

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞYERİ DÜZENLEME ALGORİTMALARININ İNCELENMESİ VE BİR
FABRİKA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ronay AK

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞYERİ DÜZENLEME ALGORİTMALARININ İNCELENMESİ VE BİR
FABRİKA UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ronay AK
(507051134)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Murat BASKAK (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bülent DURMUŞOĞLU (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (OKAN Ü.)**

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Birçok tez yazma sürecinde olduğu gibi, benim de tezimi yazarken en çok sıkıntı yaşadığım nokta istediğim verilere tam olarak erişemememdi. Bu durum beni bâzen karamsar bir ruh haline sürüklese de, danışmanımın veri elde etmemdeki yardımları ve işyeri düzenleme çalışmasının gerekliliğini ve önemini sıklıkla vurgulaması, yaptığım çalışmanın tamamlanmasında beni oldukça motive etmiştir.

İşyeri düzenleme, yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür ki özellikle îmalat yapan işletmeler için olmazsa olmaz niteliğindedir. Günümüzde mâliyetleri düşürmek, işletmelerin rekabet edebilmesi açısından son derece önemli olduğundan, bir fabrikada bölümlerin/makinaların en uygun şekilde düzenlenmesi, mâliyetleri düşürme açısından büyük üstünlükler sağlamaktadır.

Bu çalışma ile günümüze kadar yapılan işyeri düzenleme algoritmalarının birçoğu incelenmiş ve bir paket program kullanılarak bir fabrika için seçenek yerleşim yerleri elde edilmiştir. Özellikle incelenen algoritmalar bakımından çalışmanın, işyeri düzenleme ile ilgili bilgi sahibi olmak isteyenlere ışık tutacağını umuyorum.

Çalışmalarım sırasında önerileri ile yol gösterip, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Y.Doç.Dr. Murat BASKAK'a, aklıma takılan her soruyu sıklıkla yanıtlayan, fahrî eş danışmanım olarak gördüğüm Prof.Dr. Mehmet TANYAŞ'a, hem tezin yazım aşamasında hem de öncesinde yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Murat Engin ÜNAL'a, uygulama çalışmamda bana elinden geldiğince yardımcı olmaya çalışan ve bitmek bilmeyen sorularıma, yoğunluğuna rağmen yanıtlar veren arkadaşım Endüstri Mühendisi Derya AKAR'a ve diğer Metalsan Çelik ve Metal San. Tic. A.Ş. çalışanlarına, yüksek lisans öğrenimim boyunca maddî destek sağlayan TÜBİTAK'a, varlıkları ile beni her zaman mutlu eden ve manevî destekleri ile bana çalışma isteği veren aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2009

Tez Yazarı Ronay AK

Matematik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. İŞYERİ DÜZENLEME PROBLEMİ	5
2.1 İşyeri Düzenleme Probleminin Amacı ve Gereksinim Duyduğu Veriler.....	5
2.2 Akış Modelleri.....	5
2.2.1. İş İstasyonları içindeki akış.....	6
2.2.2. Bölümler içindeki akış	6
2.2.3. Bölümler arasındaki akış.....	7
2.3 İşyeri Düzenleme Türleri.....	8
2.3.1. Ürüne göre yerleştirme.....	8
2.3.2. Sürece göre yerleştirme.....	9
2.3.3. Değişmez konumlu yerleştirme	9
2.3.4. Grup teknolojisi.....	9
2.3.5. Melez yerleşim düzeni	10
2.4 Akışın Ölçülmesi.....	10
2.4.1. Nitel akış verisi	10
2.4.2 Nicel akış verisi.....	11
3. İŞYERİ DÜZENLEME İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	13
3.1 Algoritma Sınıflandırması	13
3.2 İşyeri Düzenleme Problemi İçin Önerilmiş Geleneksel Yaklaşımlar	14
3.2.1 Sistematik işyeri düzenleme problemi	14
3.2.2. Mühendislik tasarım problemi	17
3.3 İşyeri Düzenleme Problemi İçin Geliştirilmiş Matematiksel Modeller	18
3.3.1 Tek-sıralı yerleşim problemi	18
3.3.1.1 ABSModel 1	19
3.3.2 Çok-sıralı yerleşim problemi	23
3.3.2.1 Kuadratik atama problemi.....	24
3.3.2.2 ABSModel 2	25
3.4 İşyeri Düzenleme Problemi İçin Geliştirilen Temel Algoritmalar.....	26
3.4.1 Kuruluş algoritmaları	26
3.4.2 Geliştirme algoritmaları	27
3.4.3 Melez algoritmalar	28
3.4.4 Bilgisayar destekli işyeri düzenleme.....	28
3.4.4.1 Corelap	28
3.4.4.2 Aldep	31
3.4.4.3 Craft	32
3.4.4.4 Planet.....	35
3.4.4.5 Cofad	36

3.4.4.6 BlocPlan	38
3.5 İşyeri Düzenleme İçin Geliştirilen İleri Algoritmalar	39
3.5.1 Optimal algoritmalar	39
3.5.1.1 Dal-Sınır algoritması	39
3.5.1.2 Montreuil's karma-tamsayılı programlama algoritması.....	40
3.5.1.3 Grafik kuramı yaklaşımı	42
3.5.2 Meta-sezgisel algoritmalar	44
3.5.2.1 Genetik algoritma	44
3.5.2.2 Tavlama benzetimi	53
3.5.2.3 Tabu arama.....	57
3.5.2.4 Diğer yaklaşımlar	58
4. METAL SEKTÖRÜNDE BİR FİRMADA YAPILMIŞ UYGULAMA.....	59
4.1 Vip-Planopt 2006 Yazılım Programı.....	59
4.1.1 En iyileme algoritması	59
4.1.2 Programda kullanılan terimler	61
4.1.3 Mâliyet fonksiyonları	63
4.2 Metal Sektöründe Bir Firmada Yapılmış Uygulama.....	63
4.2.1 Uygulamada izlenen yöntem.....	65
4.2.2 Seçenek yerleşim yerlerinin değerlendirilmesi	74
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	83

KISALTMALAR

CPU	: Merkezî İşlem Birimi
DRD	: Düşey Referans Doğrusu
GA	: Genetik Algoritma
KAP	: Kuadratik Atama Problemi
MTB	: Melez Tavlama Benzetimi
SİDP	: Sistematik İşyeri Düzenleme Problemi
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TYD	: Toplam Yakınlık Değeri
YO	: Yerleşme Oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Yakınlık İlişki Değerleri.....	10
Çizelge 1.2 : Yakınlık Nedenleri (Erkut ve Baskak, 2003)	10
Çizelge 3.1 : Eşit boyutlu problemler için sonuçların karşılaştırılması.....	49
Çizelge 3.2 : Eşit boyutlu olmayan tek-sıralı problemler için sonuçların karşılaştırılması.....	49
Çizelge 3.3 : Eşit boyutlu olmayan çok-sıralı problemler için sonuçların karşılaştırılması	50
Çizelge 3.4 : İş istasyonlarının geometrik kısıtları (Azadivar ve Wang, 2000).	53
Çizelge 4.1 : Gastronorm (1/1-200) için üretim akışı.....	66
Çizelge 4.2 : Standart gastronorm küvetlere ait üretim adetleri ve birim ağırlıkları. 67	
Çizelge 4.3 : Tezgâh ikilileri arasındaki akış değerleri	76
Çizelge A.1 : Fabrikadaki makinaların özelliklerine göre sınıflandırılması.....	85
Çizelge A.2 : Tezgâhlar ve tezgâh kodları.....	86
Çizelge A.3 : Fabrikanın 2010 yılı öngörülen üretim miktarları	87
Çizelge A.4 : Tezgâh boyutları.....	90
Çizelge A.5 : Gruplanmış tezgâhlar.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Ürün bölümleri arasındaki akış	6
Şekil 2.2 : Süreç bölümleri arasındaki akış.	7
Şekil 2.3 : Genel akış modelleri (Tompkins ve White, 1984)	8
Şekil 2.4 : İlişki şeması.....	11
Şekil 2.5 : Bir nereden-nereye şeması örneği	12
Şekil 3.1 : Sistematik işyeri düzenleme prosedürü (Francis ve White, 1974).....	16
Şekil 3.2 : Tek-sıralı yerleşim örneği	18
Şekil 3.3 : Tek-sıralı yerleşim problemi için parametrelerin ve karar değişkenlerinin gösterimi.....	20
Şekil 3.4 : XYZ firmasının mevcut yerleşim düzeni	21
Şekil 3.5 : XYZ firmasının bölümleri arasındaki akış ve bölüm alanları.....	22
Şekil 3.6 : XYZ firmasının yeni yerleşim düzeni	23
Şekil 3.7 : Çok-sıralı yerleşim örneği (Heragu, 2006).....	23
Şekil 3.8 : Eşit boyutlu bölümlere sahip çok-sıralı yerleşim problemi için karar değişkenlerinin ve parametrelerin gösterimi (Heragu, 2006).	25
Şekil 3.9 : İlişki şeması ve alan bilgileri.....	30
Şekil 3.10 : Corelap ile elde edilen yerleşim düzeni	31
Şekil 3.11 : Bir yerleşim düzeni ve dualı (Foulds ve Robinson, 1978).	44
Şekil 3.12 : Eşit departmanlı bir yerleşim düzeni (Kochhar ve diğ., 1998)	46
Şekil 4.1 : VIP-PLANOPT 2006 yazılım programının kullanıcı arayüzü.....	60
Şekil 4.2 : Makro kullanıcı arayüz ekranı.....	69
Şekil 4.3 : Program tarafından elde edilmiş birinci alternatif yerleşim düzeni	72
Şekil 4.4 : Program tarafından elde edilmiş ikinci alternatif yerleşim düzeni.....	73
Şekil 4.5 : Program tarafından elde edilmiş üçüncü alternatif yerleşim düzeni	74

İŞYERİ DÜZENLEME ALGORİTMALARININ İNCELENMESİ VE BİR FABRİKA UYGULAMASI

ÖZET

İşyeri düzenleme problemi, üretim ya da hizmet sistemlerinde, tesislerin en uygun şekilde düzenlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Yerleşim düzeni malzeme hareketi ile doğrudan ilgilidir. Buradan yola çıkarak, işyeri düzenlemedeki ana amacın, fabrika içerisinde üretime yönelik faaliyetlerde yer alan canlı ve cansız varlıkların hareketlerini enküçükleme olduğu söylenebilir.

İşyeri düzenleme problemi, birçok araştırmacı tarafından derinlemesine incelenmiştir. Küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Önerilen modeller, büyük boyutlu problemler için en iyi çözümü vermediğinden, bu tür problemleri çözmek amacıyla, en iyi çözüme yakın alt-en iyi olarak tanımlanan çözümler üreten sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Genetik algoritma, tavlama benzetimi ve yasaklı arama son yıllarda üzerinde en çok çalışma yapılan sezgisel algoritmalar.

Günümüze kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, hem eşit boyutlu hem de eşit boyutlu olmayan tesislere sahip yerleşim yerleri için en uygun yerleşim düzenini bulmayı amaçlayan, genellikle yerleşim yerinin iki boyutlu olduğu problemlerin ele alındığı görülmektedir. Çalışmaların birçoğunda temel amaç, malzeme taşıma mâliyetini enküçükleme ancak malzeme taşıma mâliyetini enküçüklemenin yanında, çevrim süresini enküçüklemeyi amaçlayan işyeri düzenleme çalışmaları da vardır.

Bu çalışma kapsamında, günümüze kadar yapılmış optimal ve sezgisel işyeri düzenleme çalışmaları incelenmiş ve olabildiğince açıklanmaya çalışılmıştır. Yapılan kaynak araştırmasına ek olarak, metal sektöründe faaliyet gösteren orta ölçekli bir fabrikada, bir işyeri düzenleme paket programı olan VIP-PLANOPT 2006 yazılımı kullanılarak bir gerçek yaşam problemi ele alınmıştır. Yapılan uygulama, fabrika için hem yazılım programından elde edilen seçenek yerleşimleri, hem de uzman görüşüne dayanarak elde edilen sezgisel yerleşim düzenini içermektedir.

Bu çalışma ile hedeflenen, yapılan ayrıntılı literatür araştırması ve gerçek yaşam problemi üzerindeki uygulama ile işyeri düzenleme konusunda çalışan kişilere yol gösterici bir kaynak oluşturmaktır.

A REVIEW OF FACILITY LAYOUT ALGORITHMS AND AN APPLICATION ON A FACTORY

SUMMARY

Facility layout problem is defined as optimal arrangement of facilities in a manufacturing or service system. It is directly related to flow of materials. Hence, it can be claimed that the main purpose of facility layout problem is to minimize moves of employees and material handling equipments inside the premises.

Facility layout problem is a well-studied optimization problem. Various mathematical models have been proposed for small, medium and large sized problems. Since proposed models can not give optimal solution, heuristics and meta-heuristics have been proposed to solve layout problems optimally or near to optimal. Recently, genetic algorithms, simulated annealing and tabu search gained more attention among the other heuristic approaches.

In the literature, there are studies that deal with both equal and un-equal sized facility layout problems to find most efficient arrangement of facilities which are usually arranged on a two-dimensional area. Minimizing the material handling cost is the most considered objective but there are also studies aiming at minimizing cycle time.

In this paper, an attempt is made to present state-of-the-art review of optimal and heuristic studies on facility layout problems and to explain them as much as possible. In addition to review, an application in a medium sized factory operating on metal industry sector is done by using VIP-PLANOPT 2006 software package. The application consists of both alternative layouts that have been obtained from the program and heuristic layout design obtained from expert opinion.

This paper aims to endorse readers who want to explore facility layout problem by generating a detailed review and providing a real life application.

1. GİRİŞ

Günümüz küresel rekabet dünyasında, îmalat ya da hizmet sektöründeki işletmeler, ayakta kalabilmek için mâliyetlerini olabildiğince azaltma yoluna gitmektedirler. İşletmeler, en uygun fabrika kuruluş yerinin belirlenmesinden, stokları en aza indiren, israfları olabildiğince önleyen üretim sisteminin seçilmesinden, makinaların/bölümlerin en uygun şekilde yerleşiminden, lojistik faaliyetlerine kadar birçok aşamada mâliyet azaltma çalışmaları yapmaktadır. Mâliyetler azaltılırken bir yandan da üretkenlik ve verimliliği arttırmak hedeflenmektedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar göstermektedir ki, bir işletmede mâliyetlerin birçoğu gereksiz etkinliklerden oluşmaktadır. Bölümler/makinalar arası fazladan yapılan malzeme, bilgi ve belge akışı gereksiz taşımalara yol açar, dolayısıyla da mâliyetleri arttırır. Bu gereksiz taşımalar da genellikle bölümlerin/makinaların fabrika içerisinde uygun şekilde yerleştirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Üretim sistemlerinde yapılan çalışmalar ortaya çıkarmıştır ki, bir ürünün mâliyetinin % 35-70 kadarı, malzeme taşıma harcamaları ile ilişkilendirilebilir (Heragu, 2006). Tompkins ve White (1984) çalışmalarında, üretim yapan bir firmanın malzeme elleçleme etkinliklerinin, toplam işletme bütçesinin %20-50'sine karşılık geldiğini ifâde etmişlerdir. Böylelikle, eğer firma bölümlerini uygun bir şekilde yerleştirirse üretim mâliyetlerini düşürebilir ve bu da firmanın rekabet gücünü arttırabilir.

Bir işyerindeki bölümlerin/makinaların en uygun şekilde yerleştirilmesi “işyeri düzenleme” ya da “tesis tasarımı” olarak adlandırılmaktadır. Tesis tasarımı, Tesis Planlama konusunun alt başlıklarından biridir.

Tesis planlama, maddî sabit varlıkların faaliyet amacını en iyi şekilde nasıl destekleyeceğini belirler (Tompkins ve diğ., 1984). Bir üretim firması için, tesis planlama, îmalat tesisinin üretimi en iyi şekilde nasıl destekleyeceği ile ilgilenirken, bir hastane için, hastane tesisinin hastalara sunulan tıbbî hizmeti nasıl desteklediği ile ilgilenir.

Tesis plânlama, tesis yerleşimi, tesis kuruluş yeri seçimi, tesis tasarımı gibi konularla ilgilidir. Ancak tesis plânlama terimi, tesis yerleşimi, tesis kuruluş yeri seçimi, tesis tasarımı terimleri ile eş anlamlı kullanılmamalıdır. Tesis plânlama; tesis kuruluş yeri seçimi ve tesis tasarımı alt konularına ayrılabilir. Bu çalışma kapsamında, tesis plânlamanın alt konularından biri olan “İşyeri Düzenleme / Tesis Tasarımı Problemi” ele alınacaktır.

İşyeri Düzenleme Problemi, bir işyerindeki makinaların/bölümlerin kaplayacakları alanlar ve aralarındaki bilgi, malzeme, kaynak, vb. akışlar da gözönüne alınarak en uygun şekilde düzlemsel bir alana yerleştirilmesi olarak tanımlanabilir (Meller ve diğ., 1996). Problem, bir ürünün tasarımının değişmesinden, fabrikanın üretim hattına yeni bir ürün eklenmesinden ya da üretim hattından bir ürünün çıkarılmasından, bir ürüne olan talebin önemli ölçüde artması ya da azalmasından, süreç tasarımındaki değişikliklerden, bir ya da daha fazla donanımın yer değiştirmesinden, yeni güvenlik standartlarının uyarlanmasından, şirketteki organizasyonel değişikliklerden ya da yeni bir fabrika kurma kararından kaynaklı olarak ortaya çıkabilir (Francis ve diğ., 1974). Bir işyeri düzenleme çalışmasının bâzı amaçları vardır (Francis ve diğ., 1974):

- Donanım yatırımını enküçüklemek
- Toplam üretim süresini enküçüklemek
- Varolan alandan en etkin şekilde yararlanmak
- İşçilerin işe uyumunu, rahatlığını ve güvenliğini sağlamak
- Operasyonun ve düzenlemenin sürekliliğini sağlamak
- Malzeme taşıma mâliyetlerini enküçüklemek
- Malzeme taşıma donanımlarındaki çeşitliliği enküçüklemek
- Üretim sürecini kolaylaştırmak
- Organizasyonel süreci kolaylaştırmak

Yukarıdaki tanımlardan ve amaçlardan yola çıkarak, etkin ve uygun bir işyeri düzenlemenin bir işletme için çok önemli olduğu söylenebilir. Bu öneminden kaynaklı olarak da işyeri düzenleme problemi üzerinde sıklıkla durulmuş ve bu problemi çözmek için optimal, sezgisel, bilgisayar destekli algoritmalar geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın izleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de işyeri düzenleme problemi ve problemi çözerken kullanılan girdiler, temel kavramlar açıklanacaktır. Bölüm 3’de, işyeri düzenleme problemi ile ilgili bugüne dek yapılmış çalışmalardan sözedilecektir. Bölüm 4’de, uygulama yapacağımız, metal sektöründe faaliyet gösteren fabrika tanıtılacak, uygulama yaparken kullanılan VIP-PLANOPT 2006 yazılım programı ve yapılan uygulama anlatılacaktır. Programın ürettiği seçenek yerleşim düzenleri ve sezgisel olarak uzman görüşü ile oluşturulmuş bir alternatif yerleşim düzeni de bu bölümde anlatılacak ve tüm seçenek yerleşim düzenlerinin değerlendirilmesi yapılacaktır. Son olarak Bölüm 5’de, tez çalışmasının sonuçları analiz edilecek ve bu çalışma kapsamında işyeri düzenlemenin öneminden bir kez daha sözedilecektir.

2. İŞYERİ DÜZENLEME PROBLEMİ

2.1 İşyeri Düzenleme Probleminin Amacı ve Gereksinim Duyduğu Veriler

Bir fabrikada ya da işletmede, üretkenliği arttırmanın ve mâliyetleri düşürmenin en etkin yöntemlerinden biri de gereksiz etkinlikleri ortadan kaldırmaktır. Bir tesis tasarımı, bu amacı malzemelerin elleçlenmesi, personel ve donanım kullanımı ve stokları azaltması açısından gerçekleştirmelidir.

İyi bir işyeri düzeni, malzeme ve insan hareketinin mâliyetini enküçüklerken bu mâliyeti hesaplamak için bâzı verilere gereksinim duymaktadır (Heragu, 1997):

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

Yukarıdaki verilerin hepsi olmazsa olmaz değildir. Ancak, makinalar arası malzeme akışı, taslak bir yerleşim için gereklidir. Bu, makinalar arası ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılır. Tasarımcı bu veriye sayısal olarak sahip değilse, en azından makinalar arası akış için yüksek, orta, düşük şeklinde öznel bilgi oluşturabilir. Ayrıca, her bir tesisin alan gereksinimi de bilinmelidir. Tesis bir makina ya da iş istasyonu ise alan gereksinimi, çevresinde işçinin çalışabilmesi için gerekli alanın ve malzemenin taşınacağı koridor alanının da gözönünde bulundurularak hesaplanması gerekmektedir.

2.2 Akış Modelleri

Üretim yapan bir işyerini tasarlayanın ilk adımı; malzemeler, parçalar ve iş sürecindeki stoklar yoluyla oluşan genel akış modellerini belirlemektir. Akış modelleri, başlangıçtan sona yâni hammaddenin işlenmeye başlamasından yarı ürün olmasına, yarı üründen de son (bitmiş) ürün olmasına kadar geçen tüm akış sürecini içerir (Heragu, 1997). Akış modellerini, “iş istasyonları içindeki akış”, “bölümler

içindeki akış” ve “bölümler arasındaki akış” olarak ayrı ayrı açıklamak daha doğru olacaktır (Tompkins, 1984).

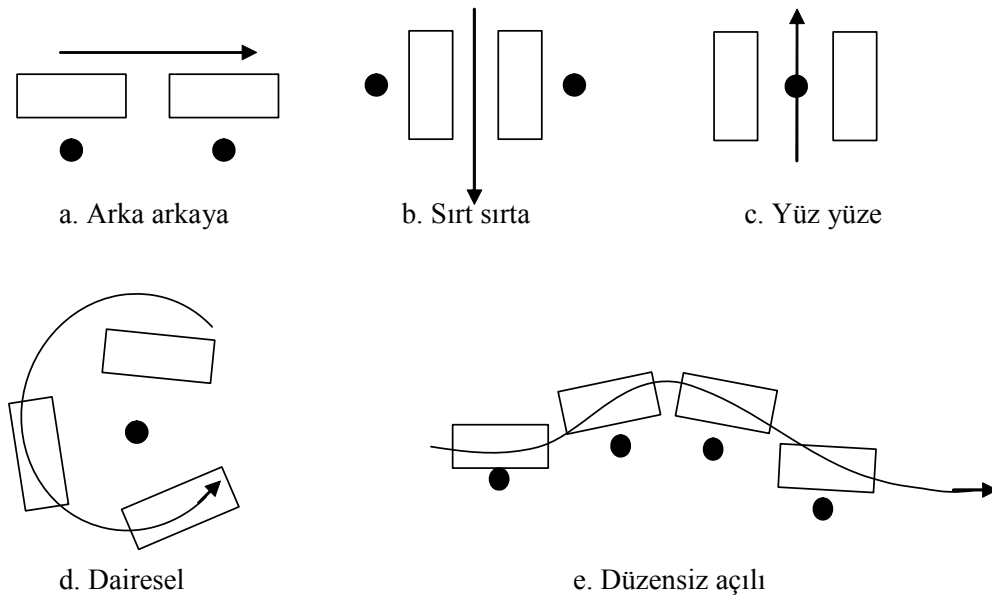
2.2.1. İş İstasyonları içindeki akış

Bu akış oluşturulurken, dikkat edilmesi gereken işçilerin hareketleri ve ergonomidir. İş istasyonları içerisindeki akış, simetrik, eş zamanlı, doğal, ritmik ve alışılmış olmalıdır.

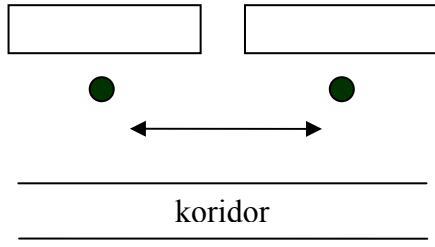
2.2.2. Bölümler içindeki akış

Bölümler içerisindeki akış, bölümün tipine bağlıdır. Bir üretim bölümünde, iş akışı ürün akışını izler. Ürün akışı tipik olarak Şekil 2.1’de gösterilen modellerden biri gibidir.

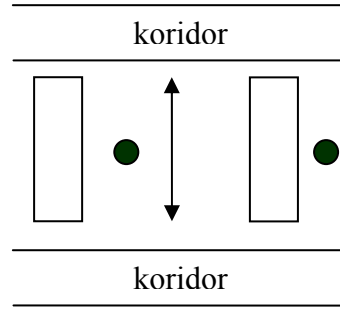
Bir süreç bölümünde, bölümler içerisindeki iş istasyonları arasındaki akış küçük olmalıdır. Akış tipik olarak iş istasyonları ve koridorlar arasında ortaya çıkar. Akış modelleri, iş istasyonlarının koridorlara göre yönlerine bağlı olarak oluşmuştur. Şekil 2.2’de iş istasyonu-koridor yerleşimine bağlı olarak oluşan üç tane akış modeli görülmektedir. Hangi iş istasyonu-koridor düzeninin seçileceği, iş istasyonlarının kapladığı alanlar, kullanılabilir alanlar ve taşınacak malzemenin miktarı/büyüklüğü arasındaki ilişkiye bağlı olarak değişmektedir.



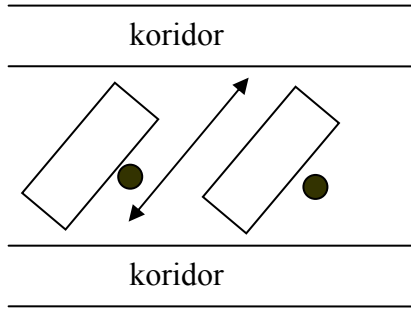
Şekil 2.1 : Ürün bölümleri arasındaki akış



a. Paralel



b. Dikey

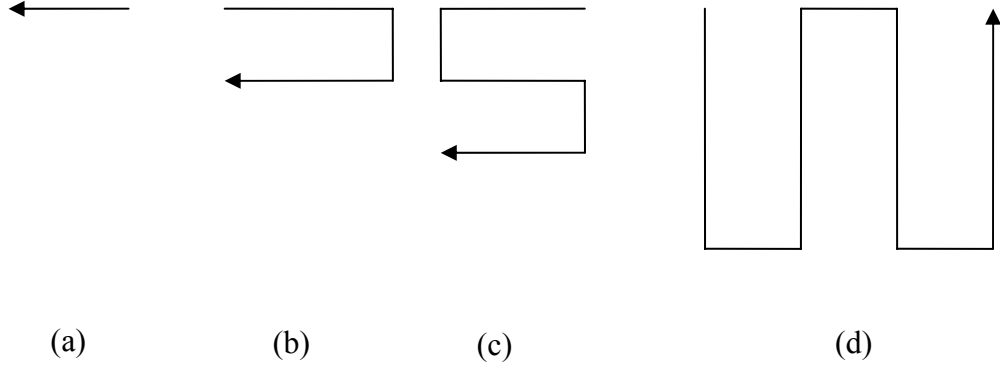


c. Diyagonal

Şekil 2.2 : Süreç bölümleri arasındaki akış

2.2.3. Bölümler arasındaki akış

Bölümler arasındaki akış, bir tesisteki tüm akışı değerlendirmek için sıklıkla kullanılan bir ölçüttür. Akış genellikle, Şekil 2.3’de gösterilen dört tip akış modelinin kombinasyonundan oluşmaktadır. Şekilde gösterilen akış modellerinin biraraya getirilmesindeki önemle dikkate alınması gereken, giriş ve çıkışın yeridir. Çizim plânının veya bina yapısının bir sonucu olarak, giriş ve çıkış yerleri genellikle sabittir ve tesis içerisindeki akış, bu kısıtlar altında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.3 : Genel akış modelleri (Tompkins ve White, 1984)

Şekil 2.3'te gösterilen akış modellerinde, (a) doğrusal ya da I tipi akışı; (b) U tipi akışı; (c) S tipi akışı ve (d) ise W tipi akışı göstermektedir.

2.3 İşyeri Düzenleme Türleri

İşyeri tasarımı geliştirmedeki ilk adım uygun malzeme akışı modeline karar vermektir. Tasarımcılar daha sonra, işyeri düzenleme türüne karar vermelidirler. Burada beş farklı işyeri düzenleme türünden sözedilecektir:

- Ürüne göre yerleştirme
- Sürece göre yerleştirme
- Değişmez konumlu yerleştirme
- Grup teknolojisi
- Melez yerleşim düzeni

2.3.1. Ürüne göre yerleştirme

Bu tür yerleştirmede, makineler ve iş istasyonları, bir ürünün üretilmesi sırasında geçtiği işlemlerin sırasına bağlı olarak dizilirler. Eğer bir ürüne, sırasıyla, freze, delme, montaj ve paketleme işlemleri yapılacaksa, bu işlemleri yapacak olan makineler bir hat boyunca birbirlerini izleyecek şekilde dizilmelidirler. Bu tür düzenleme, motor endüstrisi gibi, tek tip ya da az çeşitte ürünün yığınlar hâlinde üretildiği endüstriyel işletmeler için uygundur. Ürüne göre yerleştirmenin yararları arasında, malzeme taşıma süresinin, işlem süresinin azalması ve daha kolay plânlama ve kontrol yapılması vardır (Heragu, 1997). Bu tür yerleşimin en önemli eksikliği esnek olmamasıdır. Özel bir ürün için yerleşim düzenlendikten sonra bir başka ürün

için yerleşimi yeniden düzenlemek büyük mâliyetlere yol açabilir, bu nedendendir ki bu tür yerleşim sık ürün değişimi yapan işletmeler için uygun değildir.

