

**FABRİKA İÇİ YERLEŞİM DÜZENİ
VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI**

Betül TURANOĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Gökay AKKAYA
2012
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FABRİKA İÇİ YERLEŞİM DÜZENİ VE BİR İŞLETMEDE
UYGULAMASI**

Betül TURANOĞLU

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2012**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

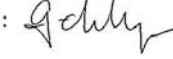
FABRİKA İÇİ YERLEŞİM DÜZENİ VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI

Yrd. Doç. Dr. Gökay AKKAYA danışmanlığında, Betül TURANOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 14/08/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği/oy-çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mehmet AKTAN

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökay AKKAYA

İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Emin Argun ORAL

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Y. Lisans Tezi

FABRİKA İÇİ YERLEŞİM DÜZENİ VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI

Betül TURANOĞLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gökay AKKAYA

Tesis yerleşimi, bir işletmenin malzeme taşıma maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Malzeme taşıma maliyetleri de toplam üretim maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Çoğu tesis yerleşim probleminin amacı, malzeme taşıma maliyetini minimize etmektir. Malzeme taşıma maliyeti; tesisler arası mesafe, malzeme akış miktarı ve birim malzeme akış maliyetinin çarpımıyla ifade edilmektedir. Üretim miktarını değiştirmek zor olduğu için, çoğu tesis tasarımcısı tesisler arasındaki mesafeyi azaltmaya odaklanmaktadır. Bu tez çalışmasında, bir işletmenin malzeme akış maliyetini azaltacak yeni yerleşim alternatifleri geliştirilmiştir. Bunun için, WINQSB paket programı ve kareli atama problemi (KAP) formülasyonu kullanılmıştır. Özellikle WINQSB çözümünde, malzeme akış maliyetinde %56,14'lük bir azalma sağlanmıştır.

2012, 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tesis Yerleşim Problemi, Fabrika Düzenleme, WINQSB, Kareli Atama Problemi

ABSTRACT

MS Thesis

FACILITY LAYOUT AND APPLICATION IN A COMPANY

Betül TURANOĞLU

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gökay AKKAYA

Facility layout affects the material handling costs of a company directly. The material handling costs take major part of total production cost. The objective of most facility layout problems is to minimize material handling cost. The material handling cost is said as multiplication of the distance, the volume of handled products, unit cost of material handling cost between the facilities. Because it is difficult to change the volume of production, most facility designers focus to reduce the distance between the facilities. In this thesis, new layout alternatives which will release material cost of a company are improved. For this, WINQSB package program and quadratic assignment problem (QAP) formulation are used. Specially, in WINQSB solution, a 56,14% decrease in the material handling cost is achieved.

2012, 92 pages

Keywords: Facility Location Problem, Facility Layout, WINQSB, Quadratic Assignment Problem

TEŐEKKÖR

Tez alıŐmalarımnda ve yűksek lisansın diđer aŐamalarında yardımlarını benden hibir zaman esirgemeyen danıŐman hocam Sayın Yrd. Do. Dr. Gökay AKKAYA'ya, maddi ve manevini desteklerinden dolayı canım aileme teŐekkűrű bir borç bilirim.

Betűl TURANOĐLU

AĞustos 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM	7
3.1. Materyal	7
3.1.1. Fabrika düzenlemesinin tanımı ve önemi	7
3.1.2. Fabrika düzenlemesinin amaçları	12
3.1.3. Fabrika düzenlemesini etkileyen faktörler	15
3.1.4. Fabrika düzenlemesinin ilkeleri ve değerlendirilmesi	18
3.1.5. Fabrika düzenlemesinin aşamaları	20
3.1.6. Fabrika yerleşim düzeni tipleri	21
3.1.6.a. Sabit konumlu ürüne göre yerleşim düzeni	21
3.1.6.b. Ürüne göre yerleşim düzeni	23
3.1.6.c. Prosese göre yerleşim düzeni	26
3.1.6.d. Grup üretimine göre yerleşim düzeni (Hücreyel yerleşim)	28
3.1.6.e. Karma yerleşim düzeni	32
3.2. Yöntem	33
3.2.1. Yerleşim düzenlemede kullanılan algoritmalar	33
3.2.1.a. CORELAP	33
3.2.1.b. ALDEP	35
3.2.1.c. CRAFT	36
3.2.1.d. MULTIPLE	37
3.2.1.e. SABLE	39

3.2.1.f. LayOPT	40
3.2.1.g. COFAD	40
3.2.2. Gezi şeması / matrisi	41
3.2.3. Faaliyet ilişki şeması ve ilişki diyagramı	41
3.2.4. Kareli atama problemi (KAP)	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	45
4.1. Fabrikanın Mevcut Yerleşim Şeması	45
4.2. İş Akış Şeması	46
4.3. Gezi Şemasının Oluşturulması	47
4.4. Bölümler Arası Uzaklığın Belirlenmesi	49
4.5. Yerleşim Probleminin WINQSB' de Çözümü	50
4.5.1. Yerleşim problemi tipinin seçilmesi.....	50
4.5.2. Problemin çözümü için verilerin girilmesi	52
4.5.3. Problemin çözüm seçeneğinin belirlenmesi	55
4.5.4. İki bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme	56
4.5.5. Üç bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme	64
4.5.6. İki bölümden sonra üç bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme.....	69
4.5.7. Üç bölümden sonra iki bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme	69
4.5.8. WINQSB çözümüne göre yerleşim düzeni şeması	77
4.6. Yerleşim Problemin Doğrusal Programlama ile Modellenmesi ve GAMS'de Çözümü	78
4.6.1. Problemin KAP modelinin kurulması	79
4.6.2. KAP modelinin GAMS'de kodlanması.....	82
4.6.3. KAP modelinin GAMS'deki çözüm çıktıları	83
4.6.4. GAMS çözümüne göre yerleşim düzeni şeması.....	87
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

br	Birim
br ²	Birim kare
m	Metre
m ²	Metre kare

Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇATYP	Çok Amaçlı Tesis Yerleşim Problemi
DISCON	DISpersion-CONcentration
FACOPT	FACility Layout OPTimization
KAP	Kareli Atama Problemi
LayOPT	Layput OPTimization
MULTIPLE	MULTI-floor Plant Layout Evolution
SABLE	Simulated Annealing Based Layout Evolution
TYP	Tesis Yerleşim Problemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim Düzeni.....	22
Şekil 3.2. Ürüne Göre Yerleşim Düzeni	24
Şekil 3.3. U Tipi Yerleştirme	25
Şekil 3.4. Prosesse Göre Yerleşim Düzeni.....	27
Şekil 3.5. Hücresel Yerleştirme	30
Şekil 3.6. Fonksiyonel (Prosesse Göre) Yerleşime Karşı Hücresel Yerleşim.....	31
Şekil 3.7. Karma Yerleşim Düzeni	33
Şekil 4.1. Fabrikanın Mevcut Yerleşim Düzeni.....	46
Şekil 4.2. Bölümler Arası İş Akış Şeması	47
Şekil 4.3. A ve B Noktaları Arasındaki Dik Doğrusal Uzaklığın Hesaplanması	50
Şekil 4.4. Yerleşim Probleminin Tanımlanması - Adım 1	51
Şekil 4.5. Yerleşim Probleminin Tanımlanması - Adım 2	52
Şekil 4.6. Problemin Çözümü İçin Verilerin Girilmesi	53
Şekil 4.7. Başlangıç Yerleşim Düzeni	54
Şekil 4.8. Problemin Çözüm Seçeneğinin Belirlenmesi	55
Şekil 4.9. WINQSB' de Başlangıç Yerleşim Düzeni	57
Şekil 4.10. İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 1).....	58
Şekil 4.11. İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 2).....	59
Şekil 4.12. İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 3).....	60
Şekil 4.13. İterasyonların Tanımlanması	61
Şekil 4.14. İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Dik Doğrusal Uzaklıklar.....	62
Şekil 4.15. İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Analiz Tablosu.....	63
Şekil 4.16. Üç Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 1)	65
Şekil 4.17. Üç Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 2)	66
Şekil 4.18. Üç Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 3)	67
Şekil 4.19. Üç Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Dik Doğrusal Uzaklıklar.....	68

Şekil 4.20. Üç Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Analiz Tablosu.....	72
Şekil 4.21. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 1).....	70
Şekil 4.22. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 2).....	71
Şekil 4.23. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 3).	72
Şekil 4.24. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 4).....	73
Şekil 4.25. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 5).....	74
Şekil 4.26. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 6).....	75
Şekil 4.27. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Dik Doğrusal Uzaklıklar.....	76
Şekil 4.28. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Analiz Tablosu.....	76
Şekil 4.29. WINQSB Çözümüne Göre Yerleşim Düzeni Şeması	78
Şekil 4.30. 7 Eşit Alana Bölünmüş Toplam Yerleşim Alanı	80
Şekil 4.31. KAP Modelinin GAMS' deki Kodlaması	82
Şekil 4.32. KAP Modelinin Çözüm Çıktısındaki Amaç Fonksiyonu	83
Şekil 4.33. KAP Modelinin Çözüm Çıktısındaki Kısıtları	84
Şekil 4.34. GAMS Çözümünün Özeti	85
Şekil 4.35. X_{ij} Değişkenlerinin Aldığı Değerler ve Katsayıları	86
Şekil 4.36. GAMS Çözümüne Göre Yerleşim Düzeni	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Fonksiyonel Yerleşim ile Hücresel Yerleşimin Karşılaştırılması	32
Çizelge 4.1. Gezi Şeması (kasa)	49
Çizelge 4.2. WINQSB Çözüm Seçeneklerinin Karşılaştırılması.....	77
Çizelge 4.3. Alanlar Arası Dik Doğrusal Uzaklıklar (metre)	80

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayi işletmeleri, mevcut üretim faktörlerinden olan makine, araç-gereç ve insan gücü kaynaklarını etkin ve verimli kullanabilmek için fabrika düzenlemesi yapmaktadır. Fabrika düzenlemesiyle; işletmelerde kullanılan hammaddelerin depolanması, işlerin iş istasyonlarına dağılımı, montaj hatlarının dengeleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Mevcut makine donanımı limitlerini göz önünde bulundurmaya ve çalışan koşullarını düzelterek üretimi kolaylaştırmaya yönelik olan yerleşim düzeni çalışmaları; makine kullanım oranını maksimum yapan, gereksiz hareketleri minimize eden, zamandan tasarruf sağlayıp çalışanların daha verimli çalışmasına ve böylece maliyetlerin düşürülmesine olanak veren çalışmalardır.

Fabrika düzenlemesinde; iş istasyonlarına optimal iş yüklemesinin yapılması, fabrika içi taşımının en iyi şekilde sağlanması, iş gücünün etkin ve verimli olarak çalıştırılması ve makine, araç-gereçlerin uygun bir şekilde yerleştirilerek üretim sisteminin etkinliğinin artırılması amaçları göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tez çalışmasında; ERGAZ San. ve Tic. A.Ş.'ne ait olup Erzurum ilinde faaliyet gösteren bir tüp imalat fabrikasındaki toplam malzeme akış mesafesini minimum yapacak yeni yerleşim düzeni alternatifleri araştırılmıştır. Bu araştırma için, WINQSB paket programı ve bir 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli olan kareli atama problemi (KAP) formülasyonu kullanılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fabrika yerleşim tasarımı, uzun yıllardan beri birçok makale ve tez çalışmasına konu olmuştur. Çünkü işletmeler için fabrika düzenlemesi, üretim sürecinde belirleyici rol oynadığından önemli bir yere sahiptir. Zengin bir literatüre sahip olan bu konuyla ilgili birkaç çalışmanın özet olarak içeriğinden aşağıda bahsedilmiştir:

Vollman and Buffa (1966) çalışmalarında; fonksiyonel bir yerleşimdeki faaliyetlerin ilişkili lokasyonunun, malzeme taşıma maliyetinin minimizasyonu kriteri altında karar verilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Foulds (1983), yerleşim problemini formüle eden ve bu problemleri sezgisel çözüm metotlarıyla değerlendiren bir çalışma yapmıştır.

Drezner (1987) çalışmasında, yerleşim düzenleme problemlerinin çözümü için yeni bir yaklaşım önermiştir. Bunun için DISCON (DISpersion – CONcentration) metodunun dağılım basamağının yerine (dispersion) geçebilen kolay bir prosedür geliştirmiştir. Yani bu metodun sonucunu bir dağılım grafiğinde göstermiştir. Metot kolay ve etkili olduğu için, büyük yerleşim problemleri bu metot ile etkili bir şekilde çözülebilir.

Peters and Yang (1996) çalışmalarında, imalat faaliyetlerindeki malzeme taşıma ile yerleşimin bütünleşik problemini incelemişlerdir. Malzeme taşıma sistemi tasarımına karar vermek için, yerleşim düzenleme değerlendirmesinde özel bir yaklaşım kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarla, bu tip bütünleşik problemlerin çözülmesinde geliştirilen yaklaşımın etkili olduğu gösterilmiştir.

Meller and Gau (1996) yaptıkları çalışmada, yerleşim düzeni problemi ile ilgili 1986-1996 yılları arasında yapılmış yeni yaklaşımlar, algoritmalar ve araştırmalara değinmiş; bu problemin çözümüne ilişkin yazılım paketlerini incelemişlerdir.

Li *et al.* (1998) çalışmalarında, bir alan seviyeli yerleşim düzeni problemi yapısı tanımlamışlar ve bu problemi genetik algoritma yardımıyla çözmeye çalışmışlardır. Bu çalışmanın sonunda, genetik algoritmanın bu tip problemlerin çözümünde etkili olduğu göstermişlerdir.

Balakrishnan and Cheng (1998) çalışmalarında, dinamik yerleşim probleminin önemine değinmiş ve bu problemi çözmeye kullanılan dinamik programlama ile genetik algoritma, tabu arama gibi sezgisel yöntemleri kategorize etmişlerdir.

Eryiğit (2000) yaptığı çalışmada, bölüm düzenlemelerinin geliştirilmesinde prosese ve ürüne göre düzenleme tekniklerine değinmiş, düzenleme problemlerinin çözümlenmesinde kullanılan programlama teknikleri; kantitatif teknikler (Doğrusal Programlama) ve bilgisayarlı düzenleme analizleri (kuruluş yapı algoritmaları: CORELAP, ALDEP ve düzenleme geliştirme algoritmaları: CRAFT, COFAD) olarak iki ana grupta incelemiştir.

Yang *et al.* (2000) çalışmalarında, fabrika yerleşim düzeni problemini çözmek için bir sistematik düzenleme planı kullanmayı önermişlerdir. Bir çoklu karar verme aracı olan analitik hiyerarşi süreci, farklı dizayn alternatiflerini değerlendirmede kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın, fabrika yerleşim düzeni problemini çözmeye uygun olduğu gösterilmiştir.

Gülenç (2005) yaptığı çalışmada, geleneksel üretim sistemleri ile hücreli üretim sistemini farklı kümelendirme yöntemleriyle (benzerlik katsayısı ve genetik algoritma) karşılaştırmıştır.

Atmaca (2002) çalışmasında, bir makine fabrikası için prosese göre yerleşimin neden olduğu sorunları azaltacak grup teknolojisi hücrelerinin tasarımını yapmış ve grup teknolojisi ile oluşturulan parça-makine aileleri için çok amaçlı üretim planlama modeli hazırlamıştır.

Balarishnan *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada, yerleşim tasarımı problemini çözmek için kullanılan ve etkili bir sezgisel yaklaşım olan FACOPT (FACility Layout OPTimization)'u sunmuşlardır. Bu yazılım, tavlama benzetimi ve genetik algoritmayı kullanır. Ayrıca bu iki algoritmanın performanslarını karşılaştırmak ve en iyi parametre değerlerini tanımlamak için testler yapmışlardır.

Güven vd (2004) yaptıkları bir çalışmada, tarım makinaları üreten bir fabrika için en iyi fabrika yerleşim düzeni önermişlerdir. Önerilen bu yeni yerleşim düzeni, J.R. King tarafından geliştirilen “Derece Sıralamasıyla Kümelendirme” yöntemi ile tasarlanmış hücreli yerleşim düzenidir.

Türkbey (2003) çalışmasında, mevcut bir tesisin malzeme yönetimi maliyet giderlerini en azlamak ve yerleşim düzenlemesini seçenekli olarak elde etmek için “Foulkes Algoritması” ile “Dal-sınır Algoritmasını” kullanmıştır.

Özdağoğlu (2003) yaptığı çalışmada, iş yeri düzenlemesini büyük ölçüde etkileyen materyal aktarma sisteminin optimizasyonunu yapmış ve mevcut yerleşim düzeninde bir takım oynamalar yaparak oluşan değişiklikleri değerlendirmiştir.

Yiğit ve Türkbey (2003) çalışmalarında, imalat ve yöneylem araştırmasında önemli bir role sahip sınırsız kapasiteli tesis yerleşim problemini tepe tırmanma ve tavlama benzetimi metotlarıyla incelemişlerdir.

Özbay (2006), ahşap sandalye üretecek bir fabrikanın fabrika içi yerleşim düzenini de içine alan fizibilite çalışmasını yapmıştır.

Uner vd (2005) çalışmalarında; akış tipi bir üretim sisteminde yüksek seviyede iş gücü kullanarak, fazla stokla taşıma yapan forkliftler yerine otomatik konveyör sistemleriyle tek yönlü ve operatörsüz taşıma yapabilen bir sisteme geçişi, PROMODEL simülasyon

paket programını kullanarak analiz etmişlerdir. Ayrıca alternatif tasarımların performans kriterlerine göre istatistiksel yöntemlerle karşılaştırmasını yapmışlardır.

Wilsten *et al.* (2007) çalışmalarında, bir mobilya imalat şirketinde bir yerleşim düzeni problemi için farklı sezgisel yaklaşımların uygulamasını yapmışlardır. Tüm modeller analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Şahin (2008) çalışmasında, dinamik tesis düzenleme problemi için bir tavlama benzetimi sezgiseli geliştirmiştir. Önerilen sezgiselin başarısının analizinde literatürdeki test problemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen tavlama benzetimi algoritmasının dinamik tesis problemini çözmede oldukça etkin olduğu gösterilmiştir.

Özen (2008) araştırmasında, dinamik ve dağılımlı yerleşim düzeni problemlerini çözmek için yeni bir tavlama benzetimi algoritması önermiştir.

Yurdakul vd (2009) bir firmada yaptıkları çalışmada; iş gücü, malzeme, makine ve teçhizat gibi fiziksel kaynakların toplam malzeme taşıma maliyetini en aza indirecek yeni bir yerleşim düzeninin performans etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada ilk olarak, mevcut sistem ARENA paket programı ile modellenmiş ve sistemin performansı belirlenmiştir. Daha sonra LayOPT paket programı ile yeni bir yerleşim planı elde edilmiştir. Yeni yerleşim planının performansa etkileri de yine ARENA ile modellenerek incelenmiştir.

Kaya (2009) çalışmasında, bir otomotiv firması için yeni yerleşim planları tasarlamış ve taşıma faaliyetlerinin minimum maliyetle daha etkin bir şekilde yapılabilmesi için çekici arabalar yerine otomatik kılavuzlu araçların kullanılmasını önermiştir. Ayrıca yapılan iyileştirmelerin sistemde ne kadar performans yaratacağını görmek ve karar değişkenlerinin en uygun değerini bulmak için ARENA simülasyon programı kullanılmıştır.

Aksaraylı ve Altuntaş (2009) yaptıkları çalışmada, üretim sistemleri içindeki tesis içi yerleşim problemlerinin çözümüne ulaşmakta kullanılan temel tezgah yerleşim şekilleri ile ürüne göre yerleşim için önerilen yeni bir yaklaşımı, PROMODEL benzetim yazılımı kullanarak yapılan analizler ile karşılaştırmış ve elde edilen sonuçları yorumlanmışlardır.

Atamtürk (2009) yaptığı çalışmada, operasyon tabanlı hücre oluşturma metotlarını incelemiş ve yerleşim düzeni problemini akış tabanlı sezgisel algoritma ile analiz etmiştir.

Şahin ve Türkbey (2010) yaptıkları çalışmada, çok amaçlı tesis yerleşim problemi (ÇATYP)'nin çözümü için tabu listesi ile desteklenmiş tavlama benzetimine dayalı yeni bir melez sezgisel algoritma önermişlerdir. Bu yeni algoritmanın amacı, ÇATYP'nin etkin çözümler kümesini oluşturan çözümleri kısa zaman içinde bulmaktır. Algoritma ile önceden belirlenmiş ağırlıklar için en iyi yerleşim planı ile aynı zamanda problemin etkin çözümlerinin oluşturduğu pareto çözümler kümesi bulunmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1. 1. Fabrika düzenlemesinin tanımı ve önemi

Tesis yerleşim tasarımı, bir imalat sisteminin verimliliğini etkileyen en önemli konulardan birisidir. Tesis yerleşimi şirketler için kilit öneme sahiptir ve planlama sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Tesis yerleşim problemi (TYP), bir tesisin verimli çalışması için tesis içindeki fiziki bölümlerin düzenlenmesi ile ilgilidir. TYP, disiplinler arası önemi nedeniyle pek çok çalışmaya konu olmuştur. Bu araştırmalara göre, yerleşim problemi için iyi çözümler sistemin etkinliğinin bütününe katkı yapar. Kötü bir yerleşim ise; süreç içi stokların birikmesine, hazırlık zamanlarının artmasına ve malzeme kuyruklarının uzamasına sebep olur. Bu nedenle TYP'nin çözülmesi tüm işletmeler için yapılması gereken stratejik bir çalışmadır (Şahin ve Türkbey 2010).

İstenen mal veya hizmeti üretebilmek için bir fabrikanın bölümlerinin ya da araç-gereçlerinin birbirlerine, sistemin girdi ve çıktılarına uygun olarak düzenlenmesine işletmecilik biliminde "İşyeri Düzenlemesi" denir. İşyeri düzeni; insan gücü, malzeme ve donatımın verimli biçimde düzenlenmesi anlamına gelir. Başka bir tanıma göre fabrika düzenleme; üretim araçlarının, yardımcı tesislerin veya iş istasyonlarının, taşıma, depolama, kalite kontrol gibi üretimle ilgili faaliyetlerin fiziksel konumları açısından bir bütün olarak koordinasyonu demektir. İş yeri düzenlemesi, üretim sistemi tasarımı yapılırken yararlanılan önemli bir aşamayı oluşturur. İş yeri düzenlemesine kuruluş yerinin belirlenmesi ile başlanır ve var olan bölümlerin düzenlenmesi, bu bölümler içerisindeki makine, araç-gereçlerin ve dolayısıyla işçilerin hareket alanlarının düzenlenmesi, bölümler içerisindeki bireysel iş merkezleri veya iş istasyonlarının düzenlenmesi aşamalarını takip ederek bir sonuca ulaşmaya çalışılır. İş merkezleri ve iş istasyonlarının düzenlenmesi aşamasında; ergonomi, iş ve hareket etütleri yapılarak bu

çalışmaların sonuçlarına göre bir düzenleme planı hazırlanır ve hazırlanan plan doğrultusunda düzenleme çalışmaları yürütülür (Eryiğit 2000).

