Yazılım aynı zamanda bazı animasyonlar ve iş merkezi hesaplamaları yapabilir. Bu FactoryCAD bir çizim aracı olarak en kullanışlı olandır ve yalnızca bu amaç için kullanılmalıdır.

4.3.2 FactoryPLAN

FactoryPLAN, tesis planlamada, “Sistematiik Yerleşim Planı” yaklaşımı tabanlıdır. FactoryCAD bir çizim aracıdır, FactoryPLAN ise kalitatif analiz aracıdır. İki paket de planlamada ve tesis tasarımı taslak çiziminde etkili olarak kullanılabilir. FactoryPLAN’ın yerleşim analizinde kullanımı iki adımdan oluşan bir prosedürdür. Birinci aşamada kullanıcı her departmanın enini, boyunu, adını, tipini, alan ihtiyacını girer (yada özel bir formatta tasarlanmış olan dosyalardan alınır). Sonra departman tipini, 9 tipten oluşan listeden seçer (örneğin depolama, taşıma, stok alanı, işleme vb.). En ve boy, departmanın şeklini belirler, fakat kabul edilen ilk şekil karedir. Sonra, kullanıcı departmanlar arasındaki ilişkileri gösteren bir faaliyet ilişkileri tablosuna girer. İkinci adımda kullanıcı, ilişkiler diyagramını oluşturur ve gelişmiş tasarımlar bulmakta kullanılır (burada departman yerleri sabitlenebilir ve tasarım puanları kolayca belirlenebilir). FactoryPLAN, oluşturulmuş yerleşimi departmanlar arasında hatlarla ya da hatlar olmadan, kullanıcıya gösterme imkanı tanır. Hatların kalınlığı, departman çiftleri arasındaki ilişkileri temsil eder ve yerleşimin görsel tasarımına yardımcı olur. Örneğin; kalınca çizilmiş bir hat, departmanlar arasında A derecesinde bir ilişki olduğunu gösterir ve departmanların mümkün olduğunca yan yana yerleştirilmesini gerektirir. Bu yazılım sayesinde kullanıcı tasarımı görsel olarak analiz edebilir; uygun iyileştirmeler yapabilir; böylece gelişmiş tasarımlar elde edebilir.

4.3.3 FactoryFLOW

FactoryFLOW, AutoCAD yazılımıyla oluşturulmuş mevcut bir yerleşime gereksinim duyan bir yerleşim yazılımıdır. Kullanıcı öncelikle mevcut yerleşim çizimini yükler, ardından üç anahtar bilgiyi, üç ayrı dosyaya yükler. Bunlar, ürün dosyası, parça rotalama dosyası ve malzeme taşıma ekipmanı dosyalarıdır. (Eğer veri bir tablo yada kelime işlemci olarak girildiyse, gerekli formata çevrilebilir ve programa eklenebilecek olan bir ASCII dosyası şeklinde saklanabilir.) ürün dosyası (üretile her ürün için bir tane), kullanıcının, bir zaman biriminde (yıl, ay, hafta, gün, vardiya) üretilen ürünlerin ünite sayısını ve adını girmesine olanak tanır. Kullanıcı aynı zamanda her ürüne, ürünün akış yolunu gözlemlemesine yardımcı olan, 256 renk çeşidinden birini atayabilir. Ürün bilgilerinin ardından ürünün parça rotalaması ile ilgili bilgiler girilmelidir. Parçalar, son ürüne giden montaj ya da yan montaj parçaları olarak düşünülebilir. Örneğin, bir el merdiveni (ürün), basamak, parmaklık ve vida gibi parçalardan oluşur. FactoryFLOW, her parçanın her hareketi ile ilgili bilgileri ister: hareket sayısı, kullanılan malzeme taşıma aletleri ve yükleme birimleri gibi. Bilginin son kısmı, malzeme taşıma ekipmanlarını içerir. Kullanıcı her malzeme transferi için kullanılan malzeme taşıma ekipmanını, FactoryFLOW’un on tip araçtan

oluşan listesinden seçer (örneğin, konveyör, forklift, AGV). Eğer kullanılan taşıma aracı listedeki tiplerden hiç birine uymuyorsa, kullanıcı “özel” bir araç belirleyebilir. Seçilen aletler için kullanıcı, kullanılabilir olanlarının sayısını, her bir zaman birimi (yıl) için yatırım maliyetlerini, aleti çalıştırmanın işçisiz saatlik değişken giderini (örneğin, yakıt, güç ve bakım maliyetleri), saatlik değişken işçilik giderlerini, yükleme ve boşaltma zamanlarını, ortalama hızlarını ve tahmini yüklü hareket yüzdelelerini girmektedir.

Ürün, parça rotalama ve malzeme taşıma aracı verileri girildikten sonra, yazılım kullanıcıdan, her bir hareket için malzeme taşıma yollarının çizimini ister. Yazılım bu çizimi, üç dosyadaki veriyi ve AutoCAD yerleşim dosyasını temel alarak, toplam uzaklıkları ve maliyetleri hesaplar. Sonrasında kullanıcı, kalınlıkları, hareket maliyetine ya da bir gidişteki hareket sayısına uygun olarak belirlenmiş olan derecelendirilmiş ürün akış hatları oluşturabilir. Örneğin, bir hareketin maliyeti diğerine göre iki kat fazlaysa ve kullanıcı hareket maliyetine uygun kalınlıklara göre derecelendirilmiş ürün akış hatları talep ettiyse, ürün akış hattı ikinci harekette, birinci hareketin yarısı kalınlıkta olur. Bu, kullanıcının göreceli olarak daha pahalı olan malzeme taşıma hareketlerine odaklanmasına izin verir. Yazılım aynı zamanda, diğer bilgiler arasından toplam taşıma yolunu, her bir iş istasyonu çifti arasındaki uzaklığı, maliyetleri ve malzeme taşıma aracı faydalanma oranlarını içeren bir malzeme taşıma raporu oluşturma yeteneğine sahiptir.

FactoryFLOW'un kullanışlı özelliklerinin olmasının yanı sıra, yerleşim planı oluşturmaması büyük bir eksikliklerdir. Buna rağmen kullanıcı ürün akış diyagramını test edebilir, belli iş istasyonlarının yerlerinde ya da özel kısımların malzeme akış hatlarında değişikliğe karar verebilir ve böylece sağlanan faydalanma oranını olduğu kadar malzeme taşıma maliyetlerini ve uzaklıkları yeniden hesaplayabilir. Yazılımın çıktısını test etme, tahsis edilmiş iş istasyonlarında yerleşim değişiklikleri yapma, malzeme akış hatlarını değiştirme ve sonucunda maliyetleri ve diğer bilgileri yeniden hesaplama gibi adımlardan oluşan bir prosedür, kullanıcı tarafından tatmin edici bir yerleşim planı elde edilinceye kadar tekrarlanabilir. Çünkü mümkün $n!$ adet tasarım vardır. Burada n tesis sayıdır. Kullanıcı birçok tasarım oluşturabilir ve deneme yanılma yoluyla içlerinden nesnel fonksiyon ölçümlerini minimize eden birini seçebilir. Böylece FactoryFLOW; BLOCKPLAN ve CRAFT gibi yazılımlarla önceden tasarlanmış olan yerleşimleri geliştirmede bir destek işlemci olarak kullanılabilir. Kullanıcı küçük değişiklikler yapabilir ve önceden yapılmış yerleşimleri geliştirmeye çalışabilir.

Wisconsin Horicon'da, Deere&Company fabrikası, proses ve grup teknolojisi temelli yerleştirmede, malzeme taşıma maliyetlerini belirlemek için FactoryFLOW kullanmışlardır

(Tamashunas, Lebban and Sly, 1990). Analistler, grup teknolojisi tabanlı yerleşimin malzeme taşıma sırasında alınan yolu %30 oranında azaltabileceğini ve geleneksel prosese göre yerleşime nazaran daha az malzeme taşıma aracı gerektiğini göstermişlerdir. FactoryFLOW, aynı zamanda bazı değişkenler değiştirildiğinde, sonuç nasıl etkilenir gibi analizler için de kullanışlıdır. Örneğin bir kullanıcı, yüksek hacimli bir partinin malzeme akış yolundaki değişikliğe göre, malzeme taşıma maliyetinde nasıl bir değişme olacağını belirleyebilir.

FactoryOPT, FactoryFLOW'un özelliklerine ek olarak, 2-opt ve 3-opt algoritmaları da dahil edilerek hazırlanmış yeni bir yazılımdır. Optimizasyon algoritmalarında kullanılan üç yazılım paketi daha bulunmaktadır. Bunlar; SPIRAL, LayOPT, Factory Modeler algoritmalarıdır. SPIRAL, malzeme akışı analizinde yetersiz kalsa da, iyi bir grafik ara yüzüne sahiptir, 99 adet tesis için kullanılabilir ve aynı zamanda ekonomiktir. LayOPT ve Factory Modeler daha pahalı olmalarına karşın çoğu yazılım paketinden daha fazla özellik içermektedirler ve FactoryOPT'la rekabet edebilirler. FactoryOPT ve LayOPT, optimizasyon algoritmalarına ve iyi kullanıcı ara yüzlerine sahip olması ve FactoryFLOW'la rekabet edebilecek kullanışlı diğer özelliklerinin bulunması nedeniyle, endüstrinin en önemli yazılımları olarak kabul edilmektedirler.

4.4 Modern Üretim Sistemlerinde Yerleşim Konuları

Burada incelenen yerleşim problemleri üç kabule dayandırılmaktadır:

1. Yerleşim problemleri iki boyutlu olarak düşünülür, tesisler iki boyutlu bir düzleme yerleştirilir.
2. Tesis tasarım kararları verilirken, gelecekte hangi ürünün hangi üretim ekipmanı ile üretileceği gibi üretim aktiviteleriyle ilgili bilgiler bilinmelidir.
3. Ürün karması ve hacmi sürekli olarak aynı kalacaktır.

Bu kabullerin geleneksel üretim sistemleri için kullanılması uygundur, fakat modern üretim sistemleri için geçerlilikleri kalmamıştır. Bu nedenle, bu kabullerin kullanımının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Öncelikle son iki kabulün etkileri gözden geçirilmelidir. Ürün karmasının ve miktarının sürekli aynı kalması ve geleceğe ait üretim faaliyetleri bilgilerinin tasarım aşamasında biliniyor olması, sabit bir iş ortamında çalışılıyor anlamına gelecektir. Yapılacak olan tesis tasarımının, uzun süre kullanılmaya uygun olması gerekmektedir (5 yıl ya da daha fazla). Fakat bilinmektedir ki,

mevcut endüstriyel ortam yüksek seviyede değişken ve belirsizdir. Nicol ve Hollier'in 1983 yılında üretim sistemleri ile ilgili çalışmalarında, bir yerleşimin gerçek ömrünün – bir tasarımın uygulanmasına karar verilmesinden, en az üç proses ekipmanının değiştirilmesine kadar geçen süre – iki yıl olduğundan söz etmektedir. Herague ve Kochar (1994), bir yerleşimin gerçek ömrünün geçen 10 yılda azaldığını, 1 yıl ya da daha altına düştüğünü iddia etmektedirler. Bu düşüşü, ürün tasarımındaki sürekli değişime ve müşterinin fonksiyonellik taleplerindeki artışlara bağlı olduğu gibi, yüksek orandaki teknolojik buluşlara da bağlamaktadırlar. Örneğin, malzeme teknolojisinde, proseste ve proses ekipman teknolojisinde kayda değer ilerlemeler yaşanmıştır. Daha hafif ve daha iyi yapısal özelliklere sahip olan alüminyum bileşikler, günümüzde dökme demir parçalar yerine kullanılmaktadır. Lazerli kesme işlemleri, elektron ışınları ile sertleştirme, kısmi katı demir işleme gibi yeni teknikler, geleneksel şekillendirme ve talaş kaldırma işlemlerinin yerini almıştır. Bu ve benzeri ürün tasarımında, fonksiyonellikte ve maliyet etkili konularda sık değişiklikler sebebi ile bir yerleşimden diğerine geçmek, sürekli talepleri karşılayabilmek için bir gereklilik haline gelmiştir.

Gelecekteki sistemlerde, mevcut tesislerin yeniden tasarımı, yeni tesis tasarımından daha çok rastlanan bir durum olacak gibi görünmektedir. Malzeme taşıma maliyetleri, mevcut yerleşimde ve yeni yerleşimde çok önemli bir unsur olsa da, göz önünde bulundurulması gereken diğer bir unsur, tesislerin mevcut yerleşimdeki pozisyonlarından, yeni yerleşimdeki yeni lokasyonlarına taşınmasının maliyetidir. Bu maliyet çok önemli olabilir, hatta bazı makineler için malzeme taşıma maliyetleri göz ardı edilebilmektedir. Diğer bir değişle, bazı ekipmanları bir yerden başka bir yere taşımak, bu iki makine arasındaki malzeme taşıma maliyetlerini düşürse de, yüksek maliyetli fiziksel taşımalar, bu değişikliği engelleyebilir.

Yeniden yerleştirme problemleri için, CRAFT-M diye adlandırılan bir yazılım – CRAFT'ın bir genişletilmiş versiyonu – kullanılabilir. CRAFT-M, malzeme taşıma maliyetlerine ek olarak, bir tesisin mevcut lokasyondan diğer bir lokasyona taşıma maliyetini de göz önüne almaktadır (Hicks ve Cowan, 1976). Program, yerleşimin yeniden düzenlenmesinin maliyetini belirlemede kullanılmaktadır, çünkü tesis taşımanın sabit ve değişken maliyetleri de göz önüne alınmaktadır. Bir tesisin yeniden tasarım maliyetlerini belirlemek oldukça zordur ve yalnızca yenilenmiş yerleşimin gerçek maliyetlerine dayanmaz (örneğin işçi maliyetleri ve yeniden yerleştirmede kullanılan ekipmanların kira maliyetleri) aynı zamanda kayıp üretimlerin maliyetlerinden de etkilenir. Pratikte bu maliyetler çoğunlukla tahminidir.

Literatürde yeniden yerleşim problemi, dinamik yerleşim problemi olarak adlandırılmaktadır. Birçok araştırmacı bu probleme değinse de çoğu, ilk tasarım aşamasında ürün karması ve miktarındaki değişikliklerin bilindiğine dair kabullerde bulunmaktadır (örneğin, Rosenblatt 1986; Urban 1993; Lacksonen 1994; Montreuil ve Venkatadri 1991). Heragu ve Kochhar 1994 yılında bu kabullerin kesin olmayan ve değişken durumlarda geçerli olmayacağını belirtmişlerdir. Bu ortamlar, karışım ve hacimdeki değişikliklerin üretim akışlarını öncelikli olarak etkilediğinin bilindiği ortamlardır.

Önceden listelenmiş olan kabullerden ilki– yerleşim probleminin iki boyutlu olduğuna dair olanı – yeniden gözden geçirilirse; bu kabulün, genellikle üretim sisteminde geçerli olduğu görülür. Fakat tesislerin, birden fazla katta yerleşmiş olduğu ofis tasarım problemlerine uygulanamamaktadır. Heragu ve Kochhar (1994) ve Bozer, Meller ve Erlebacher (1994), üretim sistemlerinin gelecekte üç boyutlu tasarım problemleriyle karşı karşıya kalacağına dair nedenler ve örnekler göstermişlerdir. Eğer makineler özel bir temel gerektirmeyecek kadar hafifse, arazi fiyatları çok yüksekse, yeni bir tesis yapmak varolan bir tesisi yenilemenin 10 kat fazlasıysa, dikey boyutlarda büyüme düşünülebilir, böylece 2 boyutlu yerleşim problemi, 3 boyutluya dönüşebilir. 3 boyutlu (dikey) yerleşim problemlerinde karar vermek, zaten karışık olan 2 boyutlu problemlere ek bir karışıklık getirecektir. Örneğin, farklı katlara yerleştirilmiş iki tesis arasındaki uzaklık lineer olmayabilir. Asansörlerin sayısı ve yerleşimi iki tesis arasında çoklu rotalar yaratabilir, böylece her rota ayrı ayrı gözden geçirilmeli, denenmeli ve en kısa olan seçilmelidir (Johnson, 1982). Çok katlı problemler için birçok algoritma bulunabilir. Bunlara aşağıda kısaca değinilmiştir.

BLOCPLAN'ın temel düşüncesi, üç boyutlu yerleşim problemlerini birden çok iki boyutlu yerleşim problemi olarak düşünmektedir. İki boyutlu problem sayısı, yerleşimdeki kat sayına eşittir. Çok katlı bir yerleşim geliştirmek için BLOCPLAN, öncelikle kat sayısının girilmesini isteyecektir. Sonra her katta tesislerin listesine gereksinim duyacaktır. Kullanıcı bu listeyi kendi sağlayabileceği gibi, BLOCPLAN'ın otomatik olarak oluşturmasını da isteyebilir. Alan farklılık faktörü (AFF), çok katlı yerleşimler için aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$AFF = \max \left[\frac{(A_{\max} - \bar{A})}{\bar{A}}, \frac{(\bar{A} - A_{\min})}{\bar{A}} \right] \quad (4.10)$$

Burada, $\bar{A}$ her katın ortalama alanını temsil eder (her kattaki tesislerin toplam alanının kat sayısına bölünmesi ile bulunur) ve $A_{\max}$ ve $A_{\min}$ sırasıyla, her katta ihtiyaç duyulan en büyük ve en küçük alanlardır. Alan farklılık faktörü, $\bar{A}$ ile bulunan optimal kat alanından, maksimum sapmayı gösteren bir ölçüdür.

BLOCPLAN, bunlara ek olarak, bölme skoru denilen bir etkinlik ölçütü belirler. Bu ölçüt, ilişkilerden en iyi hangi şekilde faydalanılabileceğini göstermektedir. Farklı katlardaki tesislerin, aralarında bir yakınlık ilişkisi olmayacağını kabul ederek ve aşağıdaki formülü kullanarak skoru hesaplamaktadır. Burada D_{ij} , i ve j tesisleri aynı katta iseler, 1 değerini, aksi durumlarda 0 değerini almaktadır. R_{ij} ise, i ve j tesisleri arasındaki ilişki koduna verilen nümerik değerdir.

$$BS = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij} D_{ij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij}} \quad (4.11)$$

Eşitliğin, paydasındaki toplam içine negatif değer alan tesis çiftleri dahil edilmemektedir. Kullanıcının, tesislerin yerlerini korumak yada değiştirmek gibi opsiyonları mevcuttur.