2.3.2. Sürece göre yerleştirme

Adından da anlaşılacağı gibi, bu tür yerleşimde makinalar ve iş istasyonları, yaptıkları işleme göre düzenlenirler. Örneğin, tüm kaynak işleri ya da tüm delme işleri bir yerde yapılır. Bu tür yerleşim, çok çeşitte ama az sayıda ürün üreten işletmeler için uygundur. Sürece göre yerleşim, daha çok esneklik sağlar ve işçilerin özel bir işlemde ya da işlevde uzmanlaşmasına olanak verir. Bunun yanında malzeme taşıma mâliyetlerinin artması, üretkenliğin azalması, fabrika içi trafik yoğunluğu ve planlama ve kontrolün karmaşık olması gibi sakıncaları vardır.

2.3.3. Değişmez konumlu yerleştirme

Bu yerleştirme şeklinde diğer yerleştirmelerden farklı olarak, ürün hareket etmez, sabit bir yerde kalır, aksine ürünü yapmak için gereken aletler, makinalar, işçiler ve diğer malzemeler ürünün yanına getirilir. Bu tip yerleşim, üretilecek ürünün çok büyük ve taşınmasının güç olduğu durumlarda, örneğin inşaat, gemi, lokomotif, uçak vb. endüstriler için uygundur.

2.3.4. Grup teknolojisi

Grup teknolojisi, parçaların ailelere ayrılması ve tasarım kararlarının bu ailelerin karakteristiklerine bağlı olarak oluşturulması olarak tanımlanabilir (Tompkins, 1996). Gruplama, parçaların şekillerine, boyutlarına, malzeme tiplerine ve işlem gereksinimlerine bağlıdır. Bu tür durumlarda, binlerce birbirinden ayrı parça varken grupların sayısı yüzden az olabilmektedir. Grup teknolojisi bir diğer deyişle, çok fazla sayıda parçanın, fazla sayıda makinede üretildiği büyük sistemlerin alt sistemlere ayrılması olarak da tanımlanabilir. Böylesi büyük sistemleri, alt sistemlere bölebilmek için plânlamacılar öncelikle makina kümelerini ve bu kümelerde işlenen ürünleri tanımlamalıdır. Her bir makina kümesi ve bu kümelere karşılık gelen ürünler bir üretim hücresini ve bir parça ailesini oluşturur. Bu şekilde, makina hücrelerini ve parça ailelerini tanımlayarak, plânlamacı, plânlaması ve kontrol etmesi daha kolay olan bir dizi daha küçük alt sistem oluşturur. Grup teknolojisinin en önemli üstünlüğü, işlevsel düzenlemeye göre iş akışını basitleştirmesidir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

2.3.5. Melez yerleşim düzeni

Bütün işletmeler tek tip yerleşim düzenine sahip değildir. Melez yerleşim, yukarıda anlatılan yerleşim tiplerinin bir karması şeklindedir.

2.4 Akışın Ölçülmesi

Bir tesisteki bölümlerin düzenlenmesi, bölümler arasındaki akışa bağlıdır. Seçenek yerleştirmeler oluşturabilmek için bir akış değerine gereksinim vardır. Akış, nicel veya nitel olarak ifade edilebilir. Bölümler arası malzeme, bilgi ve insan akışının yüksek olduğu tesislerde nicel akış ölçütü, bölümlerin yerleştirilmesi için temel oluşturmaktadır. Öte yandan, bölümler arası malzeme, bilgi ve insan akışının az ancak haberleşme ve organizasyonel ilişkilerin önemli olduğu tesislerde ise nitel akış ölçütü, bölümlerin yerleştirilmesi için temel oluşturmaktadır. Genellikle, bir tesis hem nitel hem de nicel akış ölçütüne gereksinim duymaktadır.

2.4.1. Nitel akış verisi

Muther tarafından geliştirilen ve Çizelge 1.1’de verilen yakınlık ilişki değerleri kullanılarak akış, nitel olarak ölçülebilmektedir (Tompkins, 1984). Bu değerler, yakınlığın nedenlerini gösteren Çizelge 1.2’deki değerlerle birlikte kullanılarak ilişki şeması elde edilir (Erkut ve Baskak, 2003).

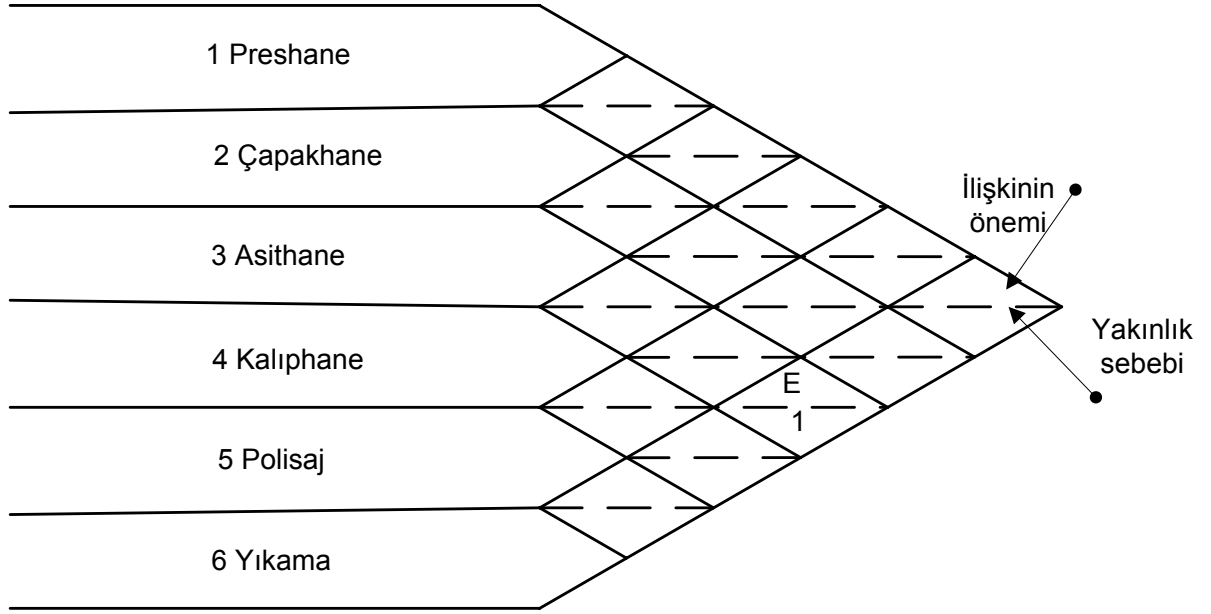
Çizelge 1.1 : Yakınlık İlişki Değerleri

Değer	Yakınlık
A	Kesinlikle gerekli
E	Özellikle önemli
I	Önemli
O	Bir arada olabilirler
U	Önemli değil
X	Bir arada olmaları istenmez

Çizelge 1.2 : Yakınlık Nedenleri (Erkut ve Baskak, 2003)

Değer	Yakınlık
1	Malzeme akışı var
2	Bireysel ilişkiler için gerek var
3	Benzer donanım kullanılıyor
4	Benzer personeli paylaşıyorlar
5	İvedi durum söz konusu oluyor
6	Haberleşme sıklığı fazla

Yakınlık değeri, tesis çiftlerini yan yana yerleştirmenin önemini göstermektedir. Örneğın, bir i tesisi ve bir j tesisi arasında A değeriinde bir yakınlık ilişkisi sözkonusu ise, i ve j tesis çifti kesinlikle yan yana yerleştirilmelidirler.



Şekil 2.4 : İlişki şeması

2.4.2 Nicel akış verisi

Bölümler arası taşınan miktarlara bağılı olarak akış niceliksel olarak da hesaplanabilir. Bu akışların kaydedildiğı ve sıklıkla kullanılan şema “nereden-nereye şemasıdır” (Tompkins ve diğ., 1996). Nereden-nereye şeması, bir kare matristir ancak nadiren simetriktir. Bunun nedeni i bölümünden j bölümüne olan akış değeriinin, j ’den i ’ye doğru olan akış değeri ile aynı olmayabilmesidir. Şekil 2.5’de bir nereden-nereye şeması örneğı gösterilmektedir

Nereye Nereden	Hammadde Deposu	Freze	Torna	Pres	Kaplama	Montaj	Ürün Deposu
Hammadde Deposu		12	6	9	1	4	
Freze					7	2	
Torna					4	1	1
Pres					3	4	3
Kaplama		3	1				7
Montaj	1						
Ürün Deposu							

Şekil 2.5 : Bir nereden-nereye şeması örneği

3. İŞYERİ DÜZENLEME İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

3.1 Algoritma Sınıflandırması

Birçok işyeri düzenleme algoritması, gereksinim duydukları girdi veri tipine göre sınıflandırılabilir. Bâzı algoritmalar salt niteliksel akış verisini (ilişki şeması gibi) kullanırken, diğerleri de nereden-nereye matrisi olarak ifâde edilen niceliksel akış verisini kullanırlar. Bâzı algoritmalar da (BLOCPLAN) hem ilişki şemasını hem de nereden-nereye şemasını kullanırlar; ancak belirli bir anda şemalardan salt biri kullanılır (Tompkins ve diğ., 1996).

İşyeri düzenleme algoritmaları, aynı zamanda amaç fonksiyonlarına göre de sınıflandırılabilir. İki temel amaç vardır: biri akış ve uzaklık çarpımını enküçüklemeyi amaçlarken; diğeri yakınlık skorunu enbüyüklemeyi amaçlar. Genel olarak, “uzaklık-temelli” amaç- klasik KAP amacı ile benzer- girdi verisi nereden-nereye şeması olarak düzenlenmişse daha uygundur; “komşuluk-temelli” amaç ise girdi verisi ilişki şeması olduğunda daha uygundur (Tompkins ve diğ., 1996).

Uzaklık-temelli amacın matematiksel ifâdesi aşağıdaki eşitlikle ifâde edilmiştir (Tompkins ve diğ., 1996):

$$\text{Enk} \quad z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’deki z amaç fonksiyonudur; d_{ij} sembolü ise i ve j bölümlerin merkezleri arasındaki dik-doğrusal uzaklıktır.

Komşuluk-temelli amacın matematiksel ifadesi aşağıdaki eşitlikle ifâde edilmiştir (Tompkins ve diğ., 1996):

$$\text{Enb} \quad z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’deki z amaç fonksiyonu ile, birbirlerine komşu olan bölümler arasındaki akış değerlerinin toplamı yâni komşuluk puanı hesaplanır. Burada $x_{ij} = 1$ olursa, i ve j bölümleri komşudur yâni ortak bir sınırı paylaşmaktadırlar; aksi durumda $x_{ij} = 0$ olur.

3.2 İşyeri Düzenleme Problemi İçin Önerilmiş Geleneksel Yaklaşımlar

İşyeri düzenleme problemi hem tasarım hem de optimizasyon problemidir. Burada, işyeri düzenleme problemini bir tasarım problemi olarak ele alan iki yaklaşımdan sözedilecektir. Birincisi, sistematik işyeri düzenleme (SİDP), ikincisi de mühendislik tasarım problemidir.

3.2.1 Sistematik işyeri düzenleme problemi

Sistematik işyeri düzenleme, 1960'ların sonlarında geliştirilse de hâlâ popüler bir yaklaşım olduğu söylenebilir. SİDP tekniği 4 adımdan oluşmaktadır (Heragu, 1997):

Adım 1: Makinaların Yerleşeceği Yerleşim Yerine Karar Verme: Bu adım, makinalar için yerleşim yerinin tanımlanmasını içermektedir. Örneğin, bu alan binanın kuzey tarafında, batı tarafında ya da eski binaya bitişik başka bir bina içerisinde olabilir.

Adım 2: Genel Yerleşimin Kurulması: Bu evrede, bölümler arasındaki akış, yakınlık durumları, her bir bölüm için alan gereksinimleri eldeki kullanılabilir alanla ve bütçe gibi kısıtlarla ilişkisi düşünülerek belirlenir ve beş veya daha az seçenek işyeri düzenleme plânı oluşturulur. Oluşturulan plânlar, mâliyet ve mâliyet dışı etmenler temel alınarak geliştirilir ve bölümler ve genel çalışma alanları için bir yerleşim seçilir.

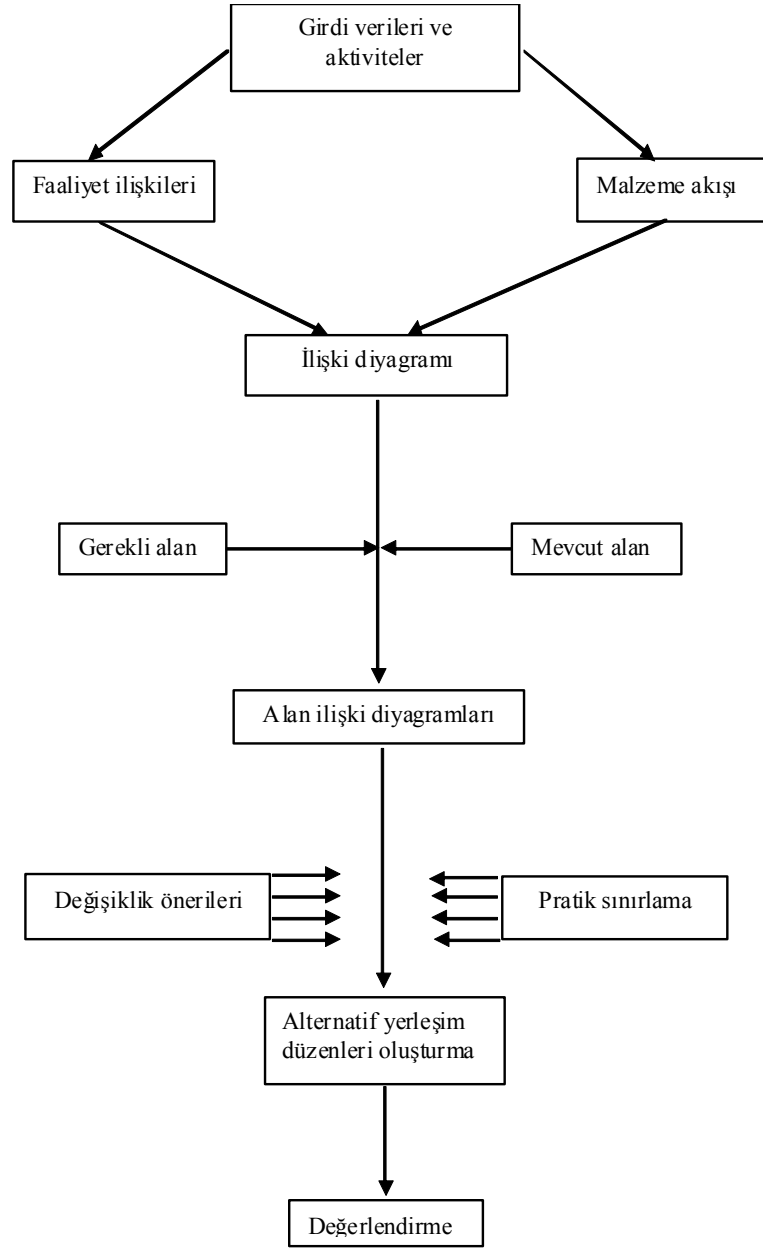
Adım 3: Ayrıntılı Yerleşim Plânlarının Oluşturulması: Adım 2'de, her bir makinanın, yardımcı donanımın, dinlenme ve temizlik odaları ve muayene istasyonu gibi destek hizmetlerin yerleri ve yerleşimleri ile ilgili ayrıntı sağlanmaz. Adım 2, bölümlerin yerleşimi sorununu ele alırken, adım 3, her bir bölüm içerisindeki makinaların ve diğer yardımcı donanımın yerleşimini ele alır.

Adım 4: Seçilen Yerleşimin Kurulması: Ayrıntılı yerleşim düzeni, etkilenen çalışanlar, idarî elemanlar ve yöneticiler gibi ilgili kişiler tarafından onaylanmalıdır. Daha sonra uygun yerleşim düzeni seçilir.

Yukarıdaki adımlar içerisinde en önemli olanları Adım 2 ve 3'dür. SİDP için gereken girdi verileri beş sınıfta toplanabilir:

P	Ürün:	Üretilecek ürün tipleri
Q	Miktar:	Her bir parça tipinin üretim hacmi
R	Rotalama:	Her bir parça tipi için işlem sırası
S	Hizmetler:	Destek hizmetler, dolaplar, muayene istasyonu vb.
T	Zamanlama:	Parça tipleri ne zaman üretilecek ve üretim sırasında hangi makinalar kullanılacak ?

P-Q-R verisi ile, bir nereden nereye malzeme akış matrisi oluşturulur. Bu matris her bir makina çifti arasındaki akış yoğunluğunu göstermektedir. Benzer olarak, P-Q-S verisi ile ilişki şeması oluşturulur. Daha sonra, akış matrisi ve ilişki şemasından yararlanarak ilişki diyagramı oluşturulur. Bir sonraki adım, alan gereksinimlerinin ve yeterliliklerinin belirlenmesidir. Bu iki bilgiden ve ilişki diyagramından yararlanarak alan-ilişki diyagramı oluşturulur. Diğer etmenler (malzeme elleçleme yöntemleri, depo donanımı vb.) ve kısıtlamalar (mâliyet, varolan yapılar veya kirişler, personel ve donanım güvenliği, enerji yeterliliği) de hesaba katıldıktan sonra, alan-ilişki diyagramı, seçenek yerleşim düzenleri oluşturmak için değiştirilir. Bu aşamada, genellikle iki veya üç tane seçenek yerleşim oluşturulur, daha fazlası zaman alır ve önemli ölçüde yeni bir bilgi sağlamaz. Son olarak, her bir seçenek yerleşim düzeni, mâliyet ve diğer fiziksel olmayan etmenlere bağlı olarak değerlendirilir ve aralarından en uygun olanı seçilir.



Şekil 3.1 : Sistematik işyeri düzenleme yordamı (Francis ve White, 1974).

3.2.2. Mühendislik tasarım problemi

Mühendislik tasarım problemi, aşağıda belirtilen altı adımdan oluşmaktadır (Tompkins ve diğ., 1984):

1. Problemi tanımla
2. Problemi analiz et
3. Seçenek tasarımlar oluştur
4. Seçenekleri değerlendir
5. Yeğlenen tasarımı seç
6. Seçilen tasarımı oluştur

Mühendislik tasarım süreci, tesis planlamaya uygulandığında aşağıdaki süreç adımları ortaya çıkar (Tompkins ve diğ., 1984):

Tesisin amacını tanımla (veya yeniden tanımla): Hem bir üretim tesisinde hem de bir hizmet işletmesinde, üretilecek ürünün ya da sunulacak hizmetin niceliksel olarak belirtilmesi gerekmektedir. Hacimler ya da etkinliklerin düzeyleri olanaklı ise tanımlanmalıdır.

Amaç gerçekleştirilirken ana ve destek etkinlikleri tanımla: Yürütülen ana ve destekleyici etkinlikler ve karşılanması gereken gereksinimler; operasyonlar, donanım, personel ve malzeme akışları dikkate alınarak tanımlanmalıdır.

Bütün etkinlikler arasındaki ilişkileri belirle: Tesis sınırları içerisinde etkinliklerin birbirlerini nasıl etkiledikleri ya da destekledikleri belirlenmelidir. Hem niceliksel hem de niteliksel ilişkiler tanımlanmalıdır.

Bütün etkinlikler için alan gereksinimlerini belirle: Her bir etkinlik için alan gereksinimi belirlenirken, tüm malzemeler, donanım ve personel gereksinimi de gözönünde bulundurulmalıdır.

Seçenek tesis plânları oluştur: Seçenek tesis plânları hem seçenek tesis kuruluş yerlerini hem de seçenek tesis tasarımlarını içermektedir. Seçenek tesis tasarımları, seçenek yerleşim yeri tasarımlarını, yapısal tasarımları ve malzeme taşıma sistemlerini içermektedir.

Seçenek plânları değerlendir: Her aday tesis plânı için, içerdikleri öznel etmenleri belirle ve bu etmenlerin tesisi ve operasyonları etkileyip etkilemediğini ve ne kadar etkilediğini değerlendir.

Bir tesis plânı seç: Hangi aday plan, tesisin amaç ve hedeflerini en iyi ölçüde sağlıyorsa onu seç.

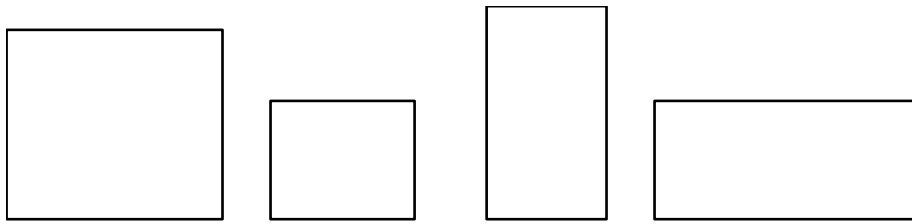
Seçilen tesis plânını uygula: Plân seçildikten sonra, bir sonraki adım onu gerçekleştirmektir. Bunun için analistleri sorumlu tutmak iyi bir düşünce olabilir (Muther, 1973). Bilindiği gibi, çalışanlar değişime genelde direnç gösterirler. Eğer yeni bir işyeri düzeni oluşturulmuşsa bunun öncelikle çalışanlar tarafından onaylanması ve desteklenmesi gerekir (Heragu, 1997). Çalışanlara değişikliklerin neden gerekli olduğu ve bu değişikliklerle elde edilmesi istenen kazanımların ne olduğu anlatılmalıdır.

Uygulanan tesis plânını sürdür ve uyumlandır: Yeni gereksinimler tesis üzerinde yerleştirildikçe, tüm tesis plânı da güncellenmelidir. Ürün tasarımıdaki değişimler, taşıma ekipmanlarında veya akış modellerinde değişiklik yapılmasına dolayısıyla da tesis plânında güncellemeye gidilmesine gereksinim doğurabilir.

3.3 İşyeri Düzenleme Problemi İçin Geliştirilmiş Matematiksel Modeller

3.3.1 Tek-sıralı yerleşim problemi

Bu tipteki yerleşim probleminde bölümler bir sıra hâlinde doğrusal olarak yerleşmektedirler. Bu tipteki yerleşime, bir kitaplık rafına kitapların yerleştirilmesi örnek olarak verilebilir. Şekil 3.2 'de tek-sıralı bir yerleşim gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Tek-sıralı yerleşim örneği.

Bu bölümde, tek-sıralı yerleşim problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir model olan ABSMODEL 1 anlatılacaktır. Her ne kadar doğrusal olmayan bir model olsa da, ek tamsayı ve reel değişkenler ile doğrusal duruma getirilebilir. Öncelikle problem için aşağıdaki kabullere sahip bir doğrusal olmayan model önerilir (Heragu, 2006):

- Bölümler kare ya da dikdörtgen şeklindedir ve şekilleri önceden bilinmektedir.
- Bölümler Şekil 3.2’de gösterildiği gibi tek bir sıraya dizilirler.
- Bölümlerin yönelimleri önceden bilinmektedir.
- Bölümlerin yerleşeceği binanın/yerin şekli ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur.

Burada, bölümlerin yönelimlerinden kastedilen, bölümlerin uzun kenarlarının mı yoksa kısa kenarlarının mı yatay ekseninde yerleştirileceğidir. Kare şeklindeki bölümler için yönelimin nasıl olduğu önemli değildir.

3.3.1.1 ABSModel 1

Bu model için kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir:

Parametreler:

n : problemdeki bölüm sayısı

c_{ij} : i ve j bölümleri arasında bir birim ürünü bir birim uzaklığa taşımanın mâliyeti

f_{ij} : i ve j bölümleri arasındaki akış

l_i : bölüm i ’nin yatay eksenindeki uzunluğu

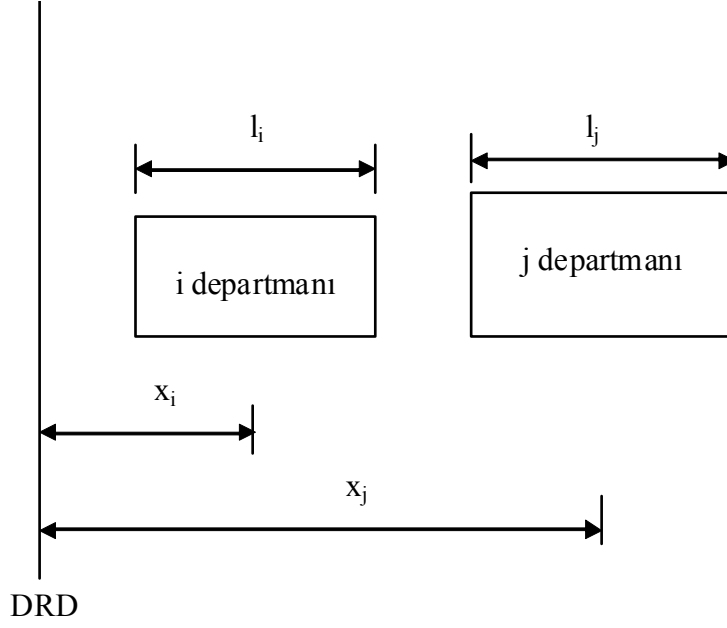
d_{ij} : i ve j bölümleri arasındaki en az uzaklık

H : yerleşim yapılacak alanın yataydaki boyutu

Karar Değişkenleri:

x_i : i bölümünün merkezi ile düşey referans doğrusu arasındaki (DRD) uzaklık

Şekil 3.3’de tek-sıralı yerleşim problemi ile ilgili parametreler ve karar değişkenleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Tek-sıralı yerleşim problemi için parametrelerin ve karar değişkenlerinin gösterimi.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enk} \quad \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=n+1}^n c_{ij} f_{ij} |x_i - x_j| \quad (3.3)$$

Kısıtlar:

$$|x_i - x_j| \geq 0.5(l_i + l_j) + d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (3.4)$$

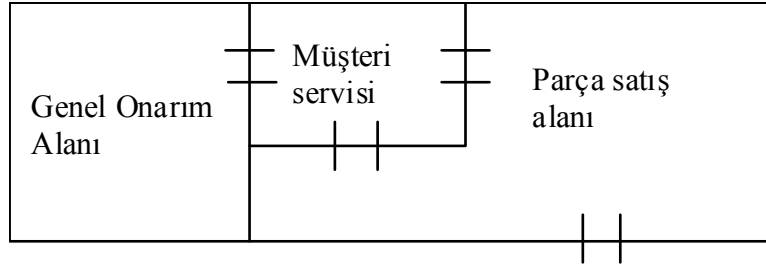
$$H - 0.5(l_i) \geq x_i \geq 0.5(l_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

ABSMODEL 1, hem eşit boyutlu hem de eşit boyutlu olmayan bölümlere sahip yerleşim problemlerini formüle etmek için kullanılabilir. Amaç fonksiyonu, bölümler arası taşımalardan kaynaklı mâliyetleri enküçüklerken, (3.4) numaralı kısıt herhangi iki bölümün yerlerinin çakışmasını önlemektedir. (3.5) numaralı kısıt ise, i bölümü en soldaki bölüm iken, DRD'nin i 'nin solunda kalmasını sağlamaktadır. Diğer bir değişle, yerleşimi yapılan tüm bölümlerin boyutlarının ve bölümler arası boşlukların yataydaki toplamalarının, yerleşim yerinin yatay uzunluğundan fazla olmasını engellemektedir (Heragu, 2006).

Örnek:

XYZ şirketi, televizyon ve video setlerinin onarımını yapan bir firmadır. Bunun yanında aksesuar ve servis hizmeti verdiği elektronik aletlere ilişkin parçaların satışını da yapmaktadırlar. Firma, düşük kalitede işçilik, parçaların ve onarımı yapılacak siparişlerin kaybedilmesi ve iyi hizmet vermelerini engelleyen firma içi trafik yoğunluğu gibi nedenlerden kaynaklı şikâyetler almaktadır. Buna çözüm bulmak için bir proje kapsamında işyeri düzenleme çalışması yapacaklardır.

Projeyi yürüten mühendis, öncelikle bâzı gözlemler yapmış ve veriler toplamıştır: (1) Şirkette bir tane televizyon ve video onaran, bir tane mikrodalga fırınları onaran, bir tane ses sistemlerini ve bir tane de bilgisayarları onaran çalışan bulunmaktadır. (2) Her ne kadar onarım teknisyenleri bâzı ekipmanları ortak kullansa da, ekipmanların birçoğu ağırlıklı olarak bir teknisyen tarafından kullanılmaktadır. (3) Binanın boyutları $75 \times 15 \text{ m}^2$ 'dir. (4) Şu andaki varolan yerleşim düzeni Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : XYZ firmasının varolan yerleşim düzeni

Çözüm:

Projeyi yürüten mühendis, bina içerisine beş tane bölüm kurulması önerisinde bulunmuştur. Bunlardan dördü her bir teknisyen için bir bölüm olacak şekilde, diğeri de parçaların ve aksesuarların satışının yapılması için ayrılacaktır. Bunun dışında mühendis, her bir onarım bölümünün önünde müşterilerin ilgili teknisyen ile doğrudan muhatap olabileceği bir müşteri servis penceresi olmasını ve bir ekipman hangi bölüm tarafından diğer bölümlere görece daha fazla kullanılıyorsa o bölümde saklı tutulmasını önermiştir.