Bir iş yerinin düzenlenmesi, mamulün imalatı için kullanılan fiziksel tesislerin fabrika binası içindeki değişik kombinasyonlarının etüdü ve üretim verimini maksimum yapacak şekilde belirlenmesinden oluşmuştur. Böyle bir çalışma; mimar, mamul, proses ve endüstri mühendisleri ve yöneticilerin, mamullerin en uygun iş sırası ve en az malzeme taşıma gibi rasyonel yöntemlerle üretimini sağlama yolunda yaptıkları çalışmaları bir araya getirir ve toplar. İş yeri düzenlemesi ilke ve yöntemlerinin tümü yöneticilerin yalnız yeni tesislerin kurulmasında değil aynı zamanda eldeki tesislerde yapılacak değişikliklerde de kullanılabilen değerli bir araçtır. Yeni mamuller, yeni proses veya üretimin hızının artırılması veya azaltılması eldeki tesislerin tekrar gözden geçirilip düzenlenmesini gerektirebilir. Bir iş yeri düzenleme için en önemli yön gelecekteki muhtemel değişikliklere işletmenin kolaylıkla uyabilmesidir (Karayalçın 1986).

Bir üretim sisteminin fiziksel organizasyonuna karar vermek, yerleşim düzenleme olarak tanımlanır. Bu kombinasyonel organizasyon problemi, değişik üretim faaliyetlerinde ortaya çıkar. Burada asıl önemli olan ise, imalat yerleşiminin düzenlenmesidir. Üretim sistemlerinde, imalat sistemi kritik unsurdur. Bu yüzden düzenlemeye karar verileceği zaman düşünülmesi gerekir. Literatürde tanımlandığı gibi yerleşim düzenleme probleminin konusu, bir yerleşim içindeki malzeme taşıma maliyetlerini minimize etmektir (Meller and Gau 1996).

Yerleşim düzenlemesinin tanımı, “Etkili bir operasyon sağlamak için fiziksel faaliyetlerin en iyi planlanmasını bulmak” şeklinde yapılabilir. Yerleşim, malzeme taşıma maliyetini etkiler. Bu yüzden, yerleşimin bütün verimliliğini ve etkinliğini etkiler (Wilsten and Shayan 2007). Tesis düzenlemede malzeme taşıma maliyeti, bir düzenlemenin etkinliğinin belirlenmesi için en önemli ölçüdür ve yerleşim seçeneği karşılaştırmasında en çok kullanılanıdır. Malzeme taşıma maliyeti toplam işletme

maliyetinin %20 ile %50'sini teşkil eder ve aynı zamanda bir ürünün toplam maliyetinin %15 ile %70'ini oluşturur (Şahin 2008).

Üretim tesislerinin yerleşimi ve malzeme taşıma sistemleri, bir şirketin üretkenliğini ve karlılığını etkileyen en önemli kararlardandır. Tesis yerleşimi; üretimde kullanılan makine ve donanımların, iş istasyonlarının, çalışanların, her türden ve safhadan malzemelerin bekleme alanlarının ve malzeme taşıma sistemlerinin fiziksel düzenlenmesidir (Karayalçın 1986).

Her yeni tesis, mutlaka bir yerleşim çalışmasına ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca mevcut tesislerde; ürün, malzeme veya süreçlerdeki değişimlerden ötürü ortalama 18 ayda bir kapsamlı bir yeniden yerleşim planlaması yapılmaktadır. Yeni bir tesisin inşa edilmesi, bir şirketin alacağı en pahalı yatırım kararlarından biridir ve tesis yerleşim planı, çalışanları ve maliyetleri yıllarca etkileyecektir. Tesis içi malzeme akışının optimizasyonu ile imalat maliyetlerinde büyük indirimler sağlanmaktadır. Malzeme akışı olarak, iş kazalarının yarısının ve tüm işletme giderlerinin %40 ile %80'inin sebebidir. Dolayısıyla yerleşim planı ve malzeme taşıma alt yapısının çok etkin şekilde tasarlanması gerekir (Karayalçın 1986).

Sanayi işletmelerinin mevcut makine, araç-gereç ve insan gücü kaynaklarını etkin ve verimli kullanabilmeleri ile fabrika düzenlemesi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Fabrika düzenlemesi, işletmenin kapasite planlaması ve kontrolü, stok kontrolü ve üretim sürecinde kullanacağı teknolojiyi de yakından etkilemektedir. İşletmelerde kullanılan hammaddelerin depolanması ve üretim sürecinde sürekli iş akışı fabrika düzenleme işlemiyle planlanmakta ve işletmenin üretim sürecini belirleyici olmaktadır. İşletmelerin depolama işlemleri, iş istasyonlarının dağılımı, montaj hatlarının dengelenmesi gibi faaliyetler fabrika düzenlemesiyle planlanmaktadır (Kobu 1987).

Günümüzde dünyanın küçülmesi, tüketim bilincinin artması ve kaynakların azalması gerek kamu gerek özel sektördeki işletmelerin ayakta kalabilme ve gelişebilmeleri için hem kendilerini yenilemeleri hem de rekabet ortamına ayak uydurmaları gerektiği

gerçeğini ön plana çıkarmıştır. TYP, üretim ve dağıtım ağının tasarımı, dağıtılmış veri ve iletişim tasarımı, banka, sağlık, itfaiye gibi servis operasyonlarının tasarımı, elektrik iletim hatlarının tasarımı ve e-ticarete siparişleri karşılamada servis tasarımında önemli rol arz etmektedir. Tesis ağının stratejik seçiminin de müşterilerin isteğini karşılamada, üretim ve işletme maliyetlerinin düşürülmesinde ve işletmelerin sistemlerinin gelişmesinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu da gerçektir (Yiğit ve Türkbey 2003).

Bir ülkenin kaynaklarının rasyonel ya da verimli bir şekilde kullanılması o ülkenin kalkınmışlığıyla doğru orantılıdır. Kaynaklar olarak nitelenen üretim faktörlerini girdi olarak kullanan işletmeler, üretim faaliyetlerini öyle bir düzenlemelidir ki aralarında bir uyum olsun. Yani üretim faktörleri olarak nitelenen ve bunların bileşimlerinin de ürün olarak tanımlandığı insan, makine, malzeme ve sermaye faktörleri öyle bir bilgi sentezinden geçirilmelidir ki, rasyonellik ya da verimlilik ilkelerine bağlı kalınsın. İşte bu faktörlerin bileşimi olan ürün oluşturulurken, tesis içindeki hareketlerin yoğunluğu, maliyetin önemli bir kısmını oluşturur. Günümüzde kaba bir yaklaşımla işletmelerin rekabet gücünü, kalite ve maliyet olarak nitelenen iki ana özellik belirler. Bu iki özellik rekabet ile doğrudan ilişkilidir. İşletmelerde rasyonel olarak yerleşim düzenlemesi model ve tekniklerinin kullanılmasının, verimlilik ve karlılık üzerinde doğrudan etkisinin olduğu aşikardır (Türkbey 2003).

Genel olarak fabrikanın kuruluşu aşamasında verilmesi gereken fabrika yerleşim kararları, çoğu işletme tarafından önemsiz görülmekte veya sonraki bir tarihe ertelenmektedir. Kuruluş aşamasında stratejik düşünemeyen işletmeler, ilerleyen zamanlarda yer yetersizliğinden, planlama ve kontrol güçlüklerinden şikayetçi olmakta ve bunun çözümünü de yüksek son mamul ve yarı mamul stokları ile çözmeye çalışmaktadırlar (Soyuner ve Kocaman 2004).

Ürün ve hizmet üreten işletmelerde, süreç verimliliği üzerinde etkili olan tesis içi yerleşimi; üretime yönelik faaliyetlerde yer alan unsurların hareket miktarlarının düşürülmesiyle zaman kaybının azaltılmasını, üretimin hızlandırılmasını ve kısalan işlem süreleri sayesinde maliyetlerin düşürülmesini amaçlamalıdır. Tüm bunlara ek

olarak, tesis içi yerleşim yöntemleri sayesinde, yarı mamul stoklarının düşmesi, üretim araçlarının ve işgücünün verimli bir biçimde kullanılması işletmelere mevcut pazarlar içerisinde rekabet avantajı sağlamaktadır (Soyuner ve Kocaman 2004).

Fabrika yerleşim tasarımı, imalat ve diğer ilgili alanlarda bulunan ekipman ve makinaların yerleşimi üzerine odaklanmaktadır. Fabrika yerleşim tasarımının kapsamında genel olarak imalatla ilgili bölümlerin, bölüm içindeki iş gruplarının, makinaların, stok noktalarının fiziksel olarak düzenlenmesi vardır. Bu saydığımız noktalar bazen iş merkezleri ya da ekonomik aktivite merkezleri olarak da adlandırılır. Tasarımdaki ana hedef insanları ve ekipmanları verimli ve temiz iş üretecek şekilde yerleştirmektir. Genel olarak yerleşim üzerine karar verilirken göz önüne alınan girdiler şunlardır:

- Yerleşim tasarımı değerlendirilirken kullanılmak üzere ana kriter ve hedeflerin özellikleri. Örneğin fabrikanın kaplayacağı alan, merkezler arası mesafe vb.
- Sistemin üretim kapasitesi
- Proses gereksinimleri, başka bir deyişle gerekli operasyon sayısı; malzemelerin makinalar arasındaki akış seyri
- Bina içerisindeki müsait boş hacim veya yeni bina kurulacaksa özellikleri

Yerleşim tasarımı bir işletmenin sadece operasyonel seviyesini etkilemekle kalmaz; aynı zamanda stratejik olarak da etkide bulunur. Örneğin, yerleşimin bir işletmenin hedeflerine ulaşmasında nasıl rol aldığı aşağıda verilmiştir (Krajewski and Ritzman 1996):

- Malzeme ve bilgi akışını kolaylaştırır.
- Ekipmanın ve işçilerin verimli kullanılmasını sağlar.
- Çalışanların iş kazası oranlarını azaltır.
- Çalışanların moralini artırır.
- İletişimi artırır.

3.1.2. Fabrika düzenlemesinin amaçları

Fabrika düzenlemesinin amacı, işletmede kullanılmakta olan mevcut üretim faktörlerinin etkinliğini ve verimliliğini arttırmaktır. Fabrika düzenlemesi, işletme içerisinde en kısa, çabuk ve en düşük maliyetle taşıma yapılması amacını ön planda tutmaktadır.

İş yeri düzenlemenin en önemli amacı, eldeki tesislerin üretim elemanlarında (insan, malzeme, makine ve sermaye) maksimum yarar sağlanacak şekilde düzenlenmesi ve yerleştirilmesidir. Optimum sonuçların elde edilebilmesi için bu dört üretim elemanının da göz önüne alınması gereklidir. İş yeri düzenlemenin diğer bir ana amacı da “tıkanıklıkların” giderilmesi ve azaltılması yolu ile mamul akışının düzenlenmesidir.

Fabrika düzenlemesiyle ilgili başka amaçlar da bulunabilir. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Karayalçın 1986).

1. İmalat faaliyetlerinin kolaylaştırılması:

- Çalışma alanları, makine ve donanım, malzemenin mümkün olduğu kadar düz bir hat üzerinde hareketini sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir. Diğer bir deyişle, malzeme geri dönmeden hep ileri doğru gitmelidir.
- Bütün gecikme ve beklemler ortadan kaldırılmalıdır.
- İş akışı, malzemelerin karışmasını önleyici ve üretimin her aşamasında miktar olarak kontrolüne imkan verecek şekilde düzenlenmelidir.
- Makine ve donanımın bakım ve tamirleri kolaylıkla yapılabilmelidir.
- Malzemelerin işlem, taşıma ve bekleme sırasında herhangi bir hasara uğramaması sağlanmalıdır.

2. Malzeme taşımının en aza indirilmesi: Tezgahlar arası uzaklıkları en aza indirmek, taşımayı rasyonel hale getirmek ve azaltmak gerekir. Bu ise, yer çekiminden

yararlanma, en etkili ve uygun mekanik donanımların seçilmesi ve bunların yerleştirilmesi ile başılır.

3. Değişik şartlara kolayca uyabilme: Fabrika binası gerek arsa üzerindeki konumu, gerekse yapısal özellikleri dolayısıyla kolayca genişlemeye uygun olmalıdır. Elektrik, su gibi dağıtım şebekeleri de makine ve donanımın kolayca yer değiştirmesine olanak verecek şekilde düzenlenmelidir. Yeniden düzenlenmeye uyabilecek esneklikte olmalıdır.

4. Yarı mamul miktarının azaltılması: Yüksek verim, malzemenin sürekli akması ile elde edilir. Mesafeler kısaltılıp gereksiz beklemler önlenerek yarı mamul miktarı düşürülürse işletme sermayesi azaltılmış olur.

5. Makine ve donanım yatırımının azaltılması: Makinelerin uygun yerleştirilmesi, makine ve donanım sayısında azalma yapabilir. Örneğin; düşük verimle çalışacak bazı makinelerin yapacağı işler diğer makinelere yaptırılarak yatırım miktarı düşürülür.

6. Fabrika alanından en fazla yararlanılması: Fabrikanın her metre karesi para demektir. Fabrika alanı malzeme ve çalışanların hareket alanı dışında boş yer bırakılmadan kullanılmalıdır. Böylece sabit masraflar azalır.

7. İnsan gücünün en etkili şekilde değerlendirilmesi:

- Malzemenin insan gücüyle taşınması azaltılmalıdır.
- Malzemenin işçiye gelmesi ve işçiden alınması sağlanarak yürümler en az seviyede tutulmalıdır.
- Makine devreleri işçinin boş kalmamasını sağlayacak şekilde dengelenmelidir.

8. Etkili nezaret sağlanması: Karışık ve dağınık iş yerinde nezaret zordur. Düzenli iş yerinde kontrol kolay olur.

9. Çalışanlar için kolaylık emniyet ve rahatlık sağlanması: Çalışma koşullarını mükemmelleştirmek ve çalışanların rahatının sağlanması, iş yerinde verimin artmasını sağlar. Örneğin; gürültülü makineleri diğerlerinden ayırmak, titreşimli makinelere titreşim sönmüleyici temel hazırlama gibi. Düzenli, rahat, emniyetli iş yeri çalışanlara huzur ve çalışma şevki verir, verimi artırır.

Aşağıda sıralanan amaçlar için de fabrika düzenlemesi yapılmaktadır:

- Toplam imalat maliyetini düşürmek
- Bina ve tesislerden daha az yatırımla daha fazla üretim sağlamak
- Birikimleri ve gecikmeleri minimize etmek
- Çalışma hayatının kalitesini artırmak
- Makine, araç ve gereçler belirli bir sistematik yaklaşımla düzenlenerek üretim sisteminin etkinliğini artırmak
- Fabrika içerisinde malzeme ve iş gücü hareketleri rahatlıkla yapılarak, üretim sürecinin kontrolünü sağlamak
- Yardımcı tesisler uygun yere yapılarak ve üretim akışı hızlandırılarak daha fazla mal üretimi yapılmasını gerçekleştirmek
- Fabrika düzenlemesiyle gelecekte talepte olabilecek artışları karşılamak
- Fabrika içerisinde çeşitli bölümlere dağıtılan alanların üretim için uygun ölçülerde olmasını sağlamak
- İmalat faaliyetlerinin daha verimli bir şekilde denetimini sağlamak
- Darboğazları elimine etmek
- Üretim zamanını minimize etmek
- Ürün ve hizmet kalitesine ulaşmayı kolaylaştırmak

Fabrika düzenleme işlemi sırasında; iş istasyonlarına optimal iş yüklemesinin yapılması, depolar arası taşımanın çabuk ve kısa yoldan yapılmasının sağlanmasının, paketlemeyle ilgili malzeme hareketlerinin en iyi şekilde düzenlenmesi, mamul depolarına gidecek malzemenin en kısa ve emniyetli yoldan taşınması gibi amaçlar da göz önünde bulundurulmaktadır (Karayalçın 1986).

Bütün bu amaçlar bir cümle içinde şu şekilde özetlenebilir: “Bir fabrikanın yerleşme düzeninin kullanılmaya elverişli alanı ve imalat maliyeti arasında en uygun ilişkileri gerçekleştirebilecek şekilde yapılması”. İmalat işletmelerinde üretim, sermaye veya mamul birimi, kullanılmaya elverişli alan (metrekare veya metreküp) şeklinde sıralayabileceğimiz üç etmen arasında, iyi bir iş yeri düzenleme ile gerçekleştirilmesi mümkün optimum bir denge durumu mevcuttur (Karayalçın 1986).

3.1.3. Fabrika düzenlemesini etkileyen faktörler

Mamulün konstrüksiyonuna, imal usulünün planlanmasına, takım ve donatımın seçimine ve malzeme taşınmasına etki eden bütün temel etmenlerin iş yeri düzenlemede göz önüne alınması gerekir.

Fabrika düzenlemesi yapılırken göz önüne alınacak başlıca faktörler şunlardır (Karayalçın 1986):

- **Mamul:** Mamulün tipi, iş yeri düzenlemeye birçok yönden etki etmektedir. Büyük ve ağır mamuller geniş montaj alanlarına gerek gösterir. Diğer yönden bu gibi durumlarda işçi ve makineleri mamulün bulunduğu yere taşımak çok daha ekonomiktir. Küçük ve hafif mamuller kolaylıkla taşınabildiğinden malzeme taşıma ve makinelerin yerleştirilmesi üzerinde daha dikkatle durmak mümkündür. Çimento, gıda maddeleri gibi mamulleri taşımada yer çekiminden yararlanmak amacıyla çok katlı bir iş yeri planlaması düşünülebilir.
- **Talep:** Üretim işlemi belirli bir talep dikkate alınarak yapılmaktadır. İşletmenin ürettiği mallara olan talebin mevcut durumu ve talepte meydana gelen artışları göz önünde bulundurarak fabrika düzenlemesi yapılmaktadır. Piyasadaki artan talebe bağlı olarak bu talebi karşılamak amacıyla yeni bir fabrika binası kurularak gerekli düzenleme işlemi yapılmaktadır. Üretilen malları stoklamak üzere depolar yapılır. Piyasanın talep durumuna bağlı olarak mevcut fabrikanın üretim miktarını artırabilecek

veya yeni bir fabrika binası yapılmasını gerekli kılacak şartlar ortaya çıkabilir. Taleple ilgili aşağıdaki bilgiler fabrika düzenlemesinde önemli rol oynamaktadır:

- Mal ve hizmetin kalite özellikleri,
- Satış fiyatı,
- Mal ve hizmetlere olan talep miktarı,
- Beklenen talep ve talepteki artış.

▪ **Kapasite durumu:** İşletmenin üretim kapasitesinin durumu fabrika düzenlemesini yakından etkilemektedir. Üretim kapasitesinin artması durumunda fabrika düzenlemesi daha çok önem kazanmaktadır. İşletmenin kapasitesini belirlemek amacıyla ortalama talep düzeyiyle ilgili olarak yapılan tahminler ve talepte meydana gelen değişmelerle ilgili bilgiler kullanılmaktadır. Talep düzeyi depolama kapasitesi, fazla kapasite, uygun bina ve arsa durumu gibi faktörlerle de yakından ilgili bulunmaktadır. Taleple ilgili bilgiler kapasite planlamasıyla ilgili işlemlerde kullanılmakta olup, bu bilgiler ışığında fabrika düzenlemesi yapılmaktadır.

▪ **Üretim metodu ve standartlar:** İşletmede kullanılmakta olan üretim metodu ve üretim standartlarının fabrika düzenlenmesinde dikkate alınması gerekir. Üretimde kullanılan metotlar ve standartlarla, üretimde kullanılan makineler arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Belirli standartlara göre iş etüdü ve zaman etüdü yapabilmek için fabrika düzenlemesinin bu etütlerin ölçümüne uygun olarak yapılması gereklidir. Fabrika düzenlemesi mevcut makina ve araçlarla, üretim faktörleri ve üretim süreci, üretim metodunun etkinliğini ve verimliliğini artırabilecek şekilde yapılmalıdır. Biri sürekli imalata diğeri karma imalata göre düzenlenen iki fabrika arasında büyük farkların olacağı açıktır. Fabrika düzenleme ile ilgilenen bir mühendis, sağlayacağı avantajları göz önünde tutarak sürekli imalat tipine uygun planlamaları daima benimsemelidir. Örneğin, karma imalat yapan fabrikaların birçoğunda bu görüşe uygun olarak geçici veya kısmi sürekli imalat hatlarının kurulduğu görülmektedir.

- **Üretim faktörleri:** Üretim kapasitesi, üretim miktarı, üretim metoduyla yakından ilgili bulunmaktadır. Üretim kapasitesini, üretim işlemi sırasında kullanılan hammadde, iş gücü, makina ve araç-gereç, sermaye gibi üretim faktörleri belirlemektedir. Fabrika düzenlemesinde işletmedeki mevcut üretim faktörlerinin durumu dikkate alınmaktadır.
- **Donatım:** İmalat, taşıma ve diğer servislerde kullanılan bütün araçlar için yeteri kadar yer ayrılmalıdır. Donatım ile ilgili spesifikasyonların bilinmesi, iş yeri düzenlemesini yapan elemanlar için çok önemlidir.
- **Malzeme taşıma:** Fabrika düzenlemesinin amaçlarından biriside taşıma maliyetleri ve taşıma zamanını minimum yapmaktır. Fabrika binası içerisinde belirli işlem görmek üzere bölümler arası hareket eden malzeme, hem zaman hem de taşıma maliyetleri dikkate alınarak en kısa sürede ve minimum maliyetle taşınmalıdır. Fabrika düzenlemesi bu durumu gerçekleştirecek şekilde planlanır. Fabrika binası içerisinde malzeme taşıma işleminin devamlılığını sağlamak üzere bir tamir bakım ekibi hazır bulundurulur. Sanayi işletmelerinin büyük bir kısmında taşıma ve malzeme hareketleri üretim işleminin tabii bir sonucu olup, fabrika düzenlemesi bu taşımaları en kısa yoldan çabuk ve sürekli olarak yapabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Malzeme taşıma planlaması deneme kapsamında önceden yapılmakta ise de son planın iş yeri düzenleme tamamlandıktan sonra ele alınması gereklidir. İş yeri düzenlemesi imalat planını son şekli ile belirlediği için malzeme taşıma donatımına ait spesifikasyonları da belirtir. Malzeme hareketi için gerekli boşlukların belirlenmesi ve iş istasyonları arasındaki yan depolar için yeteri kadar boşluk ayrılması problemlerinin de yine bu kısmında göz önüne alınması gereklidir.

- **Binalar:** İdeal olarak bir fabrika binasının en iyi iş yeri düzenine uyacak şekilde yapılması gerekir. Fakat bu genellikle nadiren gerçekleştirilir. Bu konuda çalışan mühendislerin asıl problemi yeni iş yeri düzeninin eski binaya uydurulmasıdır. Mevcut yapının değiştirilmesi için yapılan bütün önerilerin ekonomik olması gerekir. Hatta yeni bir bina yapılırken dahi ekonomiklik hususu dikkate alınmalıdır. Üretim sırasında

makina, malzeme, araç-gereç, çalışan personel ve üretilen malları stoklamak için kullanım alanı gereklidir. Öte yandan tamir bakım, enerji, yarı mamul mallar içinde fabrika içerisinde yer ihtiyacı bulunmaktadır. Fabrika düzenlemesi yapılırken, fabrikanın mevcut ve gelecekteki hedefleri dikkate alınarak mevcut kullanım alanı planlaması yapılır.

- **Diğer Faktörler:** Fabrika düzenlemesi üretim işlemi sonucu ortaya çıkan artık, hurda ve fireler için kullanım alanı, gürültü, hava ve çevre kirliliği, fabrikaların müşterilere uzaklığı, iş emniyeti ve güvenlik tedbirleri, işletmenin büyüme ve gelişmesinde karşılaşılan güçlükler gibi çok değişik nedenlere bağlı olmaktadır. Fabrika düzenleme işleminde genel nitelikli faktörlerle ilgili temel bilgilerle birlikte dikkate alınarak düzenleme işlemi yapılır.