Tatmin edici bir yerleşim kaydedildikten sonra, BLOCPLAN her katı, bölünmüş ayrı birer yerleşim problemi gibi görmekte ve farklı katlardaki tesis listelerinin ilişki kodlarını farklı veri dosyalarına kaydetmektedir. Kullanıcı, kaydedilen her problemi, tek katlı bir yerleşim problemi olarak çalıştırmakta ve ortaya çıkan yerleşimleri, çok katlı bir yerleşim elde etmek için birleştirmektedir.

5. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TESİS YERLEŞTİRMEDE KULLANILAN ALGORİTMALAR

4. bölümde, tek sıralı ve çok sıralı yerleşim problemlerine yönelik modeller anlatılmıştır. Modelleme, problemlerin daha açık ve anlaşılır hale getirilmesinde ve geliştirilecek yerleşimin kritik faktörlerini ortaya koymada önemli rol oynamaktadır. Modelin kendisi, probleme bir çözüm üretmede yeterli olamaz, bununla birlikte bir modeli çözümleyebilmek için algoritmalara yada çözüm tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Algoritmalar, sınırlı sayıda adımdan oluşan ve adım adım ilerleyen, modele ve dolayısıyla probleme çözüm getiren prosedürlerdir.

Bu algoritmaların bir kısmı son 30 yıldır kullanılmakta, bir kısmı ise yeni geliştirilmiş ya da üzerinde çalışılmaktadır. Modelleri, algoritmalar ile çözülmeye uygun hale getirebilmek için bazı kabuller yapılması gerekmektedir. Bu kabullerin bazıları gerçekçi bazıları ise gerçeğe uygun olmayabilir. Örneğin 4. bölümde anlatılan kuadratik atama probleminde (QAP), tesislerin kare şeklinde olacağı kabul edilmiştir. Benzer şekilde tüm modellerde, malzeme taşımalarının tesislerin merkezleri arasında gerçekleştiği ve birim yükü taşıma maliyetinin bu merkezler arasındaki uzaklıkla orantılı olduğu kabul edilmiştir. Bu kabullerin bir çoğu gerçekçi olmasa da, modeller çok kullanışlıdır. Bir yerleşim analisti modeldeki bu kabullerin farkında olmalı ve uygun bir algoritma tarafından dikkatle üretilmiş çözümleri kullanmalıdır. Bu çözümler sadece, gerçek hayattaki uygulamalara bir temel teşkil edecek şekilde kullanılmalıdır (Apple, 1977). Böylece modeller, tüm bu kabullere rağmen pratikte uygulanabilen, anlamlı çözümler üreten mekanizmalardır.

Burada anlatılacak olan algoritmaların büyük bir kısmı bilgisayar desteği kullanılan teknikleri kapsamaktadır. Aslında, bütün algoritmalar bilgisayar programlama dilleriyle kodlanabileceği için “bilgisayar destekli” terimini kullanmak çok gerekli değildir.

Yerleşim problemleri üzerine, 1940’ların sonlarından beri çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle 1940’larda ve 1950’lerde bu alanda birçok araştırma yapılmıştır. Başlangıçtaki çabalar, akış şemaları, proses şemaları ve analistlerin tecrübeleri ile bilgilerini kapsamaktaydı. Bunlarla birlikte kullanılan diğer bir metot da faaliyet ilişkileri şemasıdır. 3. bölümde de anlatıldığı gibi, faaliyet ilişkileri şeması sistematik yerleşim planlama tekniğinin temelini oluşturmaktadır (Muther, 1973). 1958’de ise Wimmert, ürün akış miktarlarını ve tesis kombinasyonları arasındaki mesafeleri minimize etme kriterlerine dayanan, matematiksel bir çözüm metodu geliştirmiştir. Daha sonra Wimmert’in metodunun kusurlu olduğu Conway ve Maxwell (1961) tarafından ortaya atılmış ve kanıtlanmıştır. Buffa (1955), kuyruk analizi metodunu ortaya

atmıştır. Temelinde, fabrikadaki prosesler içerisinde gerçekleştirilen operasyonlarda kuyrukta bekleyen parçalarla ilgili çalışmalar vardır. Ek olarak bazı çalışmalarda 1960'ların başlarında devam etmiştir. Bütün bu çalışmaların geneli çok kaliteli çözümler üretememişlerdir. Burada da bu konular üzerinde çok durulmayacaktır.

Koopmans ve Beckman 1957'de yerleşim ve yer seçimi problemleri ile ilgili Kuadratik Atama Problemi formülasyonunu geliştirmişlerdir. O zamandan beri çok sayıda algoritmalar üretilmiştir ve bunlar genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Optimal Algoritmalar ve
- Sezgisel Algoritmalar.

Bunların içinde öncelikle, sezgisel algoritmaları ele almak daha uygun olacaktır.

5.1 Sezgisel Algoritmalar

Yerleşim problemleri ile ilgili geliştirilen optimal algoritmaların genelinde bir dezavantajı vardır. İhtiyaç duyulan hafıza ve hesaplama zamanı çok fazla ve problemin büyüklüğü ile üssel olarak orantılıdır. Bu sebeplerden, tesis yerleşim problemleri ile ilgili optimal algoritmalarından çok sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Burada sezgisel algoritmaları üç sınıfa ayırmak inceleme açısından kolaylık sağlayacaktır. Bunlar:

1. Kuruluş algoritmaları
2. Geliştirme algoritmaları
3. Melez (hibrid) algoritmalar.

5.1.1 Kuruluş algoritmaları

Kuruluş algoritmaları, tesis yerleşimini en baştan başlayarak oluştururlar. Boş bir yerleşim ile başlanır, eldeki tüm tesisler bitene kadar, art arda birer tesis veya tesis setleri yerleşime dahil edilir. Çok çeşitli yapım algoritmaları arasındaki temel farklılık, aşağıdakileri belirlemede kullanılan kriterlerle ilişkilidir:

1. Yerleşime girecek olan ilk tesis;
2. Sonradan gelen tesis veya tesislerin yerleşime eklenmesi ve

3. İlk ve sonraki tesislerin yerleşim içerisindeki konumları.

Yapım algoritmalarının birçoğu son 30 yıl içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kusiak ve Heragu (1987) tarafından listelenmiş ve tekrar gözden geçirilmiştir. Burada; anlaması, açıklaması ve kullanması kolay; bununla birlikte küçük çaplı problemlere iyi sonuçlar üretmesi yönüyle iki yapım algoritmasına değinilmiştir.

5.1.1.1 CORELAP

CORELAP ilk olarak geliştirilen ve komputeze edilen kuruluş algoritmasıdır (Lee ve Moore, 1967). Bu algoritma, kalitatif verileri içerir ve bunları kantitatif verilere çevirerek, ilk tesisin yerleşime katılması yönünde kullanır. Sonraki tesislerde yerleşime dahil edilmiş olan tesislerle aralarındaki ilişkinin seviyesine göre, birer birer yerleşime eklenirler. Burada kullanılacak olan sayısal veriler faaliyet ilişkileri şemasından elde edilir. Faaliyet ilişkileri şemasında A, E, I, O, U ve X olarak belirtilen kodlar komşu tesis çiftleri arasındaki ilişkileri temsil eder.

A kodu tesis çiftleri arasında çok önemli bir ilişki olduğunu gösterir ve kesinlikle yan yana yerleştirilmelidirler. Diğer bir uç nokta olan X kodu ise ilgili iki tesisin yan yana yerleştirilmemeleri gerektiğini gösterir. E, I ve O kodları ise azalan önem sırasına göre tesis çiftleri arasındaki ilişkileri gösterir. Eğer aradaki ilişki U koduyla ifade edilmişse, bu tesis çiftinin aralarında herhangi bir özel ilişkinin bulunmadığı anlamına gelir.

Kalitatif veriler sadece, kantitatif ve nümerik verilerin kullanılmasının zaman alıcı ve pahalı olduğu zaman kullanılır. CORELAP, her bir tesis çifti arasındaki ilişkilerin ve her bir tesisin ihtiyaç duyduğu alanların kullanıcı tarafından belirtilmesi gerektirmektedir. İlişkileri belirten bu kodlara 6, 5, 4, 3, 2 ve 1 nümerik değerleri atanabilir. Fakat CORELAP'ın tanıtılmasına devam edilmeden önce bilinmelidir ki, iki sebepten dolayı bu mevcut değerler birçok yerleşim senaryosuna uymayacaktır. Birincisi, bu ilişkilere 6, 5, 4, 3, 2 ve 1 nümerik değerlerinin atanması, E ilişkisine göre çok daha önemli olan A ilişkisini yada I ilişkisine göre çok daha önemli olan E ilişkisini yada diğer ilişkileri yeterli derecede temsil edememektedir. İkincisi ise, X 'in alacağı pozitif bir değer sonucunda, kesinlikle yan yana gelmemesi gereken iki departmanın, her zaman için bu şartı sağlaması mümkün olmayabilecektir. Bu sebeplerden genellikle A, E, I, O ve U kodlarına atanacak değerler sırasıyla, $2^5=32$, $2^4=16$, $2^3=8$, $2^2=4$ ve $2^1=2$ olacaktır. X ise A'ya verilen değer negatifini (-32) alacaktır. Buradaki fikir, yakınlık ilişkilerinden mümkün olabildiğince fazla yararlanılacak uygun değerleri atamaktır.

CORELAP kullanılırken yukarıda verilen değerler her durum için uygun olmayabilir ve istenildiği durumlarda kullanıcı tarafından değişik değerler verilebilmektedir. Uygun değerler girildikten sonra CORELAP, her bir tesis için “toplam yakınlık oranı” (TYO) olarak ifade edilen bir değer hesaplamaktadır. Bu değer her bir tesisin diğer tüm tesislerle arasındaki ilişkilerden dolayı aldığı nümerik değerlerin toplamından oluşmaktadır. En yüksek toplam yakınlık oranına (TYO) sahip olan tesis seçilerek yerleşimin merkezine yerleştirilir. Bazı algoritmalarda (ALDEP gibi), yerleşime dahil edilecek ilk tesis rassal olarak ta seçilebilir. İki yada daha fazla tesis arasında TYO eşitliği söz konusu olduğu durumlarda, alanı daha büyük olan tesis ilk olarak yerleşime dahil edilir. Eşitlik yine bozulmazsa, ilk tesis seçilir.

Yerleşime dahil edilmiş bir tesis, “sürekli tesis” olarak ifade edilmektedir. Yerleşime henüz dahil edilmemiş tesisler ise “geçici tesisler” olarak ifade edilir. TYO’ ya göre seçilmiş ilk tesis, merkeze yerleştirilir ve o artık devamlı bir tesistir. Sonraki (ikinci) yerleştirilecek olan tesis, merkezdeki devamlı tesisle olan ilişkisine göre seçilir. Devamlı tesisle aralarında en yüksek yakınlık ilişkisine sahip tesis yerleşime dahil edilir. Bu süreç üçüncü ve sonradan gelen diğer tesisler içinde devam eder. Devamlı tesislerle, geçici tesisler arasındaki yakınlık ilişkilerine göre seçim yapılır.

Faaliyet ilişkileri şeması, ilk giren devamlı tesis ile geçici tesisler arasında A ilişkisi olup olmadığı açısından kontrol edilir. Eğer A ilişkisi varsa yerleşime dahil edilir, yoksa ikinci devamlı tesis ile geçici tesisler arasında A ilişkisi kontrolü yapılır. A ilişkisi bulunamadığı sürece, devamlı tesisler tükenene kadar kontrole devam edilir. Bu kontrolün sonucunda iki durumla karşılaşılabilir:

1. Devamlı tesis ile geçici tesisler arasında bir A ilişkisine rastlanır,
2. Kontrol edilmemiş geçici tesis kalmaz.

İlk durumda bir devamlı tesisle, bir geçici tesis arasında A ilişkisi bulunur ve geçici tesis yerleşime dahil edilir. Eğer aynı devamlı tesis ile birden fazla geçici tesis arasında A ilişkisi mevcut ise algoritma TYO değerlerini kullanarak hangi geçici tesisin yerleşime dahil edileceğini (oranı büyük olanı seçerek) belirler. Eşitlik hala bozulmazsa, geçici tesislerin alanları karşılaştırılır ve en büyük alana sahip olan devamlı tesis olarak seçilir. Bu şekilde de eşitlik bozulmuyorsa, o zaman A ilişkisine rastlanan ilk geçici tesis, devamlı tesis olarak yerleşime dahil edilir.

İkinci durumda, geçici ve devamlı tesisler arasında A ilişkisine rastlanmayabilir ve algoritma E ilişkisinin kontrolünü yapmaya başlar. Tekrar geçici tesisler ile devamlı tesisler arasındaki ilişkilerin kontrolü, anlatıldığı şekilde yapılır. Bu prosedür, I, O ve U ilişkileri içinde tekrarlanır, ta ki devamlı tesis haline getirilecek geçici tesis kalmayınca kadar.

CORELAP’da yerleşim, 39X39 birimlik bir alan üzerine kurulur. Sonuç olarak 1521 birim karelik bir alan vardır. Yerleşimi yapılacak tesise göre, birimlere değer atanmalıdır. Bu kullanıcı tarafından girilmezse, algoritma kendi ayarlayacaktır.

Üzerinde durulması gereken diğer bir tanımlamada “Yerleştirme Oranı”dır (YO). Yerleştirme oranı; yerleşime dahil edilecek geçici tesis ile yerleştirilebileceği konumlardaki komşu devamlı tesisler ile arasındaki yakınlık ilişkileri değerlerinin toplanması ile elde edilen bir değerdir. Geçici tesis mevcut alternatifler arasında, en yüksek oranı elde ettiği yere atanır. Eşitlik olduğu durumlarda, sınır uzunluklarına bakılarak karar verilir. Daha uzun sınırın elde edildiği yer tercih edilir.

CORELAP’a girilmesi gereken diğer bir veri de “en-boy oranı”dır. Kullanıcı maksimum boy-en oranı yada sıkı yani bire yakın bir en-boy oranı girebilir. Sıkı bir oran hesaplama zamanını da azaltacak ve ince uzun, biçimsiz bir yerleşimin elde edilmesini sağlayacaktır. Yine bu oran kullanıcı tarafından girilmediğinde, algoritma kendisi uygun bir oran atayacaktır.

CORELAP’ın diğer algoritmalarından başka bir farkı ise, uzaklık olarak tesislerin merkezleri arasındaki mesafeyi kullanmak yerine, tesislerin sınırları arasındaki “en kısa” mesafeyi almasıdır. Herhangi iki tesis arasındaki uzaklık, aralarındaki birim kare sayısına eşittir. Buradan şu çıkarılabilir; komşu tesisler arasındaki uzaklık sıfırdır.

CORELAP ilk yapım algoritmalarındandır. Anlaması ve uygulaması kolaydır. Buna karşın bazı kesin dezavantajları vardır. Bunlardan birincisi, CORELAP’ın elde ettiği çözüm kullanıcının belirlediği verilere bağlıdır. Kullanıcının belirlediği, en-boy oranına ve ilişkileri gösteren kodlara atanan uygun nümerik değerlere göre farklı yerleşimler elde edilebilir. Bazı problemlere iyi çözümler getirebilmek için bu değişkenlerin çeşitli kombinasyonları tecrübe edilmelidir. İkinci dezavantaj ise eğer bir tesis belirli bir yere yerleştirilecekse, program sadece yerleşimin çevresinde bir yere yerleştirilmesine izin verir.

Aşağıda verilen sayısal örnek CORELAP’ın algoritmik fonksiyonunu göstermektedir.

Çizelge 5.1’de, beş adet tesisin ilişkileri ve her bir tesisin alanları verilmiştir. Kullanıcının A, E, I, O, U ve X kodları için belirlediği nümerik değerler; 32, 16, 8, 4, 2 ve -32 ise CORELAP’ın geliştireceği yerleşim aşağıdaki şekilde belirlenir.

Çizelge 5.1 Tesislerin yakınlık ilişkileri ve alanları

		TESISLER					Tesis Alanları (m ²)
		1	2	3	4	5	
TESISLER	1	_____	U	I	A	U	12,000
	2	U	_____	U	E	U	18,000
	3	I	U	_____	O	I	10,000
	4	A	E	O	_____	E	24,000
	5	U	U	I	E	_____	12,000

Birim karelerin uzunluklarını belirlemenin kullanıcının elinde yada programın inisiyatifine bırakılabileceği göz önünde bulundurularak, her bir birim karenin değeri 6000 olarak kabul edilebilir. Buna göre, 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı tesislerin sırasıyla, 2, 3, 2, 4 ve 2 birim kareye yerleştirileceği görülmektedir. Burada fark edilmektedir ki, 3 numaralı tesisin oranı küsürlü bir sayı olmasına rağmen program tarafından tam sayıya yuvarlanmıştır. TYO’nun hesaplaması Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 TYO değerlerinin hesaplanması

Tesis	TYO	Alan	Kare Sayısı
1	$2+8+32+2 = 44$	12,000	2
2	$2+2+16+2 = 32$	18,000	3
3	$8+2+4+8 = 22$	10,000	2
4	$32+16+4+16 = 68$	24,000	4
5	$2+2+8+16 = 28$	12,000	2

TYO tablosu hazırlandıktan sonra, yerleşime girecek olan ilk tesis belirlenir. Çizelge 5.2'den görüldüğü gibi en yüksek TYO değeri 68 ile 4 numaralı tesis, merkeze yerleştirilecek şekilde devamlı tesis olarak atanır. 4 numaralı tesisle A ilişkisine sahip tek tesis 1 numaralı tesis olduğundan yerleşime dahil edilir. Başka hiçbir tesis 1 ve 4 numaralı tesislerle A ilişkisine sahip olmadığından, E ilişkisi kontrol edilmeye başlanır. 2 ve 5 numaralı tesislerin 4 numaralı tesisle E ilişkisi bulunmaktadır. 5 numaralı tesisin TYO'su daha yüksek olduğundan yerleşime öncelikli olarak dahil edilir. Ardından 2 numaralı tesis girer ve son olarak da kalan 3 numaralı tesis yerleştirilir.

Yerleşime ilk dahil edilen tesis, merkeze yerleştirilir. 1 numaralı tesis, yerleştirme oranını ve sınır uzunluğunu maksimize eden ilk yer olması sebebiyle, 4 numaralı tesis yerleştirilir. 5 numaralı tesis, 1 ve 4 numaralı tesislerle U ve E ilişkilerine sahip olduğundan, bu iki tesisin soluna yerleştirilir ve ikisi ile de komşu olur. Bunun dışında hiçbir yer (1 ve 4 numaralı tesislerin sağ tarafı hariç) maksimize edememektedir. İlk olarak 1 ve 4 numaralı tesislerin sol tarafı hesaba katıldığından 5 numaralı tesis buraya atanmaktadır ve yerleştirme oranı da 18 olarak bulunmaktadır. Aynı sebeplerden dolayı 2 numaralı tesis de yerleşimin sol alt köşesine eklenir ve yerleştirme oranı 18 olur. 3 numaralı tesis ise 1 ve 5 numaralı tesislerle daha yüksek ilişkiye sahip olduğundan yerleştirme oranı maksimum yapan sol üste yerleştirilir. Bunların sonucunda tamamlanmış yerleşim Şekil 5.1'de verildiği gibi olur.