Mühendis herhangi bir iş günü yaptığı gözlemler sonucu Şekil 3.5'de gösterilen akış matrisini oluşturmuş ve kurulacak yeni bölümler için gerekli olan alanları belirlemiştir.

	1	2	3	4	5	Departman alanları
$f_{ij} =$	1	2	3	4	5	
	1	12	8	20	0	20×10
	2	12	–	4	6	10×10
	3	8	4	–	10	10×10
	4	20	6	10	–	20×10
	5	0	2	0	3	15×10

Şekil 3.5 : XYZ firmasının bölümleri arasındaki akış ve bölüm alanları

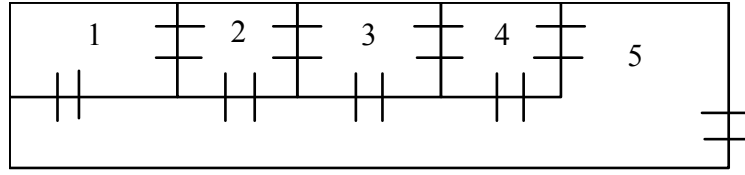
Bu problem için kurulan ABSMODEL'in formülasyonu aşağıdaki gibidir. Model GINO denilen bir yazılım programı ile çözülmüştür. Aşağıdaki gösterim de GINO programında modelin kurulması için gerekli olan veri giriş dosyasına ilişkindir:

- 1) $MIN = 12 \times ABS (X1 - X2) + 8 \times ABS (X1 - X3) + 20 \times ABS (X1 - X4) + 4 \times ABS (X2 - X3) + 6 \times ABS (X2 - X4) + 2 \times ABS (X2 - X5) + 10 \times ABS (X3 - X4) + 3 \times ABS (X4 - X5);$
- 2) $ABS (X1 - X2) > 15 ;$
- 3) $ABS (X1 - X3) > 15 ;$
-
-
- 11) $ABS (X4 - X5) > 17.5 ;$
- 12) $X1 > 10 ;$
- 13) $X2 > 5 ;$
-
-
- 17) $X1 < 65 ;$
- 18) $X2 < 70 ;$
-
-
- 21) $X5 < 67.5$

END

Model GINO programı ile çözüldüğünde, amaç fonksiyon değeri 1657,5 olarak; değişken değerleri de sırasıyla, $X1 = 10$, $X2 = 25$, $X3 = 35$, $X4 = 50$, $X5 = 67,5$

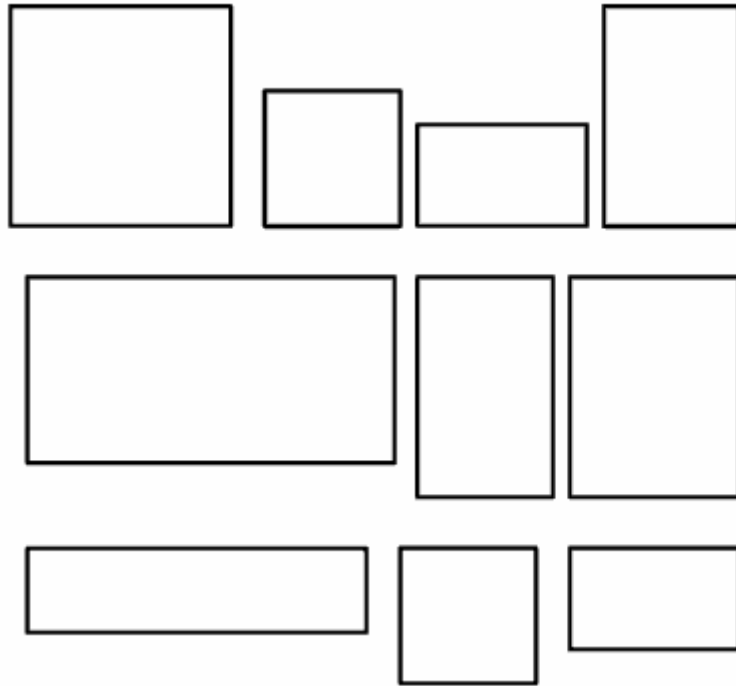
olarak bulunmuştur. Program sonucunda çıkan değerlerden elde edilen yerleşim düzeni Şekil 3.6'daki gibidir.



Şekil 3.6 : XYZ firmasının yeni yerleşim düzeni

3.3.2 Çok-sıralı yerleşim problemi

Bu tipteki yerleşim problemlerinde, bölümler iki ya da daha fazla sıraya doğrusal olarak yerleştirilirler (Heragu, 1997). Şekil 3.7’de, bir çok-sıralı yerleşim yeri örneği görülmektedir.



Şekil 3.7 : Çok-sıralı yerleşim örneği (Heragu, 2006).

Çok-sıralı yerleşim problemini çözmek için, kuadratik atama problemi modeli, doğrusal karma-tamsayılı programlama modeli, kuadratik küme örtülüş modeli ve kısıtlarında ve amaç fonksiyonunda mutlak terimler içeren doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir.

3.3.2.1 Kuadratik atama problemi

“Location-allocation” yer problemleri, yeni tesislerin sayılarının ve nasıl yerleştirileceklerinin kararının verildiği tipte problemlerdir. Bâzı durumlarda, yeni tesislerin sayıları önceden belirlidir ve problem salt bunların nasıl yerleştirileceği ile ilgilidir. Eğer yeni tesisler arasında bir etkileşim yoksa, yâni bir tesis salt yeni tesislerin varolan tesislere bağlı olarak yerleştirilmeleri ile ilgili ise bu tür problemler “doğrusal atama problemi” olarak adlandırılır. Eğer yeni tesisler arasında etkileşim sözkonusu ise, problem bir “kuadratik atama problemi” olur. Bu tip problemlerin matematiksel ifâdesi (Heragu., 1997):

$$\text{Enk } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n \sum_{\substack{l=1 \\ j \neq l}}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (3.6)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, n \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j=1, \dots, n \quad (3.8)$$

$$x_{ij} \in (0,1) \quad \text{her } i, j \text{ için.} \quad (3.9)$$

Burada c_{jl} , birim malzemeyi j lokasyonundan l lokasyonuna taşıma mâliyetidir. f_{ik} ise i tesisinden k tesisine malzeme akışıdır. (3.7) ve (3.9) numaralı kısıtlar, i tesisinin salt bir lokasyona; (3.8) ve (3.9) numaralı kısıtlar da j tesisinin salt bir lokasyona atanmasını sağlamaktadır.

Kuadratik atama probleminin sakıncası, NP- tüm olması ve 18’den fazla tesisli işyeri düzenleme problemleri için çözüm vermemesidir (Meller ve diğ, 1996). Ayrıca KAP, eşit boyutlu tesisler sözkonusu olduğunda uygulanabilmektedir. Ancak gerçek yaşamda, tesisler eşit boyutlu değildir. Bundan dolayı, kuadratik atama problemlerini çözmek için sezgisel yöntemler kullanılır.

Genel olarak, kuadratik atama problemlerini çözmek için kullanılan sezgisel yöntemler, “kuruluş ve geliştirme algoritmaları” olarak sınıflandırılabilirler.

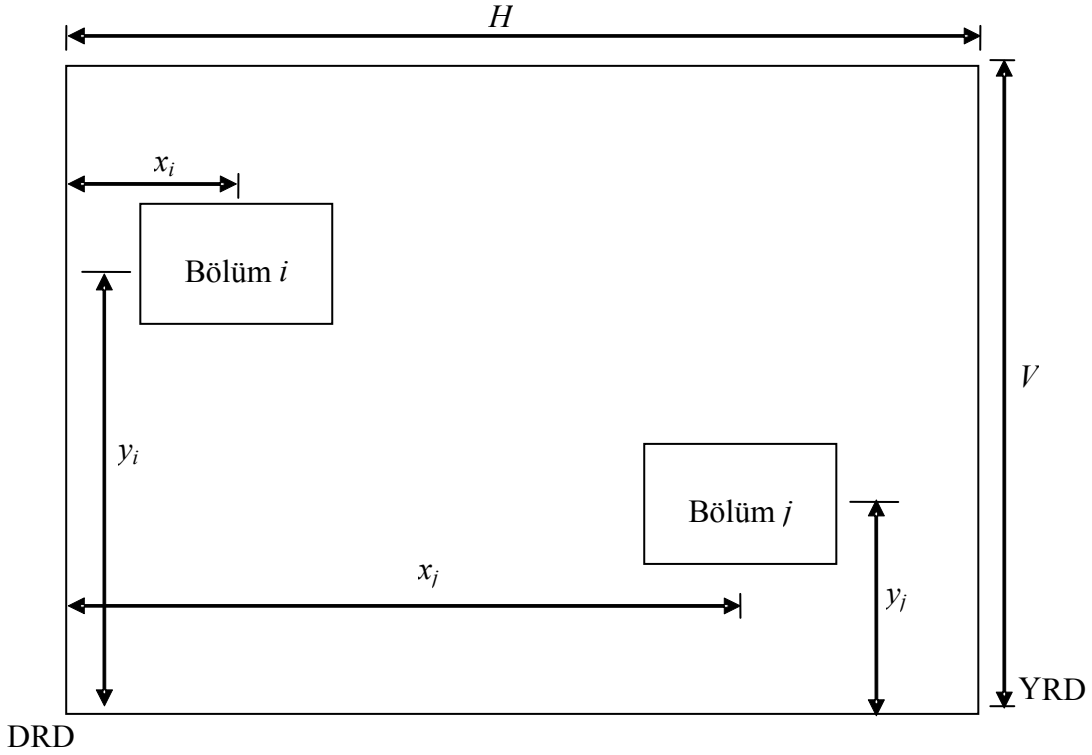
3.3.2.2 ABSModel 2

Genellikle tesisler, iki ya da daha fazla sırada ve doğrusal olmayan bir şekilde yerleştirilmeye gereksinim duyarlar. Bu tipteki problemleri modellemek için, KAP ya da onun eşdeğer doğrusal dönüşümleri kullanılabilir. KAP bir önceki bölümde anlatılmıştı, bu bölümde de eşit alanlara sahip kare şeklindeki tesislerin, iki veya daha fazla sıraya (çok-sıralı) yerleştirilmesi problemi için geliştirilmiş ABSMODEL 2 anlatılmaktadır. Bu model, tek-sıralı problemler için geliştirilen ABSMODEL 1 üzerine temellendirilmiştir. Modelin karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibidir (Heragu, 1997):

Karar Değişkenleri:

x_i : i bölümünün merkezi ile düşey referans doğrusu arasındaki yatay uzaklık

y_i : i bölümünün merkezi ile yatay referans doğrusu arasındaki düşey uzaklık



Şekil 3.8 : Eşit boyutlu bölümlere sahip çok-sıralı yerleşim problemi için karar değişkenlerinin ve parametrelerin gösterimi (Heragu, 2006).

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Enk} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad (3.10)$$

Kısıtlar:

$$|x_i - x_j| + |y_i - y_j| \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (3.11)$$

$$j = i + 1, \dots, n$$

$$x_i, y_i = \text{tamsayı} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.12)$$

$$H \geq x_i \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

$$V \geq y_i \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.14)$$

(3.11) ve (3.12) numaralı kısıt, tesislerin çakışmasını önlemektedir. H ve V sırasıyla yerleşim yapılacak alanın en ve boy uzunluğunu, YRD yatay referans doğrusunu, HRD de düşey referans doğrusunu göstermektedir. (3.13) ve (3.14) numaralı kısıtlar ile tesislerin yerleşim yapılacak alan içerisinde düzenlenmesi sağlanmaktadır.

3.4 İşyeri Düzenleme Problemi İçin Geliştirilen Temel Algoritmalar

Koopmans ve Beckmans'ın işyeri düzenleme ve yerleşim problemini 1957 yılında kuadratik atama problemi olarak modellemelerinden sonra, birçok algoritma önerilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Eniyileme algoritmaları
- Sezgisel algoritmalar

Sezgisel algoritmalar da kendi içinde aşağıdaki gibi ayrılabilir (Heragu, 1997):

- Kuruluş algoritmaları
- Geliştirme algoritmaları
- Melez algoritmalar

3.4.1 Kuruluş algoritmaları

Kuruluş algoritmaları, belirli bir amaç ölçütüne göre sıfır çözümden başlayarak bölümleri tek tek ele alıp yerleştirirler ve sonuçta amacı gerçekleyen biçimde yerleşim düzeni plânı oluştururlar. Kuruluş algoritmalarına aşağıdaki örnekleri verebiliriz (Erkut ve Baskak, 2003):

- ALDEP (Automated Layout Design Programme - Makinalaştırılmış İşyeri Düzeni Tasarımı Problemi)

- CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning - programlanmış işyeri düzeni tasarımı programı)
- PLANET (Computerized Plant Layout Analysis and Evaluation Technique - Programlanmış işyeri düzeni çözümlemesi ve değerlendirme tekniği)
- LAYOPT (Layout Optimizing Programme - İşyeri düzenini eniyileştirme programı)
- CASS
- COLO2
- COMP1
- COMP2
- COMSBUL
- DOMINO
- GENOPT
- IMAGE
- KONUVER
- LAYADAPT
- LSP
- MST (Modified Spanning Tree Algorithm)
- MUSTLAP2
- PLAN
- RMA
- SISTLAP
- SUMI

3.4.2 Geliştirme algoritmaları

Bu tür algoritmalarda öncelikle, işyerinin varolan düzeni tümüyle incelenir ve bölümlerin yerleşimleri, tasarımı geliştirecek biçimde birbirleriyle değiştirilir. Geliştirme algoritmalarına örnekler şunlardır (Erkut ve Baskak, 2003):

- CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique -Tesislerin programlanmış görelî yerleştirilmesi tekniği)
- COFAD (Computerized Facility Design - Programlanmış tesis tasarımı)
- COSFAD
- GRASP

- OFFICE
- OPT Algorithm
- PREP

3.4.3 Melez algoritmalar

Birden fazla çözüm tekniğini kullanan algoritmalar, melez ya da karma algoritmalar olarak tanımlanırlar. Bu bölüm altında, melez algoritmalara BLOCPLAN örnek verilebilir.

Yukarıda anlatılan algoritmalar ALDEP, CORELAP, PLANET, CRAFT, COFAD, BLOCPLAN aynı zamanda Bilgisayar Destekli Yerleşim teknikleridir. Bu algoritmalar Bilgisayar Destekli İşyeri Düzenleme konu başlığı altında ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

3.4.4 Bilgisayar destekli işyeri düzenleme

Bilgisayar destekli yerleşim teknikleri, bölümler arasındaki akışın kaydedilmesi ve çeşitli yerleşimler üretilmesi yöntemi ile sınıflandırılabilir (Tompkins ve White, 1984). Bölümler arasındaki ilişkiler niceliksel olarak bir nereden nereye şemasına veya niteliksel olarak bir ilişki diyagramına kaydedilebilir. Bilgisayar destekli yerleşim tekniklerinden ikisi olan CRAFT ve COFAD, niceliksel akış girdileri gerektirmektedir. PLANET, hem niceliksel hem de niteliksel akışları girdi olarak kabul ederken, CORELAP ve ALDEP, niteliksel akış girdileri istemektedir.

Yerleşimler, ya varolan bir yerleşimin geliştirilmesi ile ya da baştan bir yerleşim yapılması ile oluşturulur. Bir yordam, yeni bir yerleşim düzenini varolanı geliştirerek oluşturuyorsa, bu “geliştirme algoritması”, boş bir zemin üzerinde baştan bir yerleşim düzeni oluşturuyorsa bu da “kuruluş algoritması” olarak düşünülür. CRAFT ve COFAD geliştirme, diğer üç algoritma (PLANET, CORELAP, ALDEP) ise kuruluş algoritmalarıdır.

Bilgisayar destekli yerleşim düzeni tekniklerinde gereksinim duyulan girdiler, elle yapılan yerleşim düzeni tekniklerinde gereksinim duyulanlar ile aynıdır.

3.4.4.1 Corelap

CORELAP, geliştirilmiş ve bilgisayarlaştırılmış ilk kuruluş algoritmalarından biridir (Heragu, 1997). Niteliksel girdi verisini, niceliksel girdi verisine dönüştürür ve ilk

bölümün yerleşime alınmasına karar vermek için bu bilgiyi kullanır. Diğer bir deyişle, yerleştirme düzenlerini tasarımlamada ilişki şemasını kullanır. Ardıl bölümler, yerleşimde bulunan bölümlerle ilişkilerine göre birer birer yerleşime dahil edilirler.

CORELAP algoritmasında en küçük girdi gereksinimleri aşağıdakileri içerir (Erkut ve Baskak, 2003):

1. Bölümler için ilişki şeması
2. Bölümlerin sayısı
3. Her bölümün alanı
4. İlişki şeması girişleri için ağırlıklar

Algoritma, toplam yakınlık derecelerini (TYD) kullanarak yerleşimi oluşturur. Toplam yakınlık derecesi, bir bölüm için o bölüm ile diğer bölümler arasındaki yakınlık ilişkilerine atanan sayısal değerlerin toplamıdır ($A=6$, $E=5$, $I=4$, $O=3$, $U=2$, $X=1$) (Tompkins, 1984). En yüksek TYD değerine sahip tesis seçilir ve yerleşimin merkezine konur. Eğer aynı TYD değerine sahip birden fazla bölüm varsa en geniş alana sahip olan seçilir. Eğer alanlar da eşitse, en küçük bölüm numarasına sahip olan yeğlenir. Daha sonra ilişki şeması gözden geçirilir ve seçilip yerleştirilen bölümle aralarında A ilişkisi bulunan bölüm seçilir ve yerleşime eklenir. Eğer seçilip yerleştirilen bölümle A ilişkisine sahip bir bölüm yoksa, ilişki şeması E ilişkisine sahip bölümleri aramak için yeniden gözden geçirilir. E ilişkisine sahip bölüm de yoksa I ilişkisine bakılır. Bu işlem seçilip, yerleştirilen bölümle bir ilişkisi bulunan bölümlerin bulunmasına dek süreç sürdürülür. Eğer seçilmiş bölümle aynı ilişkiye sahip birden fazla bölüm varsa yukarıdaki kurala göre bölümlerden biri seçilerek daha önce seçilmiş bölümün yanına eklenir. Bu süreç, tüm bölümler yerleşime ekleninceye dek sürdürülür.

CORELAP, seçilmiş algoritmaları yerleşim alanına yerleştirme işlemini “yerleşme oranı (YO)” diye adlandırılan bir değere bakarak yapar. Bu değer, yerleşime yeni eklenecek bölüm ile yerleşimde zaten varolan bölümler arasından eklenecek bölüme komşu olanların arasındaki yakınlık ilişkilerine atanan değerlerin toplamıdır. Yeni bir bölüm yerleşime eklenirken, YO’yu enbüyükleyecek şekilde yerleştirilir (Heragu, 1997).

YO değeri aşağıdakilere bağlı olarak hesaplanır (Heragu, 1997):

- Yerleşimde zâten varolan bölümler ile yerleşime yeni eklenecek bölümün komşu olduğu birim kare sayısı –bu sınır uzunluğu olarak adlandırılır.
- Varolan bölümler ile eklenecek olan arasındaki ilişkiler
- Kullanıcı tarafından A, E, I, O, U, ve X yakınlık ilişkilerine verilen sayısal değerler.

Bir yerleşimin puanı, tüm bölüm çiftleri için, bölümler arasındaki yakınlık ilişkilerinin sayısal değerleri ile bölümler arası uzaklığın çarpımlarının toplamıdır. Burada kastedilen uzaklık, en kısa uzaklıktır. Birbirine komşu olan iki bölüm arasındaki uzaklık 0'dır. Birbirine komşu olmayan iki bölüm arasındaki uzaklık da, bu bölümler arasındaki birim karelerin sayısıdır.

Örnek:

Aşağıdaki Şekil 3.9'da beş bölüme ilişkin ilişki şeması ve bu bölümlerin alanları (m^2) verilmiştir. A, E, I, O, U, ve X yakınlık derecelerine sırasıyla 32, 16, 8, 4, 2 ve -32 sayısal değerlerini vererek CORELAP ile bir yerleşim yeri geliştirelim.

	1	2	3	4	5	<u>Bölüm Alanları</u>
1	–	U	I	A	U	1200
2	U	–	U	E	U	1800
3	I	U	–	O	I	1000
4	A	E	O	–	E	2400
5	U	U	I	E	–	1200

Şekil 3.9 : İlişki şeması ve alan bilgileri

Çözüm:

Burada, her bir birim karenin alanını $600 m^2$ olarak kabul edelim. Böylelikle, 1. bölümden itibaren her bir bölüm sırasıyla 2, 3, 2, 4, ve 2 birim karelik alanlara gereksinim duymaktadır. En yüksek TYD değerine sahip bölüm seçilerek yerleşime eklenir. Bu kurala göre 4 numaralı bölüm yerleşime ilk eklenecek bölümdür. Bu işlemten sonra, ilişki şeması gözden geçirilerek 4 numaralı bölüm ile A ilişkisine sahip bölüm olup olmadığına bakılır. İlişki şeması tarandığında, 4 numaralı bölüm ile A ilişkisine sahip salt 1 numaralı bölüm olduğu görülmektedir. Bu durumda yerleşime eklenecek ikinci bölüm de 1 numaralı bölüm olacaktır. Bu kez ilişki şeması, 1 veya 4 numaralı bölümlerle A ilişkisine sahip bir bölüm olup olmadığına bakmak için taranır. A ilişkisine sahip olan bir bölüm olmadığından, E ilişkisine

bakılır. 2 ve 5 numaralı bölümler 4 numaralı bölüm ile E ilişkisine sahiptir. Ancak 5 numaralı bölümün TYD değeri daha yüksek olduğundan önce 5 numaralı bölüm, daha sonra da 2 numaralı bölüm yerleşime eklenir.

CORELAP, yerleşim sonuçlarını bölüm numaralarının önüne 1 ekleyerek göstermektedir. Örneğin, Şekil 3.10'da gösterilen yerleşim düzeninde 1 numaralı bölüm 11; 4 numaralı bölüm da 14 olarak görülmektedir.

*	13	13	*	*	*
*	15	11	11	*	*
*	15	14	14	*	*
*	12	14	14	*	*
*	12	12	*	*	*
*	*	*	*	*	*

Şekil 3.10 : Corelap ile elde edilen yerleşim düzeni

Yerleşim düzenine baktığımızda, 1 numaralı bölümün 4 numaralı bölümün üstüne yerleştirildiği görülmektedir. Bunun nedeni, bu tür bir yerleşimin 4 numaralı bölümün hem yerleşim oranını hem de sınır uzunluğunu enbüyüklemesidir. Aynı şekilde, 5 numaralı bölüm de 1 ve 4 numaralı bölümlerle sırasıyla U ve E ilişkisine sahip olduğundan her iki bölüm ile komşu olacak bir yere yerleştirilmelidir. Bundan dolayı, her iki bölümün soluna yerleştirilmiştir ve yerleşme oranı da 18 olmuştur. Bu 5 numaralı bölüm için en yüksek yerleşme oranıdır. Benzer şekilde, diğer bölümler de yakınlık oranları enbüyüklenecek şekilde yerleşime eklenmişlerdir. Bu yerleşimin puanı $4 + 4 + 4 = 12$ 'dir.

3.4.4.2 Aldep

ALDEP, CORELAP ile aynı temel girdi verilere ve amaçlara sahiptir. ALDEP ve CORELAP arasındaki temel farklılık, CORELAP bir bölümü yerleşime eklerken eğer uyumsuzluk olursa, hangi bölümü yerleşime ekleyeceğine toplam yakınlık derecelerine bakarak karar verir ancak ALDEP bir uyumsuzluk durumunda rastgele bir bölümü seçerek yerleşime ekler. İki program arasındaki temel mantıksal farklılık ise şudur: CORELAP en iyi yerleşimi bulmaya çalışır ancak ALDEP birçok yerleşim seçeneği oluşturur ve onlara oranlar verir, hangi yerleşimin seçileceğini tasarımcıya bırakır.

ALDEP için gerekli olan girdi verileri aşağıda belirtilmiştir:

- Her bir kat için uzunluk, genişlik ve alan gereksinimleri

- Kullanılacak yerleşim alanının ölçüğü
- Yerleştirme düzenindeki bölüm sayısı
- Oluşturulacak seçenek yerleşim sayısı
- Bir yerleşim yerinin seçenek olarak kabul edilebilmesi için izin verilen en az puan
- En az bölüm tercihi
- Bölümler için ilişki şeması
- Her bir katta kullanılacak alanın boyutu ve lokasyonu

Daha önce de belirtildiği gibi, ALDEP yerleşime ekleyeceği ilk bölümü rassal olarak seçer. Bundan sonra, ilişki şeması seçilmiş bölüm ile A ilişkisi olan bir bölüm olup olmadığını belirlemek için gözden geçirilir. Eğer böyle bir bölüm varsa seçilerek varolan bölümün yanına eklenir. Eğer birden fazla aday bölüm varsa, rastgele bir tanesi seçilir. Bu yordam, tüm bölümler yerleşime ekleninceye kadar sürer. Yerleştirme düzeninin toplam puanı, komşu bölümler için yakınlık derecelerine verilen sayısal değerlerin toplanması ile belirlenir. Tüm süreç belirli bir sayıda yinelenir.

ALDEP'in yakınlık derecelerine atadığı sayısal değerler şu şekildedir (Francis, 1974):

$$\begin{array}{ll} A = 4^3 = 64 & O = 4^0 \\ E = 4^2 = 16 & U = 0 \\ I = 4^1 = 4 & X = -4^5 = -1,024 \end{array}$$

ALDEP, en fazla 63 bölümlü yerleşimleri düzenleyebilir ve üç kata kadar da çok katlı yerleşim olanağı sunar. Ayrıca çözüme kimi kısıtların katılması da olanaklıdır. Örneğin, yerleştirme düzeni; geçitler, asansör ve merdiven boşlukları, girişler ve varolan bölümlerin çevresinde tasarımlanabilir.

3.4.4.3 Craft

Armour ve Buffa tarafından 1963 yılında, ilk bilgisayar-destekli yerleşim algoritması olarak önerilmiştir. CRAFT akışlar, uzaklıklar ve birim taşıma mâliyetlerinin çarpımı olan taşıma mâliyetini enküçükleme amacı ile bir yerleşim düzeni geliştirmektedir. CRAFT, “her bir birimin bir birim uzaklık yer değiştirmesinin” mâliyetini girdi olarak istemektedir. Bu bağlamda, taşıma mâliyetlerini girmek için aşağıdaki kabullere gereksinim duyulmaktadır (Tompkins ve diğ., 1984):

- Taşıma mâliyetleri donanımın kullanımından bağımsızdır.
- Taşıma mâliyetleri, taşıma uzunluğu ile doğrusal ilişkilidir.

Birçok durumda bu kabuller doğrulanmaz. Bu durumda, taşıma mâliyetleri genellikle bir birleşik değere atanır ve CRAFT akışların ve uzaklıkların çarpımını enküçüklemek için kullanılır.

CRAFT'ın girdileri şunlardır:

- Gezi Şeması
- Hareket-Mâliyet Şeması
- Başlangıç alansal düzenleme
- Değişmez bölümlerin yerleşimi ve sayısı

CRAFT yordamı, varolan yerleşimdeki bölümlerin merkezinin belirlenmesi ile başlar. Daha sonra, merkezler arasındaki dikdoğrusal uzaklığı hesaplar ve uzaklığı bir uzaklık matrisine kaydeder. Taşıma mâliyeti, nereden nereye şemasındaki girdilerin, yer değiştirme mâliyet matrisinin ve uzaklık matrisinin çarpılması ile hesaplanır. Taşıma mâliyeti hesaplamak için aşağıdaki eşitliği kullanır (Tompkins ve diğ., 1996):

$$\text{Enk } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij} \quad (3.15)$$

f_{ij} : i bölümünden j bölümüne olan akış

c_{ij} : bir birim ürünü i bölümünden j bölümüne bir birim uzaklık taşımanın mâliyeti

d_{ij} : i bölümünden j bölümüne olan uzaklık

Bu eşitlikten yola çıkarak CRAFT'ın mâliyet hesaplarken, uzaklık-temelli amaç fonksiyonunu kullandığını söyleyebiliriz.

Daha sonra, Craft, eşit boyutlara ya da ortak sınırlara sahip bölümleri kendi aralarında yer değiştirerek taşıma mâliyetini düşürmeye çalışır. Aşağıdaki tiplerde değişimler gözönünde bulundurulabilir:

- İkili değişim
- Üç yollu değişim
- İkili değişimi izleyen üç yollu değişim

- Üç yollu değişimi izleyen ikili değişim
- İkili veya üç yollu değişimlerin en iyisi

Her bölümler arası değişimde taşıma mâliyeti hesaplanır ve taşıma mâliyetinde en büyük düşüşü sağlayan bölümler arası değişim, yerleşim düzeni olarak belirlenir. CRAFT, bu işlemleri yeni yerleşim düzenine de uygular. Yordam, bölümlerin yer değiştirmesinin, taşıma mâliyetinde herhangi bir azalmayı sağlamadığı yerleşim düzeninin elde edilmesine kadar sürer.