Yukarıdaki etmenlerden her biri mühendis için ayrı problem olmaktadır. Fakat her etmen için en iyi koşulları sağlayacak ortak bir çözüme ulaşmanın imkansız olduğunun da gözden uzak tutmamalıdır. Bu nedenle birçok konstrüksiyon probleminde olduğu gibi iş yeri düzenlemede de çeşitli etmenler arasında optimum sonucu veren bir denge kurulmasına çalışmak, en doğru hareket biçimi olacaktır.

3.1.4. Fabrika düzenlemesinin ilkeleri ve değerlendirilmesi

Uzun yıllar sonunda edinilen tecrübelerle dayanarak bir iş yeri düzenlemede mühendise yol göstericilik edebilecek birçok ilke geliştirilmiştir. Bu ilkelerin uygulanması, kantitatif ölçümlerden çok “yaz-boz” diye isimlendirebileceğimiz deneme yolu ile yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Daha bilimsel yöntemlerin bulunması amacıyla bu konuda sürekli araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır.

Fabrika yerleşim tasarımının deneme ile sabit olmuş ilkelerden bazıları şunlardır (Karayalçın 1986):

- Malzemenin mümkün olan en kısa yol boyunca taşınması: Bu ilke üretimin doğrusal bir yörünge üzerinde yapılmasının neden tercih edildiğini açıklamaktadır. Bununla beraber birçok durumda dairesel yörüngelerin benimsendiği de görülmektedir.
- Malzemenin geriye hareketi giderilmeli ve en aza indirilmelidir: Geriye dönüşler yalnız taşıma uzaklıklarının artmasına yol açmakla kalmayıp, aynı zamanda malzeme taşıma kanallarında tıkanmalarda yaratmaktadır.
- İş yeri, en az malzeme taşınması yapılacak şekilde planlanmalıdır.
- İmalat için kullanılacak alanların ekonomik olarak kullanılması: Bu ilke üretim bölümlerine olduğu kadar depo alanlarına da uygulanmalıdır. Eskiden yalnızca alan göz önüne alındığı halde son zamanlarda hacim bir ölçüt olarak kabul edilmektedir.
- Hazırlanan planlar esnek olmalıdır: Donatım, herhangi bir değişiklikte üretimi aksatmayacak ve minimum maliyetle yapılmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir.
- İlerde muhtemel gelişmeler hesaba katılmalıdır.

Daha önce de belirtildiği gibi, işyeri düzenlemesinin amacı minimum hacimden optimum üretim miktarının elde edilmesidir. Bununla birlikte işletme verimliliğine etki eden daha birçok etmeninde bulunduğunu hatırdan çıkarmamak gerekir. Örneğin; malzeme taşımanın analizi yoluyla iş yeri düzenleme verimliliğinin ölçülmesi de düşünülebilir. En az malzeme taşınmasını gerçekleştiren planın en verimli olduğu varsayılabilir. Diğer taraftan aynı planın donatım ve kuruluş masrafları yönünden çok pahalıya mal olması da mümkündür.

Son zamanlarda geliştirilen ve hala geliştirilmesi sürdürülen teknikler bir iş yeri düzenleme probleminin çabuk ve istenilir mükemmellikte çözülmesine yardımcı olmaktadır. Bununla beraber kullanılan teknik ne olursa olsun yaratıcı düşünce biçimi ve olayların yerinde değerlendirilmesinin iyi bir planın yaratılmasındaki önemi daima birinci sırayı dolduracaktır.

3.1.5. Fabrika düzenlemesinin aşamaları

Sanayi problemlerinin birçoğunda olduğu gibi iş yeri düzenlemede de deneylerle bulunmuş ve birçokları tarafından kabul edilmiş bir hareket biçimi vardır. Buna göre bir iş yeri düzenleme probleminde çözüme varmak için şu aşamalardan geçmek gerekir (Karayalçın 1986):

- Gerekli temel bilginin toplanması: Organizasyondaki diğer fonksiyonlardan gerekli bilginin toplanmasıdır. Bu arada imalat bölümlerinden alınan standart proses diyagramları yardımı ile mamulün yapılmasında izlenecek yol ve kullanılacak takım donatıma ait bilgi elde edilebilir. Buradan kullanılmaya elverişli alan belirlenmektedir.
- Temel bilginin analizi ve koordinasyonu: Elde edilen ilginin değerlendirilmesiyle gerekli işçi sayısı, planlanması gereken toplam iş istasyonunun sayısı, kullanılacak her donatımın cinsi,ölçüsü ve miktarı ile, hammadde, yarı mamul ve mamul envanterleri için gerekli depo alanları belirlenmektedir.Malzemenin proses sırasındaki akışının belirlenmesi: Elde edilen bilginin analizinde sonra kullanılacak temel plan kararlaştırılıp ve bu plana göre mamulün akış şekli belirlenmektedir.
- İş istasyonları: İş yeri düzenlemesinde yapılan çalışmalarda her iş istasyonu veya üretim merkezinin önemi çok büyüktür. Her istasyonun, işlemlerin en verimli şekilde yapılabilmesini, işçinin rahatlık ve güvenini, gereç ve malzemeler için yeteri kadar yerin ayrılmasını ve donatımın bakımının kolaylıkla yapılabilmesini sağlayacak şekilde yerleştirilmesi gereklidir.
- Kısım kısım hazırlanan planların genel iş yeri düzeni planında birleştirilmesi ve bir bütün olarak eldeki binalara yerleştirilmesi: Bu kademedede aynı zamanda depo alanları, geçişler için boşluklar, büro ve servisler için gerekli yer ayırmalarının yapılması gerekir.

- Malzeme taşıma: Malzeme taşıma problemine son çözüm ancak iş yeri planlaması tamamlandıktan sonra bulunabilir. İyi düzenlenmiş bir iş yeri düzeni, malzeme taşımanın verimli yapılabilmesini sağlar. Diğer taraftan bunun tersi de doğrudur. Yani yerinde seçilmiş malzeme taşıma araçları ve yöntemleri ile istenilen iş yeri düzeni kolaylıkla gerçekleştirilebilir.
- Uygunluk koşulu: Çalışmaların her aşamasında daima göz önünde tutulması gereken nokta işin maliyet yönüdür. Maliyet hususunda birçok etmenin yanı sıra özellikle donatım ve makinaların verilen plana göre yerleştirilmesi için gerekli kaynakların sağlanmasında yöneticilerin inandırılması gerekmektedir. İş yeri düzenlemesiyle ilgilenen bir mühendisin mutlaka maliyet bilincine sahip olması gerekir.

3.1.6. Fabrika yerleşim düzeni tipleri

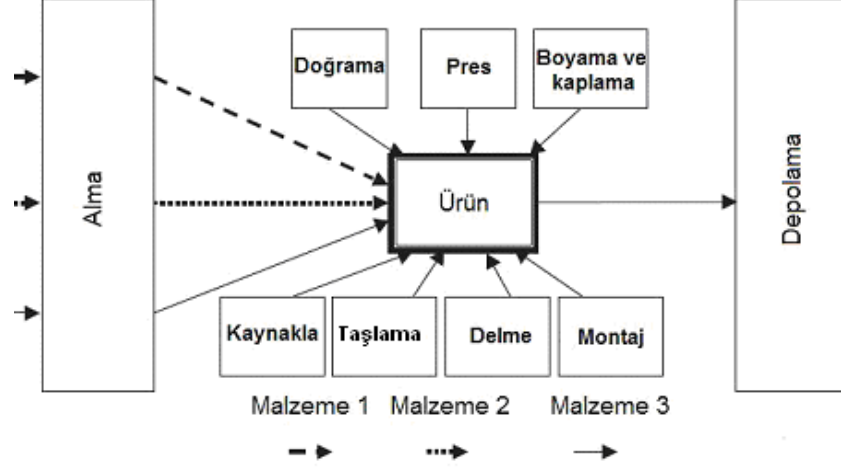
Fabrika düzenlemesi üretim sistemine göre işletmenin mevcut talep, kapasite, iş gücü, makine ve sermaye durumuna bağlı olarak uzun dönemli planlamaya göre yapılmaktadır. Başlıca fabrika yerleşim düzeni tipleri şunlardır:

- Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim Düzeni
- Ürüne Göre Yerleşim Düzeni
- Prosesine Göre Yerleşim Düzeni
- Grup üretimine göre yerleşim düzeni (Hücreli yerleştirme)
- Karma yerleşim düzeni

3.1.6.a. Sabit konumlu ürüne göre yerleşim düzeni

Bu tipte ise; mamulün ağırlık, biçim, şekil v.b. özelliklerinden dolayı taşınmadığı için belirli bir yerde sabittir ve üretim olanakları gerektiğinde buraya taşınmaktadır. Sabit pozisyonlu iş merkezlerine göre fabrika düzenlemesi durumunda; makine, araç-gereç ve işgücü sabit iş merkezlerine göre üretim yapacak şekilde tasarlanmaktadır. Gemiler,

lokomotifler, büyük uçaklar, inşaatlar bu tip ürünlerdir. Bu ürünler dışında sabit konumlu ürüne göre yerleştirme yaklaşımı pek kullanılmaz.



Şekil 3.1. Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim Düzeni

Yararları:

- Malzeme taşıma maliyetleri düşüktür.
- İş dağıtımı ve kontrolü nispeten kolaydır.
- Takım çalışmasının getirdiği avantajlara sahiptir.
- Esnek bir üretim yapısı vardır.
- Yarı işlenmiş ürün hareketi azdır.
- Yerleşim alanı yatırımı minimumdur.

Sakıncaları:

- Makine ve teçhizatın, taşıma ve yerleştirme maliyeti vardır.
- Makine ve teçhizatın kullanım oranı düşüktür.
- Kalifiye işçiye gereksinim vardır.
- İnsan ve araç-gereç hareketi fazladır.

3.1.6.b. Ürüne göre yerleşim düzeni

İmalat donatımının yerleştirilmesinde mamule uygulanacak işlemlerin özellikleri önemli rol oynamaktadır. Üretimi yapılacak olan mallar, üretim işleminin başlangıcından sonuna kadar çeşitli işlemlerden geçmektedir. Ürüne göre yerleşim düzenlemesi; iş istasyonları ve makine araç gereçleri, mamulün üretimi için gerekli olan işlemleri, üretimi yapılacak olan mamulün özelliklerini dikkate alarak fabrika düzenlemesini öngörmektedir. Bu metoda göre, iş merkezleri mamul kalite özellikleri dikkate alınarak en ince ayrıntısına kadar tasarlanmaktadır.

Ürüne göre düzenlemede temel kriter, üretim hattının dengelenmesi kriteridir. Eğer üretim hattında bulunan bütün iş istasyonlarının birim zamandaki üretimleri aynı ise dengeleme tamdır. Bu gibi durumlarda, hat üzerinde bekleme veya herhangi bir yerde yığılma gibi problemlerle karşılaşılmadığı için, iş akışı da düzgün olarak işler. Ancak tam dengeye ulaşmak olanaksız denebilecek derecede güçtür. Bunun için uygulamada, sürekli olarak iş merkezleri arasındaki kapasite farklarının minimum yapılmasına çalışılır (Eryiğit 2000).

Bu yerleştirme düzeni; çeşidi az, standart ve çok miktarda üretim yapıldığı durumlarda kullanılmaktadır. Ürüne göre yerleşim, mamullerin üretim sürecinin başlangıcından sonuna kadar mamul özelliklerini dikkate alarak organizasyonu ve fabrika düzenlemesini amaçlamaktadır.



Şekil 3.2. Ürüne Göre Yerleşim Düzeni

Yararları:

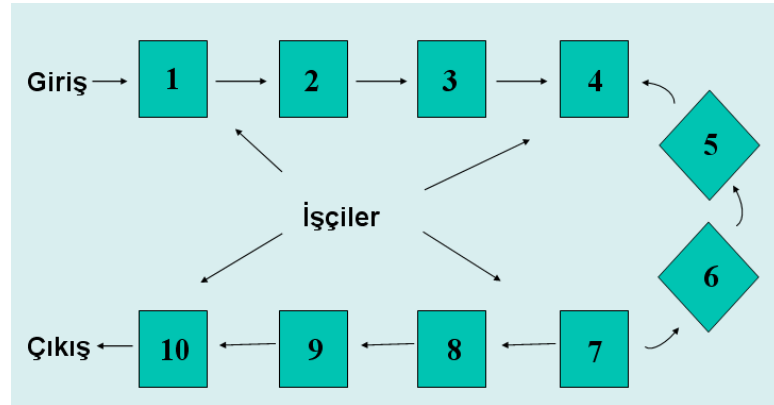
- Malzeme taşıma maliyetleri düşüktür.
- Hazırlık ve işlem zamanları kısa, üretim hızlıdır.
- İş istasyonları arasında yarı mamul stokları düşüktür.
- Düzgün bir iş akışı vardır.
- Grup teşvikli ücret sistemlerine uygundur.
- Üretim planlama ve kontrol daha kolaydır.
- Kalifiye olmayan işçi kullanılabilir.
- Üretim birimi başına istenen alan azdır.
- Birim maliyet düşüktür.
- İşçi ve ekipmanın kullanım oranı yüksektir.
- Belirlenmiş iş sırası ve çizelgeleme vardır.
- Rutin stok kontrol, muhasebe, satın alma vardır.

Sakıncaları:

- Ürünlere sürekli ve düzgün bir talebin olması gerekir. Talep yokluğu nedeniyle üretimin durması önemli kayıplara neden olur.
- Makinalardan birinin arıza yapması tüm üretimin durmasına neden olabilir.

- Makine ve teçhizat özel amaçlı olduğundan yatırım maliyetleri ve bakım-onarım giderleri fazladır. İşçiler monoton işler yapmak zorundadır.
- Üretim kapasitesi üretim akışı içindeki en düşük kapasiteli makine tarafından belirlenmiş olur, kapasitelerin dengelenmesi önemli bir sorundur.
- Esneklik düşüktür.
- Ürün tasarımındaki değişiklikler, yerleşim düzeninde büyük değişikliklere neden olabilir.
- Düşük yetenekli işçiler donanımı yönetemeyebilir veya çıktı kalitesini sağlayamaz.
- Bireysel çıktıya bağlı teşvik prim sistemi uygulanamaz.
- Önleyici bakım ihtiyacı ve yedek parça stoklama gereği vardır.

Bazen makinalar U harfini andırarak şekilde dizilirler. Kalifiye bir işçi U harfinin bir tarafında bir işlemi, sonra arkasını dönerek U harfinin diğer tarafında bir işlemi gerçekleştirebilir. Çalışan sayısı artırılarak daha verimli bir çalışma sağlanabilir. Bu yerleştirmede, birinci işçi bir işten giren ürün üzerinde bir işlem gerçekleştirir. Bu sırada ikinci işçi az önce birinciden çıkmış bir parça üzerinde işlem yapmaktadır. Birinci işçi işini bitirir ve arkasına dönüp ikinci işçiden çıkmış olan parça üzerinde işlem yapar ve ürünü diğer uçtan çıkartır. Birkaç işçi kullanılarak her işçinin sahip olması gereken yetenekler azaltılabilir.



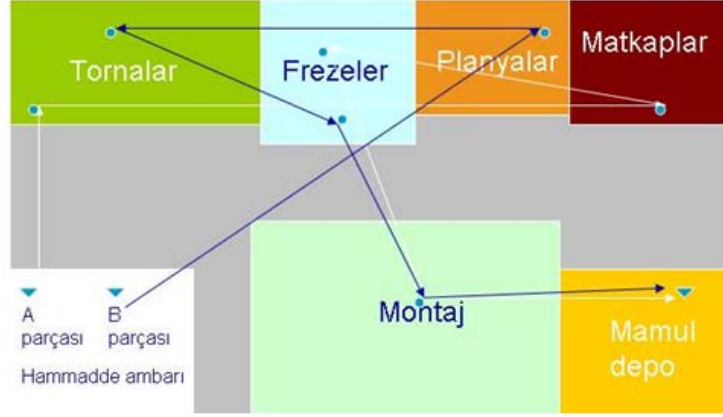
Şekil 3.3. U Tipi Yerleştirme

3.1.6.c. Prosesse göre yerleşim düzeni

İş yerinin düzenlenmesinde imalat donatımının tipi ve operasyonel karakteristikleri önemli rol oynamaktadır. Prosesse göre yerleşim, kesikli üretim yapılması halinde ve üretim birimlerinin standart olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Standart olmayan iş akışında çok değişik ve çeşitli mamuller, değişik makine ve yerleşim durumlarına bağlı olarak üretilmektedir. Bu yerleşim düzeninde iş istasyonları ve bölümler, iş yüklerine ve kapasite durumlarına göre gruplandırılmaktadır. Aynı ya da benzer tip makine ve gereçler aynı grupta ve bir yerde toplanmaktadır. Gruplama önce bölümlere (talaş kaldırma, montaj, ambarlar, vs.) göre yapılmakta, daha sonra bölüm içindeki benzer makinalar kendi aralarında gruplandırılmaktadır. Örneğin; talaş kaldırma bölümündeki makinalar tornalar, frezeler, matkaplar olarak gruplandırılabilir.

Prosesse göre düzenleme, aşağıdaki şartlar altında kullanılabilir (Eryiğit 2000):

- Birkaç tip veya özel siparişe göre üretim yapılıyorsa,
- Her birimin oldukça uzun bir süre için geniş hacimde üretilmesi durumunda,
- Yeterli sayıda zaman ve hareket etüdü yapmak güçse,
- İşçi ve makinalar arasında denge sağlamak güçse,
- Ardışık işlemler arasında çok sayıda muayene gerekiyorsa,
- Materyaller ve yapılar çok büyük yada ağır olacağından, partiler halinde yada sürekli olarak aktarılmalılar çok güçse,
- Sık sık iki yada daha çok işlem aynı makine veya iş istasyonu sorumluluğu doğuruyorsa.



Şekil 3.4. Prosesse Göre Yerleşim Düzeni

Yararları:

- Makinalar üniversal olduğundan çok çeşitli mamul üretme olanağı vardır.
- Makinalara yatırım daha azdır. Dolayısıyla iş riski de azdır.
- Donatım veya tezgahtan birinin bozulması halinde, işin başka bir tezgaha aktarılması ile üretimin aksaması önlenabilir. Ayrıca makinaların tamiri daha kolaydır.
- Kişisel teşvikli ücret sistemleri için uygundur. Üretimde kişisel bilgi ve beceri kullanımı daha fazladır.
- Karışık ve hassas proseslerin, özellikle fala muayene isteyen durumların kontrolü daha iyi yapılır.
- Ürün ve süreç tasarımındaki değişikliklere karşı esnektir.

Sakıncaları:

- Yarı mamul stokları için fazla alan gereklidir.
- Makinalar farklı işler işleyeceğinden hazırlık zamanları uzundur.
- Üretim planlama ve kontrol zordur.
- Malzeme taşıma maliyetleri yüksektir. Ayrıca yavaş ve etkin değildir.
- Nitelikli elemen kullanımı gereklidir.
- Üretim hızı düşük, bekleme süreleri fazladır.
- Donanım kullanım oranları düşüktür.

- Her müşteri veya ürün için özel dikkat gerektirir.
- Muhasebe ve satın almalar komplekstir.
- İş çeşitliliği ve karmaşıklığı denetim gücüne sebep olur.

3.1.6.d. Grup üretimine göre yerleşim düzeni (Hücresel yerleştirme)

Üretim sürecinde mamule ve grup üretimine göre fabrika düzenlemesi sanayi işletmelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte son dönemlerde grup üretiminin önem kazanması ve hücre tipi üretimin yaygınlaşmasıyla birlikte grup üretime göre fabrika düzenlemesi yapılması durumu da ortaya çıkmıştır.

Grup üretime göre fabrika düzenlemesi; makina, araç-gereç ve diğer üretim faktörlerinin her birini, belirli bir üretim süreci oluşturan ve kendi başına bir grup meydana getiren üretim birimleri olarak düzenlemektir. Bu metoda göre fabrika düzenlemesi; grup teknolojisinin kullanıldığı üretim modellerinde işletme araçlarını gerçekleştirerek toplam karı maksimum düzeye çıkaracaktır. Yine bu metoda göre, işletmenin üretim faktörleri, makina, araç ve gereçleri üretim için gerekli olan grup sayısına bağlı olarak dağıtılarak fabrika düzenlemesi yapılmaktadır.

Grup üretime göre fabrika düzenlemesi kısmen mamule göre fabrika düzenlemeye benzemekle birlikte, nihai mamulün üretiminin gerçekleştirildiği her bir grup dikkate alınarak gerekli düzenleme işleme yapılmaktadır. İş akışı en yüksek faydayı sağlayacak şekilde farklı iş istasyonları ve gruplara göre planlanmaktadır. Grup üretiminde mamulün üretim sürecinin durumu da dikkate alınarak üretim grupları oluşturularak fabrika yeri düzenlemesi yapılmaktadır.

Hücresel üretim, daha küçük miktarlarda çeşitli parçalar üretmek için süreçsel düzenin esneklik avantajını alan ve ürünsel düzeninde ürünün hızlı, düzgün ve etkin akış avantajını alan bir tekniktir. Bu düzen çeşidinde makineler, bir grup benzer parça üretmek için bir üretim hattında dizelenir. Bu makinelerin fabrika içinde dizelendiği bölüme hücre adı verilir. Başka ürünler içinde, başka makineleri başka hücrelerde gruplandırabiliriz.

Makinelerin gruplandırılmasının yanı sıra parçalarında gruplandırılmaları gerekir. Benzer tasarım veya üretim karakterine sahip ve aynı işlem sırasını takip eden parçaların gruplandırılma yöntemine "grup teknolojisi" denir ve bu gruplandırma, hücreyel üretimin etkin olabilmesi için yapılması gereken ilk işlemlerden biridir.

Grup teknolojisi, hücreyel üretim sistemlerinin kurulması sırasında ortaya çıkan üretim yönetimi felsefesi şeklinde tanımlanmaktadır. Grup teknolojisi, parçaları tasarım ya da üretim benzerliklerine göre gruplandırmakta ve söz konusu parça ailesinin üretimi için gerekli makinaları belirleyerek hücreleri oluşturmaktadır. Hücreler belirlendikten sonra, bu hücrelere uygun bir yerleşim düzenlemesi ile parça aileleri işlenerek, iş parçası akışları basitleştirilebilir. Böylece üretimde hazırlık süreleri ve süreçteki stoklarda mümkün olduğunca azaltılabilir (Atmaca 2002).

Üretilen parçaların tasarım ya da üretim özelliklerine göre gruplandırılması, daha sonra bu parça gruplarının işleneceği makinaların belirlenmesi ile parça-makine gruplarının oluşturulmasına dayanan grup teknolojisi, çok çeşitli mamulün küçük partiler halinde üretildiği atölyelerde, hücre tipi üretim tarzı ile sorunlara köklü çözümler getirmektedir. Grup teknolojisi ile üretim hattına yeni gelecek bir mamulün üretilmekte olan benzerlerinin sağlamış olduğu bilgiden yararlanılması mümkün olmaktadır. Böylece tasarım, planlama ve denetim sorunları en aza indirilebilmektedir (Atmaca 2002).