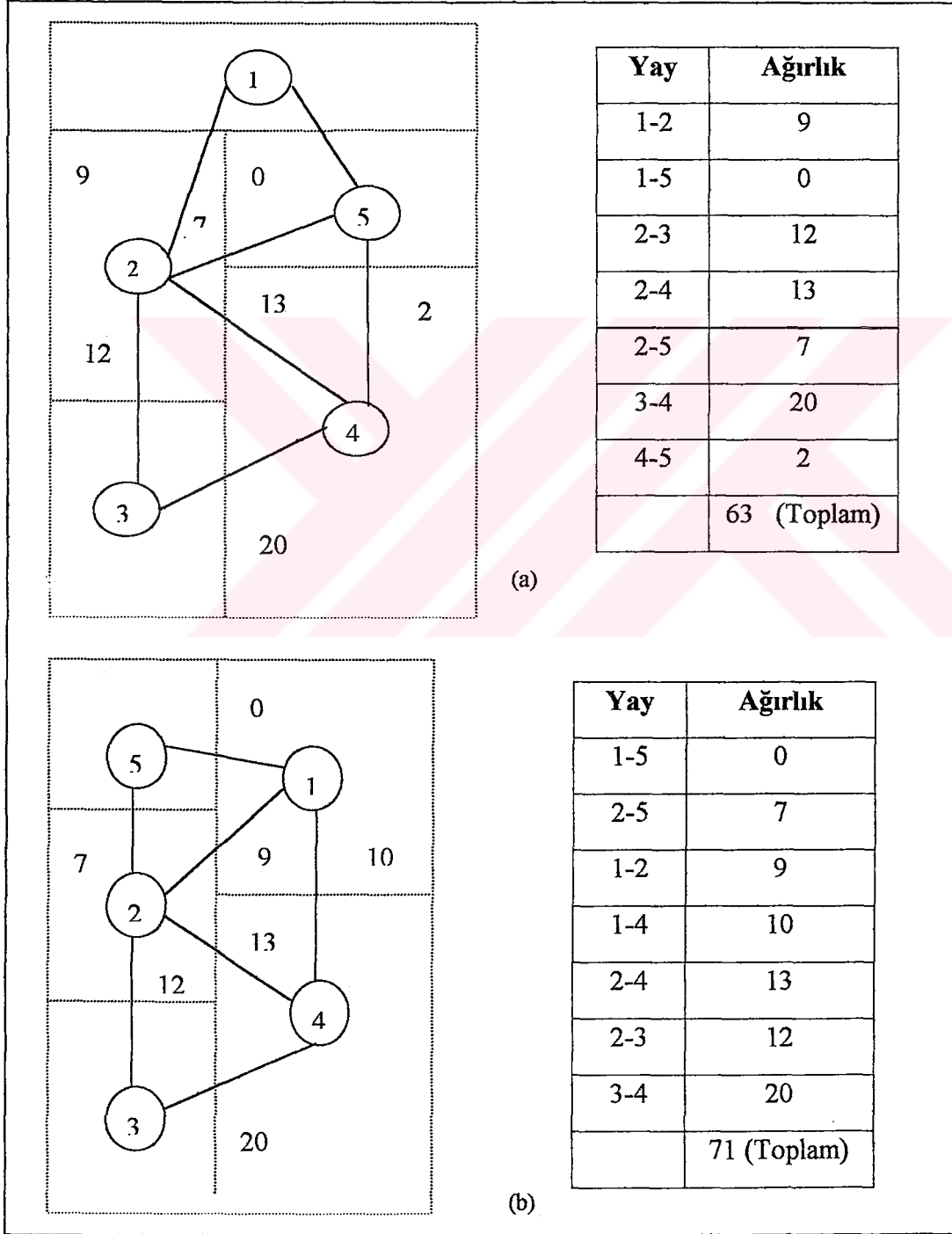
*	3	3	*	*	*
*	5	1	1	*	*
*	5	4	4	*	*
*	2	4	4	*	*
*	2	2	*	*	*
*	*	*	*	*	*

Şekil 5.1 CORELAP tarafından geliştirilmiş örnek bir yerleşim (Heragu, 1997)

5.1.1.2 Grafik tabanlı kuruluş metodu

Grafik teorisinin tesis planlama problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel bir araç olarak tanınması 1960'ların sonuna ve 1970'lere dayanmaktadır. Grafik teorisi metodlarının kullanımının, Muther'in geliştirdiği SYP metodu ile büyük benzerlikleri bulunmaktadır (Muther, 1973).

Şekil 5.2'deki blok plan yerleşimi göz önüne alındığında, ilk olarak her düğümün bir departmanı ifade ettiği ve iki düğüm arasındaki yayın iki departmanın ortak bir sınırı paylaştığını belirten komşuluk grafiği oluşturulur. Şekil 5.2 (b)'de ise alternatif bir blok plan yerleşimi için benzer bir grafik oluşturulmuştur. Şekil 5.3'de gösterilen iki grafik Şekil 5.2 (b)'de gösterilen ve şekil 5.3 (a)'daki ilişki çizelgesinden türetilen ilişki diyagramının alt grafiğidir. İlişki diyagramı, alfabetik yakınlık dereceleri yerine sayısal "ağırlıklar" ile de gösterilebilmektedir.

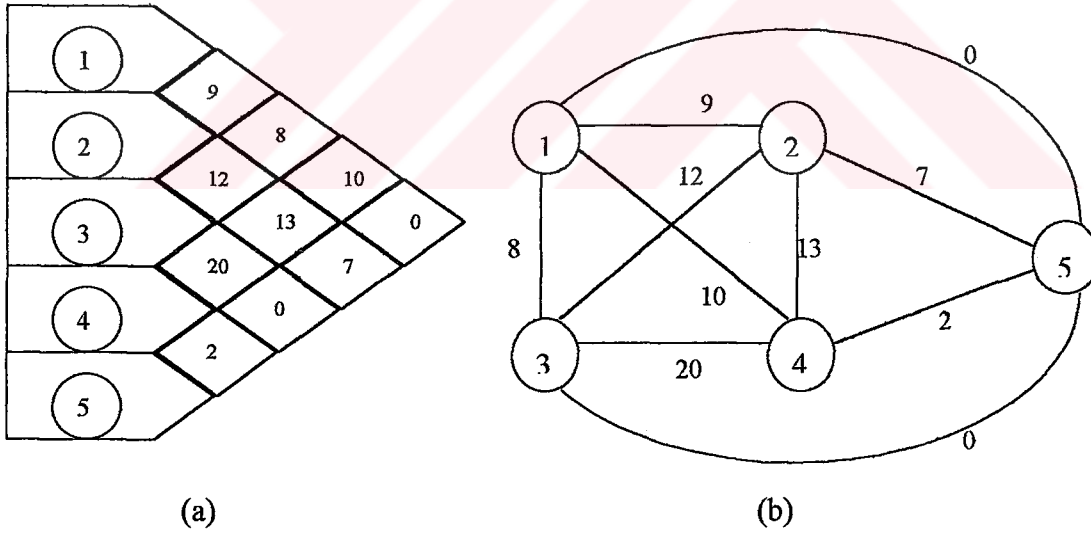


Şekil 5.2 Alternatif blok yerleşimleri için komşuluk grafikleri (Tompkins, 1996)

Hangi blok plan yerleşiminin daha iyi olduğunu hesaplamak için her bir yaya atanan ağırlık değerlerini toplamak gerekmektedir. Bu bağlamda 71 toplamına sahip olan blok planı (b), 63 değerine sahip olan blok planı (a)'dan daha iyidir. Bu yüzden, maksimum ağırlık değerlerine sahip bir blok plan yerleşimi bulmak, yay ağırlık değerleri toplamı maksimum olan bir komşuluk grafiği oluşturmaya bağlıdır.

Komşuluk grafiği oluşturma metodunu belirlemeden önce aşağıdaki gözlemler yapılmalıdır:

- Toplam skor, ne mesafeye, ne de komşu departman dışındaki departmanlar arasındaki ilişkiye bağlıdır.
- Departmanın boyutsal özellikleri ve komşu departmanlar arasındaki ortak sınırların uzunluğu hesaba katılmamıştır.
- Yaylar kesişemez ve bu özellik düzlemsellik olarak adlandırılır. İlişki diyagramları genellikle düzlemsel olmayan grafiklerdir.
- Skor, ilişki çizelgesindeki sayısal ağırlık atamalarına bağlı olarak çok hassastır.



Şekil 5.3 Grafik tabanlı örneğin faaliyet şeması ve faaliyet diyagramı (Tompkins, 1996)

Maksimum ağırlıklandırılmış düzlemsel komşuluk grafiği oluşturmak için izlenebilecek iki strateji vardır. İlki, ilişki diyagramı ile başlamak ve son grafiğin düzlemsel olduğundan emin olacak şekilde bağlanan yayları budamaktır. İkinci bir yaklaşım ise, her seferinde düzlemselliği sağlayarak, düğüm ekleme algoritması ile iteratif olarak bir komşuluk grafiği oluşturmaktır. İkinci yaklaşımı anlatan sezgisel bir prosedür aşağıda tanımlanmıştır.

Adım1. Şekil 5.4 (a)'daki ilişki çizelgesinden, en fazla ağırlığa sahip olan departman çifti seçilir. Böylece, departman 3 ve 4 grafiğe girmek üzere seçilirler.

Adım2. Grafiğe girecek 3. departman seçilir. 3. departman, departman 3 ve 4 ile olan ağırlıkların toplamına bakılarak seçilir. Şekil 5.4 (a)'dan 25 değeri ile departman 2 seçilir. Bu şekildeki kolonlar komşuluk grafiğine girmiş departmanları ve satırlar da henüz grafiğe girmemiş departmanları göstermektedir. Son kolon ise atanmamış her departman için ağırlık toplamını vermektedir.

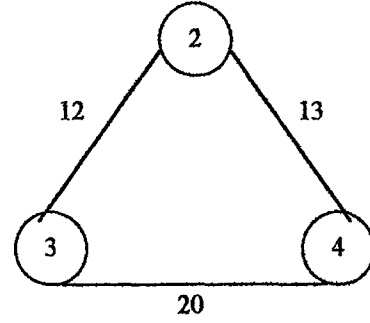
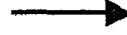
Adım3. Daha sonra grafiğin bir yüzüne, atanmamış departmanlardan birini eklemenin değeri ölçülerek 4. departman seçilir. Grafiğin yüzü, grafiğin sınırlandırılmış bir bölgesidir. Örneğin, üçgen bir yüz, Şekil 5.4 (a)'da 2-3, 3-4 ve 4-2 yayları ile sınırlandırılmış bölgedir. Bu bölge 2-3-4 bölgesi olarak ifade edilir. Dış bölge ise harici yüz olarak ifade edilir. Burada verilen örnekte, departman 1 ve 5'i eklemenin değeri sırasıyla 27 ve 9 dur. Departman 1 Şekil 5.4 (b)'de gösterildiği gibi seçilir ve grafiğe eklenir.

Adım4. Geriye, departman 5'in hangi yüze ekleneceği sorusu kalacaktır. Bu adımda, departman 5'in eklenebileceği yüzler 1-2-3, 1-2-4, 1-3-4 ve 2-3-4 tür. Departman 5'i 1-2-4 ve 2-3-4 yüzlerine eklemenin değeri eşit ve 9'dur. Keyfi olarak 1-2-4 yüzü seçilirse, en son komşuluk diyagramı Şekil 5.4 (c)'de gösterildiği gibi olacaktır. Çözüm 81 yay ağırlıkları toplamı ile optimaldir.

Adım5. Bir komşuluk grafiği oluşturmanın son adımı, blok yerleşimini tekrar oluşturmaktır. En son komşuluk grafiğine göre yapılmış bir blok yerleşimi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Blok yerleşim oluşturma tarzı SYP metodu ile benzerdir. Blok yerleşim oluştururken orijinal departman şekilleri, komşuluk grafiğinin gereksinimlerini karşılamak için önemli bir şekilde düzeltilmelidir. Uygulamada, departman ve iç yerleşim konfigürasyonlarının oluşturulması bireysel olarak makinelerin geometrisine bağlı olduğu için yerleşimde bu kadar çok değişikliği ve yeniliği gerçekleştirmek her zaman mümkün olmayabilir.

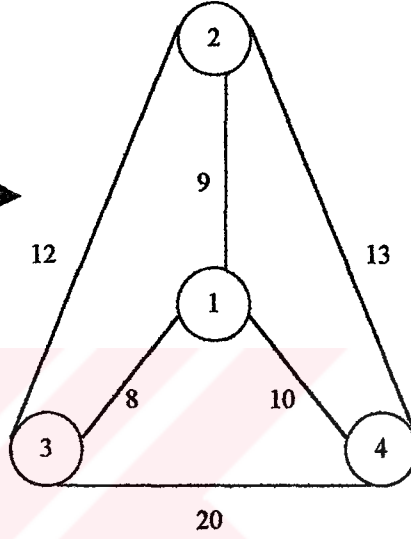
(a) Adım1:

	3	4	Toplam
1	8	10	18
2	12	13	25 (en iyi)
5	0	2	2



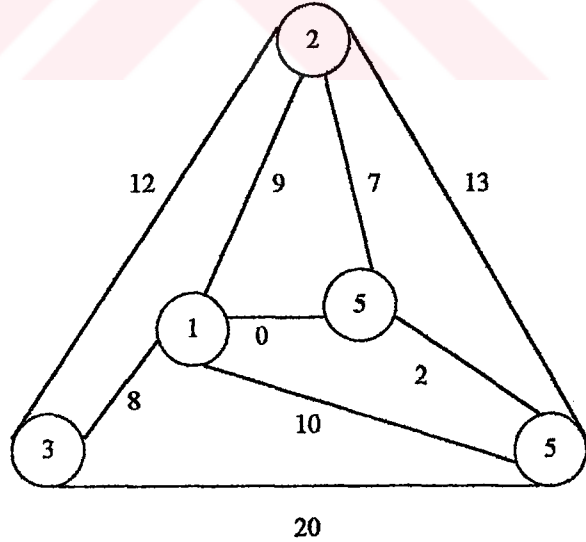
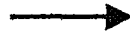
(b) Adım2:

	2	3	4	Toplam
1	9	8	10	27 (en iyi)
5	7	0	2	9



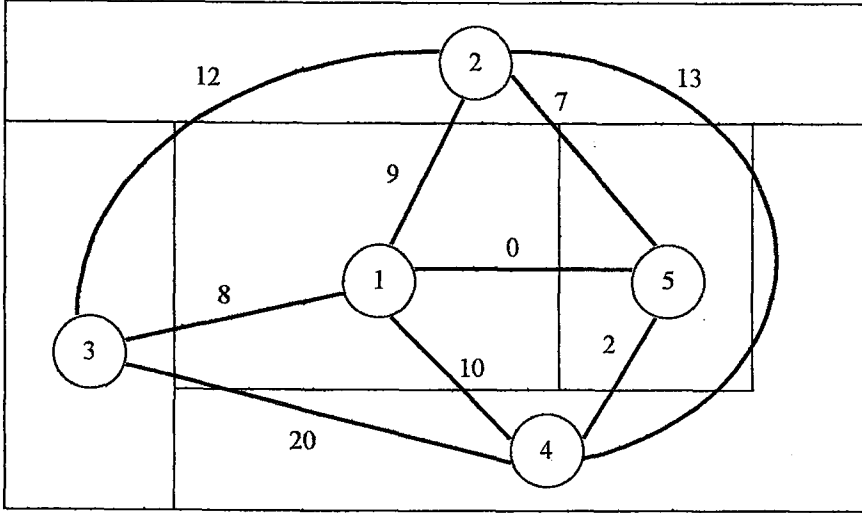
(c) Adım3:

	1	2	3	4
5	0	7	0	2



Yüzeyler	Toplam
1-2-3	7
1-2-4	9 (en iyi)
1-3-4	2
2-3-4	9 (en iyi)

Şekil 5.4 Grafik tabanlı prosedürün adımları (Tompkins, 1996)



Yay	Ağırlık
1-2	9
1-3	8
1-4	10
1-5	0
2-3	12
2-4	13
2-5	7
3-4	20
4-5	2
81 (Toplam)	

Şekil 5.5 Son yakınlık grafiğine göre blok yerleşimi (Tompkins, 1996)

5.1.2 Geliştirme algoritmaları

Çizelgeleme, grafiksel bölümlendirme ve diğer optimal olarak çözülemeyen problemler için de kullanılan bu algoritmalar oldukça iyi çözümler üretirler. İsminden anlaşılacağı gibi geliştirme algoritmaları, uygulayıcının sağladığı bir başlangıç çözümünü geliştirerek fizibil bir sonuca ulaşırlar. Geliştirme algoritmaları sistematik olarak, başlangıç çözümünü geliştirirler ve geliştirilmiş sonucu değerlendirirler. Elde edilen sonuç daha iyi ise kabul edilir, değil ise daha iyi bir sonuç elde etme imkanı kalmayıncaya kadar prosedüre devam edilir.

5.1.2.1 CRAFT

CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), bilgisayar destekli tesis tahsis tekniği olarak ifade edilebilir. Bazı değişik uygulamaları olmakla beraber, yerleşim geliştirmek için 2-opt çözüm stratejisi kullanılmaktadır. Örneğin CRAFT, geliştirilmiş bir yerleşim üretmeden önce mümkün olan tüm çiftlerin yerini değiştirmeyi denememektedir. CRAFT'ın ilk geliştirildiği tarihin üzerinden yaklaşık 30 yıl geçmiş olmasına rağmen, günümüzde hala geçerlidir ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Orijinal uyarlamasındaki birçok eksiklik sonrakilerinde düzeltilmiştir. Burada CRAFT'ın öncelikle orijinal uyarlaması anlatılacak ve daha sonra geliştirilmiş diğer uyarlamalarına değinilecektir. CRAFT aşağıdaki verilerin girilmesine ihtiyaç duyar:

- Tesislerin yerleştirileceği yapının boyutları

- Tesislerin boyutları
- Malzeme akışı ve tesis çiftleri arasındaki gidiş-gelişlerin sıklığı ve birim ürün miktarının birim mesafede taşınması maliyeti
- Bir ilk yerleşim düzeni
- Eğer uygunsa, tesis yerlerinde kısıtlamalar

İlk yerleşim verildiğinde, CRAFT her bir tesis çiftinin merkezleri arasındaki uzaklıkları hesaplar ve ilk yerleşimin maliyetini belirler. Her bir tesis çifti için aşağıdaki bilgiler verildiğinde maliyeti belirlemek mümkün olacaktır:

- i ve j tesisleri arasındaki gidiş-gelişlerin sayısı ile bu iki tesis arasında bir gidiş-geliş yapmanın maliyeti ve
- i ve j tesisleri arasındaki uzaklık.