Kukla bölümler, diğer bölümler ile akış ilişkisine sahip olmayan ama yer işgâl eden bölümlerdir. Kukla bölümler:

- Bina düzensizliklerini doldurmak
- Tesiste, bölümlerin yer almadığı alanları (merdiven, yürüyen merdiven, dinlenme odaları, vb.) göstermek
- Nihai yerleşim düzeninde koridorların tayin edilmesine yardım için kullanılabilir.

Kukla bölümlerin ilk iki kullanımı, CRAFT'ın tüm bölümler kare veya dikdörtgendir ve içlerinde boş alan yoktur gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Kukla bölümlerin üçüncü kullanımı da, tesis plânlayıcısının CRAFT'ı pratik olarak kullanılabilir yerleşim düzenleri geliştirmesi için kullanmasına izin verir.

CRAFT, i ve j tesislerinin yerlerini her değiştirdiğinde mâliyet ne kadarlık bir düşüş olduğunu hesaplar. Bu mâliyet düşüşü hesabını, i ve j koordinatları birbirleri ile değiştirilmiş iki tesis olmak üzere, aşağıdaki eşitlik ile yapar (Heragu, 1997):

$$\sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{ik} d_{ik} + \sum_{k=1, k \neq j, k \neq i}^n f_{jk} d_{jk} - \sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{jk} d_{ik} - \sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{ik} d_{jk} \quad (3.16)$$

Eşitlikteki ilk iki terim, i ve j bölümlerinin ikili değişimden önceki durumda malzeme elleçleme mâliyetine katkısını; son iki terim ise ikili değişimden sonraki durumdaki katkısını hesaplayan ifâdeleri göstermektedir. Eşitlikteki dört terimde de, f_{ij} ve d_{ij} çarpımı yoktur çünkü i ve j bölümleri arasındaki uzaklık, değişimden önce de sonra da aynıdır.

3.4.4.4 Planet

Planet, Craft'ın kullandığı girdi verilerini kullanmaktadır ve benzer tipteki problemlere yerleşimler üretmek ve değerlendirmek için kullanılabilir. Modelde, malzeme akış verisini belirlemek için üç farklı seçenek yöntem kullanılabilir ve model üç farklı kuruluş algoritmasını içermektedir.

Malzeme akış verisini girmek için ilk yöntem, tesiste elleçlenen her parça için, bölüm bazında üretim sırasını belirlemektir. Buna ek olarak, her bir parça sayısı için her 100 fitte her taşınanın da mâliyetine gereksinim duyulmaktadır. Planet, üretim verisini, nereden-nereye şemasına dönüştürür ve daha sonra, nereden-nereye şemasının iki yönüne de akış miktarlarını ekleyerek, modelin kuruluş algoritmalarında kullanılmak üzere bir akış-mâliyet şeması oluşturur. Diğer bir ifade ile, fabrikada taşınan her parçanın, üretim çizelgelemesine bağlı olarak, her taşımadaki mâliyetlerinin toplanması ile elde edilen bir şema oluşturulur.

İkinci yöntem, malzeme akış verisini nereden-nereye matrisine doğrudan girmektir. Nereden-nereye matrisi, model tarafından bir kez daha akış- akış mâliyeti şemasına dönüştürülür.

Son yöntem bir ceza matrisi kullanılmasıdır. İki bölüm arasında ceza girdisi ne kadar yüksekse, bu iki bölümün birbirlerine olan yakınlıkları da o kadar önemlidir. Bu matris de model tarafından bir kez daha akış- akış mâliyeti şemasına dönüştürülür.

Planet, Craft'tan farklı olarak, her bölüme bir yerleştirme önceliği atar. En yüksek yerleştirme önceliği 1, en düşük yerleştirme önceliği de 9 dur. Bölümler yerleşim yerine, öncelik sınıflarına göre yerleştirilirler. Planet içerisinde, aynı öncelik sınıfında olan bölümlerin yerleştirilmek için hangi sırayla seçileceğini belirleyen üç farklı algoritma vardır.

İlk seçim yöntemi, bölümleri akış-mâliyet değerlerine bağlı olarak seçer. Yerleşime eklenecek ilk bölüm çifti, en yüksek önceliğe sahip grupta ve en yüksek akış-mâliyet değerine sahip olmalıdır. Yerleşime eklenecek bir sonraki bölüm, yerleştirilmemiş bölümler arasında en yüksek önceliğe ve yerleştirilmiş bölümlerden herhangi biri ile en yüksek akış-mâliyet değerine sahip olmalıdır. Bu işlem bütün bölümler yerleştirilinceye dek sürer.

İkinci yöntem, ilk bölüm çiftini, ilk seçme yöntemi ile aynı şekilde yerleşime ekler. Yerleşime eklenecek bir sonraki bölüm ise, henüz yerleştirilmemiş olanlar arasından en yüksek önceliğe ve yerleştirilmiş tüm bölümlerle en yüksek toplam akış-mâliyet değerine sahip olanıdır. Bu işlem, bütün bölümler yerleştirilinceye dek sürer.

Üçüncü yöntemde yerleşime eklenecek ilk bölüm, en yüksek önceliğe sahip bölüm grubu içerisinde, diğer tüm bölümlerle en yüksek toplam akış-mâliyet değerine sahip olanıdır. Yerleşime eklenecek bir sonraki bölüm ise, henüz yerleştirilmemiş olanlar arasından en yüksek önceliğe ve diğer tüm bölümlerle en yüksek toplam akış-mâliyet değerine sahip olanıdır.

Planet'in yerleştirme rutini, yerleşime eklenecek ilk iki bölümü seçmek ve onları yerleşimin merkezine birbirlerine en yakın olacak şekilde yerleştirmek ile başlar. Eklenecek her yeni bölüm, malzeme elleçleme mâliyetindeki artışı en küçükleyecek şekilde yerleşim alanında konumlandırılır. Bu konum da deneme ve yanılma yoluyla belirlenir. Öncelikle, yerleşimdeki bölümlerin merkezleri, merkezleri arasındaki uzaklıklar ve varolan yerleşimin çevresindeki her nokta belirlenir. Uzaklıkların ve akış-mâliyet şemasının çarpılmasıyla hacim-uzaklık sonucu elde edilir ve en düşük mâliyetli nokta, bölümün konumlandırılacağı yer olarak belirlenir. Bu işlem tüm bölümler yerleşime ekleninceye dek sürer.

3.4.4.5 Cofad

Cofad, temel olarak Craft'ın değiştirilmiş bir hâlidir ve çeşitli malzeme taşıma donanımı seçeneklerinin taşıma mâliyetlerini de hesaba katar. Bu taşıma mâliyetlerini hesaba katmak için, malzeme taşıma yöntemlerinin ve mâliyetlerinin her bir seçenek yerleşim düzeni için belirlenmesi gerekmektedir. Cofad, hem yerleşim yerinin nasıl tasarlanacağını hem de malzeme taşıma sistemlerini gözönünde bulunduran bir modeldir. Cofad'ın girdi verileri Craft ile aynıdır ancak Cofad bir de seçenek malzeme taşıma ekipmanlarının mâliyetlerini de girdi olarak kullanır. Modelin amacı, en düşük mâliyetli taşıma sistemine sahip bir yerleşim düzenini tasarlamak ve malzeme taşıma sistemini seçmektir (Tompkins ve White, 1984).

Cofad'ın ilk işlevi, büyük ölçüde Craft'a benzeyen bir yordam ile bir başlangıç yerleşim düzeni oluşturmaktır. Elde edilen yerleşim düzeni için, model olurlu malzeme elleçleme donanım seçenekleriyle her taşımayı gerçekleştirmenin

mâliyetini belirler. Bu mâliyetleri hesaplarken kullandığı yöntem, kullanılan ekipmanın türüne bağlıdır. Sabit yerleşimli ekipman için, her bir taşımanın yıllık mâliyeti aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Tompkins ve White, 1984):

$$MC = VC \times LM + NVC \quad (3.17)$$

Eşitlikteki semboller şu anlamlara gelmektedir:

MC: Taşıma mâliyeti

VC: Değişken mâliyet (YTL / m)

LM: Taşımanın uzunluğu (m / yıl)

NVC: Değişken olmayan mâliyet (YTL / yıl)

Bu eşitlikte, değişken ve değişken olmayan mâliyetler girdidir; taşıma uzunluğu ise model tarafından hesaplanmaktadır. Hareketli taşıma ekipmanları için de aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$MC = VC \times MT + NVC \times EU \quad (3.18)$$

MT: Taşıma süresi

EU: Bu taşıma için ekipman kullanım yüzdesi

Bu eşitlikte, değişken ve değişken olmayan mâliyetler girdidir; taşıma uzunluğu ve ekipman kullanım yüzdesi ise model tarafından hesaplanmaktadır.

Modelin diğer işlevi, hesaplanmış taşıma mâliyetlerini, en düşük mâliyetli malzeme elleçleme sistemini belirlemek için kullanmaktır. Başlangıç olarak seçilen malzeme elleçleme sistemi, her bir taşıma için bu taşımayı gerçekleştirirken, en düşük taşıma mâliyetine sahip malzeme elleçleme donanım seçeneğini seçerek belirlenir.

İlk geliştirme, tüm donanım türlerinin kullanımını arttırmaktır. Her donanım türünün kullanım miktarları toplanır ve her donanım türü için gereksinim duyulan miktarı belirlemek amacıyla bir üste (yukarıya) yuvarlanır. Bu yuvarlanmış sayılar, her bir ekipman türü için tasarlanan ekipman gereksinimi olarak ifade edilebilir. Tasarlanan donanım gereksinimi ile donanım kullanım toplamı arasındaki farklar hesaplanır ve her donanım tipi için sapma olarak etiketlenir. En yüksek sapmaya sahip olan donanım türü, atamalarının bâzılarını en düşük sapmaya sahip donanım türüne bırakacaktır. Bu işlem tüm sapmalar enküçükleninceye dek sürdürülür.

Çözümdeki ikinci geliştirmeye, her bir taşıma için, başlangıçta belirlenen taşıma mâliyetini, en iyi çözüm için atanan mâliyet ile karşılaştırarak ulaşılmaya çalışılır.

Atanan mâliyeti orijinal taşıma mâliyetinden fazla olan tüm taşımalar için olası tüm donanım türleri geçici olarak atanır ve toplam mâliyet yeniden hesaplanır. Eğer toplam mâliyetinde bir azalma oluyorsa, geçici atamalar kalıcı olur. Bu işlem mâliyetinde hiç bir azalma elde edilmeyinceye dek sürdürülür. Bu durum da en düşük mâliyetli malzeme elleçleme sisteminin elde edildiğini gösterir (Tompkins ve White, 1984).

3.4.4.6 BlocPlan

Donaghey ve Pire tarafından 1991 yılında geliştirilen BLOCPLAN, blok tipinde yerleşimler üretir. Algoritma, akış için hem ilişki şemasını hem de nereden-nereye matrisini girdi verisi olarak kullanır. Yerleşimin mâliyeti, uzaklık-tabanlı amaç fonksiyonundan veya yakınlık-tabanlı amaç fonksiyonundan hesaplanabilir. BLOCPLAN’da blokların sayısı program tarafından belirlenir ve iki veya üç blok ile sınırlandırılmıştır. Bunun yanında, bant genişliğinin değişmesine izin verilmektedir (Tompkins ve diğ., 1996).

BLOCPLAN, hem kuruluş hem de geliştirme algoritmasıdır. Kuruluş yordamı, bölümlerin rassal olarak veya aralarındaki ilişkilerin gözönünde bulundurulması ile yapılır. Geliştirme yordamı ise, bölümlerin ikili değiştirilmesi ile yapılmaktadır (Garcia-Diaz ve Smith., 2007).

Algoritmanın girdileri (Garcia-Diaz ve Smith., 2007) şunlardır:

- Bölüm sayısı (En fazla 18)
- Bölümlerin adları ve alanları
- İlişki veya nereden-nereye şeması
- Yerleşim yapılacak alanın boy/en oranı
- **Ürün bilgisi:** Ürünlerin sayısı, birim yüklerin sayısı, bölüm sırası
- **Algoritmanın çıktısı:** Grafiksel olarak gösterilen bir yerleşim düzeni ve bu yerleşim düzeninin puanı.
- **Algoritmanın üstün yanları:** Hem kuruluş hem de geliştirme algoritması olarak kullanılabilmesi, kullanıcıya büyük bir esneklik sağlamaktadır. Hem tek katlı hem de çok katlı yerleşim düzenleri için kullanılabilir.
- Algoritmanın sakıncası ise en fazla 18 tane bölümün yerleşimini yapabilmesidir.

3.5 İşyeri Düzenleme İçin Geliştirilen İleri Algoritmalar

3.5.1 Optimal algoritmalar

3.5.1.1 Dal-Sınır algoritması

Dal-sınır, dinamik programlama gibi çözüm uzayındaki olası tüm çözümleri değerlendirerek en iyi çözümü bulmaya çalışan bir algoritmadır. En genel olarak, çözüm uzayı daha küçük alt-kümelere dallandırılır ve her bir alt-kümedeki çözümlerin mâliyetini bulmak için bir alt-sınır değeri (enküçükleme problemleri için) hesaplanır. Her bir dallanmadan sonra, alt-sınır değeri, herhangi bir çözümün mâliyetinden daha yüksek olan alt-kümelere çözüm uzayından çıkarılır. Dallanma işlemi, mâliyet değeri herhangi bir kümenin sınır değerinden büyük olmayan çözüm bulununcaya dek sürdürülür (Lawler ve Wood, 1966).

Bazaraa (1975) makalesinde, işyeri düzenleme problemi için bir kuadratik küme örtülüş formülasyonu önermiştir. Formülasyon hem tek katlı hem de çok katlı; düzgün veya düzgün olmayan şekilli bölümlere sahip yapılar için; bir yerleşimi en baştan tasarlamak veya varolan bir yerleşime yeni bir nesne eklemek için kullanılabilir. Nihai yerleşim, bir dal-sınır algoritması yordamı ile elde edilmiştir.

Çalışmadaki girdi verileri şu şekildedir:

- Öncelikle, her bir nesnenin boyutları ve gereksinim duyduğu alan
- Her bir nesnenin aday yerleşim yerleri
- Olanaklı ise, bir nesneyi bir yerleşim yerine atama mâliyeti
- Son olarak, her nesne çifti arasındaki akış

Problem, kuadratik atama problemi ile benzerlik göstermekle birlikte nesnelerin şekilleri bakımından farklılık göstermektedir. KAP'ta yerleşime yerleştirilecek nesneler eşit boyutludur ve tek bir yerleşim yerini işgâl ederler ancak burada nesneler farklı alanlara sahip ve farklı şekillerde olabilirler. Bu durumu probleme uyarlamak için yerleşim alanı birimlere veya bloklara ayrılır ve her bir nesnenin kaç blok veya birime gereksinim duyduğu belirlenir.

Bazaraa (1975) modelini iki farklı problem üzerinde denemiştir. İlki, toplam 53 blok kaplayan 12 nesneli; toplam yerleşim alanının da 58 bloklu olduğu bir problemdir. Problemin optimal sonucunu 14.079 olarak bulmuştur ve çözüm süresi de 23 saniyedir.

İkinci problem, 14 nesneden oluşmaktadır. Nesnelerin işgâl ettiği toplam blok sayısı 61 ve yerleşim alanının toplam blok sayısı ise 63'tür. Problemin optimal sonucunu 8.170,5 olarak bulmuştur ve çözüm süresi de 4,4 saniyedir.

3.5.1.2 Montreuil's karma-tamsayılı programlama algoritması

İşyeri düzenleme problemi için bir karma-tamsayılı programlama formülasyonu çalışması, Montreuil tarafından 1990 yılında sunulmuştur. Model uzaklık-temelli amacı kullanır ve geleneksel kesikli yapı (KAP) üzerine temellendirilmemiştir. Bunun yerine, bir yerleşimin sürekli temsili (continuous representation) kullanmaktadır. Modelin notasyonu ve genel formülü aşağıdaki gibidir (Meller ve Gau, 1996):

Parametreler

- L : Binanın x eksenini boyunca uzunluğu
- W : Binanın y eksenini boyunca uzunluğu
- a_i : i bölümü için en küçük alan gereksinimi
- ub_i : i bölümünün en veya boyunun üst sınırı
- lb_i : i bölümünün en veya boyunun alt sınırı
- F : pozitif akışların kümesi
- f_m : $i(m)$ bölümünden başlayıp $j(m)$ bölümünde biten m . pozitif akış

Karar Değişkenleri

- d_{ij}^x : x eksenini boyunca, i ve j bölümleri arasındaki dikdoğrusal uzaklık toplamı
- d_{ij}^y : y eksenini boyunca, i ve j bölümleri arasındaki dikdoğrusal uzaklık toplamı
- d_m^x : m akışı için x eksenini boyunca uzaklıklar
- d_m^y : m akışı için y eksenini boyunca uzaklıklar
- (x_i, y_i) : i bölümünün bulunduğu lokasyonun merkezinin koordinatları
- $2\ell_i$: i bölümünün x eksenini boyunca uzunluğu
- $2w_i$: i bölümünün y eksenini boyunca uzunluğu
- z_{ij} : bir bölümün diğerinin sağında, solunda, altında veya üstünde olduğunu belirleyen değişken

Montreuil'ün Formülasyonu:

Karar Değişkenleri:

z_{ij}^x : i bölümü j bölümünün solunda ise 0, aksi takdirde 1.

z_{ij}^y : i bölümü j bölümünün üstünde ise 0, aksi takdirde 1.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enk } \sum_m f_m (d_m^x + d_m^y) \quad (3.18)$$

Kısıtlar

$$d_m^x \geq x_{i(m)} - x_{j(m)} \quad \forall m \quad (3.19)$$

$$d_m^x \geq x_{j(m)} - x_{i(m)} \quad \forall m \quad (3.20)$$

$$d_m^y \geq y_{i(m)} - y_{j(m)} \quad \forall m \quad (3.21)$$

$$d_m^y \geq y_{j(m)} - y_{i(m)} \quad \forall m \quad (3.22)$$

$$\ell_i \leq x_i \leq L - \ell_i \quad \forall i \quad (3.23)$$

$$w_i \leq y_i \leq W - w_i \quad \forall i \quad (3.24)$$

$$lb_i \leq 2 \ell_i \leq ub_i \quad \forall i \quad (3.25)$$

$$lb_i \leq 2 w_i \leq ub_i \quad \forall i \quad (3.26)$$

$$2 \leq z_{ij}^x + z_{ji}^x + z_{ij}^y + z_{ji}^y \leq 3 \quad \forall i, j; i < j \quad (3.27)$$

$$x_i + \ell_i \leq x_j - \ell_j + L z_{ij}^x \quad \forall i, j \quad (3.28)$$

$$x_j + \ell_j \leq x_i - \ell_i + L z_{ji}^x \quad \forall i, j \quad (3.29)$$

$$y_i + w_i \leq y_j - w_j + W z_{ij}^y \quad \forall i, j \quad (3.30)$$

$$y_j + w_j \leq y_i - w_i + W z_{ji}^y \quad \forall i, j \quad (3.31)$$

$$p_i \leq 4(\ell_i + w_i) \leq P_i \quad \forall i \quad (3.32)$$

Eşitlik (3.18)'deki amaç fonksiyonu, bölümlerin merkezleri arasındaki dikdoğrusal uzaklık ile akışın çarpılması üzerine temellendirilmiştir. Eşitlik (3.18)-(3.22)'de,

uzaklık fonksiyonundaki mutlak değerleri doğrusallaştırmak için standart doğrusal programlama hilesi kullanılmıştır. Eşitlik (3.23) ve (3.24) ile her bir bölümün yerleşim yeri sınırları içerisinde kalması sağlanmakta, eşitlik (3.24) ve (3.25) ile de her bir dikdörtgen şeklindeki bölümün en büyük ve en küçük boyutları sınırlanmaktadır. Eşitlik (3.27) ile bölümlerin bağlı yerleşim kısıtı iki veya üç yönde gevşetilebilir. Eşitlik (3.28)-(3.31) ile bölümlerin çakışmaması için bağlı yerleşim karar değişkenleri kullanılmaktadır. Son olarak, eşitlik (3.32)'de gerçek alan kısıtı, $4\ell_i w_i = a_i$, doğrusal olmadığından yerleşim alanının çevresini sınırlayan bir vekil kısıt kullanılmıştır.

Bu model her ne kadar güçlü olsa da ve en iyi çözümü bulmayı taahhüt etse de, 6 veya daha az sayıda bölüm içeren problemler için en iyi çözümü verebilir (Meller ve Gau, 1996).

3.5.1.3 Grafik kuramı yaklaşımı

İşyeri düzenleme çalışması, grafik kuramı olarak ilk kez Seppanen ve Moore (1970) tarafından modellenmiştir. Çalışmalarında grafik kuramı için kullandıkları temel matematiksel gösterim şekli aşağıdaki gibidir:

$$N = \{ n \} \quad (3.33)$$

$$A = \{ \{ n_i, n_j \} \mid n_i, n_j \in N \} \quad (3.34)$$

Bir grafik G genellikle (N, A) küme çifti ile gösterilir. N , G 'nin tüm düğümlerinden; A ise bu düğüm çiftlerinden oluşan kümedir. Eğer A kümesi içerisindeki düğüm çiftleri sıralı ise yâni bir yönleri varsa bunlar “ark (arc)” olarak; sıralı değilse “kenar (edge)” olarak adlandırılır. Dolayısıyla, arklardan oluşan bir grafik “yönlü grafik”, kenarlardan oluşan ise “yönsüz grafik” olarak adlandırılır. İşyeri düzenlemede yönsüz grafik kullanılmaktadır.

Basit bir G grafiği, bir $n \times n$ 'lik $M = (m_{ij})$ “ilişkilendirilmiş matris” olarak tanımlanabilir:

$$m_{ij} = 1 \text{ eğer } (i,j) \in A; \text{ aksi durumda } 0. \quad (3.35)$$

İşyeri düzenlemede, bu ilişkilendirilmiş matris Muther (1961) tarafından bulunan ilişki şemasına karşılık gelir. Genel olarak, kenarlara, etkinlikler arasındaki ilişkilere bağlı olarak, yakınlık oranı olarak adlandırılan pozitif sayılar atanması uygundur. İlişkilendirilmiş matris simetrik olacağından, üçgen matris kullanmak yeterlidir.

Grafik kuramı yaklaşımında amaç, tesisleri birbirlerine komşu olarak yerleşim alanına yerleştirmektir. Başlangıçta, tesislerin alanları ve şekilleri gözardı edilir ve her bir tesis bir grafik içerisinde birer düğüm olarak gösterilirler (Meller ve Gau, 1996). Eğer iki bölüm birbirlerine komşu ise grafik üzerinde düğümleri bir ark ile birbirlerine bağlanır. Bu yaklaşımın amaç fonksiyonu aşağıdaki eşitlik ile verilebilir:

$$\text{Enb} \sum_i \sum_j (r_{ij}) x_{ij} \quad (3.36)$$

r_{ij} : i ve j bölümlerinin sayısal yakınlık değeri

x_{ij} : bölüm i bölüm j ile komşu ise 1, aksi halde 0.

Grafik kuramda bir işyeri düzenlemesi yapabilmek için sırasıyla üç adım gereklidir (Meller ve Gau, 1996):

- Bölümler arasındaki ilişkilere bakarak bir yakınlık (komşuluk) grafiği oluşturma
- Yakınlık grafiğinin dualini oluşturma
- Dual grafiği blok yerleşim hâline dönüştürme

Bu yaklaşımın amaç fonksiyonu, pozitif akışlı tüm bölüm çiftleri arasında bir ark olduğunda yanî diğer bir ifâde ile birbirlerine bağlandıkları zaman enbüyüklenebilir.

Kuadratik atama probleminde olduğu gibi, bu yaklaşımda da, eşit boyutlu olmayan az sayıda bölümlere sahip problemler için bile en iyi çözüm bulunamayabilir. Bundan dolayı bu yaklaşım için de sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Foulds ve Robinson (1978) çalışmalarında, en büyük düzlemsel grafik problemlerini çözmek için iki sezgisel yaklaşım önermişlerdir ve bu önerdikleri sezgisel yöntem düzlemselliği test etmeyi içermemektedir.

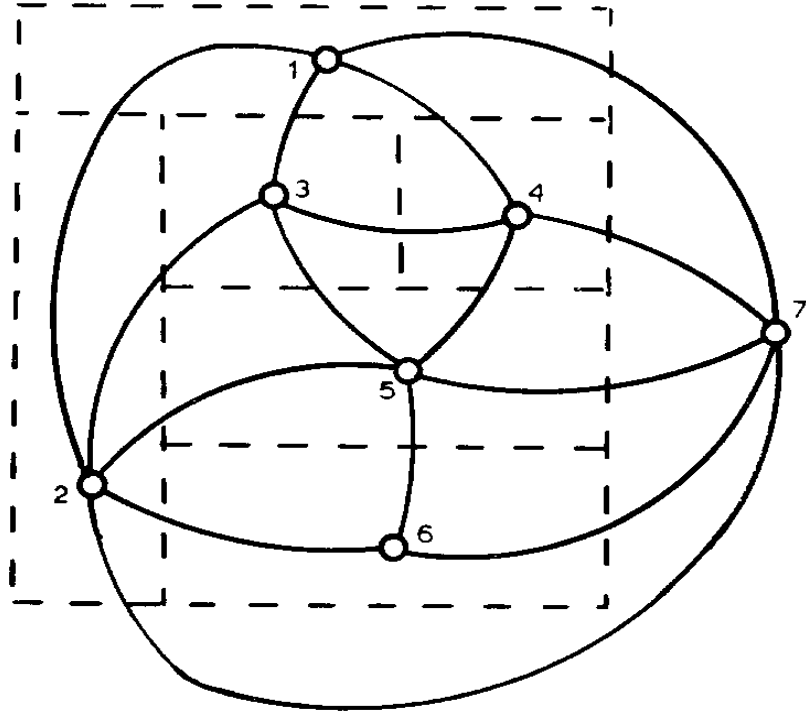
Modelde her bir yerleşim yeri, üç küme ile ifâde edilmektedir. Bunlardan biri, tesisleri içeren V kümesi, diğeri tesislerin komşuluğunu yâni kenarları içeren E kümesi ve sonuncusu da üç tesisin birarada olduğu alt bölgeleri temsil eden noktaların kümesi yâni üçgenlerin kümesi T . Bu yapıya “deltahedron” denilmektedir.

Bu gösterim şeklini kullanarak, Şekil 3.11’de gösterilen yerleşim düzeni delahedron yapısı olarak aşağıdaki gibi ifâde edilebilir:

$$V = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$$

$$E = \{ 12, 13, 14, 17, 23, 25, 26, 27, 34, 35, 45, 47, 56, 57, 67 \}$$

$$T = \{ 123, 134, 147, 127, 235, 267, 457, 256, 345, 567 \}$$



Şekil 3.11 : Bir yerleşim düzeni ve duali (Foulds ve Robinson, 1978).

Modelde öncelikle, en iyi çözümün değerine yakın bir değere sahip olması beklenen bir çözüm üretme aşaması vardır. İkinci aşamada ise çeşitli değişikliklerle bu çözümün değeri geliştirilmektedir. Bilgisayar sonuçları önerilen modelin etkili olduğunu göstermektedir.

3.5.2 Meta-sezgisel algoritmalar

3.5.2.1 Genetik algoritma

Genetik algoritma (GA), varolan bir çözüm popülasyonundan daha iyi çözümler yaratmak için genetik kalıtım ve hayatta kalmak için rekabet etmek gibi doğal olayları kullanan stokastik bir algoritmadır (Kochhar ve diğ., 1998). Diğer meta-sezgisel algoritmalarından farklı olarak GA, aramayı bireylerin alt-kümesinden yâni çözümlerden oluşan popülasyondaki bilgi yoluyla yapılır. Her bir çözümün amaç fonksiyon değeri olan bir uygunluk değeri vardır. Problemin çözümleri genellikle sonlu uzunlukta dizgiler şeklinde kodlanırlar. Kodlama kromozom olarak adlandırılan yapı ile yapılır ve kromozomlar da gen denilen birimlerden oluşmaktadır.

Genetik algortimada, genetik ilerleme işlemi, kromozomlardan oluşan bir havuz yoluyla yapılır. Bu havuz popülasyon olarak bilinir ve popülasyondaki kromozom sayısı da popülasyonun büyüklüğünü, P ifâde etmektedir (Mak ve diğ., 1998). Başlangıç çözümü rassal olarak yaratılır. Genetik bilgi, çaprazlama ve mutasyon yoluya şekillendirilir ve değiş tokuş yapılır.

Genetik algoritmanın temel adımları aşağıdaki gibidir (Kochhar ve diğ., 1998):

Adım 0:

En yüksek popülasyon büyüklüğünü P ; mutasyon olasılığını m ($0 < m < 1$); en yüksek kuşak sayısını G ; kuşak sayacını $g = 0$; popülasyon büyüklüğü sayacını $p = 0$ ve eski kuşağı $= \{\emptyset\}$ olarak ata.

Adım 1:

Problem için rassal olarak bir çözüm yarat ve uygunluk değerini hesapla.

Adım 2:

$p = p+1$ yap. Eğer $p < P$ ise Adım 1'e git. Aksi takdirde, ($g = 1$) ve ($p = 0$) olarak ata. Adım 3'e git.