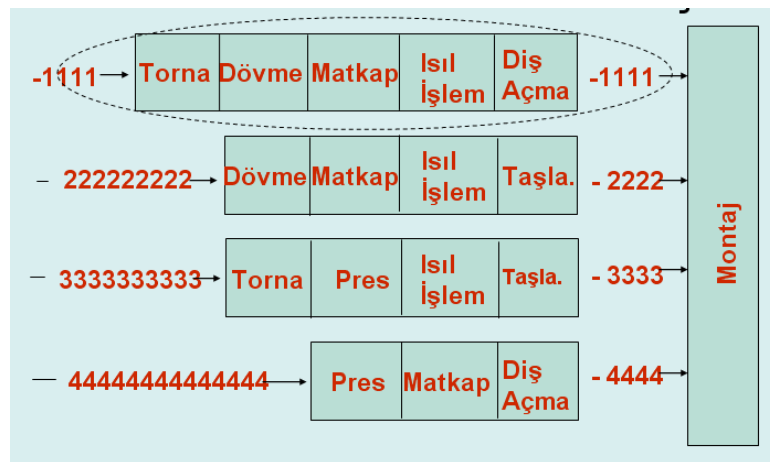
Benzer özellikler taşıyan parçaların, benzer şekilde üretilebilmeleri nedeniyle bir araya toplandığı sistemler hücre olarak tanımlanmaktadır. Bir hücrede benzer parça ailesini üretmek için çalışanların bir takım olarak bir araya getirilmesi ve benzer olmayan makinelerin gruplaşma stratejisi ise hücreyel imalat olarak tanımlanmaktadır (Gülenç 2005).

Benzer özellikler taşıması nedeniyle aynı ailede yer alan parçaların aynı tezgahlar üzerinde ve aynı makineler kullanılarak üretilmesi olasıdır. Bu benzerlikler aile içindeki her bir parçanın üretimi için gerekli makinelerden oluşan üretim hücrelerini oluşturur.

Dolayısıyla, üretim hücrelerinde aynı fonksiyonel özelliği taşımayan üretim araçlarının bir araya getirilmesi söz konusudur (Gülenç 2005).

Hücreyel imalat yaklaşımının temeli, küçük bir sistemin etkin ve kontrol edilebilir olma özelliğini, büyük sisteme yansıtmaktır. Bu yansıma, büyük sistem içinde birbirinden bağımsız küçük alt sistemler oluşturma şeklinde gerçekleşir. Böylece kümeler bağımsız küçük sistemler olarak büyük sistemin karmaşıklığını çözüme yardımcı olur. Bu sistemler içindeki benzer üretim özelliğine sahip belirli parçalar grubunun, üretim prosesleri, işgücü, insan ve özellikle de makine gruplarını içeren sistemlerdir. Bu konfigürasyonun en uygun görüldüğü ortamlar orta derecede üretim hacmine ve ürün çeşidine sahip sistemlerdir (Gülenç 2005).

Hücre içindeki tüm tesisler ve birimler, hücreye giren bütün parçaları kendi içinde üretecek şekilde organize edilmişlerdir. Bu açıklamaların ardından hücreyel imalatın ana fikrinin, “imalat sisteminin küçük alt sistemlere bölünmesi” olduğunu söyleyebiliriz. Bu bölünmenin temel amacı ise verimlilik ve esnekliğin bir araya getirilmesi ve kontrolün karmaşıklığını azaltmaktır. Bir başka ifadeyle, tüm bu basitleştirmeler gereksiz çeşitlerin elenmesi ile ilgilidir (Gülenç 2005).



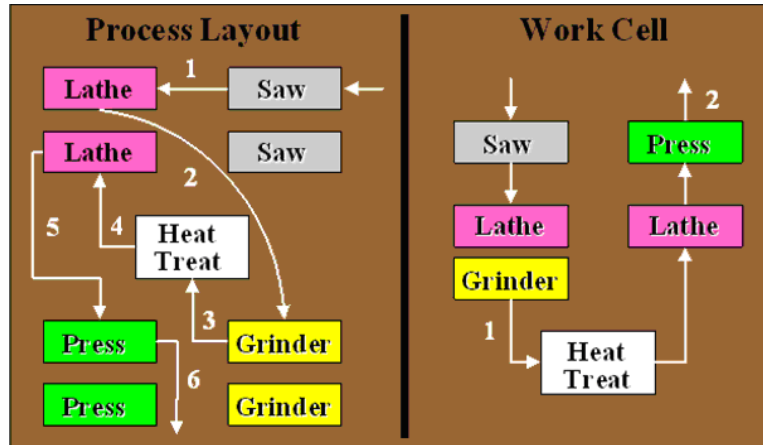
Şekil 3.5. Hücreyel Yerleştirme

Yararları:

- Malzemelerin elde bulundurma ve taşıma zamanlarını azaltır.
- Yarı mamul stokunu azaltır.
- Makinelerin ayar zamanlarını ve maliyetlerini azaltır.
- İnsan gücü etkin bir şekilde kullanılır.
- Kontrol yapmayı kolaylaştırır.
- Otomasyon kolaylığı sağlar.

Sakıncaları:

- Makinelere yapılan yatırım yüksektir.
- Hücrelerin oluşturulması zaman alır.
- Hücreler içinde dengeleme faaliyetleri zayıftır.
- Hücrelerin oluşturulması için standart bir faaliyet yoktur. Sezgisel veya kantitatif yöntemler kullanılabilir.



Şekil 3.6. Fonksiyonel (Prosesle Göre) Yerleşime Karşı Hücresel Yerleşim

Çizelge 3.1. Fonksiyonel Yerleşim ile Hücreyel Yerleşimin Karşılaştırılması

Boyut	Fonksiyonel	Hücreyel
Bölümler arası hareket	Çok	Az
Hareket mesafeleri	Daha uzun	Daha kısa
Hareket yolları	Değişken	Sabit
Bekleme zamanları	Daha uzun	Daha kısa
Üretim zamanı	Daha yüksek	Daha az
Süreç içi iş miktarı	Daha yüksek	Daha düşük
Denetim güçlüğü	Daha yüksek	Daha düşük
Çizelgeleme karmaşıklığı	Daha yüksek	Daha düşük
Donanım kullanımı	Daha düşük	Daha yüksek

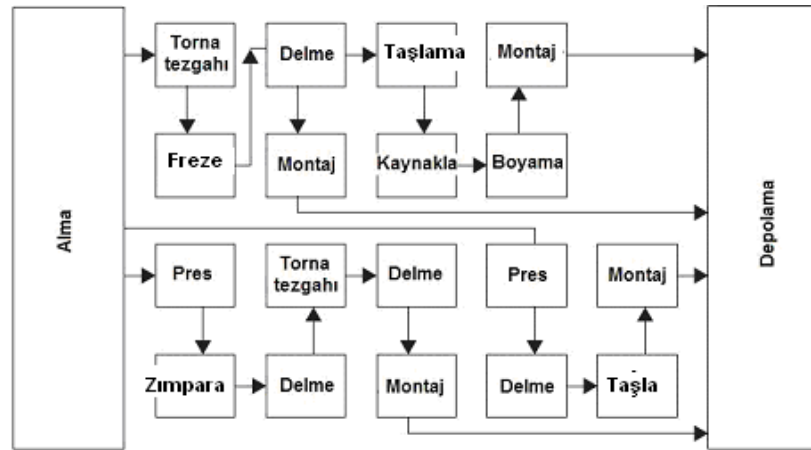
3.1.6.e. Karma Yerleşim Düzeni

Çoğu imalat yöntemleri, diğer düzenleme tiplerinin bir karışımını kullanmaktadır. Karma düzenlemeyi bir işçi - birden fazla makine düzenlemeleri, grup teknolojisi düzenlemesi ve hücreyel imalat düzenlemeleri olarak üçe ayırarak ele almak olasıdır (Eryiğit 2000).

Bir işçi - birden fazla makine düzenlemelerinde eğer üretim hacmi birkaç işçiyi bir üretim hattında meşgul etmek için yeterli değilse, yönetici işçiyi meşgul edecek derecede küçük bir hat kurmalıdır. Bu süreçte, bir işçi hattın devam ettirebilmek için birden fazla farklı özelliklere sahip makine ile çalışır. Bu, bir işçinin birden fazla aynı özelliklere sahip veya aynı işi yapan birden fazla makine ile çalışmasından farklılık gösterir. Böyle bir çalışma durumunda yapılacak olan düzenlemeler çoğunlukla U şeklinde yapılmaktadır. Makinelerin U şeklinde dizilmesinin amacı işçinin hareket alanı en aza indirmek ve son makineden ilk makineye geçiş zamanını minimum düzeye indirmektir. Bu şekilde yapılan bir düzenleme içerisinde yer alan makinelerin çoğu kendi kendilerine çalışır. Makinelere tahsis edilmiş olan işçi, yalnızca gereken

zamanlarda makinenin yanına gider. Görev alanı içerisindeki çalışan, makineleri dolaşarak, hat boyunca bulunan makinelerde, gerekiyorsa, malzeme yükleme-boşaltma işlemlerini yapar. Eğer farklı bir ürün veya farklı standartlarda bir ürün üretilmek isteniyorsa, makinelerin kurulumlarının değiştirilmesi sonucunda farklı ürün veya ürünler üretilir (Eryiğit 2000).

Bu tür düzenlemeler iş gücü gereksinimi kadar stokları da azaltır. Malzemelerin kuyrukta bekletilmeleri ve işlem bittiğinde direkt olarak bir sonraki işlem için sonraki makineye gönderilmeleri nedeniyle stok seviyesi yok denecek kadar düşüktür (Eryiğit 2000).



Şekil 3.7. Karma Yerleşim Düzeni

3.2. Yöntem

3.2.1. Yerleşim düzenlemede kullanılan algoritmalar

3.2.1.a. CORELAP

CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) bir kurulum aşaması programıdır. Her departman için toplam yakınlık derecesi hesaplayarak bir yerleşim

planı oluşturur. Toplam yakınlık derecesi bir departman ile diğerleri arasındaki sayısal yakınlık değerlerinin toplamıdır (Türkmen 2007).

En yüksek toplam yakınlık derecesi değerini alan departman yerleşim planının ortasına yerleştirilir. Eğer iki departman, en yüksek toplam yakınlık derecesi değerini almışsa eşitliği bozmak için en büyük departman alanı olan seçilir veya en küçük departman numarasına sahip olan seçilip yerleşim planının ortasına konur. Daha sonra ilişki tablosu incelenir ve seçilen departmanla ilişkisi “A” olan departman varsa yerleşim planına konur. Eğer yoksa “E” ilişki değeri için inceleme yapılır. Yine sonuç elde edilemezse “I” ilişki değeri için inceleme yapılır ve bulunana kadar ilişki değerleri sırayla incelenir. Eğer iki veya daha fazla departman seçilen departmanla aynı yakınlık derecesine sahipse toplam yakınlık derecesi değeri en yüksek olan seçilir ve yerleştirilir. Eğer hala bir eşitlik söz konusu ise eşitliği bozmak için uygulanan kurallar burada da uygulanır. Yerleşim planına konulacak üçüncü departman diğer yerleştirilen departmanlarla arasında “A” ilişki değeri olan departmandır. Prosedür bütün departmanlar yerleşim planında yerini alana kadar aynı şekilde devam eder (Türkmen 2007).

Yerleşim planına koymak için bir departman seçildiğinde nasıl yerleştirileceğine karar verilmesi gerekir. Bu karar yerleştirme dereceleri değerlerine bakılarak verilir. Yerleştirme dereceleri ise bir departmanın komşuları ile olan ağırlıklı yakınlık dereceleri toplamına eşittir. Son yerleşim planı hazırlandıktan sonra CORELAP yerleşim değerini hesaplar (Türkmen 2007). Yerleşim değeri formülü aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{\text{Bütün Departmanlar}} \text{Yakınlık Derecesi Değeri} \times \text{En Kısa Yolun Uzunluğu}$$

CORELAP algoritmasında zorunlu girdi gereksinimleri şunlardır:

- Bölümler arası ilişki matrisini gösteren ilişki matrisi
- Bölüm sayısı

- Her bölümün sahip olduğu yerleşim alanı
- İlişki matrisi girişleri için ağırlıklar

3.2.1.b. ALDEP

ALDEP (Automated Layout DEsign Program) CORELAP' la aynı temel veri girişine ve amaç fonksiyonuna sahiptir. ALDEP ve CORELAP arasındaki temel işleyiş farkı, CORELAP yerleşim planına konulacak ilk departmanı seçtikten sonra eşitlik durumlarında toplam yakınlık derecesini kullanır, ALDEP ise ilk departmanı seçer ve eşitlik durumlarında rastgele karar verir. Bu iki program arasındaki temel felsefe farkı ise, CORELAP tek bir en iyi yerleşim planı oluştururken, ALDEP birçok yerleşim planı oluşturup, bunların birbirlerine göre oranlarını çıkartıp, seçimi yerleşim planı yapan kişiye bırakmaktadır (Türkmen 2007).

ALDEP için gerekli ilk girdi bilgileri aşağıdaki gibidir (Eryiğit 2000):

- Düzenlemesi yapılacak yer çok katlı ise, her katın uzunluk ve genişliği
- Bölüm sayısı
- Oluşturulacak olan yerleştirme düzeni sayısı
- Yerleştirme düzen alternatiflerinin kabul edilebilirliği için istenen en küçük toplam yakınlık değeri
- Bölümler arası ilişkiyi gösteren ilişki matrisi
- Her katta düzenleme çalışmalarına katılmayacak bölümlerin konumları ve alan gereksinimleri

ALDEP düzenleme alternatiflerini oluştururken aşağıdaki yöntemlerden birini kullanır (Eryiğit 2000):

- Bölümler rastgele olarak düzenlenir ve bu düzenlemeye göre sayısal değerler verilir. Bu işlem, en iyi sayısal değere ulaşıncaya kadar yinelenir.

- Başlangıç dzenlemesi rastgele oluşturulur. Bu dzenlemeye göre tüm ikili değişimler yapılarak sayısallaştırılır. En iyi ikili değişim gerçekleştirildikten sonra oluşan dzenleme başlangıç dzenlemesi olarak kabul edilerek geri kalan tüm ikili değişimler denenir, sayısallaştırılarak en iyi değişim gerçekleştirilir. Değişimler en iyi sonuç elde edilene kadar devam eder.

3.2.1.c. CRAFT

CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique)'ın amacı taşıma maliyetlerini en azlamaktır. Taşıma maliyeti ise akış yapan malzeme miktarı, mesafe ve birim mesafe taşıma maliyeti göz önüne alınarak hesaplanır (Türkmen 2007).

CRAFT yerleşim geliştirme tipi bir programdır. Ardışık Şekilde yerleşimi değiştirerek optimum yerleşim dizaynını arar. CRAFT geliştirme yapmak için bir ilk yerleşim planına, akış verilerine, maliyet verilerine, departman sayısına ve sabit departmanların yerlerine ihtiyaç duyar (Türkmen 2007).

CRAFT ilk yerleşimdeki departmanların ağırlık merkezlerini bulur. Daha sonra bu ağırlık merkezleri arasındaki mesafeyi hesaplar ve bu verileri bir matrise aktarır. İlk yerleşim için taşıma maliyeti gezi diyagramı (from-to chart), birim taşıma maliyeti ve uzaklık matrisi kullanılarak bulunur (Türkmen 2007).

CRAFT departmanların yerlerini iki durumda değiştirebilir;

- Departmanlar eşit alana sahipse.
- Departmanlar komşuysa.

Her departman değişikliği için taşıma maliyeti hesaplanır. Taşıma maliyetinde en büyük değişimi yapan (azalmayı) departman değişikliği uygulanır. Bu prosedür taşıma maliyetinde azalma elde edilemeyene kadar devam eder. CRAFT ilk yerleşimi

iyileştirerek son yerleşim planını geliştirir. Yani son yerleşim planı ilk yerleşim planına bağlı olarak geliştirilir. Bu yüzden çalışmaların birkaç tane ilk yerleşim planı ile yapılması daha iyi sonuç verecektir (Türkmen 2007).

CRAFT , bazı durumlarda malzeme yorumunu genişletip, üretim dışı yapılan eylemlerin düzenlenmesinde de bu algoritma olarak kullanılabilir. Ayrıca, amaç fonksiyonunu minimum yapmaya çalışan sezgisel bir yöntem olup bölümler arasında ikili değişimler yaparak bir alt optimum düzenleme bulmak için çalışır.

CRAFT algoritmasının başlıca uygulama alanları:

- Malzeme hareketlerinin fazla olduğu işletmelerde,
- Üretim hatlarının düzenlenmesi için üretimin yapıldığı yerlerin düzenlenmesinde,
- Hastane, büro ve banka gibi hizmet üretiminin yapıldığı yerlerde.

CRAFT algoritmasında girdi olarak kullanılacak olan unsurlar:

- Gezi matrisi,
- Hareket-maliyet matrisi,
- Başlangıç düzenlemesi,
- Değişmez bölümlerin saptanması ve yerleştirilmesi.

3.2.1.d. MULTIPLE

CRAFT sadece eşit alan sahip veya komşu departmanların yerlerini değiştirebilir. Eğer eşit alana sahip olmayan ve komşu olmayan iki departmanın yerleri değiştirilmek istenirse diğer departmanlarında kaydırılması gerekir. CRAFT diğer departmanları kaydıramaz. Diğer bir seçenek ise departmanı bölmektir. Bu çözüm her yerleşim planı için uygun değildir. Gerçek hayatta bir tesis içerisinde birbirleriyle aynı alana sahip çok az sayıda departmana rastlanabilir. Sonuç olarak, CRAFT'ın departmanların yerlerini

değiştirmek için koyduğu kısıtlar her iterasyonda bu yer değiştirme sayısını azaltmaktadır (Türkmen 2007).

MULTIPLE (MULTI-floor Plant Layout Evoluation) programında ise yerleşim programı bir matris olarak ele alınmaktadır. Matrisin her birimi bir kareyi temsil etmektedir. Her departmanın alanı bu karelerle belirtilmektedir. Yerleşim planını gerçekleştirmek için boşluk doldurma eğrisi tekniği kullanılmaktadır. Bu eğri departmanların bütün karelerini dolaşmaktadır. Bir departmanın bölünmemesi için o departmana atanan bütün karelerin sürekliliğinin sağlanması şarttır. Bu eğri bir departmanın bütün karelerini dolaştıktan sonra diğer departmana geçer (Türkmen 2007). Boşluk doldurma eğrisi departmanların yerlerini değiştirmek için gereklidir. Böylece hiç bir departman bölünmemiş olur. Eğer bir departmanın yeri sabit olarak belirlenmişse, eğri o departmanın bütün karelerini atlar.

Çok katlı yerleşim planlaması algoritmalarında tek bir departman alanı tahmini yerine her departman için kabul edilebilir değerlerin saptanması önemlidir. Çünkü yer değiştirmesi gereken departmanlar farklı katlarda bulunuyorsa sadece eşit alana sahip iki departman için bu değişim gerçekleştirilebilir. Boşluk doldurma eğrisi alternatif yerleşim planları oluşturmak amacıyla çeşitli değişik şekillerde çizilebilir. Bu eğri, sabit departmanlar katları iki veya daha fazla parçaya bölmediği sürece çizilebilir (Türkmen 2007).

Eğer katlar arasındaki departmanların yer değiştirmesi mümkün değilse MULTIPLE departman alanlarına “sıkıştırma” uygulayabilir. Sıkıştırma her departman alanı için yeni bir değer bulmak için yapılır. Bu değerler departmanların en küçük alan gereksinimlerine eşit veya büyük olmalıdır. Bazen bu sıkıştırma işlemi de departmanların yer değişimi yapması için yeterli olmaz.

3.2.1.e. SABLE

SABLE (Simulated-Annealing Based Layout Evaluation) bir başka kurma ve geliştirme tipi yerleştirme algoritmasıdır. CRAFT ve MULTIPLE yaptıkları iterasyonları verilen ilk yerleşim planına göre yapan sezgisel algoritmalarıdır. CRAFT ve MULTIPLE için verilen ilk yerleşim planını değiştirmek sonuç yerleşiminde çok büyük değişikliklere yol açabilir. Çok katlı yerleşim problemlerinde departmanların katlara ilk yerleşiminin yapılması daha iyi bir çözüm almayı imkansızlaştırabilir. Çünkü ikili veya üçlü departman yer değiştirmeleri mümkün değildir. Bu simülasyon metodu ilk yerleşimden dolayı doğacak bu problemleri azaltmaya yönelik çalışır. SABLE yerleşim planını oluşturmak için MULTIPLE'la aynı yöntemi kullanır. Tek katlı yerleşim probleminde her türlü yerleşim dizisi uygundur. Çünkü sadece bir tek boşluk doldurma eğrisi mevcuttur ve bütün yer değiştirme işlemleri mümkündür (Türkmen 2007).

Çok katlı yerleşim probleminde, tek katlıda olduğu gibi bir yerleşim dizisi uygulamak mümkün değildir. Çünkü dizi içerisindeki departman numaraları departmanın kaçınca katta olduğunu belirtmeyecektir. Bu işlem için ayıraçlar (separators) kullanılmaktadır. Ayıraçlar dizi içerisinde bir sonraki karın ne zaman bağladığını göstermektedir. (Örneğin, 3 katlı 8 departmanlı bir yerleşim problemi için: 5-8-1/2-6-3/7-4) Ayıraçların yerlerini belirlemek için ilk departmandan bağlayarak ilk kata yerleştirilir. İlk katta kalan boş alan sıradaki departmanın sığamayacağı kadar ise ayıraç kullanılır. Sığmayan departmandan bağlanarak yukarıdaki işlemler diğer katlar içinde tekrarlanır (Türkmen 2007). Bazı yerleşim dizileri çok katlı yerleşim problemleri için uygun değildir. Bu durum son katta, kalan son departman için yeteri kadar yer kalmadığı durumlarda söz konusudur.

Bir yerleşim dizimi oluşturmak rastgele bir iş olabilir. Fakat SABLE için yerleşim dizimi daha sistematik bir yaklaşımla oluşturulmaktadır. Uygun bir yerleşim diziminden bir başka uygun yerleşim dizimine geçmek tamamen rastgele bir işlem olmamalıdır. Bu durum, oluşturulacak çözümler, kullanıcının belirleyeceği parametrelerle kontrol edilirse engellenebilir (Türkmen 2007).

3.2.1.f. LayOPT

LayOPT bir tesis planlama optimizasyonu programıdır. Tek katlı veya çok katlı tesis planlama problemlerini çözmek için kullanılabilir. Üretim tesislerine, depolara, ofislere ve çeşitli servis tesislerine uygulanabilir. LayOPT yerleşim planı yapan kişinin alternatif yerleşim planlarını çabuk ve kolay şekilde oluşturmasını sağlar.

LayOPT bir geliştirme algoritmasıdır ve bir başlangıç yerleşimine ihtiyaç duyar. Akış ve maliyet verilerine göre departmanların yerlerini değiştirerek bu yerleşimi iyileştirmeye çalışır. Birçok geliştirme algoritması temel olarak aynı işlemleri yapmaktadır. Fakat birçoğu yaptıkları departman değişimi bakımından yetersizdir. Sonuç olarak bu algoritmalarından elde edilecek çözümler yetersiz olabilir. LayOPT bu sorunların üstesinden gelmiştir. Başlangıç yerleşimlerinden %50-%80 arası daha verimli çözümler üretmektedir.

LayOPT, bir başlangıç yerleşiminden yola çıkarak daha verimli yerleşim çözümleri üreten bir algoritmadır. Eğer bir başlangıç yerleşimi yoksa, program tarafından bir tane rastgele üretilebilir. LayOPT programının kullandığı algoritma Bozer, Meller ve Erlebacher tarafından 1994 yılında geliştirilmiştir.

LayOPT algoritması her iterasyonda amaç fonksiyonunda en büyük değişikliği yapan departman yer değiştirmesini yapar.

3.2.1.g. COFAD

COFAD, CRAFT'ın değişikliğe uğratılmış bir biçimidir. COFAD'ın gerçek seçime izin veren düzeni ve malzeme taşıma sistemini birlikte seçmesidir. COFAD algoritması, CRAFT'a benzer olarak ikili veya üçlü değişimler yaparak değerlendirme yapar. CRAFT' tan farkı; düzenleme yapılırken öncelikle eşit alana sahip olan bölümlerin dikkate alınması ve giderlerdeki değişikliğin incelenmesidir.