Üzerinde durulan birinci bileşen akış, ikinci bileşen ise uzaklıktır. Akış ve uzaklık bileşenlerinin çarpımı i ve j tesisleri arasındaki malzeme taşıma maliyetini verir. Bu işlem tüm tesis çiftleri için yapıldığında ve toplandığında ilk yerleşimin maliyeti bulunmuş olur.

CRAFT belirli tesis çiftlerinin yerlerinin değiştirilmesi üzerinde durmaktadır. Bu çiftler ya aynı büyüklükte alanları olan yada bitişik olanlardır. Tüm tesisler yada bitişik olmayan tüm tesisler eşit alanlara sahiplerse, n yerleşimdeki tesis sayısı olarak kabul edildiğinde, algoritma her iterasyonda maksimum $n(n-1)/2$ değişim yapacaktır. Genellikle yerleşim problemlerinde gerçekleştirilen değişim sayısı $n(n-1)/2$ 'den daha az olmaktadır. Çünkü bütün tesisler her zaman aynı büyüklükte değildir.

Tahmini maliyet azalmasını hesaplamak için, CRAFT değiştirilmesi beklenen i ve j tesislerinin koordinatlarını aralarında değiştirir. Bu değişim gerçekleştirildiğinde maliyette beklenen tahmini azalma aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

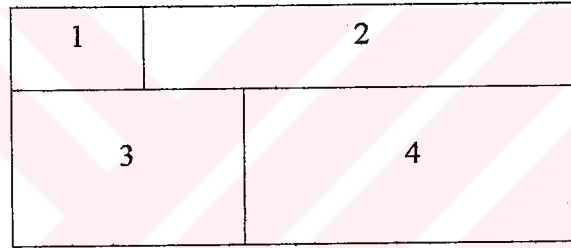
$$\sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{ik} d_{ik} + \sum_{k=1, k \neq j, k \neq i}^n f_{jk} d_{jk} - \sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{jk} d_{ik} - \sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{ik} d_{jk} \quad (5.1)$$

burada d_{ij} ve f_{ij} sırasıyla, i ve j tesisleri arasındaki uzaklığı ve akışı göstermektedir. (5.1) ifadesinde gösterilen ilk iki terim, değişimden önceki i ve j tesisleri arasındaki taşımanın maliyete yaptığı katkırı göstermektedir. Son iki tahmin ise, değişimden sonraki durumda

maliyete yapılan katkıyı göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta, f_{ij} ve d_{ij} çarpımının, ifadedeki dört terimin hiçbirine katılmadığıdır. Bunun sebebi, iki tesis yer değiştirdiğinde aralarındaki mesafe değişmediğinden, maliyete yapılan katkıda da bir değişiklik olmayacağıdır.

Tabi ki, bu değişimin gerçekleştirilebilmesi için iki tesisinde aynı büyüklükte alana ve şekle sahip olması gerekir. Böyle bir fark varsa, değişimden sonra i ve j tesislerinin merkezleri ve buna bağlı olarak (1) ifadesinde verilen uzaklık gerçeğinden farklı olacaktır.

Bu fark ve sonuçları Şekil 5.6 üzerinden anlatılabilir. Burada her bir tesisin merkez koordinatlarının belli ve uzaklık ile akış matrislerinin bilindiği kabul edilirse; 1 ve 3 numaralı tesislerin yerleri değiştirilerek (1) numaralı ifade ile tahmini bir maliyet düşüşü hesaplanabilir. Fakat gerçekte, bu iki tesisin yerleri değiştirildiğinde, yeni konumlarında merkez noktaları da değişecektir. Buna bağlı olarak uzaklık matrisi değerleri değişecektir ve hesaplanan ile gerçekleşen arasında bir fark ortaya çıkacaktır.



Şekil 5.6 Dört tesisli bir yerleşim (Heragu, 1997)

Beklenen ve gerçekleşen düşüş arasında böyle bir fark oluşacağından, normalde değişim gerçekleştirildiğinde bir azalış olması mümkünken, CRAFT'ın bu değişimi yapmaması olası bir durumdur. Yine de bu duruma çok sık rastlanmaz, sadece eşit olmayan alanlara sahip tesisler için söz konusu olmaktadır. Bunun yanında, arada oluşacak bu fark genellikle çok küçük değerlerde olmaktadır. Sonuçta bilmek istenilen, bu kısıtlar altında iki tesisin yerlerinin değişiminin iyi bir fikir olup olmadığıdır.

Daha önce değinildiği gibi, CRAFT tüm tesis çiftlerini değiştirmek yerine, yan yana olan ve alanları eşit olan tesis çiftlerinin değişimini kontrol eder. Örneğin Şekil 5.6'da, bir sonraki geliştirilmiş yerleşime geçerken, 1 ve 4 numaralı tesisler hem ortak bir sınırları olmadığından, hem de eşit alanlara sahip olmadıklarından, aralarında bir değişim olabileceği göz önünde bulundurulmayacaktır. Bu aşamada değişim, tahmini maliyet düşüşünün en yüksek olacağı şekilde gerçekleştirilir. Elde edilen yeni yerleşim, ilk yerleşimmiş gibi kabul edilip tekrar aynı prosedür uygulanır ve hiçbir değişim tasarruf sağlamayınca kadar bu şekilde devam edilir.

İkili değişimlere ek olarak, CRAFT ile;

- Üçlü değişimler,
- Üçlü değişimleri izleyen ikili değişimler,
- İkili değişimleri izleyen üçlü değişimler yapılabilir.

CRAFT ile hesaplama yapılırken, belirli tesis veya tesisler değişim için aday olmaktan çıkarılarak sabitlenebilirler. Gerçek uygulamalarda, (güç kaynağına yakınlık, yola yakınlık vb. gibi) bazı özel sebeplerden dolayı belirli tesislerin yerleri değiştirilmek istenmeyebilir. Bu yüzden yararlı ve faydalı bir özelliktir.

Geliştirme algoritmalarının en büyük dezavantajı daha önce belirtildiğı gibi, iyi çözümlerin elde edilmesinin, büyük oranda başlangıç çözümlerine bağılı olmasıdır. Genellikle iyi başlangıç çözümleri, iyi son çözümlere ulaştırır ve bu CRAFT için de geçerlidir. Bu dezavantajı aşabilmek için, kullanıcılar tarafından, geliştirme algoritmalarında kullanmak üzere birçok başlangıç çözümü üretilmekte, her bir başlangıç çözümü için bir bitiş çözümü bulunmakta ve içlerinden en iyisi seçilmektedir. CRAFT'ın diğeri bir dezavantajı ise, i ve j tesisleri aralarında yer değiştirildiğinde, yeni yerlerinde de aynı malzeme taşıma araçlarının kullanılacağına kabulüdür. Diğeri bir nokta, akışın tesislerin merkezleri arasında olduğı ve malzeme taşıma maliyetinin direkt olarak tesisler arasındaki uzaklıkla orantılı olduğunun kabul edilmesidir. Bu kabullerin çoğunu pratikte uygulamak mümkün olmamakla birlikte, bu algoritmalar, geliştirilmeye açık ana yerleşim düzenleri oluşturmaktadırlar. Kullanıcılar, algoritmalar tarafından yapılan bu kabullerin farkında olmalıdırlar ve elde edilen çözümleri, uygulanabilir yerleşim düzenleri geliştirmede rehber olarak kullanmalıdırlar.

CRAFT defalarca yenilenmiş bir algoritmadır. COFAD (Tompkins ve Reed, 1976) malzeme taşıma sisteminin ve yerleşimin seçimini dört aşamada sağlamıştır. Birinci aşamada, bir yerleşim belirlenir. Ardından, seçilen yerleşim için bir aday ekipman listesinden malzeme taşıma sistemi seçimi yapılır. Yani herbir hareket için belirli bir malzeme taşıma ekipmanı atanır. Burada maksimum ekipman kullanımı sağlanmaya çalışılır. Her bir harekete atanmış olan malzeme taşıma ekipmanının maliyetleri hesaplanır. Hesaplanan bu maliyet sabit ve değişken maliyetleri içermektedir. Sabit yollu ekipmanların (konveyörler, tel kılavuzlu AGV'ler vb.) ve mobil (gezici) ekipmanların (kamyon vb.) maliyetlerinin hesaplanması farklı şekilde yapılmaktadır.

COFAD bu değerlendirilmiş maliyetler için yeni bir yerleşim düzeni oluşturur. Bir yerleşim oluşturma, bir malzeme taşıma sistemi seçilmesi ve her hareketin maliyetinin değerlendirilmesi prosedürü tatmin edici bir çözüme ulaşılan kadar devam ettirilir. COFAD düzgün hat uzunlukları ölçümünü kullanır. Çünkü, çoğu malzeme taşıma sistemi için düzgün hat ölçümleri daha uygun bir ölçüm tekniğidir.

5.1.2.2 Çift değişim metodu

Daha önce değinildiği gibi, yerleşim problemlerinin büyük bir çoğunluğu, tipik olarak yeni makinelerin eklenmesi, ürün karışımındaki değişiklikler, depo alanlarının daralması ve genişlemesi ile ilgili kararlar veya eski yerleşimin artık mevcut gereksinimleri karşılayamadığının kavranması gibi, varolan tesisin yeniden tasarlanmasından oluşmaktadır. Bu yüzden, verilen mevcut bir yerleşimdeki problemler, geliştirilen yerleşim ile çözülmeye çalışılmaktadır.

Gelişimin ölçüsü önemli bir parametredir. Çift değişim metodu, tesisteki tüm departmanlar arasındaki malzeme taşıma maliyetini minimize etmek üzerine kurulu, tecrübeler ile işleyen bir metottur. Departmanlar arasındaki mesafelerin düz bir doğru şeklinde olduğu ve departmanların merkezlerinden ölçüldükleri kabul edilmektedir. Çift-değişim prosedürü aşağıda bir örnek içerisinde gösterilmiştir (Tompkins, 1996).

Eşit ölçülerde 4 departman bulunduğu düşünülmektedir. Departmanlar arasındaki malzeme akışı Çizelge 5.3'de verilmiştir. Mevcut yerleşim ise Şekil 5.7 (a)'de gösterilmiştir.

Mevcut yerleşime dayanarak, Çizelge 5.4'te görülen bir mesafe matrisi oluşturulabilir.

Mevcut yerleşim için toplam maliyet aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$TM_{1234} = 10(1) + 15(2) + 20(3) + 10(1) + 5(2) + 5(1) = 125$$

Alt indis ilk yerleşimdeki departmanların sırasını belirtmektedir.

Çift-değişim metoduna göre, departman çiftlerinin konumlarındaki bütün fizibil değişimler değerlendirilmekte ve toplam maliyette en çok düşüş sağlayan çift seçilmektedir. Bütün departmanların boyutları eşit kabul edildiği için, fizibil değişimler 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 ve 3-4 tür.

Çizelge 5.3 Malzeme akış matrisi

		Departmana			
		1	2	3	4
Departmandan	1	-	10	15	20
	2		-	10	5
	3			-	5
	4				-

(a) iterasyon 0	1 2 3 4
(b) iterasyon 1	3 2 1 4
(c) iterasyon 2	2 3 1 4

Şekil 5.7 Herbir iterasyona göre yerleşimler

Mesafe matrisi her değişimden sonra tekrar hesaplanır. Bu değişimlerden çıkan toplam maliyet:

$$TM_{2134}(1-2) = 10(1) + 15(1) + 20(2) + 10(2) + 5(3) + 5(1) = 105$$

$$TM_{3214}(1-3) = 10(1) + 15(2) + 20(1) + 10(1) + 5(2) + 5(3) = 95$$

$$TM_{4231}(1-4) = 10(2) + 15(1) + 20(3) + 10(1) + 5(1) + 5(2) = 120$$

$$TM_{1324}(2-3) = 10(2) + 15(1) + 20(3) + 10(1) + 5(1) + 5(2) = 120$$

$$TM_{1432}(2-4) = 10(3) + 15(2) + 20(1) + 10(1) + 5(2) + 5(1) = 105$$

$$TM_{1243}(3-4) = 10(1) + 15(3) + 20(2) + 10(2) + 5(1) + 5(1) = 125 \text{ olur.}$$

Bu yüzden, 1-3 çiftini seçer ve yerleşimdeki değişimi gerçekleştiririz. Bu, Şekil 5.7 (b)'de gösterilmiştir.

Bir sonraki iterasyon için, aynı iterasyon grubunda oluşan bütün fizibil değişimleri göz önünde tutarız. Toplam maliyetler:

$$TM_{3124}(1-2) = 10(1) + 15(1) + 20(2) + 10(1) + 5(1) + 5(3) = 95$$

$$TM_{1234}(1-3) = 10(1) + 15(2) + 20(3) + 10(1) + 5(2) + 5(1) = 125$$

$$TM_{3241}(1-4) = 10(2) + 15(3) + 20(1) + 10(1) + 5(1) + 5(2) = 110$$

$$TM_{2314}(2-3) = 10(2) + 15(1) + 20(1) + 10(1) + 5(3) + 5(2) = 90$$

$$TM_{3412}(2-4) = 10(1) + 15(2) + 20(1) + 10(3) + 5(2) + 5(2) = 105$$

$$TM_{4213}(3-4) = 10(1) + 15(1) + 20(2) + 10(2) + 5(1) + 5(3) = 105' \text{ dir.}$$

2-3 çifti toplam 90 maliyet değeri ile seçilir. Şekil 5.7 (c) 2. iterasyon sonundaki yerleşimi göstermektedir. Devam edilirse, 3. iterasyon hesaplamaları;

$$TM_{3214}(1-2) = 10(1) + 15(2) + 20(1) + 10(1) + 5(2) + 5(3) = 95$$

$$TM_{1324}(1-3) = 10(2) + 15(1) + 20(3) + 10(1) + 5(1) + 5(2) = 120$$

$$TM_{3421}(1-4) = 10(1) + 15(3) + 20(2) + 10(2) + 5(1) + 5(1) = 125$$

$$TM_{2134}(2-3) = 10(1) + 15(1) + 20(2) + 10(2) + 5(3) + 5(1) = 105$$

$$TM_{3142}(2-4) = 10(2) + 15(1) + 20(1) + 10(3) + 5(1) + 5(2) = 100$$

$$TM_{4213}(3-4) = 10(1) + 15(2) + 20(1) + 10(1) + 5(2) + 5(3) = 95' \text{ dir.}$$

Bu iterasyondaki en düşük toplam maliyet olan 95 değeri 2. iterasyondaki 90 değerinden kötü olduğu için prosedür iptal edilmektedir. Bu yüzden, son yerleşim düzenlemesi şekil 5.7 (c)' de gösterilen 2-3-1-4'tür.

Tüm bu işlemler sonucunda, çift değişim metodunun optimal çözümü vereceği garanti değildir, çünkü son çıktı ilk yerleşime bağlıdır ve değişik bir yerleşim başka bir çözümle sonuçlanabilmektedir. Bu yüzden sadece yerel optimallik sağlanabilmektedir. Ayrıca önceki iterasyonlardaki alternatif yerleşim düzenlemelerinden birine geri dönmenin de mümkün olduğu görülmektedir. Örneğin, başlangıç olarak alınan 1-2-3-4 yerleşim düzenlemesinin aynısı 1. iterasyonun çözümü baz alınarak departman 1-3 değiştirildiğinde oluşan 2. iterasyondaki 3-2-1-4 düzenlemesinde de görülmektedir. Bunun yanında simetrik yerleşim düzenlemeleri de ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, 3. iterasyondaki 4-3-2-1, 1-2-3-4'ün aynısıdır.

Çizelge 5.4 Mevcut yerleşim için mesafe matrisi

		Departmana			
		1	2	3	4
Departmandan	1	-	1	2	3
	2		-	1	2
	3			-	1
	4				-

İkinci olarak da, çift değişim metodu eğer departman çiftleri eşit boyutlarda düşünülürse (örnekteki gibi) veya ortak bir sınırı paylaşıyorlarsa kolayca uygulanabilmektedir. Aksi durumlarda, değiştirilen iki departman arasındaki bütün departmanları düzenlemek zorunda kalınırdı. Verilen bu ortak sınır durumunda, çift değişim kavramını, bir 3-departman değişimine veya önce 2 sonra 3 veya tersi şeklinde genişletilebilir.

Yukarıda yapılan bu gözlemler, etkin bir gelişim tipi yerleşim algoritmasının tasarımı için önemli noktalar (Tompkins, 1996)

5.2 Optimal Algoritmalar

Optimal algoritmaların, sezgisel algoritmalarından farkı, verilen problemler için daima en iyi sonucu üretmeleridir. Sezgisel algoritmalar ise bir sonuç bulurlar fakat bunun en iyi sonuç olduğunu garanti edemezler. Fakat genellikle, küçük problemler için iyi çözümler üretilebilir.

Bu tanımlardan, yanlış sonuçlar çıkarılmamalıdır. Sezgisel algoritmalar, büyük boyutlu problemler için en iyi sonucu bulamamalarına rağmen, optimal algoritmalar da, küçük boyutlu problemler için en iyi sonuçları üretebilmektedirler. Bu, problemin çözülme süresinin karmaşıklığı fonksiyonu ile ilgilidir. Örneğin 2" gibi bir fonksiyon söz konusu ise, 10 tesisin yerleştirilmesinde 0,001 saniye, 20 tesiste 1,0 saniye, 40 tesiste 12,7 gün ve 60 tesiste 366 yüzyıl gibi bir hesaplama süresi gerekmektedir (Garey ve Johnson, 1979). Bu tür problemlere "nonpolynomially-complete" problemler denilmektedir. Tesis yerleştirme modelleri de bu tarzda olduğundan, uygulamadaki problemler için optimal algoritmalar kullanmak mümkün olamamaktadır. Yinede, sağladığı bakış açısı nedeniyle, optimal algoritmaların kullanılması

gereklidir. Örneğin bir optimal algoritma, optimal çözümün sahip olduğu bir özel yapıyı veya özelliği ortaya koyar ve bu bilgi iyi bir sezgisel algoritmanın oluşturulmasında kullanılabilir.

Yerleşim problemleri, kuadratik atama problemi olarak formüle edildikten sonra, bu modeli çözebilmek için çok sayıda araştırma yapılmış ve optimal algoritmalar üretilmiştir. Bu optimal algoritmalar üç sınıfa ayrılabilir (Heragu, 1997):

- a. Dal sınır algoritmaları
- b. Bölme (dekompozisyon) algoritmaları
- c. Kesme düzlemi algoritmaları.

Burada sadece optimal algoritmaların sezgisel algoritmalarından farkına ve çeşitlerine değinilmiştir. Uygulama kısmında da yine sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Bu yüzden optimal algoritmaları detaylı incelenmemiştir.



6. UYGULAMA

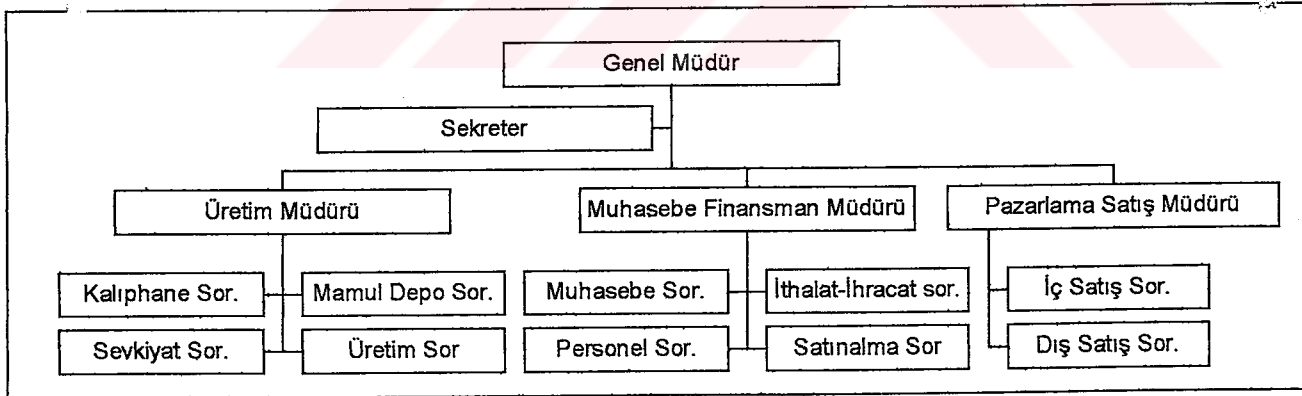
Tezin uygulaması, her türlü plastik profil üretimi yapan bir işletmede, teorik kısımda anlatılan bazı model ve algoritmalarla, alternatif yerleşimlerin geliştirilmesi şeklinde yapılmıştır.

Model olarak, çok sıralı tesis yerleştirme modellerinden kuadratik atama problemi seçilmiş ve çözümü LINDO System, Inc. tarafından üretilen “LINGO7 Demo Version” programı ile bulunmuştur.

Algoritmalarla ise, sezgisel ve kuruluş tipi olan CORELAP ile sezgisel ve geliştirme tipi olan çift değişim algoritmaları kullanılmıştır.

6.1 İşletme Tanıtımı

1997 yılında kurulan Sert Plastik Profil Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, plastik profil alanında üretim yapan ve son zamanlarda büyüme sürecine girmiş bir KOBİ'dir. Üretimin büyük kısmını yurt dışına, özellikle Rusya'ya satmaktadır. İşletme hedefleri arasında Avrupa pazarına açılabilme ilk sırada gelmektedir. ISO 9000 belgesi ve CE markası alabilmek için gerekli alt yapının oluşturulması çalışmaları halen devam etmektedir. Türk Standartları Enstitüsü Kalite Uygunluk Belgesi alınmış durumdadır. İşletmenin organizasyon şeması Şekil 6.1'deki gibidir. İdari personel dışında yaklaşık 60 kişi çalışmaktadır.



Şekil 6.1 Uygulamanın yapıldığı işletmenin organizasyon şeması

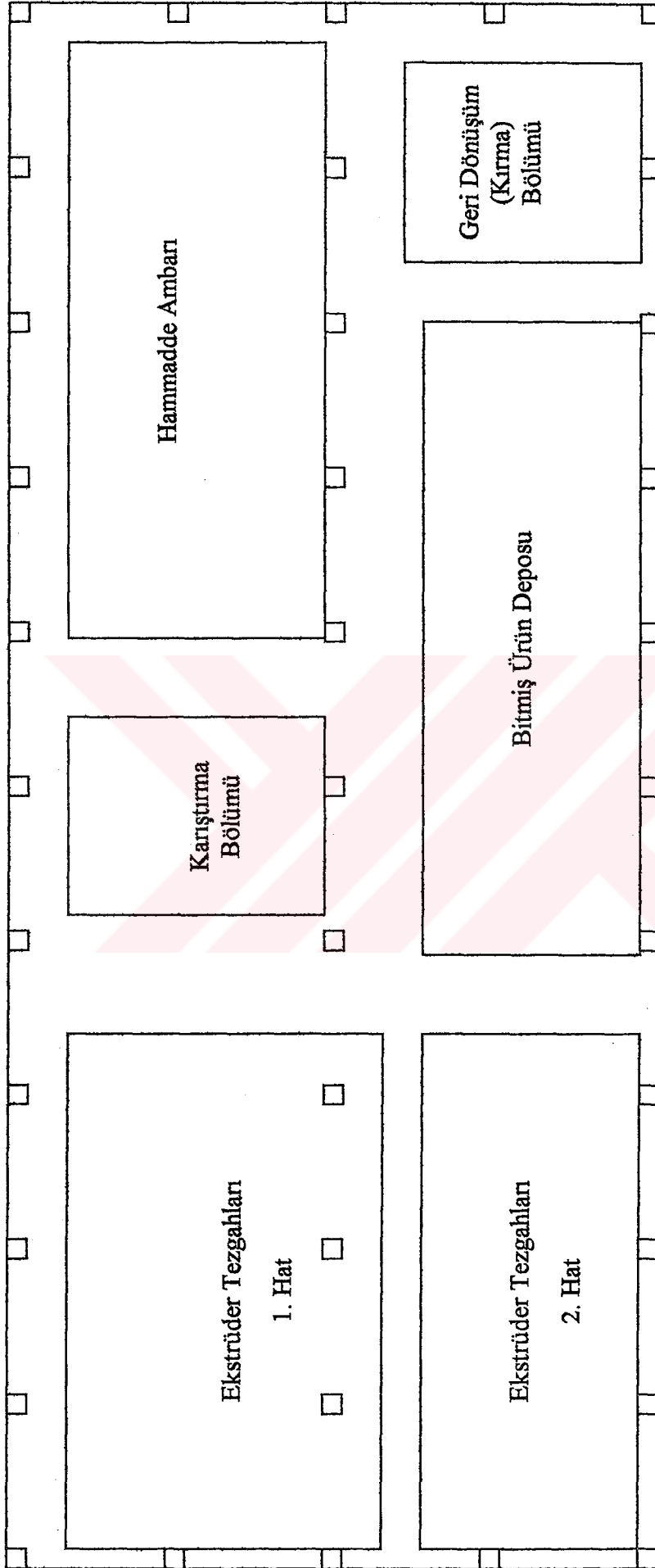
Üretimi yapılan ürünler; kablo kanalı, perde kanalı (kornij), lambiri, boru çeşitleri ve her türlü özel profildir. Üretimde kullanılan hammaddeler; PVC, kalsit, titanyum dioksit, sterik asit ve stabilizan maddelerdir. Ana hammadde PVC, diğerleri ise katkı malzemeleridir. bu yüzden hammadde ve malzemeler, büyük ve küçük hacimli tedarikler olarak ikiye ayrılabilir. Büyük miktarlarda sipariş edilen hammadde PVC'dir. Genellikle 300-400 ton civarındaki siparişler yurtdışına verilmektedir. Diğer malzemeler ise yurt içinden tedarik edilmektedir.

Tesis, yaklaşık 2500 m²'lik kapalı alana kurulmuştur. Bu alan içerisinde 6 ana bölüm bulunmaktadır. Bunlar, 10 adet yeni ekstrüder tezgahlarının bulunduğu 1. hat, 4 adet eski ekstrüder tezgahının bulunduğu 2. hat, hammadde karışımlarının hazırlandığı mikser bölümü, üretim sırasında oluşan hatalardan dolayı çıkan ıskartaları kırarak yeniden hammadde haline dönüştüren kırma bölümü, hammadde ambarı ve bitmiş ürün depolarıdır. Bunların dışında idari ofisler, yemekhane, soyunma odaları, kalıp odası ve bazı küçük kalıpların yapıldığı, kalıphane bölümleri bulunmaktadır.

İşletme içindeki üretim akışı şöyledir;

- Kağıt torbalar içinde gelen toz halindeki hammaddeler, ambara alınarak istiflenmektedir.
- Üretim kapasitesine göre bir günde üretilecek ürün için gerekli hammadde, 3 adet mikserin ve fırınlarının bulunduğu karıştırma bölümüne getirilir. Üretilecek ürünün özelliklerine göre hazırlanmış reçetelere göre, hammaddeler belirli oranlarda karıştırılır.
- Karışımın üretime hazır hale gelmesi için, içindeki maddelerin birbirini tutması gerekmektedir. Bunun için mikserlerde bulunan fırınlarda karışım, 60 C°'de ısıtılır.
- Karışım, tekrar kağıt torbalara doldurulur ve her bir torba elekten geçirilir.
- Üretime hazır hale gelen torbalar, ekstrüder tezgahlarının haznelerine dökülerek, eritilir.
- Eriyen malzeme, tezgahın uç kısmında bulunan kalıbın şeklini alarak dışarı çıkar.
- Ardından soğutma işlemi yapılır.
- Soğutma kısmına eriyik halde gelen malzeme, soğutma işleminden sonra sertleşir (bu aşamada malzemenin şekli bozulmaması için bir vakumlama sistemi de kullanılır).
- Sürekli olarak çıkan ürün bir palet sistemi ile çekilmektedir.
- İstenen ürün uzunluğuna göre ayarlanmış testerele ile kesme işlemi yapılır.
- Paketlenip tartılarak, uygun tolerans aralığında olup olmadığı kontrol edilen ürünler bitmiş ürün deposuna götürülür.

Mevcut durumdaki yerleşim planı Şekil 6.2'de çizilmiştir.



Şekil 6.2 Mevcut durumun yerleşim planı

6.2 1. Alternatif Yerleşim

İşletme içindeki tesislerin yerleştirilmesi ile ilgili olarak ilk alternatif, kuadratik atama metodu ile geliştirilmiştir. Asıl yerleşimde tesis alanları farklı boyutlarda olmasına rağmen, burada tüm tesislerin eşit boyutta olduğu kabulü yapılmaktadır.

Problem, kuadratik atama ile modellendikten sonra LINGO7 programının demo versiyonu kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Buradaki amaç 6 adet tesisi, 6 adet yerleşim bölgesine atamaktır. Tesisler arasındaki günlük gidiş geliş sayıları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 1. Alternatif için tesisler arası günlük gidiş-geliş sayıları

	1	2	3	4	5	6
1	—	10	1	0	5	1
2	10	—	16	6	0	0
3	1	16	—	0	0	2
4	0	6	0	—	9	1
5	5	0	0	9	—	0
6	1	0	2	1	0	—

Tesislerin atanacakları yerleşim bölgeleri Şekil 6.3’de gösterildiği gibidir.

1	2	3
4	5	6

Şekil 6.3 1. Alternatif için tesislerin atanacağı yerleşim bölgeleri

Tesislerin arasındaki akışın, aradaki koridor üzerinde yapıldığı ve taşımaların tesis merkezleri arasında gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Buna göre oluşan mesafe matrisi Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 1. Alternatif için tesisler arasındaki mesafe matrisi

	1	2	3	4	5	6
1	—	2	3	1	2	3
2	2	—	2	2	1	2
3	3	2	—	3	2	1
4	1	2	3	—	2	3
5	2	1	2	2	—	2
6	3	2	1	3	2	—

Yerleştirilecek olan tesislerin sıralaması aşağıdaki gibidir;

- 1: 1. Ekstrüder hattı
- 2: Karıştırma Bölümü
- 3: Hammadde Ambarı
- 4: 2. Ekstrüder hattı
- 5: Bitmiş mamul deposu
- 6: Kırma Bölümü

Bu tesisler Şekil 6.3’de gösterilen yerleşim bölgelerine atanmaya çalışılmıştır. Fiziki şartlardan dolayı yapılmış bir kabul, 3. tesis olan hammadde ambarının, yerleşimdeki 3. bölgeye atanmasıdır. Sonuç olarak yerleştirilmeye çalışılan tesis sayısı da, bölge sayısı da beşe düşmektedir.

Bu problemi, 6 tesis mevcutken çözebilmek için LINGO7’de yazılan model aşağıdaki gibidir.

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\begin{aligned} \min = & 20 \times x_{11} \times x_{22} + 30 \times x_{11} \times x_{23} + 10 \times x_{11} \times x_{24} + 20 \times x_{11} \times x_{25} + 30 \times x_{11} \times x_{26} + 20 \times x_{12} \times x_{21} + 20 \times x_{12} \times x_{23} + 20 \times x_{12} \times x_{24} + 10 \times x_{12} \times x_{25} + 20 \times x_{12} \times x_{26} + 30 \times x_{13} \times x_{21} + 20 \times x_{13} \times x_{22} + 30 \times x_{13} \times x_{24} + 20 \times x_{13} \times x_{25} + 10 \times x_{13} \times x_{26} + 10 \times x_{14} \times x_{21} + 20 \times x_{14} \times x_{22} + 30 \times x_{14} \times x_{23} + 20 \times x_{14} \times x_{25} + 30 \times x_{14} \times x_{26} + 20 \times x_{15} \times x_{21} + 10 \times x_{15} \times x_{22} + 20 \times x_{15} \times x_{23} + 20 \times x_{15} \times x_{24} + 20 \times x_{15} \times x_{26} + 30 \times x_{16} \times x_{21} + 20 \times x_{16} \times x_{22} + 10 \times x_{16} \times x_{23} + 30 \times x_{16} \times x_{24} + 20 \times x_{16} \times x_{25} + 2 \times x_{11} \times x_{32} + 3 \times x_{11} \times x_{33} + 1 \times x_{11} \times x_{34} + 2 \times x_{11} \times x_{35} + 3 \times x_{11} \times x_{36} + 2 \times x_{12} \times x_{31} + 2 \times x_{12} \times x_{33} + 2 \times x_{12} \times x_{34} + 1 \times x_{12} \times x_{35} + 2 \times x_{12} \times x_{36} + 3 \times x_{13} \times x_{31} + 2 \times x_{13} \times x_{32} + 3 \times x_{13} \times x_{34} + 2 \times x_{13} \times x_{35} + 1 \times x_{13} \times x_{36} + 1 \times x_{14} \times x_{31} + 2 \times x_{14} \times x_{32} + 3 \times x_{14} \times x_{33} + 2 \times x_{14} \times x_{34} + 1 \times x_{14} \times x_{35} + 2 \times x_{14} \times x_{36} + 3 \times x_{15} \times x_{31} + 2 \times x_{15} \times x_{32} + 3 \times x_{15} \times x_{34} + 2 \times x_{15} \times x_{35} + 1 \times x_{15} \times x_{36} + 1 \times x_{16} \times x_{31} + 2 \times x_{16} \times x_{32} + 3 \times x_{16} \times x_{34} + 2 \times x_{16} \times x_{35} + 1 \times x_{16} \times x_{36} \end{aligned}$$

$35+3*x14*x36+2*x15*x31+1*x15*x32+2*x15*x33+2*x15*x34+2*x15*x36+3*x16*x31+2*x16*x32+1*x16*x33+3*x16*x34+2*x16*x35+0*x11*x42+0*x11*x43+0*x11*x44+0*x11*x45+0*x11*x46+0*x12*x41+0*x12*x43+0*x12*x44+0*x12*x45+0*x12*x46+0*x13*x41+0*x13*x42+0*x13*x44+0*x13*x45+0*x13*x46+0*x14*x41+0*x14*x42+0*x14*x43+0*x14*x45+0*x14*x46+0*x15*x41+0*x15*x42+0*x15*x43+0*x15*x44+0*x15*x46+0*x16*x41+0*x16*x42+0*x16*x43+0*x16*x44+0*x16*x45+10*x11*x52+15*x11*x53+5*x11*x54+10*x11*x55+15*x11*x56+10*x12*x51+10*x12*x53+10*x12*x54+5*x12*x55+10*x12*x56+15*x13*x51+10*x13*x52+15*x13*x54+10*x13*x55+5*x13*x56+5*x14*x51+10*x14*x52+15*x14*x53+10*x14*x55+15*x14*x56+10*x15*x51+5*x15*x52+10*x15*x53+10*x15*x54+10*x15*x56+15*x16*x51+10*x16*x52+5*x16*x53+15*x16*x54+10*x16*x55+2*x11*x62+3*x11*x63+1*x11*x64+2*x11*x65+3*x11*x66+2*x12*x61+2*x12*x63+2*x12*x64+1*x12*x65+2*x12*x66+3*x13*x61+2*x13*x62+3*x13*x64+2*x13*x65+1*x13*x66+1*x14*x61+2*x14*x62+3*x14*x63+2*x14*x65+3*x14*x66+2*x15*x61+1*x15*x62+2*x15*x63+2*x15*x64+2*x15*x66+3*x16*x61+2*x16*x62+1*x16*x63+3*x16*x64+2*x16*x65+20*x21*x12+30*x21*x13+10*x21*x14+20*x21*x15+30*x21*x16+20*x22*x11+20*x22*x13+20*x22*x14+10*x22*x15+20*x22*x16+30*x23*x11+20*x23*x12+30*x23*x14+20*x23*x15+10*x23*x16+10*x24*x11+20*x24*x12+30*x24*x13+20*x24*x15+30*x24*x16+20*x25*x11+10*x25*x12+20*x25*x13+20*x25*x14+20*x25*x16+30*x26*x11+20*x26*x12+10*x26*x13+30*x26*x14+20*x26*x15+32*x21*x32+48*x21*x33+16*x21*x34+32*x21*x35+48*x21*x36+32*x22*x31+32*x22*x33+32*x22*x34+16*x22*x35+32*x22*x36+48*x23*x31+32*x23*x32+48*x23*x34+32*x23*x35+16*x23*x36+16*x24*x31+32*x24*x32+48*x24*x33+32*x24*x35+48*x24*x36+32*x25*x31+16*x25*x32+32*x25*x33+32*x25*x34+32*x25*x36+48*x26*x31+32*x26*x32+16*x26*x33+48*x26*x34+32*x26*x35+12*x21*x42+18*x21*x43+6*x21*x44+12*x21*x45+18*x21*x46+12*x22*x41+12*x22*x43+12*x22*x44+6*x22*x45+12*x22*x46+18*x23*x41+12*x23*x42+18*x23*x44+12*x23*x45+6*x23*x46+6*x24*x41+12*x24*x42+18*x24*x43+12*x24*x45+18*x24*x46+12*x25*x41+6*x25*x42+12*x25*x43+12*x25*x44+12*x25*x46+18*x26*x41+12*x26*x42+6*x26*x43+18*x26*x44+12*x26*x45+0*x21*x52+0*x21*x53+0*x21*x54+0*x21*x55+0*x21*x56+0*x22*x51+0*x22*x53+0*x22*x54+0*x22*x55+0*x22*x56+0*x23*x51+0*x23*x52+0*x23*x54+0*x23*x55+0*x23*x56+0*x24*x51+0*x24*x52+0*x24*x53+0*x24*x55+0*x24*x56+0*x25*x51+0*x25*x52+0*x25*x53+0*x25*x54+0*x25*x56+0*x26*x51+0*x26*x52+0*x26*x53+0*x26*x54+0*x26*x55+0*x21*x62+0*x21*x63+0*x21*x64+0*x21*x65+0*x21*x66+0*x22*x61+0*x22*x63+0*x22*x64+0*x22*x65+0*x22*x66+0*x23*x61+0*x23*x62+0*x23*x64+0*x23*x65+0*x23*x66+0*x24*x61+0*x24*x62+0*x24*x63+0*x24*x65+0*x24*x66+0*x25*x61+0*x25*x62+0*x25*x63+0*x25*x64+0*x25*x66+0*x26*x61+0*x26*x62+0*x26*x63+0*x26*x64+0*x26*x65+2*x31*x12+3*x31*x13+1*x31*x14+2*x31*x15+3*x31*x16+2*x32*x11+2*x32*x13+2*x32*x14+1*x32*x15+2*x32*x16+3*x33*x11+2*x33*x12+3*x33*x14+2*x33*x15+1*x33*x16+1*x34*x11+2*x34*x12+3*x34*x13+2*x34*x15+3*x34*x16+2*x35*x11+1*x35*x12+2*x35*x13+2*x35*x14+2*x35*x16+3*x36*x11+2*x36*x12+1*x36*x13+3*x36*x14+2*x36*x15+32*x31*x22+48*x31*x23+16*x31*x24+32*x31*x25+48*x31*x26+32*x32*x21+32*x32*x23+32*x32*x24+16*x32*x25+32*x32*x26+48*x33*x21+32*x33*x22+48*x33*x24+32*x33*x25+16*x33*x26+16*x34*x21+32*x34*x22+48*x34*x23+32*x34*x25+48*x34*x26+32*x35*x21+16*x35*x22+32*x35*x23+32*x35*x24+32*x35*x26+48*x36*x21+32*x36*x22+16*x36*x23+48*x36*x24+32*x36*x25+0*x31*x42+0*x31*x43+0*x31*x44+0*x31*x45+0*x31*x46+0*x32*x41+0*x32*x43+0*x32*x44+0*x32*x45+0*x32*x46+0*x33*x41+0*x33*x42+0*x33*x44+0*x33*x45+0*x33*x46+0*x34*x41+0*x34*x42+0*x34*x43+0*x34*x45+0*x34*x46+0*x35*x41+0*x35*x42+0*x35*x43+0*x35*x44+0*x35*x46+0*x36*x41+0*x36*x42+0*x36*x43+0*x36*x44+0*x36*x45+0*x31*x52+0$