COFAD algoritması için gerekli bilgiler şu şekilde sayılabilir:

- Malzeme taşımada özel hareketler yapabilecek olan araç-gereç seçenekleri,
- Araç-gereç seçeneklerine ilişkin maliyet matrisi,
- Her araç-gerece ilişkin gezi matrisi,
- Başlangıç düzenlemesi.

3.2.2. Gezi şeması / matrisi

Gezi şemaları; iki makine, bina, bölüm arasında malzeme hareketi sayısını ve toplam malzeme taşıma mesafesini içerirler. Bu şemalar yorumlayıcı şemalardır, bir yerleşim problemine doğrudan çözüm getirmezler. Gezi şemasında yer alan verinin incelenmesiyle, yerleşim tasarımcısı büyük hacimli parça hareketine sahip departmanları belirleyebilir ve bu departmanları birbirine yakın yerleştirebilir. Gezi şemaları grup ve sürece göre yerleştirmede kullanılan araçlardır ve aşağıdaki durumlarda yararlıdır:

- Malzeme akışını analiz etmede
- Bölüm blok planları tasarımında
- Ayrıntılı yerleşim düzeni tasarımında
- Yerleştirme alternatiflerinin değerlendirilmesinde
- Faaliyetler arasında bağlılığı göstermede
- Döşeme alanı kullanımını iyileştirmede
- Ürün hatları ilişkisini göstermede

3.2.3. Faaliyet ilişki şeması ve ilişki diyagramı

Faaliyet ilişki analizinde tesis içindeki değişik bölüm, makine ve yardımcı tesisler arasında nitel olarak ifade edilebilen ilişkiler, ilişki şemalarında toplanır. Nitel yakınlık derecesi, gezi şemasında hareket eden küme sayılarının yerini alır. Bu şemalarda tüm

ilişki çiftleri değerlendirilir. Yakınlık dereceleri A,E,I,O,U ve X ile ifade edilir. Burada “A” kesinlikle gerekli, “E” çok önemli, “I” önemli, “O” istenen, “X” istenmez, “U” önemsiz olarak gösterilir.

Faaliyet ilişki diyagramının amacı, faaliyetler arası ilişkiyi alansal olarak göstermektir. Nicel ilişkilerin gezi şamalarında, nitel ilişkilerin ilişki şemalarında gösteriminden sonra bu ilişkiler bir bütün olarak ilişki diyagramında resmedilir. İlişki diyagramında her bölüm ya da makine arasında istenilen yakınlık derecesi, çeşitli sayılarda çizgiler çizilerek gösterilir. Burada dört çizgi bölümler arasında yakınlığın çok önemli olduğunu, tek çizgi ise normal yakınlığın olduğunu göstermektedir. Yakınlığı arzu edilmeyen bölümler arasında ise kırık çizgiler çizilir.

3.2.4. Kareli atama problemi (KAP)

Tüm bölümler eşit alanlıysa veya bölümlerin fiziksel yerleri, diğer kalan bölümlerle arasındaki yakınlık veya uzaklık ilişkilerini değiştirmeden değiştirilebiliyorsa bölümlerin işgal edeceği potansiyel yerleri belirlemek kolaydır. Böyle bir durumda, yerleşim problemi, maliyetin akış miktarı ve kat edilen uzaklık bakımından doğrusal olduğu farz edilen Kareli Atama Problemi (KAP) olarak modellenebilir (Duman 2007).

Kareli atama problemlerinde amaç fonksiyonu, değişkenlerin ikinci dereceden polinom bir fonksiyonudur. Kareli atama probleminde kısıtlar, atama probleminin kısıtlarına benzer. KAP'de amaç, iş akışı ve seyahat edilen uzaklığın çarpımı olarak ifade edilen malzeme taşıma maliyetini en küçükleyecek şekilde, n tesisin n adet yere optimum atamasını belirlemektir. KAP için çözüm zamanlarının, yerleştirilecek tesis sayısı arttıkça üstel olarak arttığı ispatlanmıştır. Kareli atama problemi, kesme düzlemi, dalsınır veya diğer optimizasyon teknikleriyle belli bir sınıra kadar çözülebilmektedir (Duman 2007).

Kareli atama probleminde her bölümün yeri özel olarak belirlenir. Son çözümde, bölümler arasındaki toplam ağırlıklı uzaklık minimize edilir ve her bölüm sadece bir pozisyona atanarak yerleşim elde edilir. Bölümler ile ilgili ağırlıklar, komşuluk ilişkileri (ilişki çizelgesi -relationship chart-) veya bölümler arasındaki iş akış hacmi (nereden nereye çizelgesi –from to chart-) ile belirlenir (Duman 2007).

Ele alınan TYP'nin KAP ile çözümü için tesislerin eşit büyüklükte olması zorunlu değildir. Zaten bu pratikte pek mümkün de değildir. Farklı büyüklükteki birimler uygun yerlerden kesilerek birbirine eşit alanlara bölünür ve KAP uygulama aşamasında bir bölümü oluşturulan parçaların birbirinden ayrılmasına izin verilemeyerek bölümün çözüm esnasında dağılması engellenmiş olur. Bu açıdan bakıldığında KAP'nin uygulama alanı oldukça genişlemektedir (Duman 2007).

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında; yerleştirilecek tesis ya da bölüm sayısı 20'den fazla olduğunda, KAP'ler çok büyük hesaplama zamanları gerektirmiştir. Optimal algoritmaların büyük boyutlu problemler için ortaya çıkan bu dezavantajı, araştırmacıları sezgisel algoritmalar geliştirmeye yöneltmiştir (Toksarı 2004).

KAP şu şekilde formüle edilir (Şahin ve Türkbey 2010):

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n Aijkl \cdot Xij \cdot Xkl \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n Xij = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n Xij = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ bölümü } j \text{ alanına atanmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

(3.1) numaralı formülde i ve k bölümleri, j ve l alanları, A_{ijkl} ise i bölümü j alanına ve k bölümü l alanına atandığı zaman oluşan maliyeti ifade eder. A_{ijkl} için farklı çalışmalarda farklı eşitlikler önerilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır:

$$A_{ijkl} = a_2 C_{ijkl} - a_1 R_{ijkl} \quad (3.2)$$

(3.2) numaralı eşitlikte; C_{ijkl} nicel amaç olan toplam malzeme taşıma maliyetini, R_{ijkl} nitel amaç olan toplam yakınlık ilişki skorunu, a_1 ve a_2 ise bu amaçlara atanan ağırlıkları ifade etmektedir.

$$A_{ijkl} = f_{ik} d_{jl} cr_{ik} \quad (3.3)$$

$$A_{ijkl} = d_{jl} (f_{ik} + cr_{ik}) \quad (3.4)$$

(3.3) ve (3.4) numaralı eşitliklerde ise; f_{ik} i ve k bölümleri arasındaki malzeme akışlarını, r_{ik} i ve k bölümleri arasındaki yakınlık ilişki skorlarını ve d_{jl} ise j ve l alanları arasındaki uzaklığı göstermektedir. İkinci eşitlikteki c ise, malzeme akışlarına göre yakınlık ilişki skorlarının önemini belirleyen sabit bir sayıdır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasının uygulaması, daha önce belirtildiği gibi Erzurum’da faaliyet gösteren bir tp imalat fabrikasında yapılmıştır. Söz konusu işletmenin fabrika içi yerleşim düzeni için, iki farklı yöntem kullanılarak yerleşim alternatifleri geliştirilmiştir.

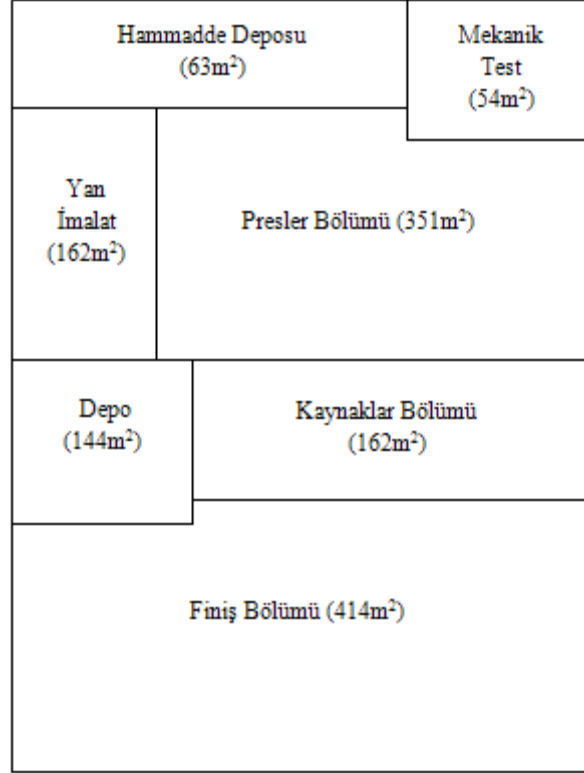
Fabrika için ilk yerleşim alternatifi, WINQSB paket programının “Facility Location and Layout” modülü kullanılarak bulunmuştur. İkinci alternatif için ise, KAP formülasyonu yardımıyla 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli kurulmuŐ ve bu model GAMS matematiksel programlama dilinde kodlanarak üzülmüŐtür.

4.1. Fabrikanın Mevcut Yerleşim Şeması

Fabrikanın düzenleme yapılacak atölyesi, 1350 m² (30mx45m)’lik bir kapalı alana kurulmuştur. Bu alan, imalatın yapıldığı ve birbiriyle ilişkili toplam 7 ana bölümden oluŐmaktadır. Bu bölümler sırasıyla hammadde deposu, presler, kaynaklar, yan imalat, mekanik test, finiş ve depo bölümleridir.

Fabrikada sürece göre yerleşim söz konusu olduğu için aynı ya da benzer makinalar grup oluŐturmuŐtur. Yukarıda sayılan bölümlerde, bu gruplar ile ŐekillenmiŐtir.

Fabrikanın mevcut yerleşim düzeni Şekil 4.1’deki gibidir:



Şekil 4.1. Fabrikanın Mevcut Yerleşim Düzeni

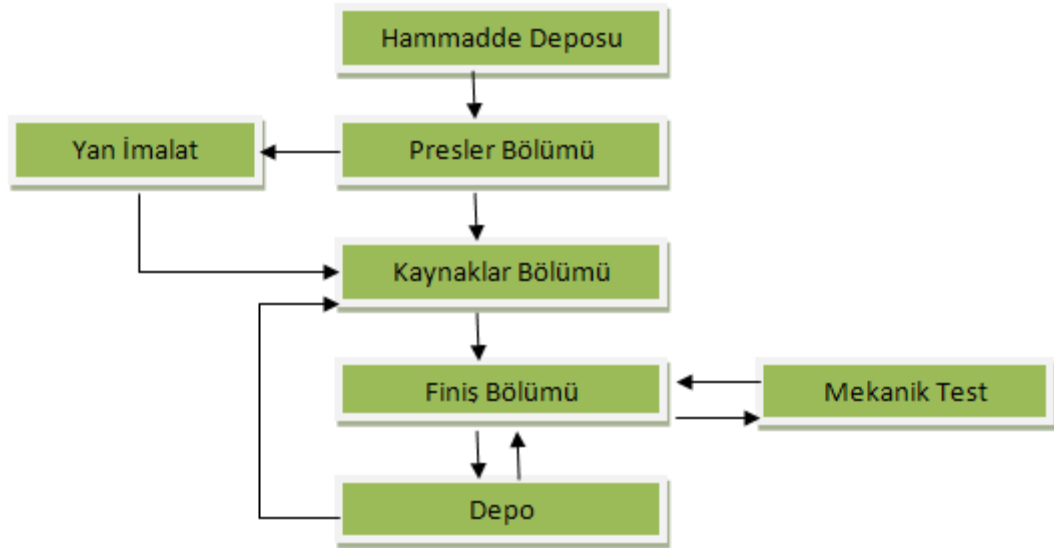
4.2. İş Akış Şeması

Fabrikanın bölümler arası iş akış süreci, genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

- Tüp imalatında kullanılan sac plaklar, tekerlekli kasalarla presler bölümüne gelir.
- Sac plaklar presler bölümünde, üretimi yapılacak tüp çeşidine göre kesim işlemine tabi tutulurlar.
- Kesilen sac plaklardan kalan parçalar, gövde kısmına eklenecek küçük parçaların (tüpün üzerindeki yazı kartları, tüpün tutulacağı halkalar vs.) üretimi için yan imalat bölümüne gelir.
- Presler ve yan imalat bölümlerinden çıkan parçalar, tüpün ilk halini alması için kaynaklar bölümünde kaynatılırlar.
- Kaynaklar bölümünden çıkan tüpler; ısıtma işlemi, kumlama, metalize, boya gibi işlemlerden oluşan finiş bölümüne gelirler.

- Tüpler finiş bölümünde yapılan ısııl işlemden sonra teste tabi tutulurlar. Bunun için mekanik test bölümüne aktarılırlar. Yapılan testlerde uygun olmayan ürünler hurdaya ayrılırlar. Sağlam ürünler ise, diğler işlemleri tamamlanmak üzere finiş bölümüne geri dönerler.
- Tüm işlemlerden geçerek son halini almış olan tüpler, finiş bölümünden depoya aktarılırlar.

Bölümler arası iş akış şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Bölümler Arası İş Akış Şeması

4.3. Gezi Şemasının Oluşturulması

Fabrikada; piknik tüpü, şişman tüp (mutfak tüpü) ve sanayi tüpü olmak üzere 3 çeşit tüp imalatı yapılmaktadır. Son yıllarda özellikle doğalgazı yaygınlaşması nedeniyle, ürün talebi oldukça değişken hale gelmiştir. Ayrıca üretim kapasitesi de büyük oranda azalmıştır. Bundan dolayı; bölümler arası malzeme akışını gösteren gezi şeması, en çok üretimi yapılan şişman tüpün aylık üretim kapasitesine göre hazırlanmıştır.

Buna göre;

- Şişman tüpün günlük üretim kapasitesi 750 adettir. Ayda 20 iş günü olduğu kabul edilirse, aylık şişman tüp üretimi $750 \times 20 = 15\ 000$ adettir.
- Şişman tüpün hammaddesi sac plaktır. 1 adet sac plaktan 6 tane tas (tüpün ana gövdesini oluşturan parçadır ve 1 adet tüp alt-üst olmak üzere iki tane tasta meydana gelir) elde edilir. Yani, 1 adet sac plaktan 3 adet tüp için alt ve üst taslar elde edilmiş olur. Buna göre, aylık 15 000 adet tüp için $15\ 000/3 = 5\ 000$ adet sac plak gerekir.
- 1 adet tüp gövdesi 2 tane tasta meydana geldiğine göre, aylık 15 000 adet şişman tüp için gerekli tas sayısı $15\ 000 \times 2 = 30\ 000$ adettir.

Yukarıdaki bilgilere göre, gezi şemasında gösterilecek aylık malzeme akış miktarları şu şekilde hesaplanmıştır:

- Bölümler arası malzeme taşıma için farklı boyutlardaki tekerlekli kasalar kullanılmaktadır.
- Hammadde deposundan presler bölümüne malzeme akışı, tekerlekli kasalarla her seferinde 25 adet sac plak taşındığı için $5\ 000/25 = 200$ kasa olur.
- Presler bölümünden kaynaklar bölümüne malzeme akışı, tekerlekli kasalarla her seferinde 100 adet tas taşındığı için $30\ 000/100 = 300$ kasa olur.
- Presler bölümünde yan imalat bölümüne malzeme akışı, yaklaşık 67 kasadır.
- Kaynaklar bölümünden finiş bölümüne malzeme akışı; aylık 15 000 adet tüp gövdesi yapıldığı ve her seferinde 6 tane tüp finiş bölümüne aktarıldığı için $15\ 000/6 = 2\ 500$ kasa olur.
- Yan imalat bölümünden kaynaklar bölümüne malzeme akışı, yaklaşık 100 kasadır.
- Finiş bölümünde ısıtma işleminden sonra tüp gövdeleri test için mekanik test bölümüne gider. Yani 2 500 kasa ($15\ 000/6$), iki bölüm arasındaki malzeme akış miktarıdır. Bu testten sonra hurdaya ayrılan ürün olmadığı varsayıldığından, aynı miktar ürün testten sonra finiş bölümüne tamamlanmak üzere geri döner.
- Finiş bölümünde son işlemleri tamamlanan tüpler depoya gönderilir. Finiş bölümünden depoya malzeme akış miktarı, 2 500 ($15\ 000/6$) kasadır.

- Depodan kaynaklar bölümüne malzeme akışı, yaklaşık 40 kasadır.
- Depodan finiş bölümüne malzeme akışı, yaklaşık 75 kasadır.

Tüm bu bilgiler göre, gezi şeması Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Gezi Şeması (kasa)

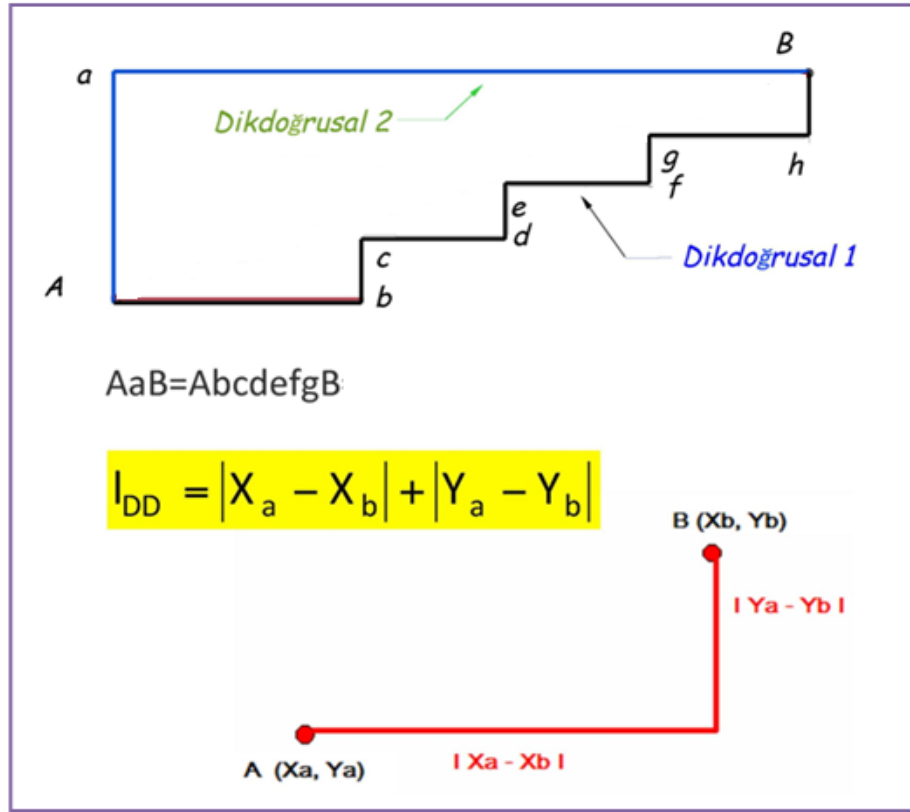
Bölümler	Hammadde Deposu	Presler	Kaynaklar	Yan İmalat	Mekanik Test	Finiş	Depo
Hammadde Deposu	-	200	-	-	-	-	-
Presler	-	-	300	67	-	-	-
Kaynaklar	-	-	-	-	-	2500	-
Yan İmalat	-	-	100	-	-	-	-
Mekanik Test	-	-	-	-	-	2500	-
Finiş	-	-	-	-	2500	-	2500
Depo	-	-	40	-	-	75	-

4.4. Bölümler Arası Uzaklıkların Belirlenmesi

Tesis ya da bölümler arası uzaklıkların belirlenmesinde genel olarak 3 ölçüm şekli kullanılmaktadır. Bunlar; dik doğrusal uzaklık, kuş uçuşu uzaklığı ve kuş uçuşunun karesi uzaklığıdır.

Şehir içi veya atölye içi yollar gibi birbirini dik olarak kesen yol şebekelerinin kullanılmasını gerektiren durumlarda, dik doğrusal uzaklık ölçümü kullanılmaktadır. Bu tezin uygulama çalışmasında, atölye içi bir yerleşim probleminin çözümü yapılacağı için bölümler arası uzaklıklar dik doğrusal uzaklık olarak belirlenmiştir.

A ve B gibi iki noktanın arasındaki dik doğrusal uzaklığın bulunması, Şekil 4.3’de genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. A ve B Noktaları Arasındaki Dik Doğrusal Uzaklığın Hesaplanması

Söz konusu yerleşim probleminin, WINQSB'deki çözümünde dik doğrusal uzaklıkları programın kendisi hesaplayacaktır. GAMS'deki çözüm için uzaklıkların hesaplanması gerekir. Bu hesaplama; problemin GAMS çözümünde, varsayımlarla ve tablo ile birlikte gösterilecektir.

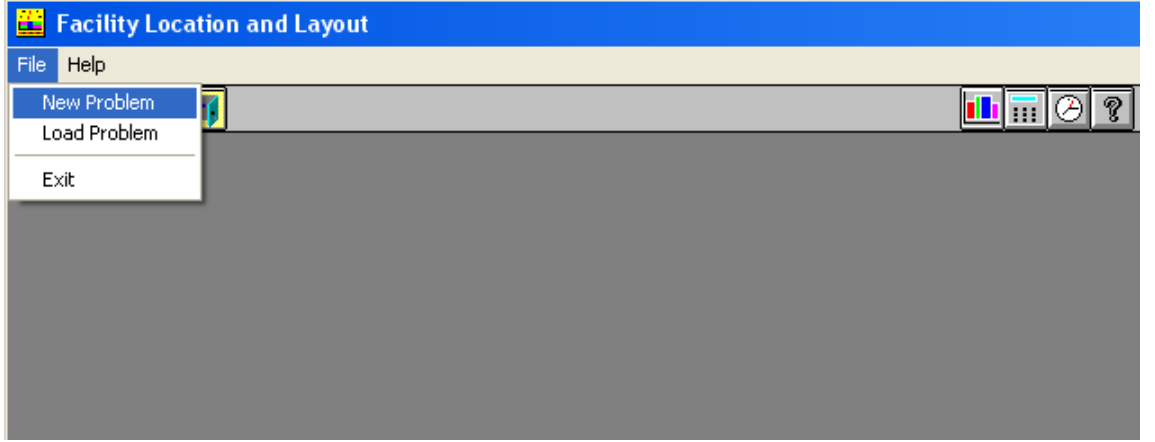
4.5. Yerleşim Probleminin WINQSB'de Çözümü

4.5.1. Yerleşim problemi tipinin seçilmesi

Yerleşim probleminin WINQSB'deki çözümü için, ilk aşamada problem tipinin seçilmesi gerekir. Bu programın, kullanılan "Facility Location and Layout" modülünde, 3 tip problemin çözümü yapılmaktadır. Bunlar;

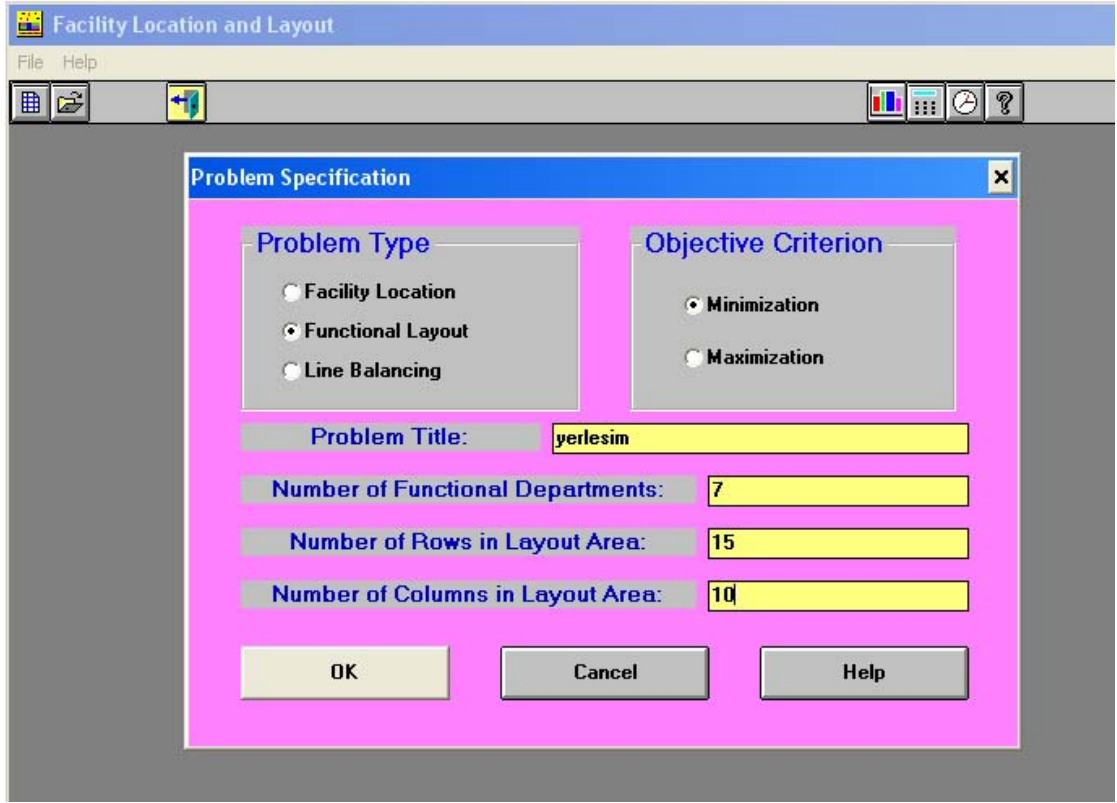
- Bir yerleşimde var olan tesislere eklenmesi planlanan yeni tesis veya tesislerin nereye yerleştirilmesi gerektiğini değerlendiren “Facility Location” problemi,
- Bir yerleşimde birbiriyle ilişkili fonksiyonel departmanların en iyi nasıl yerleştirileceğini değerlendiren “Functional Layout” problemi,
- Hat dengeleme ile ilgilenen “Line Balancing” problemidir.