$\begin{aligned}
& *x_{31}x_{53}+0*x_{31}x_{54}+0*x_{31}x_{55}+0*x_{31}x_{56}+0*x_{32}x_{51}+0*x_{32}x_{53}+0*x_{32}x_{54}+0*x_{32}x_{55}+0*x_{32}x_{56} \\
& +0*x_{33}x_{51}+0*x_{33}x_{52}+0*x_{33}x_{54}+0*x_{33}x_{55}+0*x_{33}x_{56}+0*x_{34}x_{51}+0*x_{34}x_{52}+0*x_{34}x_{53}+0*x_{34} \\
& *x_{55}+0*x_{34}x_{56}+0*x_{35}x_{51}+0*x_{35}x_{52}+0*x_{35}x_{53}+0*x_{35}x_{54}+0*x_{35}x_{55}+0*x_{35}x_{56}+0*x_{36}x_{51}+0*x_{36}x_{52}+0* \\
& x_{36}x_{53}+0*x_{36}x_{54}+0*x_{36}x_{55}+4*x_{31}x_{62}+6*x_{31}x_{63}+2*x_{31}x_{64}+4*x_{31}x_{65}+6*x_{31}x_{66}+4*x_{32}x_{61} \\
& +4*x_{32}x_{63}+4*x_{32}x_{64}+2*x_{32}x_{65}+4*x_{32}x_{66}+6*x_{33}x_{61}+4*x_{33}x_{62}+6*x_{33}x_{64}+4*x_{33}x_{65}+2*x_{33}x_{66} \\
& +2*x_{34}x_{61}+4*x_{34}x_{62}+6*x_{34}x_{63}+4*x_{34}x_{65}+6*x_{34}x_{66}+4*x_{35}x_{61}+2*x_{35}x_{62}+4*x_{35}x_{63}+4*x_{35}x_{64} \\
& +4*x_{35}x_{66}+6*x_{36}x_{61}+4*x_{36}x_{62}+2*x_{36}x_{63}+6*x_{36}x_{64}+4*x_{36}x_{65}+0*x_{41}x_{12}+0*x_{41}x_{13}+0*x_{41}x_{14} \\
& +0*x_{41}x_{15}+0*x_{41}x_{16}+0*x_{42}x_{11}+0*x_{42}x_{13}+0*x_{42}x_{14}+0*x_{42}x_{15}+0*x_{42}x_{16}+0*x_{43}x_{11}+0*x_{43}x_{12} \\
& +0*x_{43}x_{14}+0*x_{43}x_{15}+0*x_{43}x_{16}+0*x_{44}x_{11}+0*x_{44}x_{12}+0*x_{44}x_{13}+0*x_{44}x_{15}+0*x_{44}x_{16}+0*x_{45}x_{11} \\
& +0*x_{45}x_{12}+0*x_{45}x_{13}+0*x_{45}x_{14}+0*x_{45}x_{16}+0*x_{46}x_{11}+0*x_{46}x_{12}+0*x_{46}x_{13}+0*x_{46}x_{14}+0*x_{46}x_{15} \\
& +12*x_{41}x_{22}+18*x_{41}x_{23}+6*x_{41}x_{24}+12*x_{41}x_{25}+18*x_{41}x_{26}+12*x_{42}x_{21}+12*x_{42}x_{23}+12*x_{42}x_{24} \\
& +6*x_{42}x_{25}+12*x_{42}x_{26}+18*x_{43}x_{21}+12*x_{43}x_{22}+18*x_{43}x_{24}+12*x_{43}x_{25}+6*x_{43}x_{26}+6*x_{44}x_{21} \\
& +12*x_{44}x_{22}+18*x_{44}x_{23}+12*x_{44}x_{25}+18*x_{44}x_{26}+12*x_{45}x_{21}+6*x_{45}x_{22}+12*x_{45}x_{23}+12*x_{45}x_{24} \\
& +12*x_{45}x_{26}+18*x_{46}x_{21}+12*x_{46}x_{22}+6*x_{46}x_{23}+18*x_{46}x_{24}+12*x_{46}x_{25}+0*x_{41}x_{32}+0*x_{41}x_{33}+0*x_{41}x_{34} \\
& +0*x_{41}x_{35}+0*x_{41}x_{36}+0*x_{42}x_{31}+0*x_{42}x_{33}+0*x_{42}x_{34}+0*x_{42}x_{35}+0*x_{42}x_{36}+0*x_{43}x_{31}+0*x_{43}x_{32} \\
& +0*x_{43}x_{34}+0*x_{43}x_{35}+0*x_{43}x_{36}+0*x_{44}x_{31}+0*x_{44}x_{32}+0*x_{44}x_{33}+0*x_{44}x_{35}+0*x_{44}x_{36}+0*x_{45}x_{31} \\
& +0*x_{45}x_{32}+0*x_{45}x_{33}+0*x_{45}x_{34}+0*x_{45}x_{36}+0*x_{46}x_{31}+0*x_{46}x_{32}+0*x_{46}x_{33}+0*x_{46}x_{34}+0*x_{46}x_{35} \\
& +18*x_{41}x_{52}+27*x_{41}x_{53}+9*x_{41}x_{54}+18*x_{41}x_{55}+27*x_{41}x_{56}+18*x_{42}x_{51}+18*x_{42}x_{53}+18*x_{42}x_{54} \\
& +9*x_{42}x_{55}+18*x_{42}x_{56}+27*x_{43}x_{51}+18*x_{43}x_{52}+27*x_{43}x_{54}+18*x_{43}x_{55}+9*x_{43}x_{56}+9*x_{44}x_{51}+18*x_{44}x_{52} \\
& +27*x_{44}x_{53}+18*x_{44}x_{55}+27*x_{44}x_{56}+18*x_{45}x_{51}+9*x_{45}x_{52}+18*x_{45}x_{53}+18*x_{45}x_{54}+18*x_{45}x_{56}+27*x_{46}x_{51} \\
& +18*x_{46}x_{52}+9*x_{46}x_{53}+27*x_{46}x_{54}+18*x_{46}x_{55}+2*x_{41}x_{62}+3*x_{41}x_{63}+1*x_{41}x_{64}+2*x_{41}x_{65}+3*x_{41}x_{66} \\
& +2*x_{42}x_{61}+2*x_{42}x_{63}+2*x_{42}x_{64}+1*x_{42}x_{65}+2*x_{42}x_{66}+3*x_{43}x_{61}+2*x_{43}x_{62}+3*x_{43}x_{64}+2*x_{43}x_{65}+1*x_{43}x_{66} \\
& +1*x_{44}x_{61}+2*x_{44}x_{62}+3*x_{44}x_{63}+2*x_{44}x_{65}+3*x_{44}x_{66}+2*x_{45}x_{61}+1*x_{45}x_{62}+2*x_{45}x_{63}+2*x_{45}x_{64}+1*x_{45}x_{66} \\
& +3*x_{46}x_{61}+2*x_{46}x_{62}+1*x_{46}x_{63}+3*x_{46}x_{64}+2*x_{46}x_{65}+10*x_{51}x_{12}+15*x_{51}x_{13}+5*x_{51}x_{14}+10*x_{51}x_{15} \\
& +15*x_{51}x_{16}+10*x_{52}x_{11}+10*x_{52}x_{13}+10*x_{52}x_{14}+5*x_{52}x_{15}+10*x_{52}x_{16}+15*x_{53}x_{11}+10*x_{53}x_{12} \\
& +15*x_{53}x_{14}+10*x_{53}x_{15}+5*x_{53}x_{16}+5*x_{54}x_{11}+10*x_{54}x_{12}+15*x_{54}x_{13}+10*x_{54}x_{15}+15*x_{54}x_{16} \\
& +10*x_{55}x_{11}+5*x_{55}x_{12}+10*x_{55}x_{13}+10*x_{55}x_{14}+10*x_{55}x_{16}+15*x_{56}x_{11}+10*x_{56}x_{12}+5*x_{56}x_{13} \\
& +15*x_{56}x_{14}+10*x_{56}x_{15}+0*x_{51}x_{22}+0*x_{51}x_{23}+0*x_{51}x_{24}+0*x_{51}x_{25}+0*x_{51}x_{26}+0*x_{52}x_{21}+0*x_{52}x_{23} \\
& +0*x_{52}x_{24}+0*x_{52}x_{25}+0*x_{52}x_{26}+0*x_{53}x_{21}+0*x_{53}x_{22}+0*x_{53}x_{24}+0*x_{53}x_{25}+0*x_{53}x_{26}+0*x_{54}x_{21} \\
& +0*x_{54}x_{22}+0*x_{54}x_{23}+0*x_{54}x_{25}+0*x_{54}x_{26}+0*x_{55}x_{21}+0*x_{55}x_{22}+0*x_{55}x_{23}+0*x_{55}x_{24}+0*x_{55}x_{26} \\
& +0*x_{56}x_{21}+0*x_{56}x_{22}+0*x_{56}x_{23}+0*x_{56}x_{24}+0*x_{56}x_{25}+0*x_{51}x_{32}+0*x_{51}x_{33}+0*x_{51}x_{34}+0*x_{51}x_{35} \\
& +0*x_{51}x_{36}+0*x_{52}x_{31}+0*x_{52}x_{33}+0*x_{52}x_{34}+0*x_{52}x_{35}+0*x_{52}x_{36}+0*x_{53}x_{31}+0*x_{53}x_{32}+0*x_{53}x_{34} \\
& +0*x_{53}x_{35}+0*x_{53}x_{36}+0*x_{54}x_{31}+0*x_{54}x_{32}+0*x_{54}x_{33}+0*x_{54}x_{35}+0*x_{54}x_{36}+0*x_{55}x_{31}+0*x_{55}x_{32} \\
& +0*x_{55}x_{33}+0*x_{55}x_{34}+0*x_{55}x_{36}+0*x_{56}x_{31}+0*x_{56}x_{32}+0*x_{56}x_{33}+0*x_{56}x_{34}+0*x_{56}x_{35}+18*x_{51}x_{42} \\
& +27*x_{51}x_{43}+9*x_{51}x_{44}+18*x_{51}x_{45}+27*x_{51}x_{46}+18*x_{52}x_{41}+18*x_{52}x_{43}+18*x_{52}x_{44}+9*x_{52}x_{45} \\
& +18*x_{52}x_{46}+27*x_{53}x_{41}+18*x_{53}x_{42}+27*x_{53}x_{44}+18*x_{53}x_{45}+9*x_{53}x_{46}+9*x_{54}x_{41}+18*x_{54}x_{42} \\
& +27*x_{54}x_{43}+18*x_{54}x_{45}+27*x_{54}x_{46}+18*x_{55}x_{41}+9*x_{55}x_{42}+18*x_{55}x_{43}+18*x_{55}x_{44}+18*x_{55}x_{46} \\
& +27*x_{56}x_{41}+18*x_{56}x_{42}+9*x_{56}x_{43}+27*x_{56}x_{44}+18*x_{56}x_{45}+0*x_{51}x_{62}+0*x_{51}x_{63}+0*x_{51}x_{64}+0*x_{51}x_{65} \\
& +0*x_{51}x_{66}+0*x_{52}x_{61}+0*x_{52}x_{63}+0*x_{52}x_{64}+0*x_{52}x_{65}+0*x_{52}x_{66}+0*x_{53}x_{61}+0*x_{53}x_{62}+0*x_{53}x_{64} \\
& +0*x_{53}x_{65}+0*x_{53}x_{66}+0*x_{54}x_{61}+0*x_{54}x_{62}+0*x_{54}x_{63}+
\end{aligned}$

0*x54*x65+0*x54*x66+0*x55*x61+0*x55*x62+0*x55*x63+0*x55*x64+0*x55*x66+0*x56*x61+0*x56*x62+0*x56*x63+0*x56*x64+0*x56*x65+2*x61*x12+3*x61*x13+1*x61*x14+2*x61*x15+3*x61*x16+2*x62*x11+2*x62*x13+2*x62*x14+1*x62*x15+2*x62*x16+3*x63*x11+2*x63*x12+3*x63*x14+2*x63*x15+1*x63*x16+1*x64*x11+2*x64*x12+3*x64*x13+2*x64*x15+3*x64*x16+2*x65*x11+1*x65*x12+2*x65*x13+2*x65*x14+2*x65*x16+3*x66*x11+2*x66*x12+1*x66*x13+3*x66*x14+2*x66*x15+0*x61*x22+0*x61*x23+0*x61*x24+0*x61*x25+0*x61*x26+0*x62*x21+0*x62*x23+0*x62*x24+0*x62*x25+0*x62*x26+0*x63*x21+0*x63*x22+0*x63*x24+0*x63*x25+0*x63*x26+0*x64*x21+0*x64*x22+0*x64*x23+0*x64*x25+0*x64*x26+0*x65*x21+0*x65*x22+0*x65*x23+0*x65*x24+0*x65*x26+0*x66*x21+0*x66*x22+0*x66*x23+0*x66*x24+0*x66*x25+4*x61*x32+6*x61*x33+2*x61*x34+4*x61*x35+6*x61*x36+4*x62*x31+4*x62*x33+4*x62*x34+2*x62*x35+4*x62*x36+6*x63*x31+4*x63*x32+6*x63*x34+4*x63*x35+2*x63*x36+2*x64*x31+4*x64*x32+6*x64*x33+4*x64*x35+6*x64*x36+4*x65*x31+2*x65*x32+4*x65*x33+4*x65*x34+4*x65*x36+6*x66*x31+4*x66*x32+2*x66*x33+6*x66*x34+4*x66*x35+2*x61*x42+3*x61*x43+1*x61*x44+2*x61*x45+3*x61*x46+2*x62*x41+2*x62*x43+2*x62*x44+1*x62*x45+2*x62*x46+3*x63*x41+2*x63*x42+3*x63*x44+2*x63*x45+1*x63*x46+1*x64*x41+2*x64*x42+3*x64*x43+2*x64*x45+3*x64*x46+2*x65*x41+1*x65*x42+2*x65*x43+2*x65*x44+2*x65*x46+3*x66*x41+2*x66*x42+1*x66*x43+3*x66*x44+2*x66*x45+0*x61*x52+0*x61*x53+0*x61*x54+0*x61*x55+0*x61*x56+0*x62*x51+0*x62*x53+0*x62*x54+0*x62*x55+0*x62*x56+0*x63*x51+0*x63*x52+0*x63*x54+0*x63*x55+0*x63*x56+0*x64*x51+0*x64*x52+0*x64*x53+0*x64*x55+0*x64*x56+0*x65*x51+0*x65*x52+0*x65*x53+0*x65*x54+0*x65*x56+0*x66*x51+0*x66*x52+0*x66*x53+0*x66*x54+0*x66*x55; şeklindedir.

Modelin kısıtları ise;

$$\begin{aligned}x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}&=1; \\x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}&=1; \\x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}&=1; \\x_{41}+x_{42}+x_{43}+x_{44}+x_{45}+x_{46}&=1; \\x_{51}+x_{52}+x_{53}+x_{54}+x_{55}+x_{56}&=1; \\x_{61}+x_{62}+x_{63}+x_{64}+x_{65}+x_{66}&=1;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{41}+x_{51}+x_{61}&=1; \\x_{12}+x_{22}+x_{32}+x_{42}+x_{52}+x_{62}&=1; \\x_{13}+x_{23}+x_{33}+x_{43}+x_{53}+x_{63}&=1; \\x_{14}+x_{24}+x_{34}+x_{44}+x_{54}+x_{64}&=1; \\x_{15}+x_{25}+x_{35}+x_{45}+x_{55}+x_{65}&=1; \\x_{16}+x_{26}+x_{36}+x_{46}+x_{56}+x_{66}&=1;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_{11}*(1-x_{11})&=0; \\x_{12}*(1-x_{12})&=0; \\x_{13}*(1-x_{13})&=0; \\x_{14}*(1-x_{14})&=0; \\x_{15}*(1-x_{15})&=0; \\x_{16}*(1-x_{16})&=0;\end{aligned}$$

$x_{21}*(1-x_{21})=0;$
 $x_{22}*(1-x_{22})=0;$
 $x_{23}*(1-x_{23})=0;$
 $x_{24}*(1-x_{24})=0;$
 $x_{25}*(1-x_{25})=0;$
 $x_{26}*(1-x_{26})=0;$
 $x_{31}*(1-x_{31})=0;$
 $x_{32}*(1-x_{32})=0;$
 $x_{33}*(1-x_{33})=0;$
 $x_{34}*(1-x_{34})=0;$
 $x_{35}*(1-x_{35})=0;$
 $x_{36}*(1-x_{36})=0;$
 $x_{41}*(1-x_{41})=0;$
 $x_{42}*(1-x_{42})=0;$
 $x_{43}*(1-x_{43})=0;$
 $x_{44}*(1-x_{44})=0;$
 $x_{45}*(1-x_{45})=0;$
 $x_{46}*(1-x_{46})=0;$
 $x_{51}*(1-x_{51})=0;$
 $x_{52}*(1-x_{52})=0;$
 $x_{53}*(1-x_{53})=0;$
 $x_{54}*(1-x_{54})=0;$
 $x_{55}*(1-x_{55})=0;$
 $x_{56}*(1-x_{56})=0;$
 $x_{61}*(1-x_{61})=0;$
 $x_{62}*(1-x_{62})=0;$
 $x_{63}*(1-x_{63})=0;$
 $x_{64}*(1-x_{64})=0;$
 $x_{65}*(1-x_{65})=0;$
 $x_{66}*(1-x_{66})=0;$ şeklindedir.

Eğer 3. tesis, 3. bölgeye direkt olarak atanırsa, x_{33} karar değişkeni 1'e eşit olacaktır. Bu durumda, $x_{31} = x_{32} = x_{34} = x_{35} = x_{36} = x_{13} = x_{23} = x_{43} = x_{53} = x_{63} = 0$ olacaktır. Sonuç olarak model de aşağıdaki hali alacaktır.

$$\begin{aligned} \min = & 20*x_{11}*x_{22} + 10*x_{11}*x_{24} + 20*x_{11}*x_{25} + 30*x_{11}*x_{26} + 20*x_{12}*x_{21} + 20*x_{12}*x_{24} + 10*x_{12}*x_{25} + 20*x_{12}*x_{26} \\ & + 10*x_{14}*x_{21} + 20*x_{14}*x_{22} + 20*x_{14}*x_{25} + 30*x_{14}*x_{26} + 20*x_{15}*x_{21} + 10*x_{15}*x_{22} + 20*x_{15}*x_{24} + 20*x_{15}*x_{26} \\ & + 30*x_{16}*x_{21} + 20*x_{16}*x_{22} + 10*x_{16}*x_{24} + 20*x_{16}*x_{25} + 3*x_{11} + 2*x_{12} + 3*x_{14} + 2*x_{15} + 1*x_{16} + 0*x_{11}*x_{42} \\ & + 0*x_{11}*x_{44} + 0*x_{11}*x_{45} + 0*x_{11}*x_{46} + 0*x_{12}*x_{41} + 0*x_{12}*x_{44} + 0*x_{12}*x_{45} + 0*x_{12}*x_{46} + 0*x_{14}*x_{41} + 0*x_{14}*x_{42} \\ & + 0*x_{14}*x_{45} + 0*x_{14}*x_{46} + 0*x_{15}*x_{41} + 0*x_{15}*x_{42} + 0*x_{15}*x_{44} + 0*x_{15}*x_{46} + 0*x_{16}*x_{41} + 0*x_{16}*x_{42} + 0*x_{16}*x_{44} \\ & + 0*x_{16}*x_{45} + 10*x_{11}*x_{52} + 5*x_{11}*x_{54} + 10*x_{11}*x_{55} + 15*x_{11}*x_{56} + 10*x_{12}*x_{51} + 10*x_{12}*x_{54} + 5*x_{12}*x_{55} \\ & + 10*x_{12}*x_{56} + 5*x_{14}*x_{51} + 10*x_{14}*x_{52} + 10*x_{14}*x_{55} + 15*x_{14}*x_{56} + 10*x_{15}*x_{51} + 5*x_{15}*x_{52} + 10*x_{15} \end{aligned}$$

$\begin{aligned}
& *x54+10*x15*x56+15*x16*x51+10*x16*x52+15*x16*x54+10*x16*x55+2*x11*x62+1*x11*x64+2*x11*x \\
& 65+3*x11*x66+2*x12*x61+2*x12*x64+1*x12*x65+2*x12*x66+1*x14*x61+2*x14*x62+2*x14*x65+3*x1 \\
& 4*x66+2*x15*x61+1*x15*x62+2*x15*x64+2*x15*x66+3*x16*x61+2*x16*x62+3*x16*x64+2*x16*x65+2 \\
& 0*x21*x12+10*x21*x14+20*x21*x15+30*x21*x16+20*x22*x11+20*x22*x14+10*x22*x15+20*x22*x16+ \\
& 10*x24*x11+20*x24*x12+20*x24*x15+30*x24*x16+20*x25*x11+10*x25*x12+20*x25*x14+20*x25*x16 \\
& +30*x26*x11+20*x26*x12+30*x26*x14+20*x26*x15+48*x21+32*x22+16*x26+12*x21*x42+6*x21*x44 \\
& +12*x21*x45+18*x21*x46+12*x22*x41+12*x22*x44+6*x22*x45+12*x22*x46+6*x24*x41+12*x24*x42 \\
& +12*x24*x45+18*x24*x46+12*x25*x41+6*x25*x42+12*x25*x44+12*x25*x46+18*x26*x41+12*x26*x42 \\
& +18*x26*x44+12*x26*x45+0*x21*x52+0*x21*x54+0*x21*x55+0*x21*x56+0*x22*x51+0*x22*x54+0*x2 \\
& 2*x55+0*x22*x56+0*x24*x51+0*x24*x52+0*x24*x55+0*x24*x56+0*x25*x51+0*x25*x52+0*x25*x54+0 \\
& *x25*x56+0*x26*x51+0*x26*x52+0*x26*x54+0*x26*x55+0*x21*x62+0*x21*x64+0*x21*x65+0*x21*x6 \\
& 6+0*x22*x61+0*x22*x64+0*x22*x65+0*x22*x66+0*x24*x61+0*x24*x62+0*x24*x65+0*x24*x66+0*x25 \\
& *x61+0*x25*x62+0*x25*x64+0*x25*x66+0*x26*x61+0*x26*x62+0*x26*x64+0*x26*x65+3*x11+2*x12+ \\
& 3*x14+2*x15+1*x16+48*x21+32*x22+48*x24+32*x25+16*x26+0*x41+0*x42+0*x44+0*x45+0*x46+0* \\
& x51+0*x52+0*x54+0*x55+0*x56+6*x61+4*x62+6*x64+4*x65+2*x66+0*x41*x12+0*x41*x14+0*x41*x1 \\
& 5+0*x41*x16+0*x42*x11+0*x42*x14+0*x42*x15+0*x42*x16+0*x44*x11+0*x44*x12+0*x44*x15+0*x44 \\
& *x16+0*x45*x11+0*x45*x12+0*x45*x14+0*x45*x16+0*x46*x11+0*x46*x12+0*x46*x14+0*x46*x15+12 \\
& *x41*x22+6*x41*x24+12*x41*x25+18*x41*x26+12*x42*x21+12*x42*x24+6*x42*x25+12*x42*x26+6*x \\
& 44*x21+12*x44*x22+12*x44*x25+18*x44*x26+12*x45*x21+6*x45*x22+12*x45*x24+12*x45*x26+18*x \\
& 46*x21+12*x46*x22+18*x46*x24+12*x46*x25+0*x41+0*x42+0*x44+0*x45+0*x46+18*x41*x52+9*x41 \\
& *x54+18*x41*x55+27*x41*x56+18*x42*x51+18*x42*x54+9*x42*x55+18*x42*x56+9*x44*x51+18*x44* \\
& x52+18*x44*x55+27*x44*x56+18*x45*x51+9*x45*x52+18*x45*x54+18*x45*x56+27*x46*x51+18*x46* \\
& x52+27*x46*x54+18*x46*x55+2*x41*x62+1*x41*x64+2*x41*x65+3*x41*x66+2*x42*x61+2*x42*x64+1 \\
& *x42*x65+2*x42*x66+1*x44*x61+2*x44*x62+2*x44*x65+3*x44*x66+2*x45*x61+1*x45*x62+2*x45*x6 \\
& 4+1*x45*x66+3*x46*x61+2*x46*x62+3*x46*x64+2*x46*x65+10*x51*x12+5*x51*x14+10*x51*x15+15* \\
& x51*x16+10*x52*x11+10*x52*x14+5*x52*x15+10*x52*x16+5*x54*x11+10*x54*x12+10*x54*x15+15*x \\
& 54*x16+10*x55*x11+5*x55*x12+10*x55*x14+10*x55*x16+15*x56*x11+10*x56*x12+15*x56*x14+10*x \\
& 56*x15+0*x51*x22+0*x51*x24+0*x51*x25+0*x51*x26+0*x52*x21+0*x52*x24+0*x52*x25+0*x52*x26+ \\
& 0*x54*x21+0*x54*x22+0*x54*x25+0*x54*x26+0*x55*x21+0*x55*x22+0*x55*x24+0*x55*x26+0*x56*x \\
& 21+0*x56*x22+0*x56*x24+0*x56*x25+0*x51+0*x52+0*x54+0*x55+0*x56+18*x51*x42+9*x51*x44+18 \\
& *x51*x45+27*x51*x46+18*x52*x41+18*x52*x44+9*x52*x45+18*x52*x46+9*x54*x41+18*x54*x42+18* \\
& x54*x45+27*x54*x46+18*x55*x41+9*x55*x42+18*x55*x44+18*x55*x46+27*x56*x41+18*x56*x42+27* \\
& x56*x44+18*x56*x45+0*x51*x62+0*x51*x64+0*x51*x65+0*x51*x66+0*x52*x61+0*x52*x64+0*x52*x6 \\
& 5+0*x52*x66+0*x54*x61+0*x54*x62+0*x54*x65+0*x54*x66+0*x55*x61+0*x55*x62+0*x55*x64+0*x55 \\
& *x66+0*x56*x61+0*x56*x62+0*x56*x64+0*x56*x65+2*x61*x12+1*x61*x14+2*x61*x15+3*x61*x16+2* \\
& x62*x11+2*x62*x14+1*x62*x15+2*x62*x16+1*x64*x11+2*x64*x12+2*x64*x15+3*x64*x16+2*x65*x11 \\
& +1*x65*x12+2*x65*x14+2*x65*x16+3*x66*x11+2*x66*x12+3*x66*x14+2*x66*x15+0*x61*x22+0*x61* \\
& x24+0*x61*x25+0*x61*x26+0*x62*x21+0*x62*x24+0*x62*x25+0*x62*x26+0*x64*x21+0*x64*x22+0*x \\
& 64*x25+0*x64*x26+0*x65*x21+0*x65*x22+0*x65*x24+0*x65*x26+0*x66*x21+0*x66*x22+0*x66*x24+ \\
& 0*x66*x25+6*x61+4*x62+6*x64+4*x65+2*x66+2*x61*x42+1*x61*x44+2*x61*x45+3*x61*x46+2*x62*x \\
& 41+2*x62*x44+1*x62*x45+2*x62*x46+1*x64*x41+2*x64*x42+2*x64*x45+3*x64*x46+2*x65*x41+1*x6
\end{aligned}$

$5 \cdot x_{42} + 2 \cdot x_{65} \cdot x_{44} + 2 \cdot x_{65} \cdot x_{46} + 3 \cdot x_{66} \cdot x_{41} + 2 \cdot x_{66} \cdot x_{42} + 3 \cdot x_{66} \cdot x_{44} + 2 \cdot x_{66} \cdot x_{45} + 0 \cdot x_{61} \cdot x_{52} + 0 \cdot x_{61} \cdot x_{54} + 0 \cdot x_{61} \cdot x_{55} + 0 \cdot x_{61} \cdot x_{56} + 0 \cdot x_{62} \cdot x_{51} + 0 \cdot x_{62} \cdot x_{54} + 0 \cdot x_{62} \cdot x_{55} + 0 \cdot x_{62} \cdot x_{56} + 0 \cdot x_{64} \cdot x_{51} + 0 \cdot x_{64} \cdot x_{52} + 0 \cdot x_{64} \cdot x_{55} + 0 \cdot x_{64} \cdot x_{56} + 0 \cdot x_{65} \cdot x_{51} + 0 \cdot x_{65} \cdot x_{52} + 0 \cdot x_{65} \cdot x_{54} + 0 \cdot x_{65} \cdot x_{56} + 0 \cdot x_{66} \cdot x_{51} + 0 \cdot x_{66} \cdot x_{52} + 0 \cdot x_{66} \cdot x_{54} + 0 \cdot x_{66} \cdot x_{55};$

$x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15} + x_{16} = 1;$
 $x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{25} + x_{26} = 1;$
 $x_{41} + x_{42} + x_{44} + x_{45} + x_{46} = 1;$
 $x_{51} + x_{52} + x_{54} + x_{55} + x_{56} = 1;$
 $x_{61} + x_{62} + x_{64} + x_{65} + x_{66} = 1;$
 $x_{11} + x_{21} + x_{41} + x_{51} + x_{61} = 1;$
 $x_{12} + x_{22} + x_{42} + x_{52} + x_{62} = 1;$
 $x_{14} + x_{24} + x_{44} + x_{54} + x_{64} = 1;$
 $x_{15} + x_{25} + x_{45} + x_{55} + x_{65} = 1;$
 $x_{16} + x_{26} + x_{46} + x_{56} + x_{66} = 1;$

@BIN(x11);
 @BIN(x12);
 @BIN(x14);
 @BIN(x15);
 @BIN(x16);
 @BIN(x21);
 @BIN(x22);
 @BIN(x24);
 @BIN(x25);
 @BIN(x26);
 @BIN(x41);
 @BIN(x42);
 @BIN(x44);
 @BIN(x45);
 @BIN(x46);
 @BIN(x51);
 @BIN(x52);
 @BIN(x54);
 @BIN(x55);
 @BIN(x56);
 @BIN(x61);
 @BIN(x62);
 @BIN(x64);
 @BIN(x65);
 @BIN(x66);

Model bu şekilde yazılıp LINGO7 ile çözüldüğünde program aşağıdaki sonucu vermektedir.

Local optimal solution found at step:			161
Objective value:			132.0000
Branch count:			11
Variable	Value	Reduced Cost	
X11	0.0000000	0.0000000	
X22	0.0000000	0.0000000	
X24	0.0000000	0.0000000	
X25	1.0000000	0.0000000	
X26	0.0000000	0.0000000	
X12	1.0000000	0.0000000	
X21	0.0000000	0.0000000	
X14	0.0000000	0.0000000	
X15	0.0000000	0.0000000	
X16	0.0000000	0.0000000	
X42	0.0000000	0.0000000	
X44	1.0000000	0.0000000	
X45	0.0000000	0.0000000	
X46	0.0000000	0.0000000	
X41	0.0000000	0.0000000	
X52	0.0000000	0.0000000	
X54	0.0000000	0.0000000	
X55	0.0000000	0.0000000	
X56	0.0000000	0.0000000	
X51	1.0000000	0.0000000	
X62	0.0000000	0.0000000	
X64	0.0000000	0.0000000	
X65	0.0000000	0.0000000	
X66	1.0000000	0.0000000	
X61	0.0000000	0.0000000	
Row	Slack or Surplus	Dual Price	
1	132.0000	0.0000000	
2	0.0000000	0.0000000	
3	0.0000000	0.0000000	
4	0.0000000	0.0000000	
5	0.0000000	0.0000000	
6	0.0000000	0.0000000	
7	0.0000000	0.0000000	
8	0.0000000	0.0000000	
9	0.0000000	0.0000000	
10	0.0000000	0.0000000	
11	0.0000000	0.0000000	

Buna göre; 1. tesis, 2. bölgeye

2. tesis, 5. bölgeye

3. tesis, 3. bölgeye

4. tesis, 4. bölgeye

5. tesis, 1. bölgeye

6. tesis, 6. bölgeye atanmıştır.

LINGO7'nin sunduğu çözümün raporu, kendi ekran çıktısı olarak, Şekil. 6.4'deki gibidir.

LINGO Solver Status [5 testali]			
Variables		Constraints	
Total:	25	Total:	11
Nonlinear:	0	Nonlinear:	1
Integers:	25		
Optimizer Status		Nonzeros	
State:	Local	Total:	75
Objective:	132	Nonlinear:	25
Infeasibility:	0	Generator Memory Used (K)	
Iterations:	242	40	
Branches:	11	Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
Best IP:	132	00:00:01	
IP Bound:	132		
MINIMUM		Update interval: 2	
		Close	

Şekil 6.4 LINGO7 ile elde edilen çözümün raporu

Bu ekran çıktısından, toplam 25 değişken olduğu, bu değişkenlerin tam sayı olduğu, toplam 11 kısıt bulunduğu ve bu kısıtların 1 tanesinin lineer olmadığı, amaç fonksiyonunun 132 olduğu ve 242 iterasyon sonunda bulunduğu gibi bilgiler görülmektedir.

6.3 2. Alternatif Yerleşim

Kuruluş algoritmalarından CORELAP ile geliştirilen çözümde, tesisin mevcut yerleşimi göz önüne alınmamıştır. Tesis içerisinde bulunması gereken iş istasyonlarının aralarındaki ilişkiyi gösteren matris Çizelge 6.3'de verilmiştir. A, E, I, O, U ve X kodları için belirlenen nümerik değerler sırasıyla; 32, 16, 8, 4, 2 ve -16'dır. Yine her bir tesisin alanları m² cinsinden, tablonun son sütununda verilmiştir. Tesisler aşağıdaki şekilde numaralandırılmışlardır;

- Hat 1
- Hat2
- Karşım hazırlama (mikser) bölümü
- Geri dönüşüm (kıрма) bölümü
- Hammadde ambarı

f. Bitmiş ürün ambarı

Çizelge 6.3 Tesislerin yakınlık ilişkileri ve alanları

		TESİSLER						Tesis Alanları (m ²)
		1	2	3	4	5	6	
TESİSLER	1	—	I	A	O	U	I	384
	2	I	—	A	O	U	I	256
	3	A	A	—	U	E	X	128
	4	O	O	U	—	O	U	128
	5	U	U	E	O	—	U	512
	6	I	I	X	U	U	—	512

Birim karelerin uzunluklarını belirlemenin kullanıcının elinde yada programın inisiyatifine bırakılabileceği göz önünde bulundurularak, her bir birim karenin değeri 128 olarak kabul edilebilir. Buna göre, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı tesislerin sırasıyla, 3, 2, 1, 1, 4 ve 4 birim kareye yerleştirileceği görülmektedir. Çizelge 6.4’de, her bir tesisin TYO, alan ölçüleri ve bu ölçülere karşılık gelen kare sayıları gösterilmektedir.