Uygulamanın yapıldığı fabrikada eklenmesi gereken ya da planlanan bölüm olmadığından ve mevcut yerleşim düzeninden daha iyi bir yerleşim bulunması için sadece bölümlerin yerlerinin değiştirilmesi istendiğinden, yukarıda sayılan problem tiplerinden “Functional Layout” problemi seçeneğini kullanılmıştır. Bunun için, Şekil 4.4’de gösterildiği gibi “Facility Location and Layout” modülünün “File” menüsünden “New Problem” seçeneği seçilerek problemin tanımlanmasına başlanır.



Şekil 4.4. Yerleşim Probleminin Tanımlanması - Adım 1

“New Problem” seçeneği tıklandığında Şekil 4.5’de gösterildiği gibi “Problem Specification” penceresi gelir.



Şekil 4.5. Yerleşim Probleminin Tanımlanması - Adım 2

Daha önce belirtildiği gibi, yukarıdaki pencerede problem tipi “Functional Layout” ve toplam maliyetin minimum olması istenildiği için de amaç kriteri “Minimization” olarak seçildi. Problem başlığı (yerlesim) ve söz konusu yerleşimdeki mevcut departman sayısı (7) girildi. Yine bu pencerede, yerleşim alanının birim kareler olarak belirtilmesi gerekir. Bunun için mevcut yerleşimin gerçek alanından da yola çıkarak, $1br^2$ (hücre)’nin $9 m^2$ ’yi temsil ettiğini varsayıp satır sayısı 15 ve sütun sayısı 10 olarak girilmiştir. Yani $45m \times 30m$ ($1350m^2$)’lik bir alan, $15br \times 10br$ ($150br^2$)’lik bir alan olarak gösterilmiştir.

4.5.2. Problemin çözümü için verilerin girilmesi

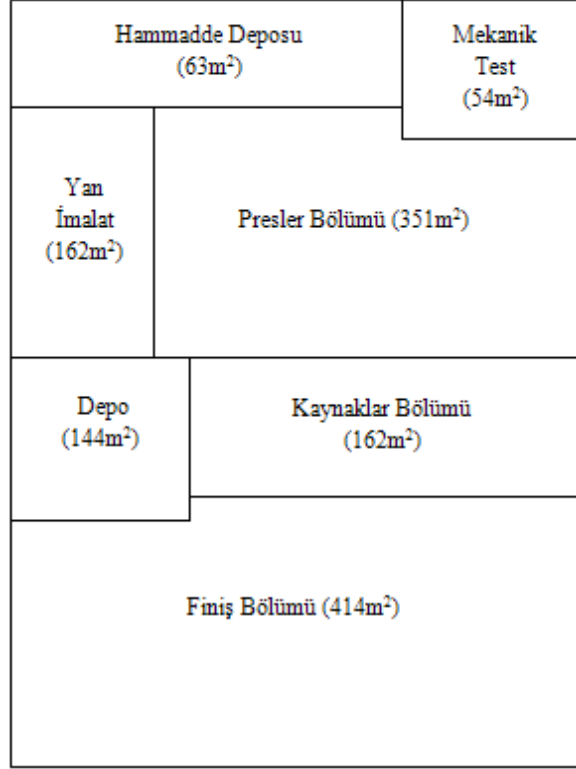
Şekil 4.5’deki pencerede OK butonuna tıklandığında, Şekil 4.6’da gösterilen tablo gelir. Bu tabloda; bölümlerin ismi “Department Name” sütununa yazılır. “Location Fixed” sütunu, yerinin sabit kalmasını istenilen bölümü belirtmek için kullanılır. Eğer herhangi

bir bölümün yeri sabit kalacaksa bu sütundaki karşılığına “Yes”, sabit kalmayıp yeri değişecek bölümler için ise “No” yazılmalıdır. Tablodaki son sütun hariç diğer sütunlar, bölümler arası malzeme akış miktarı ve maliyet verilerinin girişi için kullanılır. Bu giriş, “Flow/Unit Cost” olarak girilir. Örneğin; herhangi iki bölüm arasında malzeme akış miktarı 150 birim ve malzeme akış maliyeti 2 birim maliyet ise, $150/2$ olarak giriş yapılır. Bu çalışmada birim maliyet 1 olarak alındığı için sadece malzeme akış miktarları yazıldı. Böyle olması, malzeme akış miktarına odaklanılmış olduğunu göstermektedir.

Layout Information for yerleşim										
Flow/Unit Cost										
Department Number	Department Name	Location Fixed	To Dep. 1 Flow/Unit Cost	To Dep. 2 Flow/Unit Cost	To Dep. 3 Flow/Unit Cost	To Dep. 4 Flow/Unit Cost	To Dep. 5 Flow/Unit Cost	To Dep. 6 Flow/Unit Cost	To Dep. 7 Flow/Unit Cost	Initial Layout in Cell Locations [e.g., (3,5), (1,1)-(2,4)]
1	Hammadde	No		200	0	0	0	0	0	(1,1)-(1,7)
2	Presler	No	0		300	67	0	0	0	(2,3)-(8,10)
3	Kaynaklar	No	0	0		0	0	2500	0	(8,4)-(11,10)
4	Yan İmalat	No	0	0	100		0	0	0	(2,1)-(8,3)
5	Mekanik	No	0	0	0	0		2500	0	(1,8)-(2,10)
6	Finiş	No	0	0	0	0	2500		2500	(11,1)-(15,10)
7	Depo	yes	0	0	40	0	0	75		(8,1)-(11,4)

Şekil 4.6. Problemin Çözümü İçin Verilerin Girilmesi

Tabloda son sütun olarak geçen “Initial Layout in Cell Locations” sütununda ise, başlangıç yerleşiminde bölümlerin yerleri belirtilir. Fabrikanın başlangıç yerleşim düzeni, bölümler ve yaklaşık olarak kapladıkları alanlar Şekil 4.7’de verilmiştir.

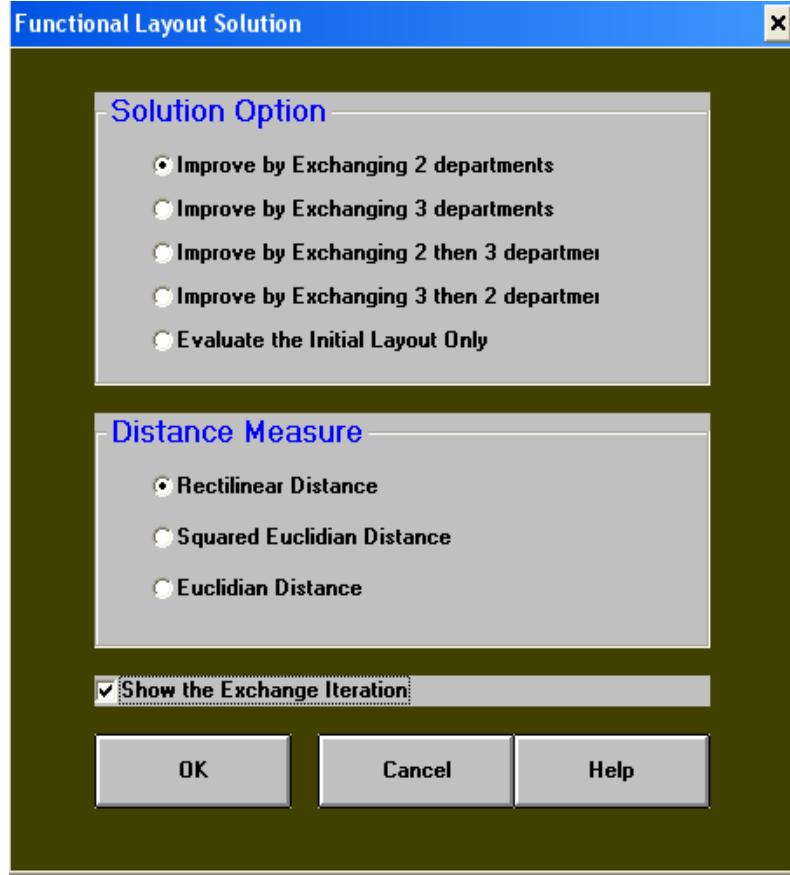


Şekil 4.7. Başlangıç Yerleşim Düzeni

Yukarıda verilen başlangıç yerleşim düzeninden ve gerçek alanlardan yola çıkarak, “Initial Layout in Cell Locations” sütunundaki girişler yapılmıştır. Örneğin; hammadde deposunun gerçek yerleşimde kapladığı alan yaklaşık 63 m²’dir. Daha önce belirtildiği gibi WINQSB’de gösterilecek her bir hücre 9 m²’yi ifade etmektedir. Buna göre hammadde deposunun alanı, WINQSB’deki başlangıç yerleşiminde $63/9=7$ hücre ile gösterilmesi gerekir. Gerçek yerleşim alanında sol üst köşede bulunan hammadde deposu, burada da yine aynı yerde gösterilmiştir. Bu gösterimin nasıl olduğu, Şekil 4.6’ daki tablonun ilgili sütununda görülmektedir. Böylece, WINQSB’deki ilk yerleşim düzeni gösterimi ile yukarıdaki gerçek yerleşim düzeni aynı görüntüde olacaktır.

4.5.3. Problemin çözüm seçeneğinin belirlenmesi

Yerleşim probleminin çözümü için gerekli verilerin girişi tamamlandıktan sonra, araç çubuğundaki “Solve and Analyze” menüsünün “Solve the Problem” seçeneği tıklandığında Şekil 4.8’deki “Functional Layout Solution” penceresi gelir.



Şekil 4.8. Problemin Çözüm Seçeneğinin Belirlenmesi

Yukarıda görüldüğü gibi problem için çözüm seçenekleri şunlardır:

- 2 bölüm değiştirerek geliştirme
- 3 bölüm değiştirerek geliştirme
- 2 bölümden sonra 3 bölüm değiştirerek geliştirme
- 3 bölümden sonra 2 bölüm değiştirerek geliştirme

- Sadece başlangıç yerleşimini değerlendirme

Çözümü yapılacak olan yerleşim problemi için bu seçeneklerin hepsi (sadece başlangıç yerleşimini değerlendirme hariç) kullanılacak ve içlerinden en küçük maliyetli yerleşim düzeni seçilecektir.

Bir sonraki aşamada, bölümler arası uzaklığın ölçüm şeklinin hangisi olacağına karar vermek gerekir. Daha önceki başlıklarda belirtildiği gibi uzaklık ölçüm şekli olarak dik doğrusal uzaklığın bu problem için uygun olduğu söylenmişti. Bunun için şekildeki pencerede de “Rectilinear Distance” ölçüm şekli seçilmiştir.

Son olarak, her bir iterasyon sonunda yapılan değişiklikleri görmek için “Show the Exchange Iteration” seçeneği seçilerek OK butonuna basılır.

4.5.4. İki bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme

Bir önceki başlıkta çözüm için yapılan son işlemde sonra Şekil 4.9'daki başlangıç yerleşim düzeni ekrana gelir. Bu yerleşim düzeni şeması, her çözüm seçeneği (3'lü değişim v.s.) için aynı olacaktır. Bu yüzden, diğer çözümlerde bu şema yeniden gösterilmeyecektir.

File Iteration Scale Utilities Window Help										
Initial Layout for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	Y	Y	Y	P	P	P	P	M	M	M
3	Y		Y	P				P	P	P
4	Y		Y	P						P
5	Y		Y	P						P
6	Y		Y	P						P
7	Y	Y	Y	P	P	P	P	P	P	P
8	D	D	D	D	K	K	K	K	K	K
9	D			D	K					K
0	D			D	K	K	K	K	K	K
1	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
2	F	F	F	F						F
3	F									F
4	F									F
5	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Total Cost = 111558,60 (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.9. WINQSB’de Başlangıç Yerleşim Düzeni

Şekil 4.9’un sağ üst köşesinde bulunan mavi noktalı butona her tıklandığında bir sonraki iterasyon gösterilir. İkili bölüm değiştirme ile programın bulunduğu her bir iterasyon aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Layout After Iteration 1 for yerlesim										
r^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	P	P	P
2	Y	Y	Y	P	P	P	P			P
3	Y		Y	P						P
4	Y		Y	P						P
5	Y		Y	P						P
6	Y		Y	P	P	P	P	P	P	P
7	Y	Y	Y	M	M	M	M	M	M	P
8	D	D	D	D	K	K	K	K	K	K
9	D			D	K					K
0	D			D	K	K	K	K	K	K
1	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
2	F	F	F	F						F
3	F									F
4	F									F
5	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Total Cost = 71661,47 Switch Departments: Presler Bölümü Mekanik Test Bölümü (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.10. İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 1)

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi; birinci iterasyonda presler bölümü ile mekanik test bölümünün yerleri değiştirilmiş, başlangıç yerleşim düzeninde 111 558,60 olarak hesaplanan toplam malzeme akış maliyeti bu iterasyonun sonunda yaklaşık % 35,76'lık bir azalma ile 71 661,47'ye düşmüştür.

5. Layout After Iteration 2 for yerlesim										
r c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	P	P	P
2	Y	Y	Y	P	P	P	P			P
3	Y		Y	P						P
4	Y		Y	P						P
5	Y		Y	P						P
6	Y		Y	P	P	P	P	P	P	P
7	Y	Y	Y	M	M	M	M	M	M	P
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	K	K	K	K	K	K	K	K	F	F
5	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Total Cost =55943,31 Switch Departments: Kaynaklar Bölümü F (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.11. İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 2)

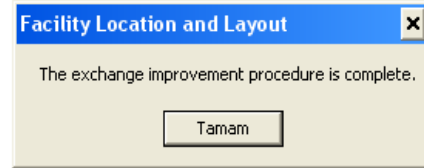
Şekil 4.11'deki gibi, ikinci iterasyonda, kaynaklar bölümü ile finiş bölümünün yerleri değiştirilmiş, birinci iterasyonda 71 661,47 olarak bulunan malzeme akış maliyeti bu iterasyon sonunda % 21,93'lük bir azalma ile 55 943,31'e düşmüştür.

3. Layout After Iteration 3 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	Y	Y	Y
2	P	P	P	Y	Y	Y	Y			Y
3	P		P	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
4	P			P	P	P	P	P	P	Y
5	P									P
6	P			P	P	P	P	P	P	P
7	P	P	P	M	M	M	M	M	M	P
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	K	K	K	K	K	K	K	K	F	F
5	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Total Cost =54909,79 Switch Departments: Presler Bölümü Yan Y (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.12. İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 3)

Üçüncü iterasyonda ise; presler bölümü ile yan imalat bölümü değiştirilmiş, malzeme akış maliyeti 55 943,31'den yaklaşık %1.85 azalarak 54 909,79'a düşmüştür.

Layout After Iteration 3 for yerlesim										
x ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	Y	Y	Y
2	P	P	P	Y	Y	Y	Y			Y
3	P		P	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
4	P			P	P	P	P	P	P	Y
5	P									P
6	P			P	P	P	P	P	P	P
7	P	P	P	M	M	M	M	M	M	P
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	K	K	K	K	K	K	K	K	F	F
5	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Total Cost =54909,79 Switch Departments: Presler Bölümü Yan (Rectilinear Distance)										



Şekil 4.13. İterasyonların Tamamlanması

Şekil 4.13’de gösterildiği gibi, 3 iterasyondan sonra işlem tamamlandı. Üçüncü iterasyondaki yerleşim düzeni, son yerleşim düzeni olarak bulundu. Problemin çözümü sonunda görüldüğü gibi, başlangıçtaki toplam malzeme akış maliyeti 111 558,60’dan 54 909,79’a düşmüştür. Yani, toplam malzeme akış maliyeti yaklaşık %50.78 oranında azalmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi, şehir içi veya atölye içi yollar gibi birbirini dik olarak kesen yol şebekelerinin kullanılmasını gerektiren durumlarda dik doğrusal uzaklıklar kullanılır.

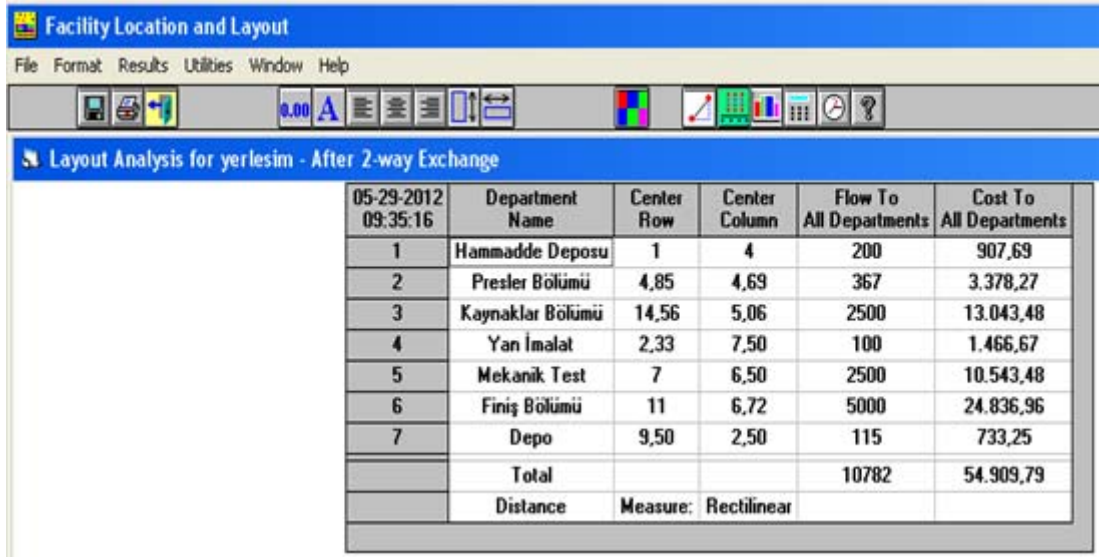
Söz konusu yerleşim probleminin çözümü, bölümler arası dik doğrusal uzaklıklara göre yapıldığı için çözüm sonunda program, iki bölümün değişimi ile bulunan son yerleşim düzenine ait bölümler arası dik doğrusal uzaklıkları bir tablo olarak verir. Bu tablo Şekil 4.14’de verilmiştir.

The screenshot shows the 'Facility Location and Layout' software interface. The main window displays a table titled 'Rectilinear Distances After 2-way Exchange for yerlesim'. The table provides the following data:

05-30-2012 08:51:43	To Hammadde Deposu	To Presler Bölümü	To Kaynaklar Bölümü	To Yan İmalat	To Mekanik Test	To Finiş Bölümü	To Depo	Sub Total
From Hammadde Deposu	0	4,54	14,61	4,83	8,50	12,72	10	55,20
From Presler Bölümü	4,54	0	10,07	5,32	3,96	8,18	6,85	38,92
From Kaynaklar Bölümü	14,61	10,07	0	14,67	9	5,22	7,61	61,18
From Yan İmalat	4,83	5,32	14,67	0	5,67	9,45	12,17	52,10
From Mekanik Test	8,50	3,96	9	5,67	0	4,22	6,50	37,85
From Finiş Bölümü	12,72	8,18	5,22	9,45	4,22	0	5,72	45,50
From Depo	10	6,85	7,61	12,17	6,50	5,72	0	48,84
Sub-Total	55,20	38,92	61,18	52,10	37,85	45,50	48,84	339,59

Şekil 4.14. İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Dik Doğrusal Uzaklıklar

İkili bölüm değişimi ile bulunan son yerleşim düzenine ait analiz tablosu Şekil 4.15’de verilmiştir.



05-29-2012 09:35:16	Department Name	Center Row	Center Column	Flow To All Departments	Cost To All Departments
1	Hammadde Deposu	1	4	200	907,69
2	Presler Bölümü	4,85	4,69	367	3.378,27
3	Kaynaklar Bölümü	14,56	5,06	2500	13.043,48
4	Yan İmalat	2,33	7,50	100	1.466,67
5	Mekanik Test	7	6,50	2500	10.543,48
6	Finiş Bölümü	11	6,72	5000	24.836,96
7	Depo	9,50	2,50	115	733,25
	Total			10782	54.909,79
	Distance	Measure: Rectilinear			

Şekil 4.15. İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Analiz Tablosu

Yukarıdaki analiz tablosunda “Center Row” ve “Center Column” sütunları, her bir bölümün yerinin ağırlık merkezini veren satır ve sütun sayılarını gösterir. Örneğin; hammadde deposunun merkez noktası, 1. satır ile 4. sütunun birleştiği yerdedir. Bölümlere ait yerlerin bu tablodaki değerleri, son yerleşim düzeni şemasından kontrol edilebilir ve daha net görülebilir.

Analiz tablosundaki “Flow To All Departments” sütunundaki her bir değer, kendisine karşılık gelen bölümden diğer bölümlere akış yapan toplam malzeme miktarını verir. Örneğin; gezi şemasına bakılırsa, presler bölümünden kaynaklar bölümüne 300 kasa, yan imalat bölümüne ise 67 kasa kadar bir malzeme akışı bulunmaktadır. Yani presler bölümünden, diğer bölümlere akış yapan malzeme miktarı 367 kasadır.

Son olarak “Cost To All Departments” sütunundaki her bir değer, kendisine karşılık gelen bölümden diğer bölümlere olan toplam malzeme akış maliyetini verir. Bu maliyetler, söz konusu bölüm ile malzeme akışı olan her bir bölümün arasındaki malzeme akış miktarı, uzaklık ve birim malzeme akış maliyetinin çarpılmasıyla elde edilir. Örnek olarak yan imalat bölümü ele alınmış olsun. Yan imalattan sadece kaynaklar bölümüne bir malzeme akışı söz konusudur. Bu iki bölüm arasındaki toplam

malzeme akış miktarı 100 kasa, son yerleşim düzenine ait uzaklık tablosundan görüldüğü gibi birbirlerine olan dik doğrusal uzaklık ise yaklaşık 14,6667 birim uzaktır. Buradan yan imalat için toplam malzeme akış maliyeti $100 \times 14,6667 = 14666,67$ birim maliyettir. Son yerleşim düzenine ait uzaklık tablosunda bu iki bölüm arasındaki birim uzaklığın 14,67 olarak gösterilmesinin nedeni, virgülden sonra sadece iki hanenin verilmesidir. Bu yüzden, 14,6667 sayısı 14,67'ye yuvarlanmıştır. Diğer bölümler arasındaki uzaklıklar içinde aynı geçerlidir.

Her bölüm için yukarıda anlatıldığı gibi malzeme akış maliyetleri bulunur ve tüm bu maliyetlerin toplanmasıyla yerleşim düzenine ait toplam malzeme akış maliyeti bulunmuş olur. WINQSB paket programının bu maliyeti hesaplamasında kullandığı genel formül aşağıda verilmiştir:

$$\text{Toplam malzeme akış maliyeti} = \sum_{i,j=1}^n C_{ij} \times W_{ij} \times D_{ij}$$

n: Mevcut bölüm sayısı

i,j: Bölümler (1,2,...,n)

C_{ij} : i bölümü ile j bölümü arasındaki birim malzeme akış maliyeti

W_{ij} : i bölümü ile j bölümü arasındaki malzeme akış miktarı

D_{ij} : i bölümü ile j bölümü arasındaki uzaklık

4.5.5. Üç bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme

Bu seçenek için problem çözüldüğünde, 3 iterasyon sonunda yerleşim düzeni bulunmuştur. Tüm iterasyonlar ve sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

5. Layout After Iteration 1 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	K	K	K	P	P	P	P	M	M	M
3	K		K	P				P	P	P
4	K		K	P						P
5	K		K	P						P
6	K		K	P						P
7	K	K	K	P	P	P	P	P	P	P
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	F	F
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost = 106810,00 Switch Departments: Kaynaklar Bölümü Y (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.16. Üç Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 1)

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi kaynaklar, yan imalat ve finiş bölümlerinin yerleri değişmiş ve başlangıç yerleşime ait toplam malzeme akış maliyeti olan 111 558,60 yaklaşık % 4,25 azalarak 106 810'a düşmüştür.

5. Layout After Iteration 2 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	P	P	P	P	P	P	P	M	M	M
3	P							P	P	P
4	P						P	P	P	P
5	P			P	P	P	Y	Y	Y	Y
6	P		P	Y	Y	Y				Y
7	P	P	P	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	K	K	K	K	K	K	K	K	F	F
5	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Total Cost =92450,36 Switch Departments: Presler Bölümü Kayn (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.17. Üç Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 2)

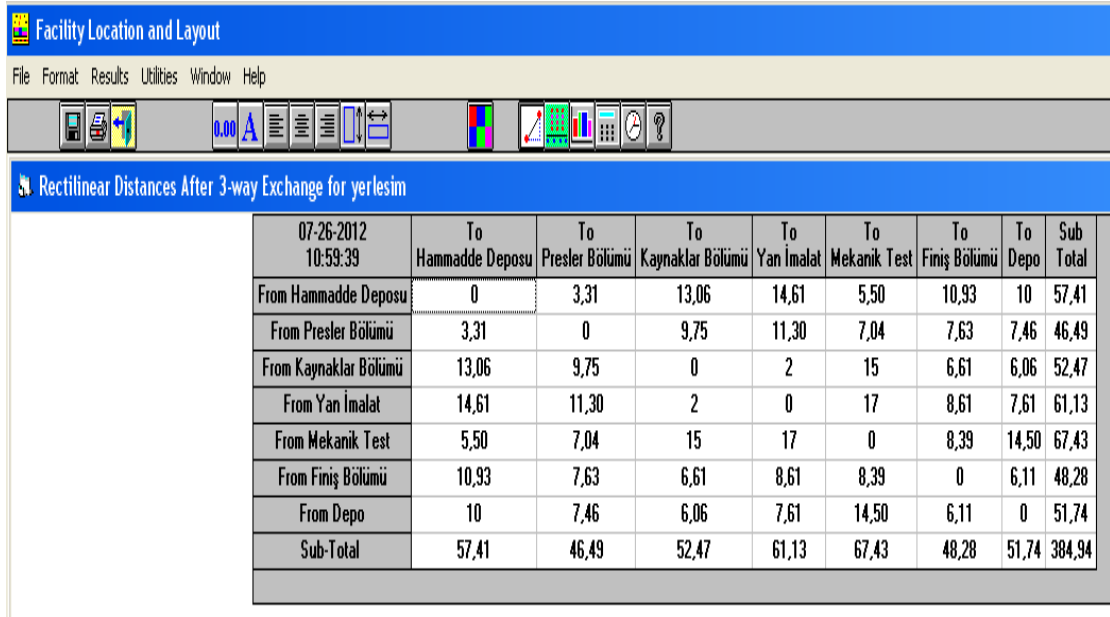
Şekil 4.17’de görüldüğü gibi, birinci iterasyonda bulunan 106 810’luk maliyet yaklaşık %13,44’lük bir azalma sağlanarak bu iterasyonda 92 450,36’ya düşmüştür. Bu iterasyonda presler, kaynaklar ve yan imalat bölümlerinin yerleri değişmiştir.

Layout After Iteration 3 for yerlesim										
r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	P	P	P	P	P	P	P	M	M	M
3	P							P	P	P
4	P						P	P	P	P
5	P			P	P	P	F	F	F	F
6	P		P	F	F	F				F
7	P	P	P	F						F
8	D	D	D	D	F					F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F	F				F
2	K	K	K	K	K	K	F	F	F	F
3	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	K	K
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost = 78993,60 Switch Departments: Kaynaklar Bölümü Y (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.18. Üç Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 3)

Üçüncü iterasyonun sonunda kaynaklar, yan imalat ve finiş bölümlerinin yerleri değişmiş ve 92 450,36 olan toplam taşıma maliyeti %14,55'lik bir azalma ile 78 993,60 olmuştur. Bu son iterasyon olduğu için, üç bölüm değişimine göre son yerleşim düzeni Şekil 4.18'deki gibidir. Tüm bu sonuçlara göre başlangıç yerleşimine ait 111 558,6'lık toplam taşıma maliyeti % 29.19 azalarak 78 993,60'a düşmüştür.

Üç bölüm değişimine göre bulunan son yerleşim düzenine ait uzaklık ve analiz tabloları aşağıda verilmiştir. Bu tablolara ilgili benzer açıklamalar bir önceki başlıkta ayrıntılı olarak verildiği için burada ayrıca değinilmeyecektir.



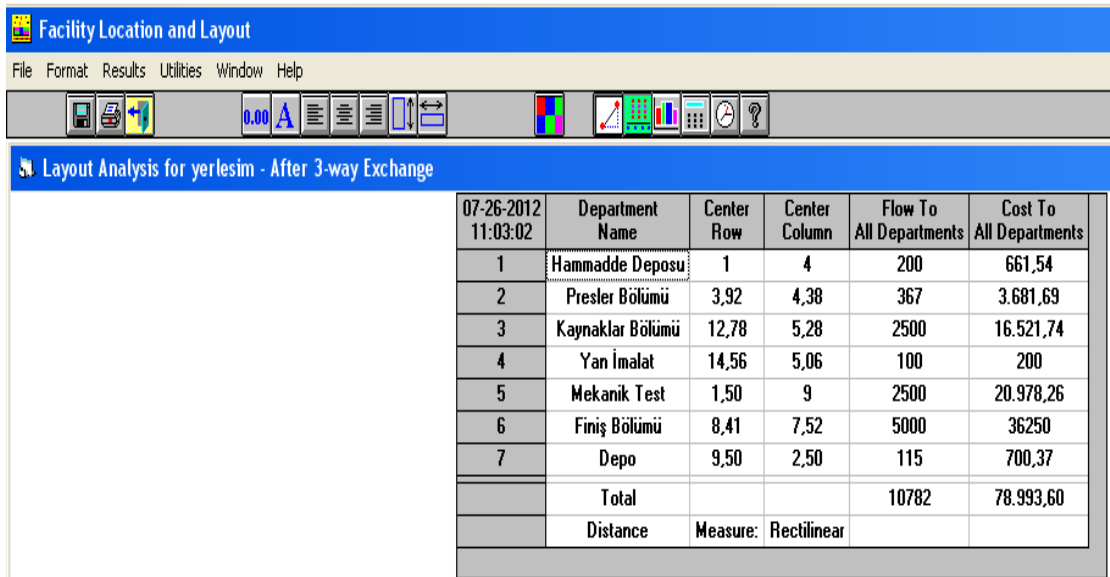
Facility Location and Layout

File Format Results Utilities Window Help

Rectilinear Distances After 3-way Exchange for yerlesim

07-26-2012 10:59:39	To Hammadde Deposu	To Presler Bölümü	To Kaynaklar Bölümü	To Yan İmalat	To Mekanik Test	To Finiş Bölümü	To Depo	Sub Total
From Hammadde Deposu	0	3,31	13,06	14,61	5,50	10,93	10	57,41
From Presler Bölümü	3,31	0	9,75	11,30	7,04	7,63	7,46	46,49
From Kaynaklar Bölümü	13,06	9,75	0	2	15	6,61	6,06	52,47
From Yan İmalat	14,61	11,30	2	0	17	8,61	7,61	61,13
From Mekanik Test	5,50	7,04	15	17	0	8,39	14,50	67,43
From Finiş Bölümü	10,93	7,63	6,61	8,61	8,39	0	6,11	48,28
From Depo	10	7,46	6,06	7,61	14,50	6,11	0	51,74
Sub-Total	57,41	46,49	52,47	61,13	67,43	48,28	51,74	384,94

Şekil 4.19. Üç Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Dik Doğrusal Uzaklıklar



Facility Location and Layout

File Format Results Utilities Window Help

Layout Analysis for yerlesim - After 3-way Exchange

07-26-2012 11:03:02	Department Name	Center Row	Center Column	Flow To All Departments	Cost To All Departments
1	Hammadde Deposu	1	4	200	661,54
2	Presler Bölümü	3,92	4,38	367	3.681,69
3	Kaynaklar Bölümü	12,78	5,28	2500	16.521,74
4	Yan İmalat	14,56	5,06	100	200
5	Mekanik Test	1,50	9	2500	20.978,26
6	Finiş Bölümü	8,41	7,52	5000	36250
7	Depo	9,50	2,50	115	700,37
	Total			10782	78.993,60
	Distance	Measure:	Rectilinear		

Şekil 4.20. Üç Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Analiz Tablosu

4.5.6. İki bölümden sonra üç bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme

Bu seçeneğe göre çözüm yapıldığında, iki bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştiren seçenekle aynı iterasyon ve sonuçlara ulaşılmıştır. Yani başlangıç toplam malzeme akış maliyeti bu çözüm için de, %50,78 azalarak 54 909,79 olarak bulunmuştur.

4.5.7. Üç bölümden sonra iki bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme

Bu seçeneğe göre çözüm yapıldığında, 6 iterasyon sonunda optimum çözüme ulaşılmıştır. İterasyonlar ve sonuç tabloları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

5. Layout After Iteration 1 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	K	K	K	P	P	P	P	M	M	M
3	K		K	P				P	P	P
4	K		K	P						P
5	K		K	P						P
6	K		K	P						P
7	K	K	K	P	P	P	P	P	P	P
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	F	F
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost = 106810,00 Switch Departments: Kaynaklar Bölümü Y (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.21. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 1)

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi birinci iterasyonda kaynaklar, yan imalat ve finiş bölümlerinin yerleri değişmiş; 111 558,6 olan başlangıç toplam taşıma maliyeti % 4.25 azalarak 106 809,95 olmuştur.

5. Layout After Iteration 2 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	P	P	P	P	P	P	P	M	M	M
3	P							P	P	P
4	P						P	P	P	P
5	P			P	P	P	Y	Y	Y	Y
6	P		P	Y	Y	Y				Y
7	P	P	P	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F					F
2	F	F	F	F						F
3	F	F	F	F	F	F	F	F		F
4	K	K	K	K	K	K	K	K	F	F
5	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Total Cost =92450,36 Switch Departments: Presler Bölümü Kaynakları (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.22. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 2)

İkinci iterasyondan sonra, bir önceki iterasyona ait 106 809,95'lik taşıma maliyeti %13,45 azalarak 92 450,36'ya düşmüştür. Yerleri değişen bölümler; presler, kaynaklar ve yan imalat bölümleridir.

Layout After Iteration 3 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M
2	P	P	P	P	P	P	P	M	M	M
3	P							P	P	P
4	P						P	P	P	P
5	P			P	P	P	F	F	F	F
6	P		P	F	F	F				F
7	P	P	P	F						F
8	D	D	D	D	F					F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F	F				F
2	K	K	K	K	K	K	F	F	F	F
3	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	K	K
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost =78.993,60										
Switch Departments: Kaynaklar Bölümü Y										
(Rectilinear Distance)										

Şekil 4.23. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 3)

Şekil 4.23’de görüldüğü gibi, ikinci iterasyonda bulunan 92 450,36’lık toplam malzeme taşıma maliyeti %14,55 azalarak 78 993,6 olmuştur ve kaynaklar, yan imalat ve finiş bölümlerinin yerleri değişmiştir.

4. Layout After Iteration 4 for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	P	P	P
2	P	P	P	P	P	P	P			P
3	P									P
4	P						P	P	P	P
5	P	P	P	P	P	P	F	F	F	F
6	M	M	M	F	F	F				F
7	M	M	M	F						F
8	D	D	D	D	F					F
9	D			D	F					F
0	D			D	F					F
1	D	D	D	D	F	F				F
2	K	K	K	K	K	K	F	F	F	F
3	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	K	K
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost =74.324,27 Switch Departments: Presler Bölümü Meka (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.24. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 4)

Şekil 4.24'de görüldüğü gibi, üçüncü iterasyonda bulunan 78 993,6'lık toplam malzeme taşıma maliyeti %5,91 azalarak 74 324,27 olmuştur. Bu iterasyonda presler ve mekanik test bölümlerinin yerleri değişmiştir.

5. Layout After Iteration 5 for yerlesim										
r^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	P	P	P
2	P	P	P	P	P	P	P			P
3	P									P
4	P						P	P	P	P
5	P	P	P	P	P	P	F	F	F	F
6	F	F	F	F	F	F				F
7	F	F	F	F						F
8	D	D	D	D	F					F
9	D			D	F					F
0	D			D	F				F	F
1	D	D	D	D	F	F	F	F	M	M
2	K	K	K	K	K	K	M	M	M	M
3	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	K	K
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost = 66699,27 Switch Departments: Mekanik Test Finiş B (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.25. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 5)

Şekil 4.25’de görüldüğü gibi, dördüncü iterasyonda bulunan 74 324,27’lik toplam malzeme taşıma maliyeti beşinci iterasyonda % 10,25 azalarak 66 699,27 olmuştur. Bu iterasyonda mekanik test ve finiş bölümlerinin yerleri değişmiştir.

Layout After Iteration 6 for yerlesim										
r \ c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	P	P	P
2	P	P	P	P	P	P	P			P
3	P									P
4	P						P	P	P	P
5	P	P	P	P	P	P	K	K	K	K
6	K	K	K	K	K	K				K
7	F	F	F	F	F	F	K	K	K	K
8	D	D	D	D	F		F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F				F	F
1	D	D	D	D	F		F	F	M	M
2	F	F	F	F		F	M	M	M	M
3	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	F	F
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost =48931,86 Switch Departments: Kaynaklar Bölümü F (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.26. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme (İterasyon 6)

Şekil 4.26'da görüldüğü gibi kaynaklar ve finiş bölümlerinin yerleri değişmiş, beşinci iterasyonda bulunan 66 699,27'lik toplam malzeme taşıma maliyeti altıncı iterasyonda % 26.63 azalarak 48 931,86 olmuştur. Başlangıç yerleşimin toplam malzeme taşıma maliyeti olan 111 558,6 değeri, bu çözüm sonunda 48 931,86'a düşerek % 56,14'lük bir azalma sağlanmıştır.

Üç bölüm değişiminden sonra iki bölüm değiştirerek bulunan son yerleşim düzenine ait uzaklık ve analiz tablosu aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Facility Location and Layout

File Format Results Utilities Window Help

Rectilinear Distances After 3- then 2-way Exchange for yerlesim

07-26-2012 11:16:38	To Hammadde Deposu	To Presler Bölümü	To Kaynaklar Bölümü	To Yan İmalat	To Mekanik Test	To Finiş Bölümü	To Depo	Sub Total
From Hammadde Deposu	0	3,62	7,83	14,61	15,50	11,41	10	62,97
From Presler Bölümü	3,62	0	4,22	11,81	11,88	7,80	9,31	48,63
From Kaynaklar Bölümü	7,83	4,22	0	10,33	7,67	5,20	7,83	43,09
From Yan İmalat	14,61	11,81	10,33	0	6,67	5,13	7,61	56,16
From Mekanik Test	15,50	11,88	7,67	6,67	0	4,09	8,50	54,30
From Finiş Bölümü	11,41	7,80	5,20	5,13	4,09	0	4,41	38,04
From Depo	10	9,31	7,83	7,61	8,50	4,41	0	47,67
Sub-Total	62,97	48,63	43,09	56,16	54,30	38,04	47,67	350,87

Şekil 4.27. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Dik Doğrusal Uzaklıklar

Facility Location and Layout

File Format Results Utilities Window Help

Layout Analysis for yerlesim - After 3- then 2-way Exchange

07-26-2012 11:17:11	Department Name	Center Row	Center Column	Flow To All Departments	Cost To All Departments
1	Hammadde Deposu	1	4	200	723,08
2	Presler Bölümü	3,15	5,46	367	2.056,50
3	Kaynaklar Bölümü	6	6,83	2500	13.007,25
4	Yan İmalat	14,56	5,06	100	1.033,33
5	Mekanik Test	11,67	8,83	2500	10.217,39
6	Finiş Bölümü	10,39	6,02	5000	21250
7	Depo	9,50	2,50	115	644,31
	Total			10782	48.931,86
	Distance	Measure:	Rectilinear		

Şekil 4.28. Üç Bölümden Sonra İki Bölüm Değiştirerek Bulunan Son Yerleşim Düzenine Ait Analiz Tablosu

4.5.8. WINQSB çözümüne göre yerleşim düzeni şeması

Tüm çözüm seçeneklerine ait sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. WINQSB Çözüm Seçeneklerinin Karşılaştırılması

	Başlangıç Yerleşimin Toplam Malzeme Taşıma Maliyeti	Son Yerleşimin Toplam Malzeme Taşıma Maliyeti	İterasyon Sayısı	Toplam Malzeme Taşıma Maliyetindeki Azalma (%)
2 Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme	111 558,60	54 909,79	3	50,78
3 Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme	111 558,60	78 993,60	3	29,19
2 Bölümden Sonra 3 Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme	111 558,60	54 909,79	3	50,78
3 Bölümden Sonra 2 Bölüm Değiştirerek Yerleşim Düzeni Geliştirme	111 558,60	48 931,86	6	56,14

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, başlangıç yerleşimin toplam malzeme taşıma maliyetinde en fazla azalma (%56,14) son seçenek olan “3 bölümden sonra 2 bölüm değiştirerek yerleşim düzeni geliştirme” de sağlanmıştır. Bu yüzden en düşük maliyete sahip olan bu çözümün sonunda elde edilmiş son yerleşim düzeni, WINQSB çözümü için yerleşim düzeni kabul edilir. Son yerleşim düzeni Şekil 4.29’da gösterilmiştir.

Final Layout After 6 Iterations for yerlesim										
r ^c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	H	H	H	H	H	H	H	P	P	P
2	P	P	P	P	P	P	P			P
3	P									P
4	P						P	P	P	P
5	P	P	P	P	P	P	K	K	K	K
6	K	K	K	K	K	K				K
7	F	F	F	F	F	F	K	K	K	K
8	D	D	D	D	F		F	F	F	F
9	D			D	F					F
0	D			D	F				F	F
1	D	D	D	D	F		F	F	M	M
2	F	F	F	F		F	M	M	M	M
3	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	F	F
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Total Cost =48.931,86 (Rectilinear Distance)										

Şekil 4.29. WINQSB Çözümüne Göre Yerleşim Düzeni Şeması

4.6. Yerleşim Probleminin Doğrusal Programlama İle Modellenmesi ve GAMS' de Çözümü

Doğrusal programlamanın yapısı; amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı fonksiyonlar, değişkenlerin negatif olmama koşullarından oluşur. Doğrusal programlama formülasyonu genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Max. veya Min. } Z = \sum C_j x X_i$$

Kısıtlar:

$$\sum a_{ij} x X_j (\leq = \geq) b_i \quad i= 1,2,\dots,n$$

$$X_i \geq 0 \quad i= 1,2,\dots,n$$

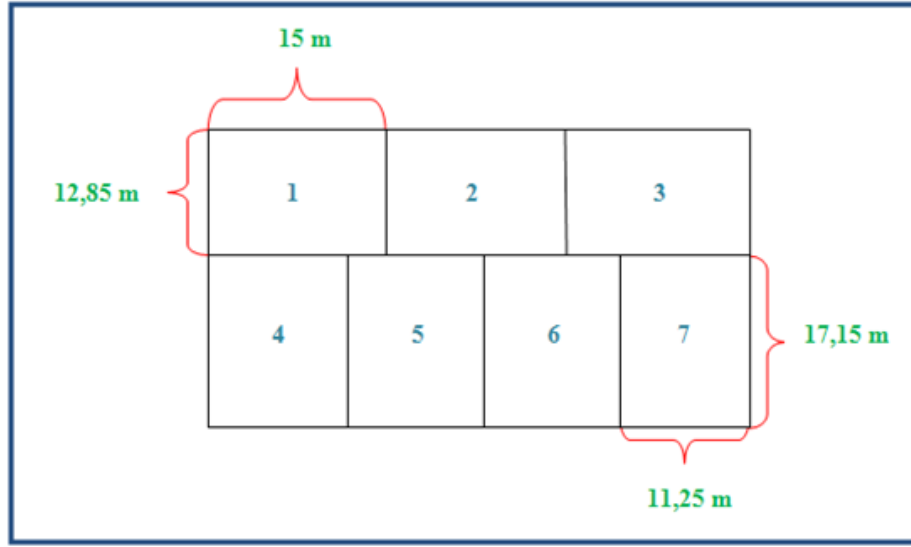
Bu çalışmada; yerleşim probleminin modellenmesi için tüm değişkenleri 0 ya da 1 olan, 0-1 tamsayı doğrusal programlama tekniği olarak KAP modeli kullanılmıştır.

4.6.1. Problemin KAP modelinin kurulması

Söz konusu model, yerleşim problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan ve bir 0-1 tamsayı doğrusal programlama modeli olan kareli atama problemi (KAP) formülasyonu ile kurulmuştur. KAP formülasyonu ile ilgili daha önceden bilgi verildiği için burada ayrıca değinilmeyecektir.

Bu formülasyonun kullanılması için bazı varsayımlar kabul edilmiştir. Bu varsayımlar şunlardır:

- Bölümlerin yerleştirileceği toplam alan (1350 m²), Şekil 4.17'deki gibi yaklaşık 192,8 m²'lik 7 eşit alandan oluşmuştur.



Şekil 4.30. 7 Eşit Alana Bölünmüş Toplam Yerleşim Alanı

- Fabrikanın başlangıç bir yerleşiminin olmadığı kabul edilecektir. Yani yeni bir fabrika kuruluyormuş gibi varsayılarak, söz konusu 7 bölüm (hammadde deposu, presler, kaynaklar, yan imalat, mekanik test, finiş, depo) yukarıdaki şekilde verilen 7 eşit alana, toplam malzeme akış mesafesini minimum yapacak şekilde yerleştirilecektir.
- Şekil 4.30'da gösterilen 7 eşit alan arasındaki uzaklıklar, dik doğrusal uzaklık olarak hesaplanacaktır. Bu uzaklıklar, alanların ağırlık merkezleri arasındaki dik doğrusal uzaklıklardır. Hesaplanan uzaklıklar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Alanlar Arası Dik Doğrusal Uzaklıklar (metre)

Alanlar	1	2	3	4	5	6	7
1	-	15	30	16,875	28,125	39,375	50,625
2	15	-	15	31,875	32,675	32,675	31,875
3	30	15	-	46,875	37,5	20,625	16,875
4	16,875	31,875	46,875	-	15	22,5	30
5	28,125	32,675	37,5	15	-	15	22,5
6	39,375	32,675	20,625	22,5	15	-	15
7	50,625	31,875	16,875	30	22,5	15	-

- Bölümler arası malzeme akış miktarları daha önce hesaplanmış ve gezi şeması oluşturulmuştur. GAMS'deki çözümde de malzeme akış miktarlarını gösteren tablo olarak, yine bu şema kullanılacaktır.

GAMS' de kodlanacak KAP formülasyonu aşağıdaki gibidir:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^k \sum_{n=1}^k f_{im} \cdot d_{jn} \cdot X_{ij} \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^k X_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^k X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4.3)$$

$$X_{ij} \in \{1, 0\} \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (4.4)$$

İndisler:

i, m : Yerleştirilmesi yapılacak bölümler

j, n : Bölümlerin yerleştirileceği alanlar

k : Bölüm ve alanların sayısı

f_{im} : Bölümler arası malzeme akış miktarı

d_{jn} : Alanlar arası uzaklık

(4.1) numaralı eşitlik, toplam malzeme akış mesafesini minimum yapan amaç fonksiyonunu ifade eder. (4.2) numaralı eşitlik, her alana yalnızca bir bölümün yerleştirilmesini sağlayan kısıttır. (4.3) numaralı eşitlik, her bölümün yalnızca bir alana yerleştirilmesini sağlayan kısıttır. Son olarak (4.4) numaralı eşitlik ise; i bölümü j alanına atanırsa 1, atanmazsa 0 değerini alacak X değişkenlerini ifade eder.

4.6.2. KAP modelinin GAMS'de kodlanması

Bir önceki başlıkta verilen bilgilere göre, yerleşim probleminin GAMS'de kodlanması Şekil 4.31'de gösterilmiştir.

```

sets
i "bölüm1" /hd,p,k,yi,mt,f,d/
j "alan1" /1*7/
m "bölüm2" /hd,p,k,yi,mt,f,d/
n "alan2" /1*7/;
table malzeme_ak(i,m)
      hd  p   k   yi  mt  f   d
hd  0  200  0  0  0  0  0
p   0  0   300 67  0  0  0
k   0  0   0  0  0  2500 0
yi  0  0   100 0  0  0  0
mt  0  0   0  0  0  2500 0
f   0  0   0  0  2500 0  2500
d   0  0   40 0  0  75  0 ;

table mesafe(j,n)
      1    2    3    4    5    6    7
1  0    15   30   16.875  28.125  39.375  50.625
2  15   0    15   31.875  32.675  32.675  31.875
3  30   15   0    46.875  37.5   20.625  16.875
4  16.875  31.875  46.875  0    15    22.5   30
5  28.125  32.675  37.5   15   0    15    22.5
6  39.375  32.675  20.625  22.5  15   0    15
7  50.625  31.875  16.875  30   22.5  15   0 ;

variables
x(i,j)
z;
binary variables x;
equations
min
bolum(i)
alan(j);
min.. z=e=sum((i,j,m,n),malzeme_ak(i,m)*mesafe(j,n)*x(i,j));
bolum(i).. sum(j,x(i,j))=e=1;
alan(j).. sum(i,x(i,j))=e=1;

Model yerlesim /all/;
Solve yerlesim using mip minimizing z;

```

Şekil 4.31. KAP Modelinin GAMS'deki Kodlaması

Şekil 4.31'e görüldüğü gibi; kodlamanın başında, kullanılacak indisler tanımlanmıştır. Hemen sonrasında bölümler arası malzeme akış miktarları “malzeme_ak(i,m)”, alanlar arası dik doğrusal uzaklıklar ise “mesafe(j,n)” olarak bir tablo şeklinde veri girişleri yapılmıştır. Modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları ise “equations” kısmında aynen kodlanmıştır. Amaç fonksiyonu minimum yapılmak istendiği için en sondaki çözüm satırı, “.....minimizing z” olarak yazılmıştır. Çözüm satırında görünen “mip” ifadesi, modelin karışık tamsayılı program olarak çözüleceğini gösterir. Çünkü 0-1 tamsayılı programlama, aynı zamanda bir karışık tamsayılı programlama çeşididir.

4.6.3. KAP modelinin GAMS'deki çözüm çıktıları

Model kodlandıktan sonra F9 tuşu ile çözüm yapılır. Çözüm çıktıları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir:

```

---- min   =E=
min..  - 36000*x(hd,1) - 31820*x(hd,2) - 33375*x(hd,3) - 32625*x(hd,4)
        - 30160*x(hd,5) - 29035*x(hd,6) - 33375*x(hd,7) - 66060*x(p,1)
        - 58389.7*x(p,2) - 61243.125*x(p,3) - 59866.875*x(p,4) - 55343.6*x(p,5)
        - 53279.225*x(p,6) - 61243.125*x(p,7) - 450000*x(k,1) - 397750*x(k,2)
        - 417187.5*x(k,3) - 407812.5*x(k,4) - 377000*x(k,5) - 362937.5*x(k,6)
        - 417187.5*x(k,7) - 18000*x(y1,1) - 15910*x(y1,2) - 16687.5*x(y1,3)
        - 16312.5*x(y1,4) - 15080*x(y1,5) - 14517.5*x(y1,6) - 16687.5*x(y1,7)
        - 450000*x(mt,1) - 397750*x(mt,2) - 417187.5*x(mt,3) - 407812.5*x(mt,4)
        - 377000*x(mt,5) - 362937.5*x(mt,6) - 417187.5*x(mt,7) - 900000*x(f,1)
        - 795500*x(f,2) - 834375*x(f,3) - 815625*x(f,4) - 754000*x(f,5)
        - 725875*x(f,6) - 834375*x(f,7) - 20700*x(d,1) - 18296.5*x(d,2)
        - 19190.625*x(d,3) - 18759.375*x(d,4) - 17342*x(d,5) - 16695.125*x(d,6)
        - 19190.625*x(d,7) + z =E= 0 ; (LHS = 0)

```

Şekil 4.32. KAP Modelinin Çözüm Çıktısındaki Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonundaki X_{ij} değişkenlerinin katsayılarının hesaplanması şu örnekle açıklanabilir: $X(p,2)$ ele alınmış olsun. Bu değişken, presler bölümünün 2. alana

atanmasını ifade eder. $X(p,2)$ 'nin amaç fonksiyonundaki katsayısı 58 389,7'dir. Bu katsayı; presler bölümünden hangi bölümlere malzeme akışı varsa (kaynaklar ve yan imalat), onların malzeme akış miktarları ile 2. alanın diğer alanlarla olan uzaklığının çarpılmasıyla elde edilen sayıların toplamıyla bulunur. Yani $X(p,2)$ için katsayı hesaplamasında aşağıdaki formül yazılabilir. Bu formül her bir değişken için farklı olur.

```

---- bolum =E=

bolum(hd).. x(hd,1) + x(hd,2) + x(hd,3) + x(hd,4) + x(hd,5) + x(hd,6) + x(hd,7)
           =E= 1 ; (LHS = 0, INFES = 1 ***)

bolum(p).. x(p,1) + x(p,2) + x(p,3) + x(p,4) + x(p,5) + x(p,6) + x(p,7) =E= 1 ;
           (LHS = 0, INFES = 1 ***)

bolum(k).. x(k,1) + x(k,2) + x(k,3) + x(k,4) + x(k,5) + x(k,6) + x(k,7) =E= 1 ;
           (LHS = 0, INFES = 1 ***)

REMAINING 4 ENTRIES SKIPPED

---- alan =E=

alan(1).. x(hd,1) + x(p,1) + x(k,1) + x(yi,1) + x(mt,1) + x(f,1) + x(d,1) =E= 1
           ; (LHS = 0, INFES = 1 ***)

alan(2).. x(hd,2) + x(p,2) + x(k,2) + x(yi,2) + x(mt,2) + x(f,2) + x(d,2) =E= 1
           ; (LHS = 0, INFES = 1 ***)

alan(3).. x(hd,3) + x(p,3) + x(k,3) + x(yi,3) + x(mt,3) + x(f,3) + x(d,3) =E= 1
           ; (LHS = 0, INFES = 1 ***)

REMAINING 4 ENTRIES SKIPPED

```

Şekil 4.33. KAP Modelinin Çözüm Çıktısındaki Kısıtları

Şekil 4.33'de modelin kısıtları görülmektedir. bolum(i) eşitlikleri, her bir bölümün yalnızca bir alana yerleştirilmesini sağlayan kısıtlardır. alan(j) eşitlikleri ise, her bir alana yalnızca bir bölümün yerleştirilebileceğini gösteren kısıtlardır. Bu eşitliklerde sadece bir X_{ij} değişkeni 1, diğerleri 0 değerini alacağı için toplam da 1'e eşit olur.


```

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   yerlesim          OBJECTIVE  z
TYPE    MIP                DIRECTION MINIMIZE
SOLVER  CPLEX              FROM LINE 39

**** SOLVER STATUS      1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE    1631057.5000

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.093      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    21          10000

GAMS/Cplex   Jun  1, 2007 WIN.CP.NA 22.5 034.037.041.VIS For Cplex 10.2
Cplex 10.2.0, GAMS Link 34

Proven optimal solution.

MIP Solution:      1631057.500000      (21 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      1631057.500000      (0 iterations)

Best possible:    1631057.500000
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000

```

Şekil 4.34. GAMS Çözümünün Özeti

Şekil 4.34'de görüldüğü gibi, amaç fonksiyonunun optimum değeri 21 iterasyondan sonra 1 631 057,5 olarak bulunmuştur.

---- VAR x				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
hd.1	.	.	1.000	36000.000
hd.2	.	.	1.000	31820.000
hd.3	.	1.000	1.000	33375.000
hd.4	.	.	1.000	32625.000
hd.5	.	.	1.000	30160.000
hd.6	.	.	1.000	29035.000
hd.7	.	.	1.000	33375.000
p .1	.	.	1.000	66060.000
p .2	.	.	1.000	58389.700
p .3	.	.	1.000	61243.125
p .4	.	1.000	1.000	59866.875
p .5	.	.	1.000	55343.600
p .6	.	.	1.000	53279.225
p .7	.	.	1.000	61243.125
k .1	.	.	1.000	4.5000E+5
k .2	.	1.000	1.000	3.9775E+5
k .3	.	.	1.000	4.1719E+5
k .4	.	.	1.000	4.0781E+5
k .5	.	.	1.000	3.7700E+5
k .6	.	.	1.000	3.6294E+5
k .7	.	.	1.000	4.1719E+5
yi.1	.	1.000	1.000	18000.000
yi.2	.	.	1.000	15910.000
yi.3	.	.	1.000	16687.500
yi.4	.	.	1.000	16312.500
yi.5	.	.	1.000	15080.000
yi.6	.	.	1.000	14517.500
yi.7	.	.	1.000	16687.500
mt.1	.	.	1.000	4.5000E+5
mt.2	.	.	1.000	3.9775E+5
mt.3	.	.	1.000	4.1719E+5
mt.4	.	.	1.000	4.0781E+5
mt.5	.	1.000	1.000	3.7700E+5
mt.6	.	.	1.000	3.6294E+5
mt.7	.	.	1.000	4.1719E+5
f .1	.	.	1.000	9.0000E+5
f .2	.	.	1.000	7.9550E+5
f .3	.	.	1.000	8.3437E+5
f .4	.	.	1.000	8.1562E+5
f .5	.	.	1.000	7.5400E+5
f .6	.	1.000	1.000	7.2588E+5
f .7	.	.	1.000	8.3437E+5
d .1	.	.	1.000	20700.000
d .2	.	.	1.000	18296.500
d .3	.	.	1.000	19190.625
d .4	.	.	1.000	18759.375
d .5	.	.	1.000	17342.000
d .6	.	.	1.000	16695.125
d .7	.	1.000	1.000	19190.625

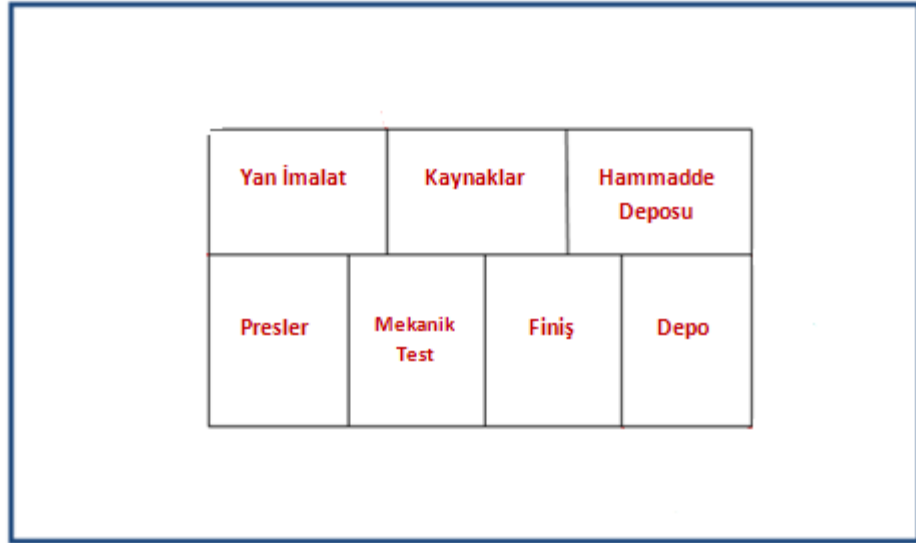
Şekil 4.35. X_{ij} Değişkenlerinin Aldığı Değerler ve Katsayıları

Şekil 4.35’de; LEVEL sütunu her bir X_{ij} değişkeninin değerini, MARGINAL sütunu ise bu değişkenlerin amaç fonksiyonundaki katsayılarını gösterir. Değeri 1 olan X_{ij} ’ler, i bölümünün j alanına yerleştirildiğini gösterir.

4.6.4. GAMS çözümüne göre yerleşim düzeni şeması

$X_{(hd,3)}$, $X_{(p,4)}$, $X_{(k,2)}$, $X_{(yi,1)}$, $X_{(mt,5)}$, $X_{(f,6)}$, $X_{(d,7)}$ değişkenleri 1 değerini aldığına göre; hammadde deposu 3. alana, presler bölümü 4. alana, kaynaklar bölümü 2. alana, yan imalat bölümü 1. alana, mekanik test bölümü 5. alana, finiş bölümü 6. alana, depo ise 7. alana yerleştirilir.

Şekil 4.36’da problemin GAMS çözümüne göre yerleşim düzeni verilmiştir.



Şekil 4.36. GAMS Çözümüne Göre Yerleşim Düzeni

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Fabrika düzenlemesi çalışmaları, işletmelerin maliyetlerini büyük oranda düşürecek önemli çalışmalardır. Bundan dolayı bu konu, literatürde de geniş bir yere sahiptir. Tesis yerleşim problemlerinin çoğu NP-Zor problemlerdir ve tesis sayısı arttıkça çözüm zamanı da üstel olarak artmaktadır. Küçük boyutlu problemlerde tamsayılı doğrusal programlama avantajlı olmasına rağmen, büyük boyutlu problemlerde bu yöntem dezavantaja dönüşebilir.

Yapılan bu tez çalışmasında, 7 bölümden oluşan bir tüp imalat fabrikası için iki farklı yeni yerleşim düzeni alternatifi oluşturulmuştur. Bu alternatifler için WINQSB paket programı ve bir 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli olan KAP formülasyonu kullanılmıştır.

Problemin WINQSB çözümünde, programın istediği tüm veri girişleri eksiksiz yapılmış ve başlangıçtaki gerçek yerleşim düzeni birim karelerle ifade edilerek son yerleşim düzeni oluşturulmuştur. Böyle olması, çözümün gerçek hayatta uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Tüm bunlardan dolayı WINQSB çözümü için ek olarak yapılabilecek herhangi bir işleme gerek yoktur. Fakat gelecek dönemlerde, fabrikaya yeni bölümlerin eklenmesi ya da talebin değişmesi söz konusu olursa yeni düzenleme çalışmalarına da ihtiyaç duyulacaktır.

Problemin KAP ile çözümünde ise, bölüm sayısı az olduğu için çözüm zamanı da birkaç saniye kadar kısa sürmüş ve iyi bir sonuç elde edilmiştir. Fakat, bu çözümde bazı varsayımlar üzerinden gidildiği için gerçek hayatta uygulanabilirliği tartışılabilir.

KAP, bir yerleşimde 20'den fazla bölüm olması durumunda oldukça uzun çözüm zamanı gerektirmektedir. Çünkü, 20 bölüm için 20! kadar çözüm alternatifi denenecektir. Bu nedenle, büyük boyutlu problemlerde tabu arama, tavlama benzetimi,

genetik algoritma gibi sezgisel yöntemler kullanmak daha mantıklı olacaktır. Bu algoritmalarından yararlanarak melez sezgisel algoritmalar geliştirilmesi de düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Aksaraylı, M. ve Altuntaş S., 2009. Malzeme taşıma odaklı planlama için üretim sistemlerindeki tezgah yerleşim düzenlerinin benzetim analizi ile karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 203-214.
- Atamtürk, A., 2009. Hücresel İmalat Sisteminde Hücre ve Yerleşim Tasarımı. Y.Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Atmaca, E., 2002. Grup teknolojisi hücrelerinin tasarımı ve amaç programlama yaklaşımının uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi, 7(2), 285-298.
- Balakrishnan, J. and Cheng H.C., 1998. Dynamic layout algorithms: A state of the art survey. Omega, 26(4), 507-521.
- Balakrishnan, J., Cheng, C.H. and Wang K.F., 2003. FACOPT: A user friendly FACility layout OPTimization system. Computers and Operations Research, 30, 1625-1641.
- Drezner, Z., 1987. A heuristic procedure for the layout of a large number of facilities. Management Science. 33(7), 997-915.
- Duman, C., 2007. Genetik Algoritma ile Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama. Y.Lisans Tezi, YıldızTeknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eryiğit, M., 2000. Fabrika ve İş Yeri Düzenlemesi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bolu.
- Foulds, R.L., 1983. Techniques for facilities layout: Deciding which pairs of activities should be adjacent. Management Science, 29(12), 1414-1426.
- Gülenç, F.İ., 2005. Genetik algoritma ve benzerlik katsayısı yaklaşımlarının uygunluk değer ölçüsü ile karşılaştırılması: Cam kalıp örneği. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 16(2).
- Güven, Y., Kayışoğlu, B., Tanrıtar, E. ve Bayhan, Y., 2004. Tarım alet ve makinaları üreten örnek bir fabrikada hücresel imalat sistemi ile grup teknolojisinin bilgisayar destekli uygulaması. Tarım Bilimleri Dergisi, 10(2), 163-168.
- Karayalçın, İ., 1986. Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı. Çağlayan Kitabevi, 480 s, İstanbul.
- Kaya, G., 2009. Facility layout optimization using simulation in an automotive company. MS Thesis, Dokuz Eylül University Graduate Scholl of Natural and Appied Sciences, İzmir.
- Kobu, B., 1987. Üretim Yönetimi. Beta Yayınevi, 633s, İstanbul.
- Krajewski, L. and Ritzman, L., 1996. Operations Management: Strategy and Analysis, Prentice Hall, 883 p.
- Li, H. and Love, D.E.P., 1998. Site - level facilities layout using genetic algorithms. Journal of Computing in Civil Engineering, 12(4), 227-231.
- Meller, D.R. ve Gau K.Y., 1996. The facility layout problem: recent and emerging

- trends and prespectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 15(5), 351-366.
- Özbay, G., 2006. Ahşap Sandalye Üreten Bir Fabrikanın Teknik ve Ekonomik Fizibilite Çalışması. Y.Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Özdağoğlu, A., 2003. Materyal Aktarma Sistemlerinin Optimizasyonu, Y.Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniveristesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Özen, A., 2008. Material Flow Cost Versus Congestion in Dynamic Distributed Facility Layout Problem. MS Thesis, The Graudate School of Natural and Applied Sciences of METU, Ankara.
- Peters, A.B. and Yang, T., 1996. Integrated facility layout and material handling system design in semiconductor fabrication facilities. *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 10(3), 360-369.
- Soyuner, H. ve Kocaman, M., 2004. Kesikli üretim yapan işletmelerde hücreli imalat sistemi ve tesis içi yerleşim uygulaması. YA/EM-Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi, Gaziantep.
- Şahin, R., 2008. Dinamik tesis düzenleme problemi için bir tavlama benzetimi sezgiseli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 863-870.
- Şahin, R. ve Türkbey, O., 2010. Çok amaçlı tesis yerleşim problemi için bir tavlama benzetimi sezgiseli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1), 119-130.
- Toksarı, M.D., 2004. Karınca Algoritması ve Tesis Yerleşimi Problemlerine Uygulanması. Y.Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkbey, O., 2003. Tesis düzenlemesi problemlerine karşılaştırmalı iki yaklaşım: Graf teorisi ve dal-sınır tekniği uygulaması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 89-103.
- Türkmen, A.N., 2007. Hastane İş Akış ve Yerleşim Değerlendirmesi. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Uner, Ö., Özkale, C., Aladağ, Z. ve Yazgan, Y.B., 2005. Üretim sistemi tasarımında konveyörlü taşıma alternatiflerinin simülasyon yöntemiyle değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(8), 49-73.
- Vollman, E.T. and Buffa S.E., 1996. The facilities layout problem in perspective. *Management Science*, 12(10), B450-B468.
- Wilsten, J. and Shayan, E., 2007. Layout design of a furniture production line using formal methods. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(1), 81-96.
- Yang, T., Su, T.C. and Hsu, R.Y., 2000. Systematic layout planning: A study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations Production Management*, 20(11), 1359-1371.
- Yiğit, V. ve Türkbey, O., 2003. Tesis yerleşim problemlerine sezgisel metotlarla yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fak. Dergisi*, 18(4), 45-56.

Yurdakul. M., Eşkin, S. ve İç, T.Y., 2009. Bir imalat sisteminin yerleşim düzeninin iyileştirilmesi. TÜBAV Bilim Dergisi, 2(4), 399-411.

ÖZGEÇMİŞ

4 Nisan 1988 yılında Erzurum’da doğdu. 2004 yılında Narman Lisesi’nden mezun oldu ve aynı sene Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2009 yılında lisans eğitimini tamamladı. Bir kaç ay sonra, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. Şuan, Şubat 2012’de Araştırma Görevlisi olarak atandığı Atatürk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde akademik çalışmalarına devam etmektedir.