Çizelge 6.4 TYO Değerlerinin Hesaplanması

Tesis	TYO	Alan	Kare Sayısı
1	$8+32+4+2+8=54$	384	3
2	$8+32+4+2+8=54$	256	2
3	$32+32+2+16-16=66$	128	1
4	$4+4+2+4+2=16$	128	1
5	$2+2+16+4+2=26$	512	4
6	$8+8-16+2+2=4$	512	4

TYO tablosu belirtilen şekilde hazırlandıktan sonra, yerleşime ilk girecek tesis belirlenir. Görüldüğü gibi en yüksek TYO değeri 66 ile 3. tesise (mikser bölümü) aittir. 3. tesis merkeze yerleştirilecek şekilde devamlı tesis olarak atanır. 3. tesis ile A ilişkisine sahip tesisler, 1. ve 2. tesislerdir. TYO değerlerine bakıldığında eşit oldukları görülmektedir. Bu durumda alanlarına bakılır ve 3 birim kare ile 1. tesis daha büyük alana sahip olduğundan yerleşime dahil edilir. Tesislerin yerleşiminde en – boy uzunluklarının ayarlanması kullanıcının inisiyatifindedir. Bir değer belirtilmezse program kendisi bir değer atamaktadır. Burada 1. tesis 3. tesisi saracak şekilde üst kısma yerleştirilir. Ardından yerleşime girecek olan tesis, 3. tesis ile A ilişkisine sahip 2. testistir.

Burada bir yerleşim oranı hesaplanır. Yerleşime yeni girecek olan tesisin, komşu olacağı tesislerle arasındaki ilişkilerin, sayısal değerlerinin toplamına “yerleştirme oranı” denir. 2. tesisin hem 1. hem de 2. tesis ile komşu yapılması bu oranı artıracığından bu tesislerin sağındaki iki birim karelik alana yerleştirilir.

1., 2. ve 3. tesisler devamlı tesis olarak yerleşime dahil edilmiştir. Bu tesislere bakıldığında, en önemli ilişki 3. ile 5. arasındaki E ilişkisidir. 5. tesis yerleşime dahil edilen testistir. En büyük yerleştirme oranı, her üç departmanla ilişkili olacak şekilde, yatay olarak alt sıraya yerleştirilmesi durumunda oluşacaktır.

Kalanlar 4 ve 6 numaralı tesislerdir. 6. tesisin 1. ve 2. tesislerle I ilişkisi olması nedeni ile yerleşime dahil edilir. 6. tesis için, 1. ve 2. tesislerle komşu olması durumunda en yüksek yerleştirme oranına ulaşılmaktadır. Bu yüzden üst sıraya yatay olarak yerleştirilir.

Son tesis ise, 1 birim karelik alana sahip olan, 4. testistir. Bu tesiste 1. ve 5. tesislerle komşu olduğunda yerleştirme oranını maksimum yapmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda son yerleşim Şekil 6.5’deki gibi olacaktır.

*	6	6	6	6	*	*
*	*	1	1	2	*	*
*	4	1	3	2	*	*
*	5	5	5	5	*	*
*	*	*	*	*	*	*

Şekil 6.5 CORELAP algoritması ile geliştirilmiş yerleşim

6.4 3. Alternatif Yerleşim

Bu yöntemde, varolan yerleşim geliştirilerek yeniden tasarlanmaya çalışılmaktadır. Departmanların aralarındaki mesafeler, merkezler arasındaki mesafeler olarak kabul edilmektedir. Burada çapraz hareketlere de izin verilmekte ve 1 birim olarak kabul edilmektedir.

İlk durumdaki yerleşim, Şekil 6.6'da gösterildiği gibidir.

1. 1. Hat	2. Karışım Hazırlama (Mikser)	3. Hammadde Ambarı
4. 2. Hat	5. Bitmiş Ürün Ambarı	6. Geri Dönüşüm (Kırma)

Şekil 6.6 Çift değişim metodu için ilk yerleşim

Mevcut yerleşime dayanarak, Çizelge 6.5'deki mesafe matrisi oluşturulabilir. Departmanlar aynı boyutlu ve kare şeklinde düşünüldüğünden, mesafe matrisi uzunluk birimi belirtmeden oluşturulabilir.

Çizelge 6.5 Mevcut yerleşimde mesafe matrisi

	1	2	3	4	5	6
1	—	1	2	1	1	2
2		—	1	1	1	1
3			—	2	1	1
4				—	1	2
5					—	1
6						—

Bölümler arasındaki malzeme akışı ise gün/sefer cinsinden, Çizelge 6.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.6 Departmanlar arası malzeme akışı matrisi

	1	2	3	4	5	6
1	—	10	1	0	5	1
2		—	16	6	0	0
3			—	0	0	2
4				—	9	1
5					—	0
6						—

Mevcut yerleşim için toplam maliyet aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$TM_{123456}=10(1)+1(2)+0(1)+5(1)+1(2)+16(1)+6(1)+0(1)+0(1)+0(2)+0(1)+2(1)+9(1)+1(2)+9(1)=54$$

Alt indis ilk yerleşimdeki departmanların sırasını belirtmektedir.

Çift değişim metodunda tüm fizibil değişimler yapılır ve maliyeti en çok düşüren çiftin yerleri değiştirilir. Butün departmanların boyutları eşit kabul edildiği için, fizibil değişimler 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 3-4, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6 ve 5-6'dır.

İşlem kolaylığı açısından her bir değişiklikte ortaya çıkan, departmanlar arası mesafeler ve bu mesafelerin, departmanlar arasındaki akışla (sefer sayısı) çarpımları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Departman çiftlerinin değişimi ile oluşan maliyetler matrisi (1. iterasyon)

değişim	mevcut	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/4	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
Sefer																
10	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1
1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2
0	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1
16	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
0	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2
0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1
0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
	54	68	55	54	52	54	69	69	54	68	54	67	54	53	64	66

En alt satır mesafelerle, sefer sayılarının çarpımını göstermektedir. Bu değerlere bakıldığında 1. ve 5. tesislerin yerinin değiştirilmesi ile maliyetin azaltıldığı görülmektedir. Bu yüzden 1. ve 5. tesislerin yerleri değiştirilerek, sonraki iterasyona geçilir ve işlemler tekrarlanır. 2. iterasyonun tablosu, Çizelge 6.8'deki gibidir.

Çizelge 6.8 Departman çiftlerinin değişimi ile oluşan maliyetler matrisi (2. iterasyon)

değişim	Yeni yerleşim	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	2/3	2/4	2/5	2/6	3/4	3/5	3/6	4/5	4/6	5/6
sefer																
10		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1		1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0		1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5		1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1		1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
6		1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
0		1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
0		1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
0		2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1
0		2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
9		1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
1		2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1
0		2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2
		52	52	57	53	54	56	58	67	68	57	62	63	52	52	63

Bu iterasyonda önceki iterasyona göre daha iyi bir gelişim sağlanamadığından, durulur ve yeni yerleşim Şekil 6.7'deki gibi oluşur.

1. Bitmiş Ürün Ambarı	2. Karışım Hazırlama (Mikser)	3. Hammadde Ambarı
4. 2. Hat	5. 1. Hat	6. Geri Dönüşüm (Kırma)

Şekil 6.7 Çift değişim metodu ile geliştirilmiş son yerleşim

Toplam maliyet ise,

$$TM_{523416}=10(1)+1(1)+0(1)+5(1)+1(1)+16(1)+6(1)+0(1)+0(1)+0(2)+0(2)+2(1)+9(1)+1(2)+0(2)=52 \text{ şeklinde oluşur.}$$

6.5 Alternatif Yerleşimlerin Karşılaştırılması

Geliştirilen 3 alternatife bakıldığında, hepsinin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Fakat yine hepsi, mevcut yerleşimden farklı sonuçlar vermişlerdir. Kuadratik atama ve çift değişim metodlarında, alanların eşit olduğu ve belirli bir alan üzerinde yerleştirme yapıldığından, birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bitmiş ürün deposu, hammadde ambarı, 2. hat ve kırma bölümlerinin lokasyonları aynı çıkmıştır.

Mevcut yerleşimle karşılaştırıldığında, çift değişim metodunda, 1. hat ve bitmiş ürün deposu arasında; QAP'de ise bitmiş ürün deposu, 1. hat ve mikser bölümleri arasında değişiklikler yapılması gerektiği sonuçları çıkmıştır.

CORELAP ise yerleştirmeyi, bölümler arasındaki (planlamacının belirlediği) ilişkilere dayanarak, daha önce bir yerleşim yokmuş gibi, baştan yaptığı için diğer iki alternatife göre çok farklı bir sonuç çıkarmıştır.

Daha öncede belirtildiği gibi, pratikteki uygulamalar için bu yöntemlerin her birinin farklı sonuçlar vermesi çok doğaldır. Elde edilen sonuçlardan en uygun olanı seçilip, gerçek uygulamadaki tesislerin birer açık sistem oldukları dikkate alınarak, modele dahil edilemeyecek birçok kısıt ve değişken, tecrübeler ve sezgiler çerçevesinde hesaba katılarak iyi bir yerleşim oluşturulmaya çalışılacaktır.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde, birçok disiplinin birlikte çalışmasının sonucunda ortaya çıkan tesis yerleşim konusuna, endüstri mühendisliği açısından bakılmıştır. Verimli ve etkin bir üretimin yapılması veya hizmetin verilmesi için, içerisinde aktivitelerin gerçekleştirileceği tesisin amaçlara uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Sürekli bir geliştirmeyi gerektiren tesislerin planlanması sürecinde, dikkat edilmesi gereken temel kavramlar önceden belirlenmelidir.

İşletme içinde bulunan tüm departmanların, üretim, stok, dinlenme, destek vb. alanlarının tümü arasındaki ilişkilerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Her bir bölümün göstereceği faaliyete göre, gereksinim duyacağı alan boyutları, şekilleri ve özellikleri diğer bir önemli noktadır. Son olarak da, bu bölümler arasındaki tüm hareketlerin (malzeme, bilgi, insan) yönünün ve yoğunluğunun ortaya konması gerekmektedir. Tüm yerleşim prosedürleri temelinde bu verileri kullanırlar. Bu veriler elde edildikten sonra, çok farklı şekillerde değerlendirilerek alternatif yerleşim planları oluşturmak mümkündür. Günümüzde, tesis yerleşim problemi için oluşturulmuş birçok model olduğuna, bazıları detaylı şekilde anlatılarak değinilmiştir. Yine bu modellerden çözüm elde etmede kullanılan optimal, sezgisel veya melez algoritmaların geliştirildiği belirtilmiştir. Artık bilgisayarın da desteği ile büyük çaplı işletmelerde dahi optimale yakın yerleştirmelerin yapılması mümkün olmaktadır.

Bununla birlikte, yerleştirme problemini ele alış biçimine göre elde edilecek sonuçlarında farklılık göstermesi doğaldır. Mevcut bir tesis üzerinde çalışırken, kuruluş algoritmalarından biri kullanıldığında, ilk duruma oranla çok daha etkin bir yerleşim oluşturulabilir. Fakat tesisi tamamı ile yeniden kurmak fizibil olmayabilir. Dahası farklı geliştirme algoritmaları ile de farklı sonuçlara ulaşılabilir. Bu yüzden uygulamada, algoritmaların çalıştırılması ile elde edilen sonuçları direkt olarak kullanmak doğru olmayabilir. Farklı metotlarla bulunan farklı sonuçlar içinden en uygun olanı sadece bir temel olarak alınmalıdır. Çoğu zaman bu temel üzerinde tekrar tekrar çalışmak gerekebilmektedir. Tezin uygulama bölümünde çıkan sonuçlara bakıldığında da görülmektedir ki, 6 tesisli bir yerleştirmede dahi çok farklı sonuçlara ulaşılabilir.

Tesis yerleşiminde, doğru sonuca ulaşabilmek için doğru yöntemi seçmek gerekmektedir. Yeterli ve doğru kantitatif veriler elde edilebiliyorsa, bölümler arasındaki ilişkileri kullanarak çözüm üreten algoritmaları kullanmak doğru olmayacaktır. Aynı zamanda, departmanların boyutları birbirine yakın yada eş olduğunda kullanılacak algoritmalar farklılık

gösterebilmektedir. Ya da belirli sayıdaki tesis, aynı sayıdaki lokasyona atanacaksa, buna uygun bir algoritma seçilecektir. Uygun olmayan yöntemler kullanıldığında, beklenenden farklı sonuçlara ulaşılabilir.

7.1 Gelecek İçin Yönlendirmeler

Tez kapsamında, incelenen modellere ve algoritmalarla bakıldığında sezgisel yöntemlerin seçildiği görülmektedir. Problemin boyutları büyüdüğünde, genellikle sezgisel algoritmaların kullanılması gerektiği bilinmektedir. Bunlar göz önüne alınarak ve uygulamasının yapılabilirliğine dikkat edilerek, yapılan genel sınıflandırma doğrultusunda, iki model ve dört algoritma incelenmiştir. Karmaşık ürün yapısı bulunan işletmelerde, tez kapsamına alınmayan diğer tekniklerin de incelenmesi faydalı olacaktır. Sezgisel algoritmaların üretilmesinde temel oluşturan optimal algoritmalar da diğer bir inceleme konusu olabilmektedir.

Diğer bir konu da, çözüm aşamasında kullanılacak bilgisayar programlarının elde edilebilirliğidir. Problem boyutlarına bağlı olarak bazı programlar değişken ve kısıt kapasitesi açısından yetersiz kalabilmektedir. Örneğin, uygulamada sunulan birinci alternatifte, tesislerden biri sabitlenmiş ve 5 tesis üzerinden çözüm üretilmiştir. Böyle bir sabitleme problem açısından uygun olmakla beraber, tesis sayısı 6'ya çıktığında programın versiyonu yetersiz kalmaktadır.

Departman sayısının artması, değişken ve buna bağlı kısıt sayısını da artırmakta ve bu problemlerin çözümüne yönelik uygulamaları zorlaştırmaktadır. Pratik çözümler açısından, amacın uygun bir şekilde düzenlenmesi ve varsayımların gerçekçi olarak yapılması gerekmektedir. Uygulamada, hesaplamayı kolaylaştırmak için departman boyutları eşit alınmıştır. Gelecekteki çalışmalarda benzer problemler için daha ileri algoritmalar kullanılarak, boyutlar gerçekçi değerleriyle ele alınabilir ve daha etkin yerleşimler oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Apple, J. M., (1977), "Plant Layout and Material Handling", 3. basım, John Wiley, New York.
- Bozer, Y. A., Meller, R. D. ve Erlebacher, S. J., (1994), "An improvement-type layout algorithm for single and multiple floor facilities", *Management Science* 40, no. 7:918-932
- Buffa, E. S., (1955), "Sequence analysis for functional layouts", *Journal of Industrial Engineering* 6:12-13, 25.
- Buffa, E. S., (1976), "On A Paper By Scriabin And Vergin", *Management Science*, Sayı 23, No. 1.
- Canen, G. C. Ve Williamson, G. H., (1998), "Facility Layout Overview: towards competitive Advantage", *Facilities*, Sayı16, No. 7/8, Temmuz, MCB University Press.
- Conway, R. W. ve Maxwell W. L., (1961), "A note on the assignment of facility location", *Journal of Industrial Engineering* 12:34-36.
- Garey, M. R. ve Johnson, D. S., (1979), "Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness", W. H. Freeman, New York.
- Heragu, S. S. ve Kochhar, J. S., (1994), "Materialhandling issues in adaptive manufacturing systems", in *The Material Handling Engineering Division 75. anniversary commemorative Vol.*, edited by E. M. Malstrom ve I. W. Pence Jr. Paper presented 1994 International Mechanical Engineering Congress ve Exposition, American Society of Mechanical Engineering, 9-13.
- Hicks, P. E., ve Cowan T. E., (1976), "CRAFT-M for layout rearrangement", *Industrial Engineering*, Mayıs, 30-35.
- Immer, J. R., (1950), "Layout Planning Techniques", McGraw-Hill, New York.
- Johnson, R. V., (1982) "SPACECRAFT For Multi-Floor Layout Planning", *Management Science* 28, No. 4:407 – 417.
- Kim, J. Y. ve Kim Y. D., (1995), "Graph Theoretic Heuristics For Unequal-Sized Facility Layout Problems", *Omega*, Sayı 23, No. 4.
- Koopmans, T. C. ve Beckmann, M., (1957), "Assignment problems and the location of economic activities", *Econometrica* 25, no. 1:53-76
- Kusiak, A. ve Heragu S. S., (1987), "Facilities layout problem", *European Journal of Operational Research* 29, no. 3:229-251.
- Lee, R. ve Moore J. M., (1967), "CORELAP- Computerized relationship layout planning", *Journal of Industrial Engineering* 18:195-200.
- Muther, R., (1973), "Systematic Layout Planning", 2. basım Chaners Books, Boston
- Nicol, L. M. Ve Hollier, R. H., (1983), *Plant layout in practice*, Material Flow, 1:177-188

- Reed, R. Jr., (1961), "Plant Layout: Factors, Principles and Techniques, Richard D. Irwin, IL.
- Sims, R. Jr., (1990), "HM Problems Are Business Problems", Industrial Engineering, Mayıs.
- Sthahl, J. F., (1990), "Facility Productivity can be Planned, Measured and Controlled – Do It", Industrial Engineering, Haziran.
- Tompkins, J. A., (1996), "Facilities Planning", 2. basım, John Wiley, New York.
- Tamashunas, V. M., Labban M. J. ve Sly D., (1979), "Interactive graphics offer an analysis of plant layout and material handling system", Industrial Engineering.
- Wimmert, R. J., (1958), "A mathematical method for equipment location", Journal of Industrial Engineering 9:498-505.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	19.06.1978	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1993-1996	Pertevniyal Süper Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Endüstri Mühendisliği bölümü
Yüksek Lisans	2000-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı
Çalıştığı kurum	2000-Devam	YTÜ Makine Fak. Endüstri Mühendisliği Böl. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi