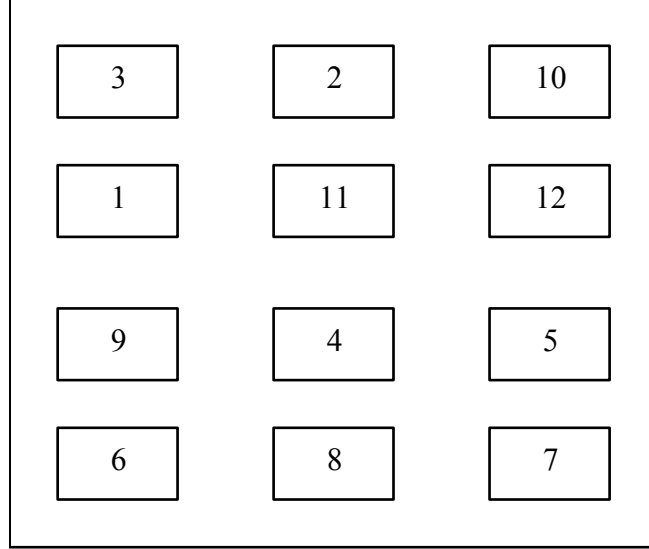
Adım 3:

Varolan popülasyondan “rulet tekerleği” seçimi ile iki ebeveyn seç. Çaprazlama operatörünü kullanarak, seçilmiş ebeveynlerden iki yeni çözüm yaratma işlemi yap. Yeni çözümler üzerinde, m olasılıkla mutasyon yap. Mutasyona uğramış çözümlerin (evlatların) uygunluk değerlerini hesapla ve onları varolan kuşak içerisine koy. ($p = p + 2$) yap. Eğer $p < P$ ise Adım 3 'ü yinele. Aksi takdirde, Adım 4 'e git.

Adım 4:

Varolan kuşağın, en büyük uygunluk, ortalama uygunluk, en küçük mâliyet ve ortalama mâliyet değerlerini hesapla. Eski kuşağı yenisi ile değiştir. ($g = g + 1$) ve ($p = 0$) yap. Eğer, $g < G$ ise Adım 3 'e git. Aksi takdirde dur.

Adım 3 'te belirtilen rulet tekerleği seçimi, bireyleri uygunluk değerlerine göre seçer. Yüksek uygunluk değerine sahip olan bireyin seçilme olasılığı da yüksektir.



Şekil 3.12 : Eşit bölümlü bir yerleşim düzeni (Kochhar ve diğ., 1998)

Yukarıdaki yerleşim düzenine karşılık gelen dizgisel kodlama şu şekildedir:

030210011112090405060807

Genetik algorithmada, çocuk bireyler oluşturma'nın temel işlemi çaprazlama yapmaktır. Rulet kuralına göre seçilen ebeveynlerden birisinden rassal olarak bir bölüm seçilir ve bu, çocuk bireyin henüz doldurulmamış olan dizgisine, ebeveyndeki sırası ile aynı olacak şekilde kodlanır. Bu işlem, bölüm sayısı n olmak üzere, $n / 2$ tane bölümün seçilip çocuk bireyde kodlanmasına kadar sürer. Çocuk bireyde boş kalan dizgi yerleri de, diğer ebeveyn'den bulunduğu sıra gözetilerek alınıp kodlanır (Balakrishnan ve diğ., 2003).

Ebeveyn 1: 030210011112090405060807

Ebeveyn 2: 010203041112050607080910

Salt ebeveyn 1'den gelen bölümlerle elde edilen Çocuk 1 dizgisi aşağıdaki gibidir:

Çocuk 1: 0302__ __ 11__ 0904__ 060807

Boş yerler, ebeveyn 2'den gelen bölümlerle tamamlanarak aşağıdaki şekilde tamamlanmış Çocuk 1 dizgisi oluşur:

Çocuk 1: 030201121105090410060807

Mutasyon işlemi de, çaprazlama işleminden hemen sonra yapılır. Bu, bir kromozomdaki genlerin yerlerinin değiştirilmesi işlemidir. Bir genin mutasyona uğrama olasılığı, m , genellikle küçük bir sayıdır. Kromozomdaki her bir gen için bir sıralı seçim yapılarak mutasyona uğrayıp uğramayacağına karar verilir (Mak, 1998).

Genetik algoritmada hangi popülasyonun ya da çözümün seçileceğinin, her bir popülasyonun uygunluk değerine bakılarak yapıldığı söylenmişti. Farklı çalışmalarda, farklı uygunluk değeri hesaplama modelleri kullanılmıştır.

Mak ve diğerleri (1998) yaptıkları çalışmada, uygunluk değerini, toplam mâliyet fonksiyonuna bağlı olarak hesaplamışlardır:

$$\Phi = \sum_{m_1=1}^M \sum_{m_2=1}^M F_{m_1 m_2} C_{m_1 m_2} D_{L(m_1) L(m_2)} \quad (3.37)$$

Burada geçen gösterimler aşağıda açıklanmaktadır:

Φ	: Toplam mâliyet
$C_{m_1 m_2}$	: m_1 ve m_2 makinaları arasında, her birim uzaklıkta, birim malzeme taşıma mâliyeti
$D_{n_1 n_2}$	: n_1 ve n_2 tezgâh yerleri arasındaki dikdoğrusal uzaklık
$F_{m_1 m_2}$	: m_1 ve m_2 makinaları arasındaki malzeme akış miktarı
M	: Üretim sistemindeki toplam makina sayısı
$L(m)$	: m makinasının atandığı lokasyon

Toplam mâliyet fonksiyonundan yola çıkarak, uygunluk değeri, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Uygunluk değeri} = U = 1 / \Phi \quad (3.38)$$

Kochhar ve diğ. (1998) HOPE adını verdikleri çalışmalarında, eşit boyutlu bölümlere sahip olmayan işyeri düzenleme problemleri için bir genetik algoritma çözüm yöntemi önermişlerdir. İşyeri düzenini genetik algoritmaya uygun kodlamak için önce yerleşim alanını birim karelere ayırmışlardır, diğer bir ifade ile birim karelerden

oluşan bir ızgara hâline getirmişlerdir. Her bir bölüm, kaplayacağı alanın gerektirdiği kadar karelere atanmıştır.

Başlangıç popülasyonunu üretmek için, iki yaklaşım test edilmiştir. İlk yaklaşım, karelerin bir sıralı kümesini; ikinci yaklaşım ise bölümlerin bir sıralı kümesini üretir.

İlk yaklaşım (INIT_RANDOM), bir bölümün karelerini rassal olarak ızgaradaki yerlere atamaktadır. Bu durum eşit boyutlu bölümler için bir sorun yaratmayacaktır çünkü her bir bölüm bir birim kareye yerleşecektir ancak bölüm boyutları farklı olduğu zaman aynı bölüme ilişkin kareler ızgara üzerinde farklı yerlere atanabilir, bu da olası bir çözüm değildir. Bundan dolayı ikinci yaklaşım (INIT_SFC) önerilmiştir. İkinci yaklaşımda da alan doldurma eğrisi tanımlanmıştır. Bu eğri, ızgara üzerinde, tüm karelerin üzerinden geçer, ancak bir karenin komşularının üzerinden geçmeden diğer karelerden geçmez. Buna bağlı olarak genetik dizgi, her bir bölümün kendisine karşılık gelen karelerini bu eğri boyunca yerleştirerek elde edilebilir.

Modelde uygunluk fonksiyonu, mâliyet fonksiyonu üzerinden tanımlanmıştır. Tanımladıkları mâliyet fonksiyonu:

$$COST_{FLP} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{ij} \quad (3.39)$$

Eşitlikte, n bölüm sayısını, f_{ij} , i ve j bölümleri arasındaki akışı ve d_{ij} de i ve j bölümlerinin merkezleri arasındaki dikdoğrusal uzaklığı göstermektedir.

Mâliyet fonksiyonu kullanılarak hesaplanan uygunluk değeri:

$$\text{Uygunluk değeri} = U = -k \times COST_{FLP}, \quad k > 0 \text{ olmak üzere.} \quad (3.40)$$

Önerdikleri modeli test etmek için iki farklı HOPE versiyonu [HOPE (büyük) ve HOPE (küçük)] kullanmışlardır. Bu iki versiyon arasındaki temel fark, popülasyon büyüklüğüdür. HOPE (büyük) her popülasyonda 100 bireye, HOPE (küçük) ise 20 bireye sahiptir.

Test sonuçlarına bakıldığında, eşit boyutlu, eşit boyutlu olmayan tek-sıralı ve eşit boyutlu olmayan çok-sıralı, farklı sayılardaki bölümler için yaptıkları hesaplamaların sonuçlarını, varolan en iyi sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sırasıyla Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3'te hesaplama ve karşılaştırma sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Eşit boyutlu problemler için sonuçların karşılaştırılması

Problem	2-opt	3-opt	TS	HSA	GA	HOPE(büyük) en iyi (ortalama)	HOPE(küçük) en iyi (ortalama)
KAP 5	25	25	-	25	25	25 (25)	25 (25)
KAP 12	300	293	-	289	289	289 (289)	289 (289)
KAP 20	1.311	1.306	1.285	1.285	1.299	1.287 (1.310,33)	1.297 (1.306,33)
KAP 30	3.147	3.129	3.062	3.062	3.092	3.086 (3.102,33)	3.076 (3.092,0)
KAP 42	8.197,2	8.076,8	7.932	7.952,8	-	8.000 (8.031,33)	7.927 (8.025,67)
KAP 90	59.313,6	60.073,2	58.190	58.053,8	-	58.508 (59.158,0)	58.538 (59.116,67)

Çizelge 3.1'deki 2-opt, 3-opt ve HSA değerleri Heragu ve Alfa'nın (1992) çalışmalarından; TS değerleri Skorin ve Kapov'un (1990) çalışmalarından ve GA değerleri de Tate ve Smith'in (1995) çalışmalarından alınmıştır. HOPE, 5, 12 ve 42 bölümlü problemlerde en iyi çözümle aynı sonucu ya da en iyi çözümüden daha iyi sonuç vermiştir. 20, 30 ve 90 bölümlü durumda ise HOPE'un bulduğu en iyi çözüm, en iyi olarak bilinen çözümünden %2 daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 3.2 : Eşit boyutlu olmayan tek-sıralı problemler için sonuçların karşılaştırılması

Problem	HSA	HOPE (büyük) en iyi (ortalama)	HOPE (küçük) en iyi (ortalama)
4	78,0	78,0 (78,0)	78,0 (78,0)
10	2.781,5	2.781,5 (2.781,5)	2.781,5 (2.781,5)
11	6.933,5	6.933,5 (6.933,5)	6.933,5 (6.933,5)
20	15.602,0	15.549 (15.648)	15.549 (15.580)
30	45.111,0	44.986 (45.158)	44.965 (45.291)

Çizelge 3.3 : Eşit boyutlu olmayan çok-sıralı problemler için sonuçların karşılaştırılması

Problem	En iyi bilinen	En iyi bulunan	MULTIPLE	SABLE	HOPE (küçük)	HOPE (büyük)
11-1	1372,73	1.372,73	1.526,9 ± 124,5	1.402,4 ± 38,6	1.393,29 ± 35,61	1.385,67 ± 15,06
15-1	32.319,3	32.319,3	38.373,9 ± 2.231,1	34.747,0 ± 1.565	35.144,16 ± 305,67	33.553,76 ± 1.769,80
25-1	1.641,0	1.577,7	1.970,7 ± 146,3	1.776,9 ± 80,2	1.704,39 ± 149,42	1.638,37 ± 54,72

Çizelge 3.2’de, ilk üç problem için HOPE en iyi çözümle aynı sonucu bulmuştur. Son iki problemde yâni 20 ve 30 bölümlü problemde ise en iyi olarak bilinen çözümden daha iyi sonuç vermiştir.

Çizelge 3.3’teki MULTIPLE değerleri Bozer ve diğ. (1994) çalışmasından, SABLE değerleri ise Meller ve Bozer (1995) çalışmasından alınmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, HOPE ilk iki durumda en iyi çözümle aynı sonucu vermiş; son durumda ise en iyi çözümden %5 daha iyi sonuç vermiştir.

Balakrishnan ve diğ. (2003), çalışmalarında, FACOPT olarak adlandırılan, kullanıcı dostu ve etkin bir sezgisel model önermektedirler. Facopt, bir visual basic arayüzüne sahiptir ve windows ortamında çalışmaktadır.

Geliştirdikleri yazılım işyeri düzenleme problemini çözmek için genetik algoritma ve tavlama benzetimi yöntemlerini kullanmaktadır. Uygun parametre değerlerini belirlemek ve iki modelin sonuçlarını karşılaştırmak için bilgisayar testleri yapılmıştır.

Çalışmada iki yöntem, genetik algoritma ve tavlama benzetimi, statik işyeri düzenleme problemini çözmek için kullanılmaktadır. Burada anlatılan yazılım, iyi bir çözüm elde etmek için her iki yöntemi de kullanmaktadır. Buna ek olarak, FACOPT’un karar vericiye kolaylık sağlayıcı bazı özellikleri de vardır:

- Facopt çok sayıda bölüm içeren problemleri çözebilmektedir. Test problemlerinde 30 kadar bölümü olan iş yerlerini içermektedir.
- Kullanıcı birden fazla algoritmayı çalıştırabilir ve seçilen her algoritma için parametreleri başlangıç değerlerinden farklı olarak belirleyebilir.

- Her bir oturumda 10 tane işyeri düzenleme çözümünü tutar. Kullanıcı birinden diğerine geçebilir ve farklı yerleşimleri karşılaştırabilir.
- Facopt, hem elle girişleri hem de alan doldurma eğrilerinin otomatik olarak elde edilmesini kabul eder.
- Facopt, kullanıcıların bölümleri kendi aralarında yer değiştirerek daha iyi yerleşimler bulmalarına olanak tanır.
- Facopt, sabit bölümlere izin verir ve başka yerleşim tasarımlarının da gözönüne alınmasına olanak verecek kadar esnektir.

Modellerinde kullandıkları GA kodu aşağıdaki gibidir:

Adım 1:

Ebeveyn popülasyon havuzunu oluştur.

Adım 2:

Ebeveyn popülasyon havuzundaki her bir bireyin uygunluk değerini hesapla.

Adım 3:

Çoğalma süreci (çaprazlama ve olası mutasyonu içerir) yâni evlat bireyleri oluşturmak için iki tane ebeveyn seç.

Adım 4:

Evlat bireyleri değerlendir.

Adım 5:

En kötü ebeveynleri üretilen evlatlar ile değiştir.

Adım 6:

Önceden belirlenen kuşak sayısına ulaşılmamışsa Adım 3'e git, aksi takdirde dur.

Önerilen GA yordamını, popülasyon büyüklüğü $N = 35$; mutasyon oranı, $P_m = 0,09$ ve kuşak sayısı = 4.500 parametre değerlerini kullanarak, 10, 20 ve 30 bölümlü toplam 60 problem için test etmişlerdir. Test sonuçları göstermektedir ki parametre değerlerindeki değişimlere bağlı olarak, bulunmuş en iyi çözümden % 9,3 daha iyi sonuç bulunabilmektedir. Buradan, parametre değerleri değiştikçe, çözüm değerlerinin de değişiklik gösterebildiği söylenebilir.

Azadivar ve Wang (2000), çalışmalarında, işyeri düzenleme problemini, çevrim süresi ve üretkenlik gibi sistem performans ölçütlerine bağlı olarak çözebilen ve sistemi dinamik karakteristikleri ve operasyonel kısıtları ile bir bütün olarak ele alan, bir işyeri düzenleme eniyileme tekniği önermişlerdir. Her bir işyeri düzeni çözümü, genetik algoritma ile analiz edebilecek şekilde bir dizgi gösterimi ile ifade edilmiştir. Bu çözümler daha sonra, özel olarak tasarlanmış bir otomatikleşmiş benzetim modeli üreticisi tarafından benzetim modellerine dönüştürülmektedir. Benzetim sistem performansı değerlendirme aracı olarak çalışırken, genetik algoritma ise üretim etkinliği için en iyi işyeri düzenini bulmak amacıyla kullanılmaktadır.

Önerilen algoritma, öncelikle eniyileme modülü tarafından rassal olarak başlangıç çözüm kümesinin üretilmesiyle başlamaktadır. Yeni kuşak, varolan kuşaktan ebeveynler seçip onları çaprazlama ve mutasyon yoluyla değiştirerek elde edilmektedir. Bundan sonra, yeni kuşaktaki kromozomlar, benzetim ile değerlendirilir ve dizgi gösterimleri ile uygunluk değerleri “hashing table” olarak adlandırılan standart bir veri yapısı içerisinde tutulur. Bu veri yapısı, özdeş elemanların araştırılması sırasında daha etkili bir sonuç vermesi amacıyla oluşturulmuştur. Her değerlendirme sürecinde, öncelikle hashing table, aynı kromozomun daha önceki kuşaklarda test edilip edilmediğini kontrol etmek amacıyla incelenmektedir; eğer incelenmediyse bir benzetim deneyi uygunluk değerini hesaplamak için koşturulur. Aksi durumda ise hashing table içerisinde zaten tutulan uygunluk değeri, kromozoma atanır. Bu tarz bir yöntem Zhang (1997) tarafından da uygulanmıştır ve benzetimin koşturulması sırasında önemli derecede zaman kazanılmıştır; diğer bir ifade ile CPU zamanından % 45-%70’e varan bir kazanım olmuştur (Azadivar ve Wang, 2000).

Sistem, bir GA paketi, bir benzetim paketi, bir otomatik benzetim modeli üreticisi ve bir grafiksel kullanıcı arayüzünden oluşmaktadır. Grafiksel kullanıcı arayüzü, iş istasyonları ve parçalar, yerleşim yapılacak alanın boyutsal kısıtları ve GA parametreleri bilgilerini girmek için kullanılmaktadır. Genetik algoritma, kullanıcı tarafından belirlenen karar ölçütlerine bağlı olarak sistematik olarak seçenek işyeri düzenlerini araştırmakta ve üretmektedir. Benzetim modeli üreticisi de, GA tarafından önerilen benzetim modellerini yaratır, çalıştırır ve sonuçları GA’ya geri gönderir. GA ve üretici arasındaki bu iterasyon, kuşak içerisindeki tüm kromozomlar

bir yapıya yakınsayana dek veya daha önceden belirlenen kuşak sayısına ulaşıncaya dek sürer.

Modelin test edilmesi amacıyla sekiz iş istasyonundan ve iki taşıma aracından oluşan bir üretim sistemi ele alınmıştır. Sistemde, dört farklı tipte ürün, sisteme, belli bir dağılıma uyan gelişler arası sürelerine sahip olarak rassal olarak işlenmek üzere gelmektedir. Her parça, sekiz iş istasyonunun farklı alt kümelerinde, her işlem için farklı işlem süresi dağılımına sahip olarak işlenmektedir. Taşıyıcı araçlar, her bir parça tipi için önceden belirlenen çizelgeye bağlı olarak parçaları bir iş istasyonundan diğerine taşımaktadırlar. Her bir istasyon için geometrik kısıt Çizelge 3.4’de verilmiştir. Yerleşim yapılacak alan ise $90 \times 90 \text{ m}^2$ ’lik bir alandır.

Çizelge 3.4 : İş istasyonlarının geometrik kısıtları (Azadivar ve Wang, 2000).

İş istasyonu	Uzunluk (X eksen)	Genişlik (Y eksen)	X yönündeki boşluk	Y yönündeki boşluk	Gereksinim duyulan toplam alan
1	9	17	1	3	10×20
2	18	18	2	2	20×20
3	26	16	4	4	30×20
4	32	9	8	1	40×10
5	45	28	5	2	50×30
6	16	8	4	2	20×10
7	36	17	4	3	40×20
8	16	9	4	1	20×10

Amaç fonksiyonu, tüm parçaları için daha düşük ortalama çevrim süresine sahip bir özgür işyeri yerleşim düzenini bulmaktır. GA deneyi için, popülasyon büyüklüğü = 30, çaprazlama oranı = 0,60, mutasyon oranı = 0,008 ve izin verilen en büyük kuşak sayısı = 50 alınarak, en iyi kromozom yâni çözüm değeri (ortalama çevrim süresi) 940,88 dakika olarak bulunmuştur. Bu değere 21. kuşakta ulaşılmıştır ve bu, en yüksek çevrim süresi değerinin yarısından daha az bir değerdir.

3.5.2.2 Tavlama benzetimi

Tavlama Benzetimi (TB), ilk olarak Kirkpatrick ve diğ. tarafından, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılmıştır (Mavridou ve Pardalos, 1997). Algoritma adını, katıların tavlama benzetimi ile büyük boyutlu kombinatoriyal optimizasyon problemleri arasındaki bir karşılaştırmadan almıştır. Tavlama fiziksel bir işlemdir. Bu işlem, katıların sıvı faza geçip içlerindeki parçacıkların kendilerini rastgele düzenlemesi diğ. bir ifâde ile katının gerginliğini

almak amacıyla yüksek sıcaklığa kadar ısıtılıp yavaşça soğutulması şeklindedir. Her T sıcaklık düzeyinde, yeni durumun amaç fonksiyon değeri ile bir varolan durumun amaç fonksiyonu arasındaki fark (ΔE) hesaplanır. $\Delta E < 0$ ise yâni yeni durumun mâliyeti varolan durumunkinden daha düşükse yeni durum varolan durum olur.

TB'nin ana özellikleri :

- T sıcaklığı, ΔE değeri mâliyetinde bir artışa neden olduğu durumda bunun kabul edilme olasılığını, $p(\Delta E)$, kontrol eden bir parametredir. Algoritma süreci boyunca, T değeri, amaç fonksiyonunda artmaya neden olacak değişimleri kabul etme olasılığını istikrarlı olarak azaltmak için düşürülür.
- Denge, yâni eklemeli değişimleri kullanarak çözümde daha ileri bir gelişme sağlamanın büyük ölçüde olanaklı olmadığı durumdur.
- Tavlama çizelgesi, ısının ne zaman ve ne kadar düşürüleceğini belirler.

Tavlama benzetimi süreci (Mavridou ve Pardalos, 1997):

Girdi: Örnek bir problem

Çıktı: Alt-optimal birçözüm

1. Rassal olarak bir başlangıç çözümü üret ve sıcaklık değeri T olarak ata
2. while (T > 0) do
 - a. while (denge sıcaklığına ulaşılmamışsa) do
 - i. rassal bir komşu durum yarat ve ΔE enerji düzeyindeki değişimi hesapla.
 - ii. eğer $\Delta E < 0$ ise varolan durumu yeni durum ile değiştir.
 - iii. Eğer $\Delta E \geq 0$ ise, varolan durumu yeni durum ile $e^{-\frac{\Delta E}{k_b T}}$ olasılığı ile değiştir. Burada k_b bir sabittir.
 - b. T sıcaklık değerini tavlama çizelgesine göre düşür.
3. en düşük enerji düzeyine sahip çözümü al.

Heragu ve Alfa (1992), çalışmalarında, single-row ve multi-row yerleşim düzenlerine uyguladıkları, tavlama benzetimi temelli iki tane algoritmayı, kapsamlı deneysel olarak sunmaktadırlar. İlk algoritma, SA'nın standart tekniklerini kullanmaktadır. Ana adımda, algoritma iki tane yerleşimin rassal olarak birbirleri ile yerlerinin değiştirilmesini incelemektedir. Yeni çözüm, eğer bu değiş-tokuş amaç foksiyonunun değerini düşürecek şekilde ise kabul edilir. Aksi durumda, şu ana kadar elde edilmiş

en iyi çözüm ile varolan çözüm arasındaki ΔE farkı hesaplanır. Bu çözüm $e^{-\frac{\Delta E}{T}}$ olasılığı ile kabul edilir. Bu adım, n tesis sayısını göstermek üzere, $100n$ kez ya da kabul edilen yeni çözümlerin sayısı $10n$ olana dek sürdürülür. Bundan sonra, algoritma T değerini bir soğutma oranı ile çarparak düşürür ve ana adımı yineler.

Aynı çalışmadaki ikinci algoritma, iyi bir başlangıç çözümü üretmek için öncelikle bir çekirdek algoritma kullanmaktadır ve daha sonra bunu SA kullanarak geliştirmektedir. Bu bir melez tavlama benzetimi algoritmasıdır (MTB). Buradaki çekirdek algoritma da, bir değiştirilmiş ceza algoritmasıdır.

Meller ve Bozer (1996) çalışmalarında, tek katlı ve çok katlı işyeri düzenleme problemleri için tavlama benzetimi kullanarak bir çözüm önermişlerdir. Çok katlı problemlerde, yatay akışın yanında düşey akışı gözönünde bulundurmuşlar ve bunun da bir asansör yâni düşey malzeme taşıma aracı ile yapıldığını belirtmişlerdir. Eğer aralarında akış olan iki bölüm farklı katlarda bulunuyorsa, aralarında düşey taşıma olacaktır; dolayısıyla asansörün yerleşimine bağlı olarak bu bölümler arasındaki yatay akış da artabilir. Bu durumu gözönünde bulundurarak, önerilen modelde, varolan asansörlerin yerlerinin belirli ve sabit olduğu varsayımı yapılmıştır.

Balakrishnan ve diğ. (2003) FACOPT adlı çalışmalarında, Bölüm 3.5.2.1’de anlatılan, işyeri düzenleme problemi için önerdikleri GA modelinin yanında, problemi çözmek için bir de SA modeli önermişlerdir. SA modellerinin algoritması aşağıdaki gibidir:

Adım 1:

Başlangıç yerleşim düzenini (s) rassal olarak oluştur, alan doldurma eğrilerini (ADE) ve bölümlerin alan gereksinimlerini kullanarak yerleşim düzeninin mâliyetini $[f(s)]$ hesapla. Sıcaklık sayacını $i = 1$ ve sıcaklığı da t_i olarak ayarla.

Adım 2:

Varolan yerleşim düzeninden rassal olarak iki tane bölüm seç, yerlerini değiştir ve elde edilen yerleşim düzenini aday yerleşim düzeni (s') olarak saklı tut.

Adım 3a:

Yerleşim düzeni mâliyetindeki azalmayı yâni $\Delta f = f(s) - f(s')$ hesapla. Eğer $\Delta f > 0$ ise adım 3c’ye git.

Adım 3b:

Mâliyetinde düşüş olmayan bu aday yerleşim düzenini, adım 3c'ye $\exp(\Delta f / t_0(\alpha)^i)$ olasılıkla giderek kabul et; burada t_0 başlangıç sıcaklığı, α ısı düşürme faktörüdür. Aksi durumda, başka bir aday yerleşim düzeni oluşturmak için adım 2'ye git.

Adım 3c:

Aday yerleşim düzenini kabul et ve onu mevcut yerleşim düzeni olarak al. Eğer bu yeni mevcut yerleşim düzeninin mâliyeti, “mevcut en iyi yerleşim düzeni” mâliyetinden daha düşükse “mevcut en iyi yerleşim düzenini” güncelle. Eğer e aday yerleşim düzeni kabul edilmişse, adım 4'e git; aksi durumda adım 2'ye git. Burada e , sabit devre uzunluğudur (epoch length). Sabit devre uzunluğu, ortalama gelişmeyi hesaplamak için, bir komşuluk içerisinde bir grubu şekillendiren kabul edilen en büyük hamle sayısıdır. mf_e bu devrede kabul edilen e yerleşim düzeninin mâliyetlerinin ortalaması olsun. mf_a bu devreden önce kabul edilen yerleşim düzenlerinin mâliyetlerinin ortalaması olsun.

Adım 4:

Eğer t_i sıcaklığında dengeye, $|mf_e - mf_a| / mf_a \Rightarrow \epsilon$, varılmamışsa sayacı kabul edilen aday çözümler için ilk duruma getir ve e tane daha kabul edilecek yerleşim düzeni oluşturmak için adım 2'ye git. Aksi durumda, $i = i+1$ olarak ayarla ve $t_i = t_i \alpha^{i-1}$ olarak güncelle; eğer en fazla ardıl ilerleme göstermeyen sıcaklık sayısına ulaşılmışsa dur, aksi durumda adım 5'e git.

Adım 5:

Eğer toplam devre uzunluğu önceden belirlenmiş sınıra ulaşmışsa dur, aksi durumda adım 2'ye git.

Önerdikleri SA modelini, farklı parametre değerleri için Tam_30 (Tam, 1992) veri seri üzerinde test etmişlerdir. Sıcaklık indirgeme etmeni, $\alpha = 0.90$; başlangıç sıcaklığı, $t_0 = 0.6$; devre uzunluğu, $e = 30$; denge eşik değeri, $\epsilon = 0.05$; gözönünde bulundurulacak en fazla devre uzunluğu sayısı, $M = 37$ ve en fazla gelişme göstermeyen çözüm sayısı, $N = 5$ alınarak varolan en iyi çözüm değerine ulaşılmıştır. Ancak bu parametreler değiştirildiğinde, en iyi çözümden %8,5 daha iyi çözüm de bulunabildiği görülmüştür.

FACOPT'ta önerilen GA ve SA modelleri, Kim ve Kim (1998) çalışmasından alınan ve değiştirilmiş veri setine uygulanmıştır. Bölüm sayısının 10 olduğu problemler için, nihani çözüme ulaşırken SA CPU saniye, GA ise 13 CPU saniye almıştır. 20 bölümlü problemler için SA 1230 CPU saniye, GA ise 1460 CPU saniye; 30 bölümlü problemler için SA 3360 CPU saniye, GA ise 6460 CPU saniye almıştır. Hesaplama zamanı üzerinden bakıldığında SA'nın daha ekonomik olduğu, ancak sonuç değerlerine bakıldığında çözüm kalitesi açısından GA'nın daha iyi olduğu söylenebilir.

3.5.2.3 Tabu arama

Tabu arama (TA), Glover tarafından kombinatoriyal problemlerin çözümü için önerilmiş yüksek düzeyli bir algoritma tekniğidir (Arıkan ve Erol, 2006). Algoritma hakkında ayrıntılı bilgiye, Glover ve Laguna'dan ulaşılabilir (1997).

Tabu arama tekniği, daha önce incelenmiş belirli sayıda çözümü, tabu listesi olarak adlandırılan bir listede tutarak (bir bellek fonksiyonu oluşturarak) o çözümlere dönmeyi bir süre yasaklayan ve dolayısıyla aramayı çözüm uzayının daha iyi noktalarına yönlendiren bir arama yordamıdır (Geyik ve Cedimoğlu, 2001).

Tabu arama sezgisel yapısı, kuadratik atama problemine ilk olarak Skorin-Kapov (1990) tarafından uygulanmıştır. Chiang ve Kouvelis (1996) kuadratik atama problemi olarak modellenen işyeri düzenleme problemini çözebilmek için yeni bir tabu arama meta-sezgisel yaklaşımı önermişlerdir. Önerdikleri tabu arama modeli, yakınlık temelli ve uzun dönemli bellek yapısını, dinamik tabu listesi uzunluğu stratejilerini ve yoğunlaştırma ve çeşitlendirme stratejilerini içermektedir. Uygulama sonuçları, geliştirilen modelin, rassal başlangıç çözümünden kabul edilebilir bir zaman içerisinde çok iyi çözümlere ulaştığını ve varolan algoritmalar üzerinde üstünlük sağladığını göstermektedir.

Tabu aramanın işyeri düzenleme problemine uygulanması hakkında daha geniş bilgiye, Liang ve Chao (2008)'nin çalışmalarından ulaşılabilir.

3.5.2.4 Diğer yaklaşımlar

İşyeri düzenleme problemine hâlen uygulanmakta olan diğer yaklaşımlar, veri zarflama, karınca kolonisi, yapay sinir ağları, bulanık mantık ve uzman sistemlerdir (Singh ve Sharma, 2006).

Ertay ve diğ. (2006) çalışmalarında, bir işyeri düzenleme tasarımı geliştirmek için hem niteliksel hem de niceliksel ölçütleri kullanan ve veri zarflama analizine dayanan bir karar verme yöntemi sunmaktadırlar. Kesin ve belirsiz sayısal veriler toplanırken bulanık küme kuramı; kalite ve esneklikle ilgili niteliksel verilerin toplanmasında analitik hiyerarşi süreci ve hem niteliksel hem de niceliksel verileri aynı anda gözönünde bulundurarak işyeri düzenleme problemini çözmek için ise veri zarflama analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, seçenek işyeri düzeni oluşturabilmek için bir bilgisayar destekli yerleşim plânlama yazılımı olan VisFactory kullanılmıştır. Önerilen bütünleşik süreç, plastik üretim sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada uygulanarak seçenek yerleşim düzenleri elde edilmiştir.

McKendall ve Shang (2006), dinamik işyeri düzenleme problemi için melez karınca sistemleri modeli önermişlerdir. Önerdikleri modeli literatürden aldıkları iki veri kümesine uygulamışlar ve sonuçlar melez karınca sistemleri modelinin dinamik işyeri düzenleme problemini çözmede etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.

4. METAL SEKTÖRÜNDE BİR FİRMADA YAPILMIŞ UYGULAMA

Bu bölümde, VIP-PLANOPT 2006 yazılım programı kullanılarak metal sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılan işyeri düzenleme çalışması anlatılmaktadır. Öncelikle kullanılan yazılım programı açıklanacak, daha sonra fabrikadaki varolan makinalar, ürünler ve ürün akışları ile ilgili bilgi verilecek, son olarak da yazılım paketinin sözkonusu uygulama için nasıl kullanıldığı anlatılacaktır.

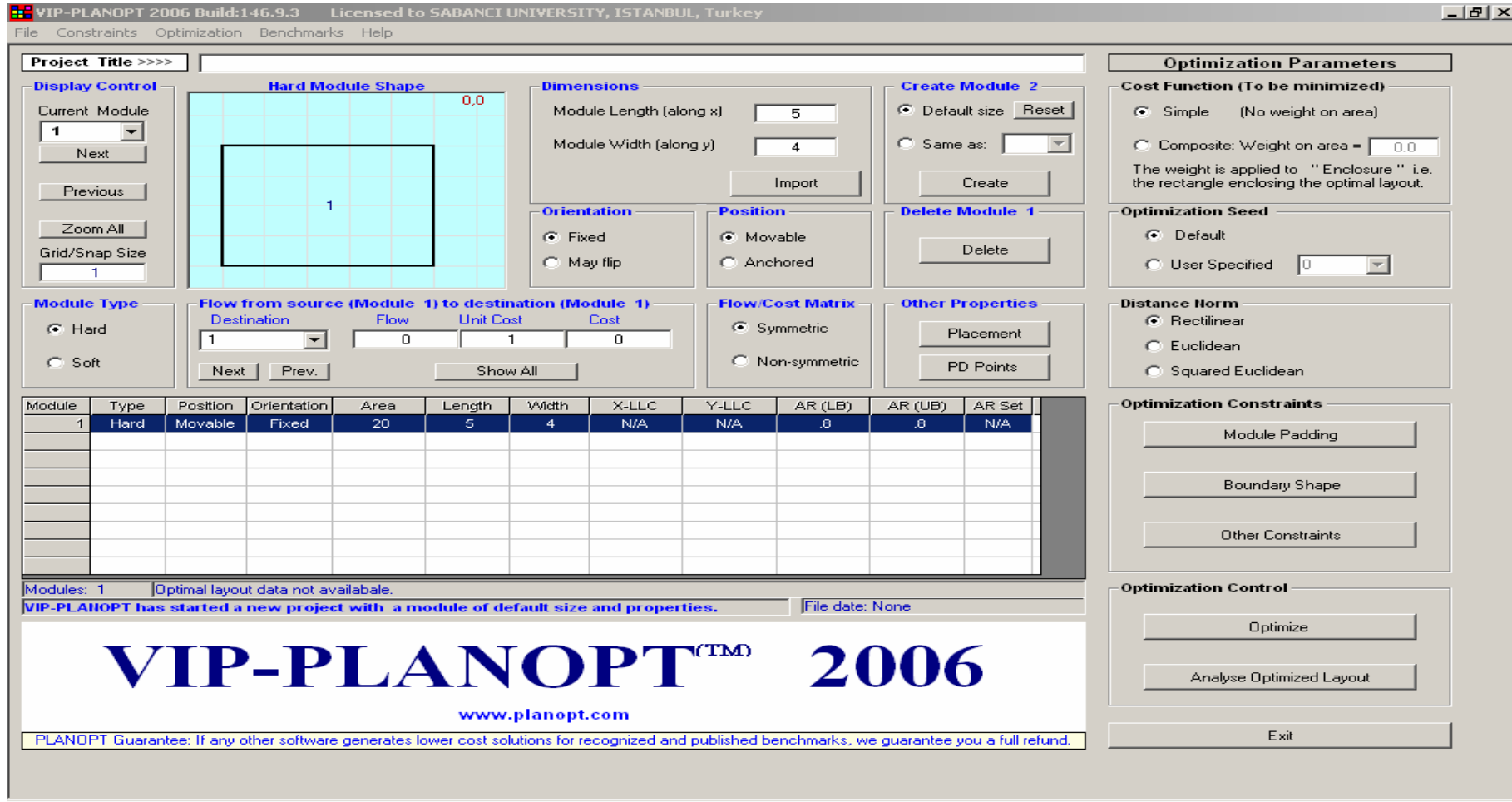
4.1 Vip-Planopt 2006 Yazılım Programı

VIP-PLANOPT (Visually Interfaced Package of PLANOPT), küçük, orta ve büyük boyutlu, eşit olmayan dikdörtgensel boyutlara sahip bloklu veya modüllü problemlere yüksek kalitede en uygun yerleşimler üretmek için geliştirilmiş bir paket yazılım programıdır. Burada geçen “en uygun yerleşimler” terimi, belli sayıdaki modülün, Öklid uzayında en uygun ve çakışma olmayacak şekilde yerleştirilmesini ifade etmektedir. Programın kullanıcı arayüz ekranı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

4.1.1 En iyileme algoritması

PlanOPT eniyileme algoritması bir araştırma ürünüdür. Dayanıklı, tescilli bir melez algoritmadır. Algoritma, 1995 yılında, iki üniversite profesörünün, eşit boyutlu olmayan KAP’i çözmek için geliştirdikleri, varolan algoritmalarından çok daha iyi sonuç veren bir teknik geliştirmeleri sonucunda ortaya çıkmıştır. VIP PlanOPT 2006, bu algoritmaya aşağıdaki eklemeleri yaparak, diğer varolan algoritmalar üzerindeki üstünlüğünü güçlendirmişlerdir:

- Algoritmanın bazı durumlarda gözlenen değişkenliğini kontrol altına almak için çift duyarlılık aritmetiği eklenmiştir.
- Kullanıcı tarafından belirlenen başlangıç noktasına bağlılığı azaltmak için yeni teknikler eklenmiştir.
- Kullanıcı tarafından belirlenen basit dikdörtgensel şekiller ve karmaşık karmaşık şekilli sınırlar içerisinde en uygun yerleşimi sağlamak için ceza fonksiyonları eklenmiştir.



Şekil 4.1 : VIPPLANOPT-2006 yazılım programının kullanıcı arayüzü

4.1.2 Programda kullanılan terimler

Modül: Dikdörtgensel bloklar için kullanılan modül terimi, bölümler, makinalar, odalar, hücreler, alanlar gibi işlevsel birimleri ifade etmektedir. Bir modülün x eksenini boyunca olan boyutu uzunluğunu, y eksenini boyunca olan boyutu da genişliğini gösterir ve sırasıyla L_i ve W_i sembolleri ile gösterilir.

Modül en-boy oranı: Bu oran, bir modülün genişliğinin uzunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Bir i modülü için en-boy oranı R_i olarak gösterilirse bu aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir:

$$R_i = W_i / L_i \quad (3.41)$$

Modül alanı: Bir i modülü için, modülün alanı, A_i , eni ve boyunun çarpımı şeklinde hesaplanır ve bu aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir:

$$A_i = W_i \times L_i \quad (3.42)$$

Modül tipi: PLANOPT yazılımında iki temel modül tipi vardır. Bunlar katı ve esnek olarak adlandırılır. Katı tipteki modüllerin boyutları kullanıcı tarafından belirlenir ve optimizasyon boyunca bu boyutlar değiştirilmez. Kullanıcı kendisi modül tipini belirleyebilir. Esnek tipteki modüllerin alanları sabittir ancak boyutları optimizasyon boyunca değiştirilebilir.

Modül konumu: Bir modülün konumu ya da yeri, merkezinin koordinatları ile belirlenir ve değişken veya sabit olabilir. Bir modül “hareket ettirilebilir (movable)” olarak belirlenmişse, bu modül için en uygun yer program tarafından belirlenir. Eğer modül konumu “anchored (değişmez konumlu)” olarak belirlenmişse bu durumda modülün hangi konumda olacağı kullanıcı tarafından belirlenir ve enuygun yerleşim düzeninde kullanıcı tarafından belirlenen yerleri değiştirilmeyecek şekilde korunur.

Modül yönü: Bu özellik ile bir modülün yönü optimizasyon yapılırken doksan derece döndürülebilir. Bunun için, hangi modülün yönünün değiştirilmesi isteniyorsa kullanıcının o modül seçili iken “may flip” özelliğini işaretlemesi gerekir. Program bu özelliği de kullanarak maliyeti enküçükleyecek şekilde bir yerleşim yapar. Eğer modülün yönü değiştirilmek istenmiyorsa “sabit (fixed)” düğmesinin seçilmesi gerekmektedir.

Modül etrafındaki boşluklar: İşyeri düzenleme optimizasyonlarının birçoğunda, yerleşimi yapılan tesisler etrafında boşluklar bırakılır. Bu boşluklar, çalışanın daha

rahat çalışması, ara stok alanı, güvenlik ya da lojistik gibi nedenlerden bırakılabilir. Program da bu tür etkenleri gözönünde bulundurarak, modüller etrafına boşluklar bırakma olanağına sahiptir. Bu “modül padding” özelliği ile yapılabilir.

Çevrilmiş yer: Bu terim, tüm modülleri içeren dikdörtgensel yerleşim yeri için kullanılmaktadır. Kullanıcı, modülleri yerleştireceği bölgenin genişlik ve uzunluğunu program yardımıyla belirleyebilir.

Akış matrisi: Bu matris, tüm modül çiftleri arasındaki malzeme, donanım ve çalışan akışını vermektedir. Matrisin, bir elemanı f_{ij} , i ve j modülleri arasındaki akışı göstermektedir. Bu akış, iki modül arasında birim zamanda taşınan birim yük sayısı olarak açıklanabilir. Birim yük ise, birim zamanda taşınan ya da elleçlenen birim olarak tanımlanabilir. Program, akış matrisinin simetrik ya da non-simetrik olarak belirlenmesine olanak vermektedir.

Birim mâliyet matrisi: Bu matris, tüm modül çiftleri arasında bir birim yükü bir birim uzaklığa taşımının mâliyetini göstermektedir. Bu matrisin bir elemanı u_{ij} , bir birim yükü i ve j modülleri arasında bir birim uzaklığa taşımının mâliyetini vermektedir.

Mâliyet matrisi: Bu matrisin bir elemanı α_{ij} , i ve j modülleri arasındaki toplam akış mâliyetini göstermektedir. Bu akış, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$\alpha_{ij} = f_{ij} \times u_{ij} \quad (3.43)$$

Uzaklık standartları: Program, i ve j modüllerinin merkezleri arasındaki uzaklığı hesaplamak için üç farklı uzaklık hesaplama yöntemi kullanmaktadır:

Dik-doğrusal uzaklık: Bu yöntem, iki nokta arasındaki, d_{ij} uzaklığını, x ve y eksenleri boyunca dikdoğrusal uzaklıkları toplayarak bulmaktadır.

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (3.44)$$

Öklid uzaklığı: İki nokta arasındaki, d_{ij} uzaklığı, bu noktaların merkezlerinin birbirlerine olan en kısa uzaklığıdır. Bu en kısa uzaklığı bulmak için bir merkezden diğerine bir doğru çizilir ve bu doğrunun uzunluğu da aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2} \quad (3.45)$$

Kareli öklid uzaklığı: Bu uzaklık yöntemi, aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$d_{ij} = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \quad (3.46)$$

4.1.3 Mâliyet fonksiyonları

PLANOPT, en uygun yerleşim yerini, amaç fonksiyonunu enküçükleyecek şekilde bulur. Program dört farklı amaç (mâliyet) fonksiyonunu kullanmaktadır.

Mâliyet fonksiyonu F₁: Bu fonksiyon, mâliyet matrisi simetrik olduğu zaman kullanılır. Fonksiyonun formülü aşağıdaki şekildedir:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n f_{ij} u_{ij} d_{ij} \quad (3.43)$$

Mâliyet fonksiyonu F₂: Bu fonksiyon mâliyet matrisinin hem simetrik olduğu hem de simetrik olmadığı yerleşim problemleri için kullanılır. Fonksiyonun formülü aşağıdaki şekildedir:

$$F_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} u_{ij} d_{ij} \quad (3.44)$$

Mâliyet fonksiyonu F₃: Bu fonksiyon, mâliyet matrisi simetrik olduğunda kullanılır. Bu bir kompozit fonksiyondur. Fonksiyonun formülü aşağıdaki şekildedir:

$$F_3 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n f_{ij} u_{ij} d_{ij} + \omega A_B \quad (3.45)$$

Formüldeki A_B, dikdörtgensel yerleşim bölgesinin alanını; ω ise bu alan üzerinde kullanıcı tarafından belirlenen ağırlığı ifade etmektedir.

Mâliyet fonksiyonu F₄: Bu fonksiyon, mâliyet matrisinin simetrik olmadığı işyeri düzenleme problemleri için kullanılır. Bu bir kompozit fonksiyondur. Fonksiyonun formülü aşağıdaki şekildedir:

$$F_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} u_{ij} d_{ij} + \omega A_B \quad (3.46)$$

4.2 Metal Sektöründe Bir Firmada Yapılmış Uygulama

Bu bölümde, metal sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada yapılan uygulama anlatılacaktır. Firmanın adı, Metalsan Çelik ve Metal San. Tic. A.Ş'dir. 1994

yılından beri faaliyet gösteren orta ölçekli bir işletmedir. Şirketin faaliyet alanı paslanmaz çelikten mutfak eşyası üretimidir. Ürünleri sanayi tipi ve ev tipi olmak üzere iki çeşittir.

Sanayi tipi ürünler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Gastronorm Küvetler
- Endüstriyel Mutfak Eviyeleri
- Yemek Hazırlık, Pişirme ve Taşıma Ekipmanları
- Servis Ekipmanları

Ev tipi ürünler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Dödüklü tencere
- Güveç tencereleri
- Tencere setleri
- Çatal-kaşık-bıçak
- Çaydanlık

Fabrikada varolan durumda kullanılan 120 adet makina ve bu makinaların bulunduğu 14 farklı bölüm bulunmaktadır. Çizelge A.2’de fabrikadaki makinaların listesi verilmiştir ancak bu listede yük asansörleri, vinçler ve halihazırda fabrikada olmasına rağmen kullanılmayan makinalar da yer almaktadır. Çizelge A.1’de makinaları özelliklerine göre sınıflandırdığımızda oluşan sınıflar ve her sınıfa düşen makina sayısı gösterilmektedir. Fabrikada üretimin yapıldığı yer bölümlere ayrılmıştır ve bu bölümler aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir:

- Hammadde deposu
- Bitmiş ürün deposu
- Kesim-tasnif
- Preshane
- Taban çakma
- Tavlama
- İç-dış polisaj
- Elektro polisaj
- Kalıphane
- Çapakthane

- Yıkama
- Çaydanlık
- Çaydanlık-elektro polisaj
- Montaj

Fabrika iki katlı bir yapıdadır ve bu bölümlerden bâzıları üst katta bulunmaktadır. Makinaların yerleşimine bakıldığında, her ne kadar fabrikada sürece göre yerleştirme yapıldığı gözlemlense de bâzı ürünler için atanmış makinalar da vardır. Buna en güzel örnek çaydanlıktır. Çaydanlık için fabrikanın üst katında ve alt katında belli makinalar ayrılmıştır. Varolan durumda üst katta, çaydanlık üretimi yapılan çaydanlık bölümü, montaj ve bitmiş ürün deposu bulunmaktadır. Fabrikanın varolan yerleşim düzeni Ek A.2'deki krokilerde gösterilmiştir.

Fabrikada taşımalar, bir forklift, belirli sayıda transpalet ve tekerlekli metal, üstü açık kafes şeklindeki araçlarla yapılmaktadır. Paslanmaz deposundaki sac malzeme oldukça ağır olduğundan, bu malzemenin tezgâhlara götürülmesi forklift ile olmaktadır. Ara ürünler ise çok ağır olmadıkları durumda el arabaları ve transpaletlerle taşınmaktadır.

4.2.1 Uygulamada izlenen yöntem

Uygulama, fabrikanın yeni bir yerleşim yerine taşınacağı ve dolayısıyla eldeki varolan tezgâhların da bu yerleşim yerine en uygun şekilde nasıl yerleştirileceği sorusuna yanıt vermek amacıyla yapılmıştır. Bunun için de hem bir yazılım programı kullanılarak seçenek yerleşim düzenleri, hem de eldeki sayısal veriler dikkate alınarak uzman görüşü ile sezgisel bir yerleşim düzeni oluşturulmuştur. Uygulamaya başlayabilmek için öncelikle, Vıp-Planopt 2006 yazılımının gereksinim duyduğu girdi verilerini toplamak gerekmektedir:

- Makinalar (modüller)
- Makinaların boyutları ve çevresinde işçinin çalışabilmesi için gereksinim duydukları alan
- Her makina çifti arasındaki akış, diğer bir ifade ile nereden-nereye matrisi
- Elde edilebiliyorsa, bir birim yükü bir birim uzaklığa taşıma mâliyeti

Yukarıdaki girdi verilerinden yola çıkılarak fabrikaya gidilmiştir. Varolan tezgâh bilgisi, her tezgâhın boyutu (en ve boy olarak), çevresinde bir işçinin çalışabilmesi ve ürün konulabilmesi için gereken alan bilgisi elde edilmiştir. Şu ana kadar yapılan

çalışmalarda yük asansörleri ve kantar ile birlikte 143 tezgâhın en ve boy bilgisine ulaşılmıştır. Ancak bu tezgâhlardan bir kısmı satılmış olup, bir kısmı da fabrikada tutulmasına rağmen şu anda kullanılmamaktadır. Varolan son durumda, fabrikada kullanılır durumda olan 120 adet tezgâh olduğundan ve bu tezgâhlardan 94 adetinin akış değeri bilgisine sahip olduğundan, 94 adet tezgâhın boyut bilgisi Çizelge A.4'te yer almaktadır.

Makina çiftleri arasındaki akışların bulunabilmesi için fabrikada üretilen her ürünün hangi makinada, hangi işlem sırasıyla ve ne kadar miktarda üretildiği bilgisine yâni ürünlerin üretim akışı bilgisine gereksinim vardır. Bu bilgiler toplanarak, her bir ürün grubu için üretim akış çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu çizelgelerdeki bilgilerden yola çıkılarak da her bir makina çifti arasındaki varolan akış bulunmuş ve nereden-nereye şeması oluşturulmuştur. Çizelge 4.1'de bir ürünün üretim akışına örnek olarak, gastronorm küvetlerden biri olan Gastronorm 1/1-200 adlı ürünün üretim akışı gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Gastronorm (1/1-200) için üretim akışı

İşlem Sıra No	Gelen Malzeme (1) / Fason Yaptırılan İşlem (2) / Fabrikada Üretilen Parça (3)	Yapılan İşlem/Operasyon	Tezgâh Kodu
	Rulo veya plaka sac malzeme (1)		
1		Boy kesme	
2		Kulak kesme	DM-1,DM-2
3		1. Sıvama	HP-4 ile HP-27 arası (HP-8, 16, 22 ve 25 dışındakiler)
4		Forma	HP-4 ile HP-27 arası (HP-8, 16, 22 ve 25 dışındakiler)
5		Etek kesme	HP-8, HP-16
6		Çapak alma	
7		Yıkama	YK-2, YK-3
8		Poşet ve kutulama	

Üretim akışlarının belirtildiği çizelgelerin ilk sütununda ürün/parça üzerinde yapılan işlemlerin (operasyonların) sıra numarası belirtilmektedir. İkinci sütunda Gelen Malzeme (1), Fason Yaptırılan İşlem (2) veya Fabrikada Üretilen Parça (3) tanımı belirtilmektedir. Kullanılan sac malzemeler dışarıdan alınmakta ve bâzı durumlarda artık malzeme olabilmektedir. Çizelgede; yapılan işlemler 3. sütunda, bu işlemlerin

yapıldığı tezgâhların kodları ise 4. sütunda belirtilmiştir. Eğer işlem farklı tezgâhlarda yapılabilirse bu tezgâhların kodları da aynı sütun içinde verilmiştir. Eğer yapılan işlem için herhangi bir tezgâh kullanımı gerekmiyorsa tezgâh kodu çizelgeye girilmemiştir.

Üretim akışları çizelgeleri oluşturulduktan sonra her bir ürün grubunun ve ürünün 2010 tahmini üretim adetleri ve her ürünün ağırlığı gözönünde bulundurularak nereden-nereye matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 4.2’de standart gastronorm kuvvet ürün ailesine ilişkin ürün ve ürün gruplarının 2010 yılına ilişkin tahminî yıllık üretim miktarları ve birim ağırlıkları verilmiştir. Programda nereden-nereye matrisi, akış matrisi (flow cost) olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 4.2 : Standart gastronorm kuvetlere ilişkin üretim adetleri ve birim ağırlıkları

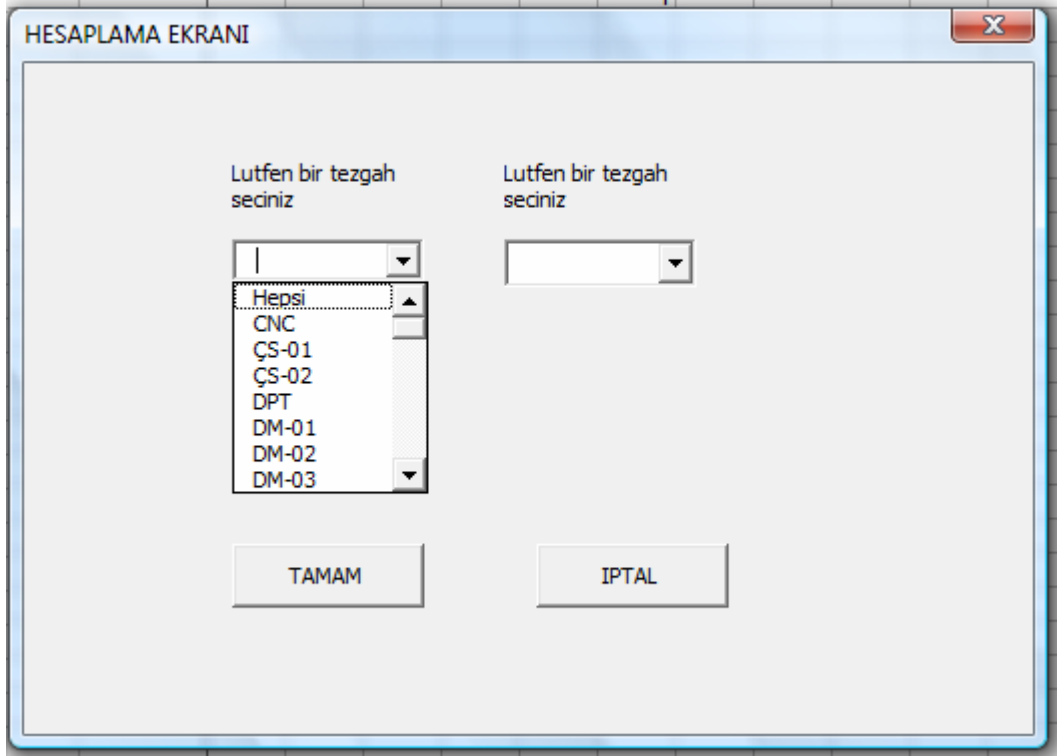
Ürün Grubu	Üretim Adeti	Birim Ağırlık (kg)
Gastronorm (1/1-20; 1/2-20; 1/3-20; 1/4-20)	60.000	0,558
Gastronorm (1/1-40,65,100; 1/2-40,65,100,150; 1/3-40,65,100; 1/4-65,100; 1/6-65,100; 1/9-65,100)	1.000.000	5
Gastronorm (1/1-150)	70.000	1,719
Gastronorm (1/1-150,200; 1/2-150,200; 1/3-150,200; 1/4-150,200 Sıcak)	90.000	1,143
Gastronorm (1/6-150 sıcak)	25.000	0,47
Gastronorm (1/6-200 Sıcak)	4500	0.555
Gastronorm (2/1-20; 2/3-20)	20.000	1,403
Gastronorm (2/1-40,65,100; 2/3-40,65,100)	55.000	1.794
Gastronorm (2/1-150,200; 2/3-150,200 Sıcak)	7000	2.366
Gastronorm (2/1-150; 2/3-150)	10.000	2.263

Nereden-nereye matrisi elde edilirken yâni her tezgâh ikilileri arasındaki toplam akış değeri hesaplanırken izlenen yöntem sırasıyla şu şekildedir:

- Öncelikle her ürün ailesinden her ürün grubunun yıllık üretilen üretim adedi bilgisine ulaşılmıştır.
- Her ürün ailesinden her ürün grubunun bir adedinin kg cinsinden ağırlık değeri bilgisine ulaşılmıştır.
- İlk iki aşamada bulunan değerler çarpılarak her ürün grubu veya ürün için yıllık üretilen ürün miktarı ton cinsinden elde edilmiştir.

- Öncelikle her ürün için, o ürünün üretim akışında bulunan tezgâh ikilileri arasındaki akış değeri hesaplanmıştır. Bunun için de ürünün üretim akış tablosu ve yukarıda elde edilen yıllık ton cinsinden üretim miktarı kullanılmıştır.
- Ürünün yıllık üretilecek ton değeri, ürüne uygulanacak ilk işlemde başlayarak, ilk işlemi yapabilen seçenek tezgâh sayısı ile ikinci (ardıl) işlemi yapabilen seçenek tezgâh sayısının çarpım değerine bölündüğünde, iki ardıl işlemi yapabilen tezgâhlar arasındaki ikili akış değerleri elde edilmiştir. Bu süreç, sırasıyla tüm ardıl işlemler arasında sürdürülmüş ve sözkonusu ürün veya ürün grubu için tüm tezgâh ikilileri arasındaki hesaplanan akış değerleri bir Excel tablosuna yazılmıştır. Eğer farklı ardıl işlemler için aynı tezgâh ikilileri kullanılabiliriyorsa, her farklı ardıl işlemde elde edilen akış değerleri o tezgâh ikililerinin akış değerine eklenerek ürün bazında toplam akış değeri elde edilir. Bu süreç tüm ürünler veya ürün grupları için yapılmıştır.
- Bu adıma kadar geline süreçte tezgâh ikilileri arasındaki akış her ürün veya ürün grubu için ayrı hesaplanmıştır. Ancak gerekli olan iki tezgâh arasındaki toplam akıştır. Tezgâh ikilileri arasındaki toplam akışı elde etmek için de farklı ürünlerdeki aynı tezgâh ikililerinin akış değerleri toplanmıştır.
- Bir önceki adımda bulunan değerler bir Excel sayfasına, üç sütun “Tezgâh1 (nereden)”, “Tezgâh2 (nereye)” ve “akış değeri” oluşturularak girilmiş ve nereden-nereye matrisi elde edilmiştir.

Nereden-nereye matrisini oluştururken hesaplanan sayısal değerler, Excel üzerinden yapılmıştır ancak hesaplama çok olduğundan ve uzun zaman aldığından, bunun için daha sonraki çalışmalarda kolaylık sağlaması açısından bir makro yazılmıştır. Excel’de Visual Basic ile yazılan makro, kullanıcının isteğine göre ya belirli iki tezgâh arasındaki akış değerini ya da tüm tezgâh ikilileri arasındaki akış değerini hesaplayıp bir akış matrisine yazmaktadır. Makro her ne kadar bu çalışmada yapılan uygulamaya özgü olsa da girdi verileri, tezgâhlar, ürün akışları, ürünlerin adet ağırlıkları, üretim miktarları vb., değiştirildiği takdirde başka problemler için de kullanılabilir. Makronun kullanıcı arayüzü Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Makro kullanıcı arayüz ekranı

Kullanıcı arayüz ekranında, “lutfen bir tezgâh seçiniz” yazısı ile iki adet giriş kutusu vardır ve bu kutulara da fabrikada kullanılan tüm tezgâhlar eklenmiştir. Tezgâhların dışında bu giriş kutularında bir de “Hepsi” seçeneği vardır. Kullanıcı hem birinci hem de ikinci giriş kutusunda “Hepsi” seçeneğini seçerse, bu durumda program tüm tezgâh ikilileri arasındaki akış değerlerini bir akış matrisine yazacaktır. Eğer giriş kutularında belirli iki tezgâh seçilirse bu durumda da salt seçilen o iki tezgâh arasındaki akış değeri akış matrisinde ilgili hücreye yazılacaktır.

Yukarıdaki adımlar sonucunda 94 adet tezgâhın (modülün) boyut bilgisi ve tezgâh ikilileri arasındaki akış bilgisine ulaşıldıktan sonra bunlar bir text dosyasına kopyalanmış ve VIP-PLANOPT 2006 programına bu şekilde dışarıdan eklenmiştir. Bu sayede, modüllerin boyut bilgisinin ve ikili kombinasyonları kadar elemandan oluşan akış matrisinin programa tek tek girilmesi yükünden kurtulmuş olunmaktadır. Yukarıda, 94 adet makinanın boyut ve ikili kombinasyonlarının akış bilgisine sahip olduğu ifade edilmişti. Ancak kullanılan yazılım programı en fazla 75 adet modül girişine izin verdiğinden, 94 adet tezgâh gruplanarak sayısı 74 adete indirilmiştir. Gruplama işlemi yapılırken, aynı tezgâhlarla akışı bulunan ve benzer işlemi yapan tezgâhlar seçilmiş ve tek tezgâh olarak düşünülmüştür. Ancak tek tezgâh olarak düşünülmüş olsalar da, boyutları, kaç tezgâh gruplanmışsa, onların boyutları

toplamına eşit olarak değiştirilmiştir. Aynı şekilde yeni tezgâhın akış değeri gruptaki tezgâhların akış değeri toplamaları alınarak bulunmuştur. Bunu bir örnek ile açıklarsak; Çizelge A.5'te 94 tezgâhın gruplanarak 74 tezgâha indirilmiş son hali verilmiştir. Programa 4 numaralı tezgâh olarak girilen tezgâh aslında, HP-04 ve HP-05 kodlu iki tezgâhın gruplanması ile oluşmuş ve boyutu da bu iki tezgâhın boyutlarının toplanması ile bulunmuş tek bir tezgâhtır. Benzer işlem, akış değeri hesabında da yapılmıştır. HP-04'ün HP-06 kodlu tezgâh ile arasındaki akış değeri 0,067; HP-05'in HP-06 kodlu tezgâh ile arasındaki akış değeri 0,067; HP-04 ve HP-05'in gruplanması ile oluşan yeni tezgâhın HP-06 ile arasındaki akış değeri ise $0,067 + 0,067 = 0,134$ olarak bulunur.

Yukarıda anlatılan adımlar sonucunda tezgâh ikilileri arasındaki akış değerleri bulunmuştur ancak bu değerler hesaplanırken bazı varsayımlar da yapılmıştır:

- Aynı işlemi yapabilen seçenek tezgâhların üretim hızları eşit kabul edilmiştir.
- Bir ürünün, üretim akışı içerisinde ilerlerken ağırlığının değişmediği varsayılmıştır.
- Gruplanan tezgâhlar arasındaki akışlar gözardı edilmiştir.

Modüller, modül boyutları ve akış matrisi programa girildikten sonra program üzerinde uygulamaya uygun olacak seçenekler seçilerek program çalıştırılmıştır. Belirtmek gerekir ki bir birim ürünü bir birim uzaklığa taşıma mâliyetini hesaplamak kolay ve olanaklı olmadığından, birim mâliyet değeri tüm modüller için 1 olarak girilmiştir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, birim mâliyet değerini 1 almanın sakıncası olmadığı söylenebilir.

Programın farklı seçenekler seçilerek çalıştırılması sonucunda üç farklı yerleşim düzeni elde edilmiştir. Birinci yerleşim düzeni aşağıdaki özelliklerin seçilmesi ile elde edilmiştir:

Mâliyet fonksiyonu: F_2 olarak seçilmiştir. Daha önce de anlatıldığı gibi F_2 simetrik olmayan mâliyet matrisine sahip problemler için kullanılabilen bir mâliyet fonksiyonudur. Uygulamamızdaki mâliyet matrisi simetrik olmadığından F_2 uygulamamız için en uygun mâliyet fonksiyonudur.

Uzaklık standardı: Dikdoğrusal uzaklık seçilmiştir.

Çevrilmiş yer: Burada yerleşim yapılacak alanın en ve boy bilgisi girilmiştir. Yerleşim yapılacak alan $75 \times 80 = 6.000 \text{ m}^2$ 'lik bir alan olarak belirlenmiştir.

Modül tipi: Tüm modüllerin tipi “katı (hard)” olarak seçilmiştir.

Modül yönü: Tüm modüller için “may flip” seçeneği işaretlenmiştir. Bu modüllerin eniyileme işlemi sırasında, program tarafından 90° döndürülebilmesine olanak sağlamaktadır.

Modül konumu: Tüm modüller için “hareket ettirilebilir (movable)” butonu seçilmiştir.

Modül etrafındaki boşluklar: Gruplanmamış modüllerden, 38, 39, 40 ve 47 numaralı modüllerin çevresinde sağdan, üstten, soldan ve alttan sırasıyla 2, 2, 2 ve 3 metre; diğer gruplanmamış modüller çevresinde sağdan, üstten, soldan ve alttan sırasıyla 1, 1, 1 ve 2 metre; gruplanmış modüller çevresinde ise, gruptaki modül sayısı ile 1, 1, 1 ve 2 metre boşluk değerlerinin çarpımı kadar boşluk bırakılmıştır yâni eğer bir modül aslında 3 modülün gruplanması ile oluşturulmuşsa çevresinde sırasıyla 3, 3, 3 ve 6 metrelik boşluk bırakılmıştır.

İkinci seçenek, yerleşim düzeni oluşturulurken program üzerinde birinci yerleşim düzeninde seçilen özelliklerden farklı olarak seçilenler aşağıda belirtilmiştir:

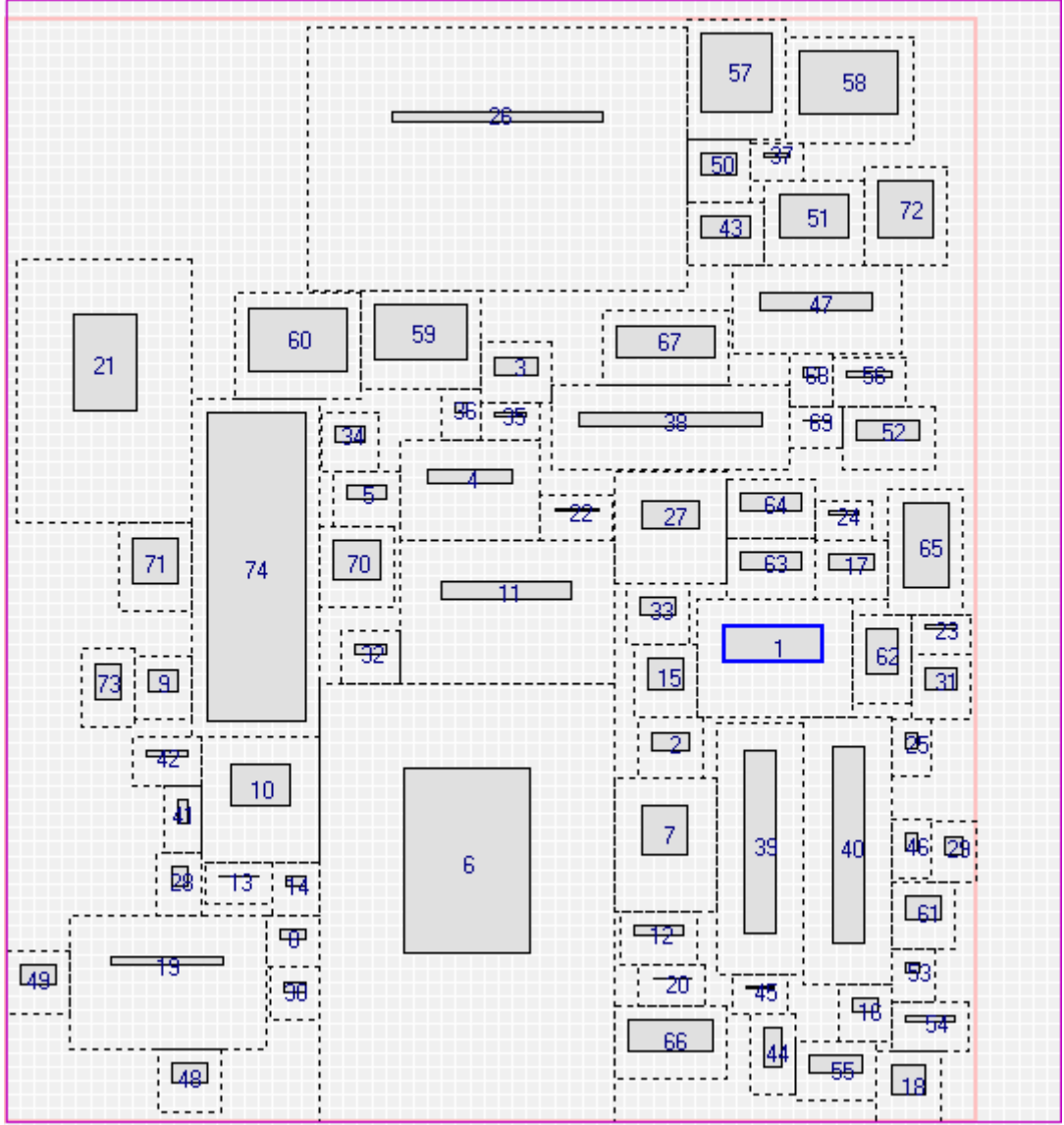
Modül yönü: 74 numaralı modülün yönü “fixed (sabit)” seçilmiştir.

Modül konumu: 74 numaralı modülün konumu “anchored (değişmez konumlu)” seçilmiştir. Bu modülün yeri önceden belirlenerek program çalıştırılmıştır.

Üçüncü seçenek yerleşim düzeni oluşturulurken, program üzerinde birinci yerleşim düzeninde seçilen özelliklerden farklı olarak seçilenler aşağıda belirtilmiştir:

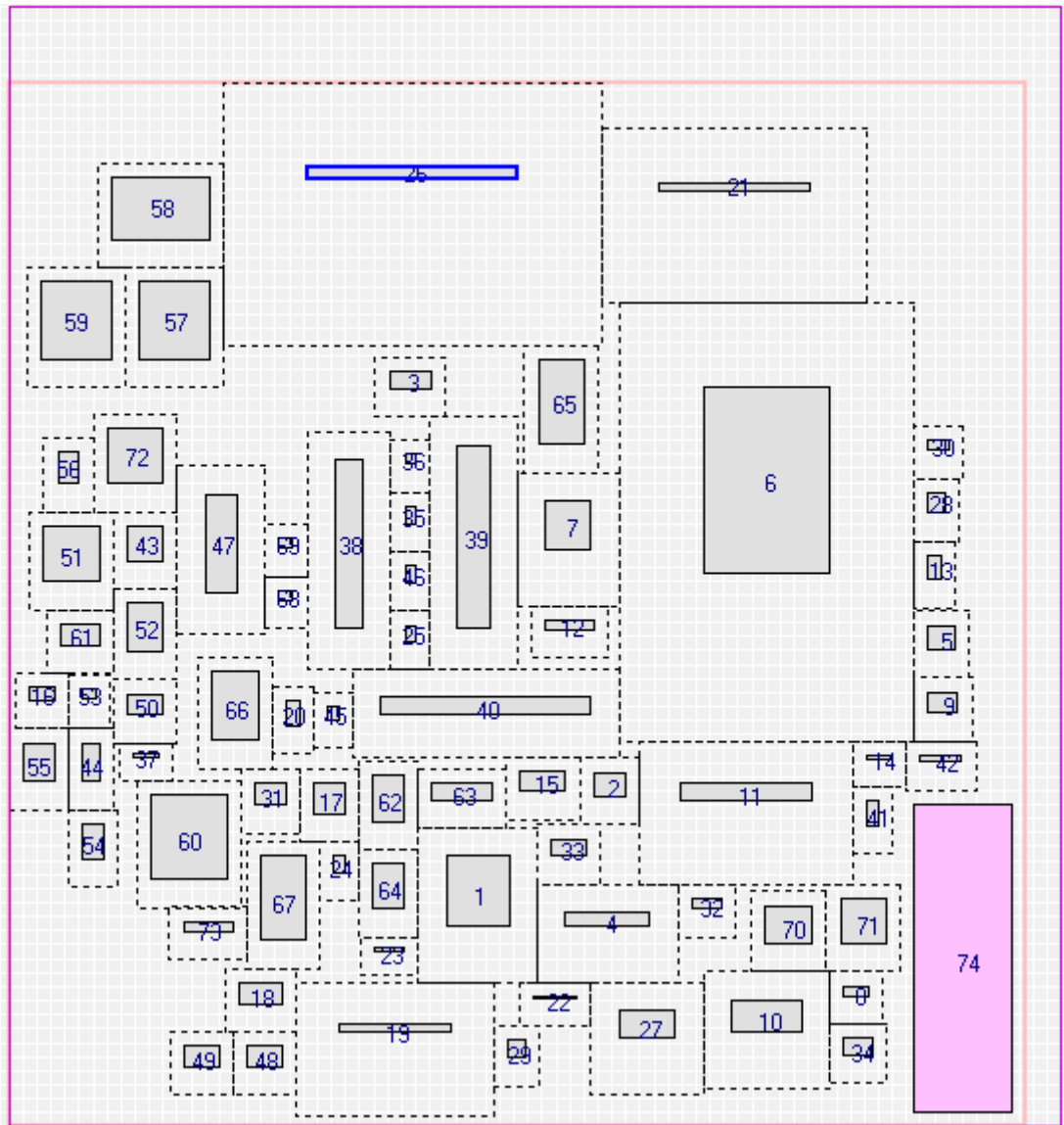
Modül Yönü: Tüm modüller için “sabit (fixed)” seçeneği işaretlenmiştir. Bu, modüllerin eniyileme işlemi sırasında yönünün değiştirilemeyeceği anlamına gelmektedir.

Programdan elde edilen üç farklı seçenek yerleşim düzeni sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.3 : Program tarafından elde edilmiş birinci alternatif yerleşim düzeni

Bu seçenek yerleşim düzeninin amaç fonksiyonu değeri 761.493,2 olarak bulunmuştur ve eniyileme süresi 57,758 saniye sürmüştür. Toplam kullanılan alan 5.419,025 m²'dir.



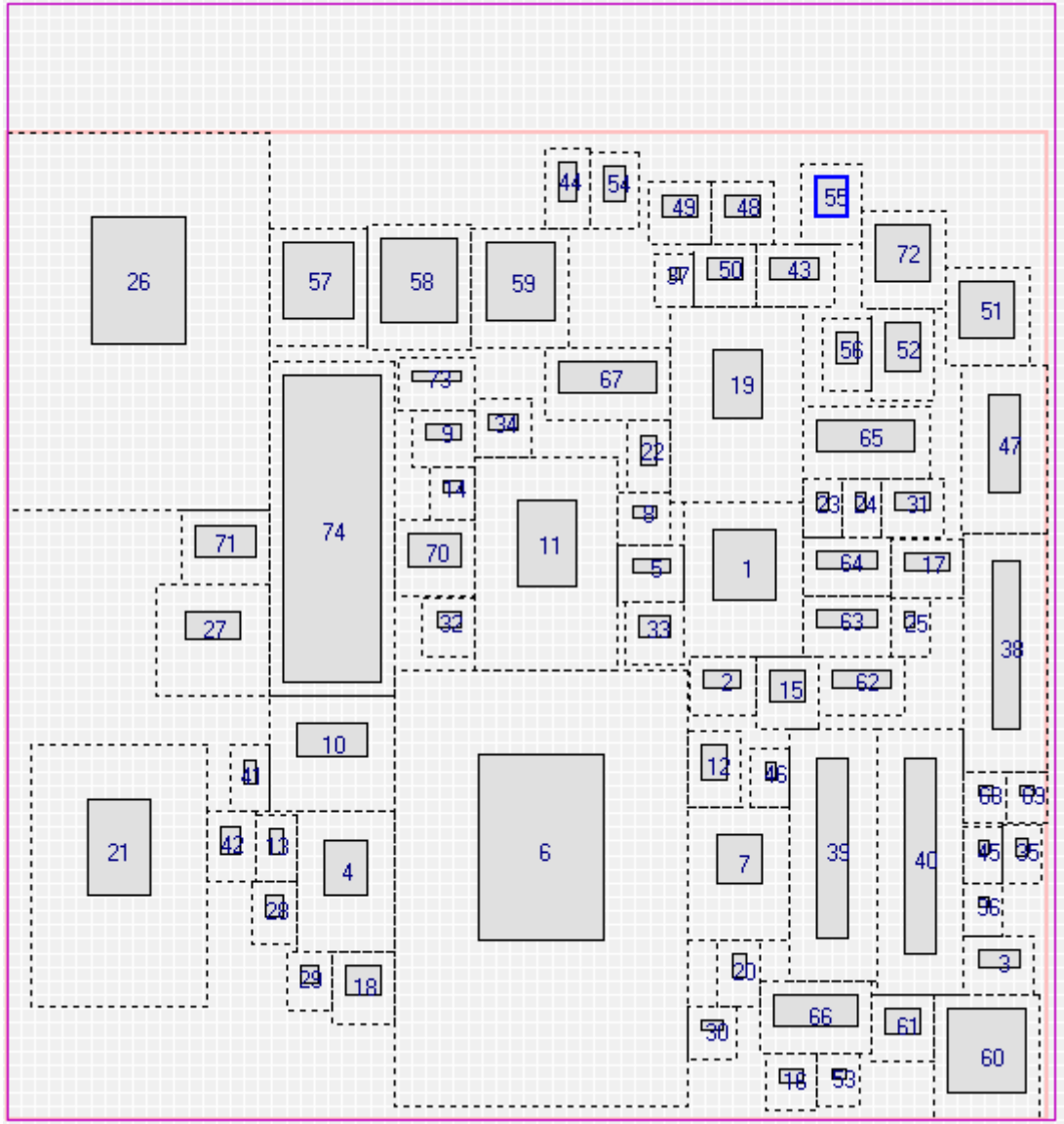
Şekil 4.4 : Program tarafından elde edilmiş ikinci alternatif yerleşim düzeni

İkinci seçenek yerleşim düzeninde, 74 numaralı modülün yeri eniyileme işlemi başlamadan önce koordinatları belirtilerek sabitlenmiştir. Şekil 4.4’de de görüldüğü gibi bu modülün rengi diğerlerinden farklıdır. Bu seçenek yerleşim düzeninin amaç fonksiyonu değeri 763.153,6 olarak bulunmuştur ve eniyileme süresi 50,32 saniye sürmüştür. Toplam kullanılan alan 5.399,193 m²’dir.

Programın ürettiği seçenek yerleşim düzenlerine ek olarak, uzman görüşüne dayanan bir sezgisel yerleşim düzeni daha oluşturulmuştur. Bu yerleşim planı EK A.3’de gösterilmektedir.

Sezgisel yerleşim plânı oluşturulurken, ürün veya ürün gruplarının yıllık üretim adetleri ile birim ağırlıklarının çarpılması sonucu elde edilen değerler gözönünde bulundurulmuştur. Hangi ürün veya ürün grubunun üretim miktarı daha fazla ise o

ürün veya ürün grubunun üretim akışı öncelikle dikkate alınmış ve üretim akışında bulunan tezgâhlar birbirlerine olabildiğince yakın konumlandırılmıştır. Bu işlem tüm ürün veya ürün grupları için yinelenerek sezgisel bir yerleşim düzeni elde edilmiştir.



Şekil 4.5 : Program tarafından elde edilmiş üçüncü seçenek yerleşim düzeni

Bu seçenek yerleşim düzeninin amaç fonksiyonu değeri 795.292,6 olarak bulunmuştur ve eniyileme süresi 13,203 saniye sürmüştür. Toplam kullanılan alan 5.262,58 m²'dir.

4.2.2 Seçenek yerleşim yerlerinin değerlendirilmesi

Programın amaç fonksiyonu, mâliyet matrisi ile uzaklığın çarpımıdır. Amaç bu çarpımı enküçükmektir. Diğer bir ifade ile amaç fonksiyonu uzaklık-temellidir. Bunu enküçükmek için de aralarında akış değeri yüksek olan tezgâhları

olabildiğince birbirlerine yakın konumlandırmak gerekmektedir. Çizelge 4.3’de aralarındaki akış en yüksek olan belirli sayıda tezgâh ve bu tezgâhlar arasındaki akışlar gösterilmiştir. Tezgâh1 ve Tezgâh2 sütunlarının altındaki sayılar, modüllerin yâni tezgâhların programdaki numaralarıdır.

Çizelge 4.3’deki akış değerlerine bakıldığında, aralarında 6 ve 7 numaralı modüller arasında yüksek akış değeri olduğundan üç seçenek yerleşim düzeninde de bu tezgâhlar birbirlerine komşu olarak yerleştirilmiştir. 6 ve 7 numaralı modüllerin koordinatlarına bakıldığında, birinci ve üçüncü yerleşim düzenlerinde aynı yerlere konumlandırıldıkları, ancak ikinci yerleşim düzeninde farklı koordinatlara yerleştirildikleri görülmektedir. Benzer şekilde, 74 numaralı modül ile 70 ve 71 numaralı modüller arasındaki akış değeri yüksek olduğundan, birinci ve üçüncü yerleşim düzeninde 74 numaralı modülün soluna 71 numaralı modül sağına da 70 numaralı modül bitişik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ancak ikinci yerleşim düzeninde, 74 numaralı modülün koordinatları program tarafından değil önceden belirlendiği ve duvar kenarına yerleştirildiği için, 71 numaralı modül 74 numaralı modülün soluna, 70 numaralı modül de mesafeyi enküçükmek adına 71 numaralı modülün soluna bitişik olarak yerleştirilmiştir. Buradan hareketle, programın aralarında yüksek akışa sahip tezgâhları bitişik konumda yerleştirdiğini bir kez daha söyleyebiliriz.

Üç yerleşim düzenine bakıldığında, birinci yerleşim düzeninin amaç fonksiyonu değeri açısından en düşük, dolayısıyla en uygun değere, alan kullanımı açısından da en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Alan kullanımı da problemin en uygun çözümünün bulunması açısından bir ölçüt oluşturabilir.

EK A.3’ te yer alan sezgisel yerleşim düzeninde, en çok üretim miktarına sahip ürün veya ürün gruplarının akışlarında yer alan tezgâhlar, koridorlar, işçilerin çalışabilmesi ve ara ürünlerin konabilmesi için çevrelerinde bırakılması gereken boş alanlar da gözönünde bulundurularak yerleştirilmiştir. Çizelge 4.2’deki üretim miktarlarına bakıldığında, en yüksek üretim miktarına sahip ürün grubunun, 1.000.000 adetlik üretim miktarı ile Gastronorm (1/1-40,65,100; 1/2-40,65,100,150; 1/3-40,65,100; 1/4-65,100; 1/6-65,100; 1/9-65,100) grubu olduğu görülmektedir. Bu grubun üretim akışı, paslanmaz deposundan (hammadde deposu) rulo veya plaka sac malzemenin MK-3 veya MK-4 makaslarına gelmesi ile başlar. Dolayısıyla hammadde deposu ile sözkonusu makaslar arasında yüksek değerde bir akış vardır.

Çizelge 4.3 : Tezgâh ikilileri arasındaki akış değerleri

Tezgâh1	Tezgâh2	Akış Değeri
6	7	3658.902
74	71	3158.298
74	70	2716.391
7	39	2011.279
7	40	1813.637
6	12	1682.634
12	40	840.457
12	39	840.457
11	6	815.639
71	6	815.639
70	6	776.222
10	6	776.222
4	6	543.804
71	11	388.111
70	11	388.111
14	6	273.323
42	6	271.902
41	6	271.902
13	6	271.902
5	6	271.902
71	10	258.741
71	4	258.741
70	10	258.741
70	4	258.741
9	6	226.651
8	6	226.651
69	47	189.000
68	69	189.000
62	39	171.176
63	33	168.119
2	39	159.394
71	2	158.809
25	46	155.782
15	39	150.628
71	15	150.043
39	15	146.728
39	2	146.728
39	1	146.728
1	39	146.728
71	1	146.143
63	39	145.844
64	39	145.844
71	42	129.370
71	41	129.370
71	14	129.370
71	13	129.370
71	9	129.370

Bu tezgâhları hammadde deposuna olabildiğince yakın olarak yerleştirmek mantıklı olacaktır. Benzer şekilde DM-1, DM-2 ve DM-3 kodlu daire makaslarına da paslanmaz deposundan rulo ve sac malzeme geldiğinden ve bu malzemenin miktarı fazla olduğundan paslanmaz deposuna yakın konumlandırılmışlardır. Burada izlenen yöntem, programın izlediği yöntemden biraz farklılık göstermektedir. Program ürün veya ürün grupları ile ilgilenmeden, salt tezgâh ikilileri arasındaki akışa bakarak yerleştirme yapmıştır. Ancak sezgisel yöntem de öncelikle en çok üretim miktarına sahip ürünlerin üretilebileceği şekilde tezgâhlar konumlandırılmıştır. Sezgisel yerleşim düzeninde hammadde deposu duvar kenarına yerleştirilirken, programın ürettiği birinci ve üçüncü yerleşim düzenlerinde ise merkeze yakın bir yere konumlandırılmıştır.

Sezgisel yerleşim düzeninde DMAP, DSİL, IMAP, İSİL kodlu ve programda sırasıyla 57, 58 ,59 ve 60 olarak numaralandırılan tezgâhlar birbirlerine en yakın olacak şekilde yerleştirilirken; birinci yerleşim düzeninde 57 ve 58 numaralı modüller bitişik olarak sağ üst köşeye, 59 ve 60 numaralı modüller ise bitişik olarak merkez ve sol üst köşe arasında olacak şekilde; ikinci ve üçüncü yerleşim düzenlerinde 57, 58, 59 numaralı modüller birbirlerine yakın ancak 60 numaralı modül bu üç modülden uzağa yerleştirilmiştir.

En çok üretilen Gastronorm (1/1-40,65,100; 1/2-40,65,100,150; 1/3-40,65,100; 1/4-65,100; 1/6-65,100; 1/9-65,100) grubunun üretim akışında boy kesme işleminden sonra yapılan 1. sıvama işlemini yapabilen HP-4 ve HP-27 arasındaki tezgâhlar (HP-8, HP-16, HP-22 ve HP-25 dışındakiler) sezgisel yerleşimde olabildiğince yakın yerleştirilmeye çalışılmıştır. Benzer şekilde, 1. sıvama işleminden sonra yapılan forma işlemini yapabilen HP-7, HP-9, HP-10, HP-11, HP-18 ve HP-27 kodlu tezgâhlar da birbirlerine yakın konumlandırılmaya çalışılmıştır. Bu yakın konumlandırma işlemi salt bir işi yapan tezgâhlar arasında değil, ardıl işlemleri yapan tezgâhlar için de sağlanmaya çalışılmıştır. Forma işlemlerinden sonra sırasıyla etek kesme ve yıkama işlemleri gelmektedir. Etek kesme, tüm standart gastronormlar için HP-8, HP-16 veya HP-22 numaralı tezgâhlarda yapılabildiğinden, bu tezgâhlar hem birbirlerine hem de kendilerinden bir önceki ve bir sonraki işlemi yapan tezgâhlara yakın konumlandırılmıştır. Programın ürettiği üç seçenek yerleşim düzeninde 7 numaralı modül HP-8 ve HP-16 kodlu tezgâhların gruplanması ile oluşturulmuştur. 12 numaralı modül de HP-22 kodlu tezgâhı temsil etmektedir. Hem

sezgisel yerleşim düzeninde hem de bu üç seçenek yerleşim düzeninde HP-8, HP-16 ve HP-22 kodlu tezgâhlar hem birbirlerine hem de bir sonraki yıkama işlemini yapabilen YK-1, YK-2 veya YK-3 numaralı yâni sırasıyla 38, 39 ve 40 numaralı tezgâhlara yakın konumlandırılmışlardır.

Etek kesme işleminden sonra HAV-1, HAV-2 veya HAV-3 tezgâhlarında ön asit işlemi, daha sonra da RDR-1, RDR-2 veya RDR-3 tezgâhlarında elektro polisaj işlemi yapılmaktadır. Sezgisel yerleşim düzeninde bu RDR-1, RDR-2 ve RDR-3 kodlu redresörler, duvar kenarına bitişik olarak ve HAV-1, HAV-2 ve HAV-3 tezgâhlar da redresörlerin hemen önünde yerleştirilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü seçenek yerleşim düzenlerinin üçünde de HAV-1, HAV-2 ve HAV-3 yâni sırasıyla 62, 63 ve 64 numaralı modüller, birbirlerine olabildiğince yakın ve bitişik yerleştirilmişlerdir. Ancak birinci yerleşim düzeninde, RDR-1, RDR-2 ve RDR-3 yâni sırasıyla 65, 66 ve 67 numaralı modüller birbirlerine yakın yerleştirilmemiş, salt 65 numaralı modül 62, 63 ve 64 numaralı modüllere yakın olacak şekilde yerleştirilmiştir. İkinci yerleşim düzeninde, 67 numaralı modül 62, 63 ve 64 numaralı modüllere yakın, 66 numaralı modül yakın sayılabilecek mesafede, 65 numaralı modül ise uzak yerleştirilmiştir. Üçüncü yerleşim düzeninde, 65 numaralı modül 62, 63 ve 64 numaralı modüllere yakın, 67 numaralı modül yakın sayılabilecek mesafede, 66 numaralı modül ise uzak yerleştirilmiştir.

Bu şekilde sezgisel yerleşim süreci ve diğer üç seçenek yerleşim süreçleri arasında benzerlikler ve farklılıklar analiz edilebilir. Ancak tüm makinaların yerleşim yerine tek tek bakmak olanaklı olamayacağı için yukarıdaki açıklamalardan, tüm yerleşim düzenlerinde en yüksek akış değerine sahip tezgâhların birbirlerine olabildiğince yakın konumlandırılmaya çalışıldığı söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle, üretim sistemlerinde karşılaşılan önemli ve temel konulardan biri olan işyeri düzenleme problemi ile ilgili günümüze kadar yapılmış çalışmalar incelenmiş, daha sonra da bir üretim sisteminden elde edilen gerçek verilerle VIP-PLANOPT 2006 yazılımı kullanılarak seçenek üç farklı yerleşim düzeni ve uzman görüşüne dayanarak da bir sezgisel yerleşim düzeni elde edilmiştir.

İşyeri düzenleme problemi, üzerinde çok çalışılmış bir konudur. Problem genellikle bir kuadratik atama problemi olarak modellenmiştir ve bu kuadratik olduğundan NP-tam türündedir. Diğer bir ifade ile bölüm sayısının 18'den fazla olduğu problemler için en iyi çözüm bulunamamaktadır. Kuadratik atama probleminin bir diğer eksiği, eşit boyutlu olmayan problemleri çözemesidir.

Günümüze kadar yapılmış çalışmalara bakıldığında, kuadratik atama probleminin uzantısı olarak en iyi sonuç verebilecek üç farklı yöntem önerilmiştir. Bunlar karma-tamsayılı programlama, grafik kuramı ve dal-sınır algoritmasıdır. Ancak incelenen çalışmalar, karma-tamsayılı programlamanın en fazla altı, dal-sınır algoritmasının en fazla on altı bölümlü problemler için en iyi çözümü bulabildiğini; grafik kuramı yaklaşımının ise eşit boyutlu olmayan az sayıda bölüme sahip problemler için bile en uygun çözümü bulamayabildiğini göstermiştir.

En uygun çözümü veren algoritmaların kısıtlarından dolayı, işyeri düzenleme problemini çözebilmek için sezgiseller ve meta-sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Sezgisel algoritmalar “kuruluş” ve “geliştirme” algoritmaları olarak sınıflandırılmıştır. Bunların birçoğu bilgisayar destekli işyeri düzenleme algoritmalarıdır. Meta-sezgisel algoritmalara bakıldığında, genetik algoritma, tavlama benzetimi, tabu arama ve karınca kolonisi gibi algoritmaların çok sayıda ve eşit boyutlu olmayan bölümlü problemler için en iyiye yakın çözümler verdikleri görülmektedir. Özellikle genetik algoritma ve tavlama benzetimi üzerine son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalardaki uygulama sonuçları, bu

algoritmaların performansının parametrelerine atanan değerlere bağılı olduğunu göstermiştir.

Endüstriyel yaşamdan alınan 94 adet eşit boyutlu olmayan tezgâhlı bir işyeri düzenleme probleminin çözümü için VIP-PLANOPT yazılım programı kullanılmıştır. Ancak program en fazla 75 adet tezgâha izin verdiğinden, 94 adet tezgâhtan bazıları gruplanmış ve toplam tezgâh sayısı 74'e düşürülmüştür. Programda yer alan dört farklı amaç fonksiyonundan biri seçilerek eniyileme yapılmıştır. Tezgâhların hareket ettirilebilir, döndürülebilir ve sabit konumlu olma özellikleri değiştirilerek üç farklı yerleşim düzeni elde edilmiştir. Amaç fonksiyon değeri açısından bakıldığında birinci yerleşim düzeninin en uygun olduğu görülmektedir.

Uygulamada kullanılan yazılım programının en üstün yanı, kullanıcıya istediği tezgâhı istediği yere konumlandırmasına olanak vermesidir.

Yazılım programının verdiği seçenek yerleşim düzenine ek olarak, uygulamanın yapıldığı fabrikada bulunan tüm tezgâhlar kullanılarak bir sezgisel yerleşim düzeni oluşturulmuştur. Sezgisel yerleşim düzeninin amaç fonksiyonu, programın tezgâh sayısı kısıtından dolayı hesaplanamamıştır. Yazılım programının daha çok sayıda tezgâh girişine izin verilen bir sürümü ile bu yerleşimin de amaç fonksiyon değeri hesaplanabilir ancak burada farklı olan tüm tezgâhların yerlerinin önceden belli olmasıdır.

Herhangi bir yazılım programı kullanılarak bir üretim veya hizmet sistemi için işyeri düzenleme çalışması yapılabilmektedir. Ancak önemli olan, eldeki verilerin ne derece doğru ve tam olduğudur. Yazılım programının gerektirdiği girdi verilerinde eksiklikler varsa sonuç da gerçek yaşama pek uygun olmayacaktır.

Yapılan literatür incelemesi ve uygulama sonucunda görülmüştür ki, her ne kadar uygulanan yöntem ile fabrika için en iyi yerleşim düzeni bulunmuş olsa da, önemli olan bu çözümün fabrikanın işleyişine ve gerçek yaşama uygun olması diğer bir ifade ile gerçekleştirilebilir olmasıdır.

KAYNAKLAR

- Arıkan, M. ve Erol, S.,** 2006: Bir Tabu Arama Uygulaması: Esnek İmalat Sistemleri'nde Parça Seçimi ve Takım Magazini Yerleşimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* **21**, no. 2, pp. 221-227.
- Azadivar, F. and Wang, J.,** 2000: Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms. *International Journal of Production Research*. Vol. **38**, no. 17, pp. 4369-4383.
- Balakrishnan, J., Cheng, C., and Wong, K.,** 2003: FACOPT: a user friendly facility layout optimization system. *Computers and Operations Research*. Vol. **30**, pp. 1625-1641.
- Bazaraa, M. S.,** 1975: Computerized Layout Design: A Branch and Bound Approach. *IEE Transactions*. Vol. **7**, no. 4, pp. 432-438.
- Bozer, Y. A., Meller, R. D., and Erlebacher, S. J.,** 1994: An improvement-type layout algorithm for single and multiple-floor facilities. *Management Science*. Vol. **40**, pp. 918-932.
- Chiang, W-C. and Kouvelis, P.,** 1996: An improved tabu search heuristic for solving facility layout design problems. *International Journal of Production Research*. Vol. **34**, no. 9, pp. 2565-2585.
- Erkut, H. ve Baskak, M.,** 2003: *Tesis Tasarımı*. İrfan Yayımcılık, Divanyolu, İstanbul.
- Ertay, T., Ruan, D., and Tuzkaya U. R.,** 2006: Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Science*. Vol. **176**, pp. 237-262.
- Foulds, L. R. and Robinson, D. F.,** 1978: Graph theoretic heuristics for the plant layout problem. *International Journal of Production Research*. Vol. **16**, no. 1, pp. 27-37.
- Francis, R. L. and White, J. A.,** 1974: *Facility Layout and Location*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Garcia-Diaz, A. and Smith, J. M.,** 2007: *Facilities Planning and Design*. Prentice Hall, USA.
- Geyik, F. and Cedimoğlu, İ. H.,** 2001: Atölye Tipi Çizelgelemede Komşuluk Yapılarının Tabu Arama Tekniği ile Karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*. Cilt **4**, no. 1, pp. 95-103.
- Glover, F. and Laguna, M.,** 1997: *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Heragu, S. S. and Alfa, A. S.,** 1992: Experimental analysis of simulated annealing based algorithms for the layout problem. *European Journal of Operational Research*. Vol. **57**, pp. 190-202.

- Heragu, S. S.**, 1997: *Facilities Design*. PWS Publishing Company, USA.
- Heragu, S. S.**, 2006: *Facilities Design*. iUniverse, Inc., USA.
- Kochhar, J. S., Foster, B. T., and Heragu, S. S.**, 1998: HOPE: A Genetic Algorithm for the Unequal Area Facility Layout Problem. *Computers and Operations Research*. Vol. **25**, no. 7-8, pp. 583-594.
- Kim, J-G. and Kim, Y-D.**, 1998: A space partitioning method for facility layout problems with shape constraints. *IIE Transactions*. Vol. **30**, pp. 947-957.
- Liang, L. Y. and Chao, W. C.**, 2008: The strategies of tabu search technique for facility layout optimization. *Automation in Construction*. Vol. **17**, pp. 657-669.
- Mak, K. L., Wong, Y. S., and Chan, F. T. S.**, 1998: A genetic algorithm for facility layout problems. *Computer Integrated Manufacturing Systems*. Vol. **11**, no. 1-2, pp. 113-127.
- Mavridou, T. D. and Pardalos, P. M.**, 1997: Simulated Annealing and Genetic Algorithms for the Facility Layout Problem: A Survey. *Computational Optimization and Applications*. Vol. **7**, no. 1, pp. 111-126.
- Mckendall Jr., A. R. and Shang, J.**, 2004: Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem. *Computers and Operations Research*. Vol. **33**, pp. 790-803.
- Meller, R. D. and Bozer Y. A.**, 1996: A new simulated annealing algorithm for the facility layout problem. *International Journal of Production Research*. Vol. **34**, no. 6, pp. 1675-1692.
- Meller, R. D. and Gau. K-Y.**, 1996: The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*. Vol. **15**, no. 5, pp. 351-366.
- Singh, S.P. and Sharma, R. R. K.**, 2006: A review of different approaches to the facility layout problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. **30**, no. 5-6, pp. 425-433.
- Skorin-Kapov, J.**, 1990: Tabu search applied to the quadratic assignment problem. *ORSA Journal on Computing*. Vol **2**, pp. 33-45.
- Tam, KY.**, 1992: Genetic algorithms, function optimization, and facility layout design. *European Journal of Operational Research*. Vol. **63**, pp. 322-346.
- Tanyaş, M. ve Baskak, M.**, 2003: *Üretim Planlama ve Kontrol*. İrfan Yayımcılık, Divanyolu, İstanbul.
- Tate, D. M. and Smith, A. E.**, 1995: A genetic approach to the quadratic assignment problem. *Computers and Operations Research*. Vol. **22**, pp. 73-83.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M., and Trevino, J.**, 1996: *Facilities Planing*. John Wiley and Sons, Inc., USA.
- Zhang, J.**, 1997: Genetic algorithm based simulation optimization of flexible manufacturing systems. PHD dissertation, Kansas State University.

EKLER

EK A.1: Uygulama yapılan fabrikadan toplanan tezgâh ve üretim bilgileri

EK A.2: Uygulama yapılan fabrikanın mevcut durumdaki yerleşim krokileri

EK A.3: Uygulama yapılan fabrika için önerilen sezgisel işyeri yerleşim düzeni

EK A.1

Çizelge A.1 : Fabrikadaki makinelerin özelliklerine göre sınıflandırılması

Özellik	Makina sayısı
Daire makası	3
Makas	4
Alttan sıvama	13
Sıvama	2
Çift sıvama	11
Üstten sıvama	6
Etek kesme	12
Mazgala	3
Eksantrik pres	18
Taban ısıtma	3
Taban çakma presi	3
Düdüklü ağız kıvrırma	7
Yıkama makinesi	4
Tavlama makinesi	6
Soğutma makinesi	3
Havuz	3
Redresör	6
Redresör havuzu	6
Taban zımpara	4
Yan zımpara	1
İç zımpara	1
Dış polisaj	1
İç polisaj	2
Çaydanlık zımpara makinesi	1
Kaynak makinesi	2
Kapsül taban punta	1
Düdüklü sap punta	2
Sap punta	1
Klips punta	1
Tutacak punta	1
CNC dikiş punta makinesi	2
Evye dikiş temizlik makinesi	1
Evye dikiş punta	1
Abkant bükme makinesi	1
Plazma kesim makinesi	1
Punch	1

Çizelge A.2 : Tezgâhlar ve tezgâh kodları

TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI	TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI	TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI
HP-01	Hidrolik Pres	MK-3	Makas	SM-1	Soğutma Makinası
HP-02	Hidrolik Pres	MK-4	Makas	VNÇ-1	Rulo Taşıma Vinci
HP-03	Hidrolik Pres	MK-5	Makas	VNÇ-2	Kalıp Yerleştirme Vinci
HP-04	Hidrolik Pres	PNT-9	Punta Makinası	HAV-1	Havuz (Ön Asit)
HP-05	Hidrolik Pres	TAV-1	Tavlama Makinası	HAV-2	Havuz (Ön Asit)
HP-06	Hidrolik Pres	TAV-2	Tavlama Makinası	HAV-3	Havuz (Ön Asit)
HP-07	Hidrolik Pres	YK-1	Yıkama Makinası	RDR-1	Redresör
HP-08	Hidrolik Pres	YK-3	Yıkama Makinası	RDR-2	Redresör
HP-09	Hidrolik Pres	HP-19	Hidrolik Pres	RDR-3	Redresör
HP-10	Hidrolik Pres	HP-20	Hidrolik Pres	RDR-4	Redresör
HP-11	Hidrolik Pres	OM-2	Omera	RHAV-1	Redresör Havuzu (Paslanmaz)
HP-12	Hidrolik Pres	PNT-1	Punta	RHAV-2	Redresör Havuzu
HP-13	Hidrolik Pres	PNT-2	Punta	RHAV-3	Redresör Havuzu
HP-14	Hidrolik Pres	AKV-2	Ağız Kıvrırma	RHAV-4	Redresör Havuzu
HP-15	Hidrolik Pres	EK-5	Etek Kesme	CNC-ÇZ	CNC Çaydanlık Zımpara Makinası
HP-16	Hidrolik Pres	FRN	Fırın	ÇZ	Çaydanlık Zımpara Makinası
HP-17	Hidrolik Pres	FRN-Y	Fırın (Yeni)	CNC-DP	CNC Dikiş Punta Makinası
HP-18	Hidrolik Pres	MAZ-1	Mazgala	EP-05	Eksantrik Pres
HP-21	Hidrolik Pres	MAZ-2	Mazgala	EP-06	Eksantrik Pres

Çizelge A.2 (devam) : Tezgâhlar ve tezgâh kodları

TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI	TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI	TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI
HP-22	Hidrolik Pres	MAZ-3	Mazgala	EP-08	Eksantrik Pres
HP-23	Hidrolik Pres	SM-2	Soğutma Makinası	OKM	Oksijen Kaynak Makinası
HP-24	Hidrolik Pres	TAV-3	Tavlama Makinası	PNT-6	Punta
HP-25	Hidrolik Pres	TAV-4	Tavlama Makinası	RDR-5	Redresör
HP-26	Hidrolik Pres	TÇ-1	Taban Çakma Presi	RDR-6	Redresör
HP-27	Hidrolik Pres	TÇ-2	Taban Çakma Presi	RHAV-5	Redresör Havuzu
ÇS-1	Çift Sıvama Presi	YZMP	Yan Zımpara	RHAV-6	Redresör Havuzu
ÇS-2	Çift Sıvama Presi	HP-28	Hidrolik Pres	KSİL	Kapak Polisaj Makinası
EP-01	Eksantrik Pres	AKV-1	Ağız Kıvrırma	OM-1	Omera
EP-02	Eksantrik Pres	PNT-4	Punta	ABİL	Alet Bileme Taşı
EP-03	Eksantrik Pres	PNT-5	Punta	CNC-DİM	CNC Dik İşlem Merkezi
EP-04	Eksantrik Pres	TZIM-1	Taban Zımpara	ELP	El Presi
EP-07	Eksantrik Pres	TZIM-2	Taban Zımpara	FRZ	Freze
EP-09	Eksantrik Pres	TZIM-3	Taban Zımpara	MKP-1	Matkap
EP-10	Eksantrik Pres	İZMP	İç Zımpara Makinası	MKP-2	Matkap
EP-11	Eksantrik Pres	TZMP	Tencere Zımpara Makinası	MKP-3	Matkap
EP-12	Eksantrik Pres	DMAP	Dış Polisaj	PL	Planya
EP-16	Eksantrik Pres	DSİL	Dış Polisaj	TES	Testere Makası

Çizelge A.2 (devam) : Tezgâhlar ve tezgâh kodları

TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI	TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI	TEZGÂH KODU	TEZGÂH ADI
EP-17	Eksantrik Pres	İMAP	İç Polisaj	TRN-1	Torna
DM-1	Daire Makası	İSİL	İç Polisaj	TRN-2	Torna
DM-2	Daire Makası	TBYZ	Tencere Beyaz Polisaj	TRN-3	Torna
DM-3	Daire Makası	DBYZ	Düdüklü Beyaz Polisaj	TŞL	Taşılama Tezgâhı
EK-1	Etek Kesme	YK-2	Yıkama Makinası	MK-1	Makas
EK-2	Etek Kesme	CNC	Bilgisayarlı Pul Kesme Makinası	MK-2	Makas
EK-3	Etek Kesme	DM-4	Daire Makası	EP-14	Eksantrik Pres
EK-4	Etek Kesme	EP-13	Eksantrik Pres	EP-18	Eksantrik Pres

Çizelge A.3 : Fabrikanın 2010 yılı öngörülen üretim miktarları

Sıra No.	Ürün Grubu	2010 Yılı Öngörülen Üretim Miktarları (adet)
1	Standart Gastronorm Küvetler	1.341.500
2	Saplı Gastronorm Küvetler	60.000
3	Delikli Gastronorm Küvetler	46.000
4	Standart Gastronorm Küvet Kapakları	180.000
5	Sap Delikli Gastronorm Küvet Kapakları	24.000
6	Kepçe Delikli Gastronorm Küvet Kapakları	12.000
7	Sap ve Kepçe Delikli Gastronorm Küvet Kapakları	2.400
8	Sızdırmaz (Contalı) Gastronorm Küvet Kapakları	12.000
9	Benmari Küvetler	5.000
10	Dondurma Küvetleri	20.000
11	Sos Kapları	2.000
12	Benmari Sos Kabi Kapakları	2.000
13	Evyeler	96.000+15.000 (*)
14	Benmari Havuzları	15.000
15	Raşolar	6.000
16	Elektrikli Raşolar	1.200
17	Çorbalık Raşolar	1.200
18	Raşo Parçaları (Ayak-Sap-Tas-Çember)	18.600-17.400-15.000-9.000
19	Şampanya Kovaları	3.000
20	Buz Kovaları	3.000
21	Pres Baskı Pişirme ve Taşıma Tepsileri (Fırın)	15.000
22	Pres Baskı Pişirme ve Taşıma Tepsisi (Fırın Kapakları)	15.000
23	Yemek Taşıma Kapları	12.000
24	Yemek Taşıma Kap Kapakları	12.000
25	Hamur Yoğurma Makinası Kazanı	6.000
26	Sebil Kazanı	2.400
27	Çay Kazanı Gövdeleri	15.000
28	Çay Kazanı Kapakları	10.000
29	Çay Kazanı Alt'ları	10.000
30	Çay Kazanı Süzgeçleri	10.000
31	Çay Kazanı Demlikleri	10.000
32	Terazi Kefeleri	12.000
33	Hamam Tası (Sauna Kovası)	6.000
34	Soğan Doğrama Tenceresi	6.000
35	Silindirik Kazan (Uğur Soğutma Ürünleri)	500
36	Şerbetlik	3.000
37	Düdüklü Tencereler	60.000
38	Güveç Tencereler	150.000
39	Tablalı Gözlü Evye	6.000
40	Kaynatma Tenceresi (150 Lt)	360
41	40×40×30 Evye	6.000
42	Benzinci Evyesi	1.200
43	60×80 Evye	300
44	Avrupa Fritöz	1.800

Çizelge A.4 : Tezgâh boyutları

SIRA NO	TEZGÂH KODU	BOYUTU (Çalışılan Kenar-m)	BOYUTU (Diğer Kenar-m)	SIRA NO	TEZGÂH KODU	BOYUTU (Çalışılan Kenar-m)	BOYUTU (Diğer Kenar-m)
1	HP-01	4.5	5	48	DM-2	4.5	5
2	HP-02	2.75	1.25	49	EK-1	2.75	1.25
3	HP-03	3	1.25	50	EK-2	3	1.25
4	HP-04	1.5	2	51	EK-3	1.5	2
5	HP-05	1.5	2	52	EK-4	1.5	2
6	HP-06	2.75	1	53	MK-1	2.75	1
7	HP-07	1.5	2.25	54	MK-2	1.5	2.25
8	HP-09	1.5	2.25	55	MK-5	1.5	2.25
9	HP-10	1.5	2.25	56	TAV-1	1.5	2.25
10	HP-11	1.5	2.25	57	TAV-2	1.5	2.25
11	HP-18	1.5	2	58	TAV-3	1.5	2
12	HP-27	1.5	2.25	59	YK-1	1.5	2.25
13	HP-08	1.5	2.25	60	YK-2	1.5	2.25
14	HP-16	1.75	1.25	61	YK-3	1.75	1.25
15	HP-12	1.75	0.75	62	HP-19	1.75	0.75
16	HP-13	2.5	1.15	63	HP-20	2.5	1.15
17	HP-14	2.5	1.15	64	OM-2	2.5	1.15
18	HP-15	2.5	1.15	65	PNT-4	2.5	1.15
19	HP-17	1.5	2.25	66	PNT-6	1.5	2.25
20	HP-21	1.25	1.75	67	PNT-9	1.25	1.75
21	HP-26	1.5	2.25	68	FRN-Y	1.5	2.25
22	HP-22	1.75	2.5	69	MAZ-1	1.75	2.5
23	HP-23	1	1.75	70	MAZ-2	1	1.75
24	HP-24	1.3	0.75	71	MAZ-3	1.3	0.75
25	HP-25	2.5	2.25	72	TÇ-2	2.5	2.25
26	HP-28	1.75	1	73	YZMP	1.75	1
27	ÇS-1	3.25	1.2	74	AKV-1	3.25	1.2
28	ÇS-2	2.5	2.15	75	TZIM-2	2.5	2.15
29	EP-01	1.25	2	76	TZIM-3	1.25	2
30	EP-03	1.25	2	77	TZMP	1.25	2
31	EP-09	1	1	78	DMAP	1	1
32	EP-02	1	1.75	79	DSİL	1	1.75
33	EP-04	0.75	1.6	80	İMAP	0.75	1.6
34	EP-05	1.25	2	81	İSİL	1.25	2
35	EP-06	1.5	2	82	DBYZ	1.5	2
36	EP-08	1	1.25	83	HAV-1	1	1.25
37	EP-07	1.15	2.15	84	HAV-2	1.15	2.15
38	EP-10	0.75	1.15	85	HAV-3	0.75	1.15
39	EP-11	0.75	1.15	86	RDR-1	0.75	1.15
40	EP-12	0.75	1.15	87	RDR-2	0.75	1.15
41	EP-13	1	1.25	88	RDR-3	1	1.25
42	EP-14	1	1.25	89	PNT-01	1	1.25
43	EP-15	1.25	1.75	90	PNT-02	1.25	1.75
44	EP-16	1	1.5	91	MK-03	1	1.5
45	EP-17	1.25	1.25	92	MK-04	1.25	1.25
46	EP-18	1.25	2	93	TÇ-01	1.25	2
47	DM-1	2	1	94	DM-03	2	1

Çizelge A.5 : Gruplanmış tezgâhlar

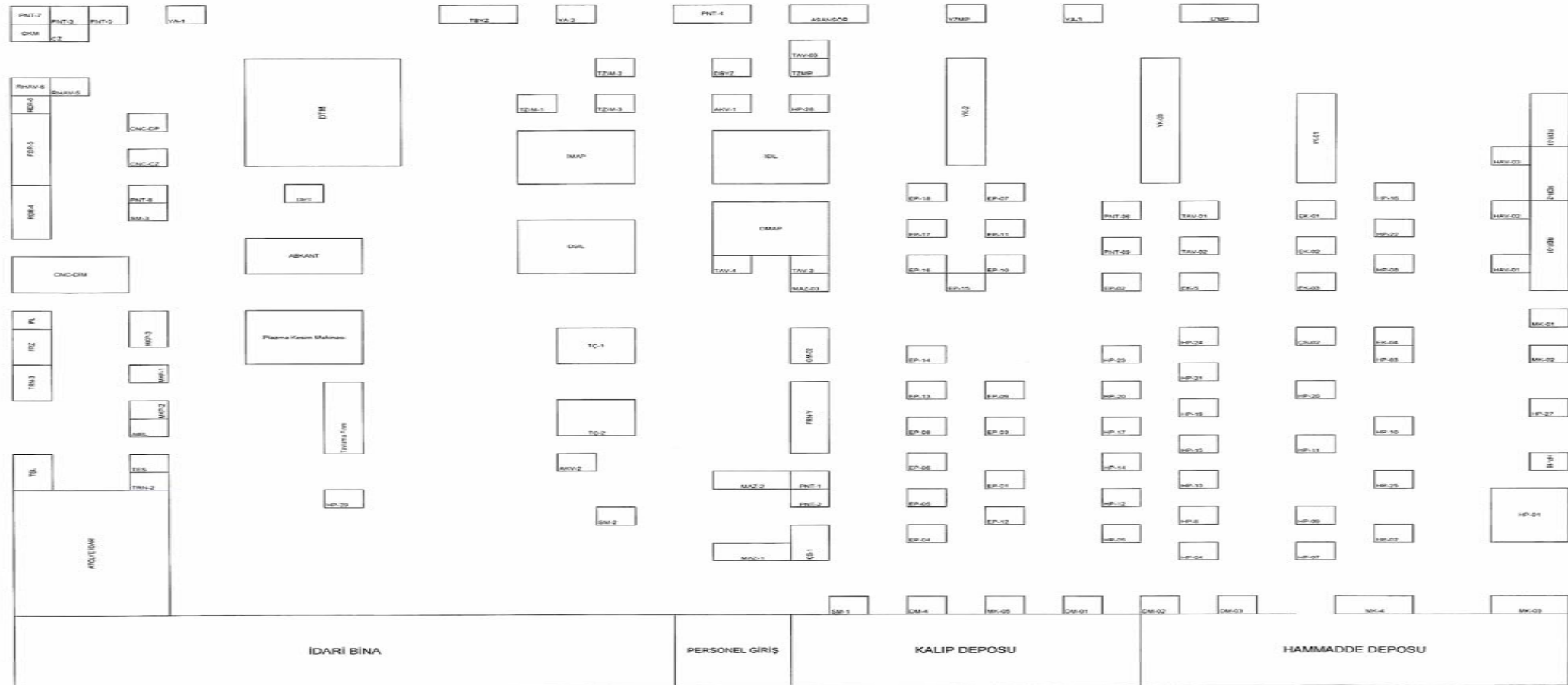
Programdaki modül numarası	Tezgâh kodu	Eski numarası
1	HP-01	1
2	HP-02	2
3	HP-03	3
4	HP-04	4
4	HP-05	5
5	HP-06	6
6	HP-07	7
6	HP-09	9
6	HP-10	10
6	HP-11	11
6	HP-18	18
6	HP-27	25
7	HP-08	8
7	HP-16	16
8	HP-12	12
9	HP-13	13
10	HP-14	14
10	HP-15	15
11	HP-17	17
11	HP-21	19
11	HP-26	24
12	HP-22	20
13	HP-23	21
14	HP-24	22
15	HP-25	23
16	HP-28	26
17	ÇS-1	27
18	ÇS-2	28
19	EP-01	29
19	EP-03	31
19	EP-09	37
20	EP-02	30
21	EP-04	32
21	EP-05	33
21	EP-06	34
21	EP-08	36
22	EP-07	35
23	EP-10	38
24	EP-11	39
25	EP-12	40

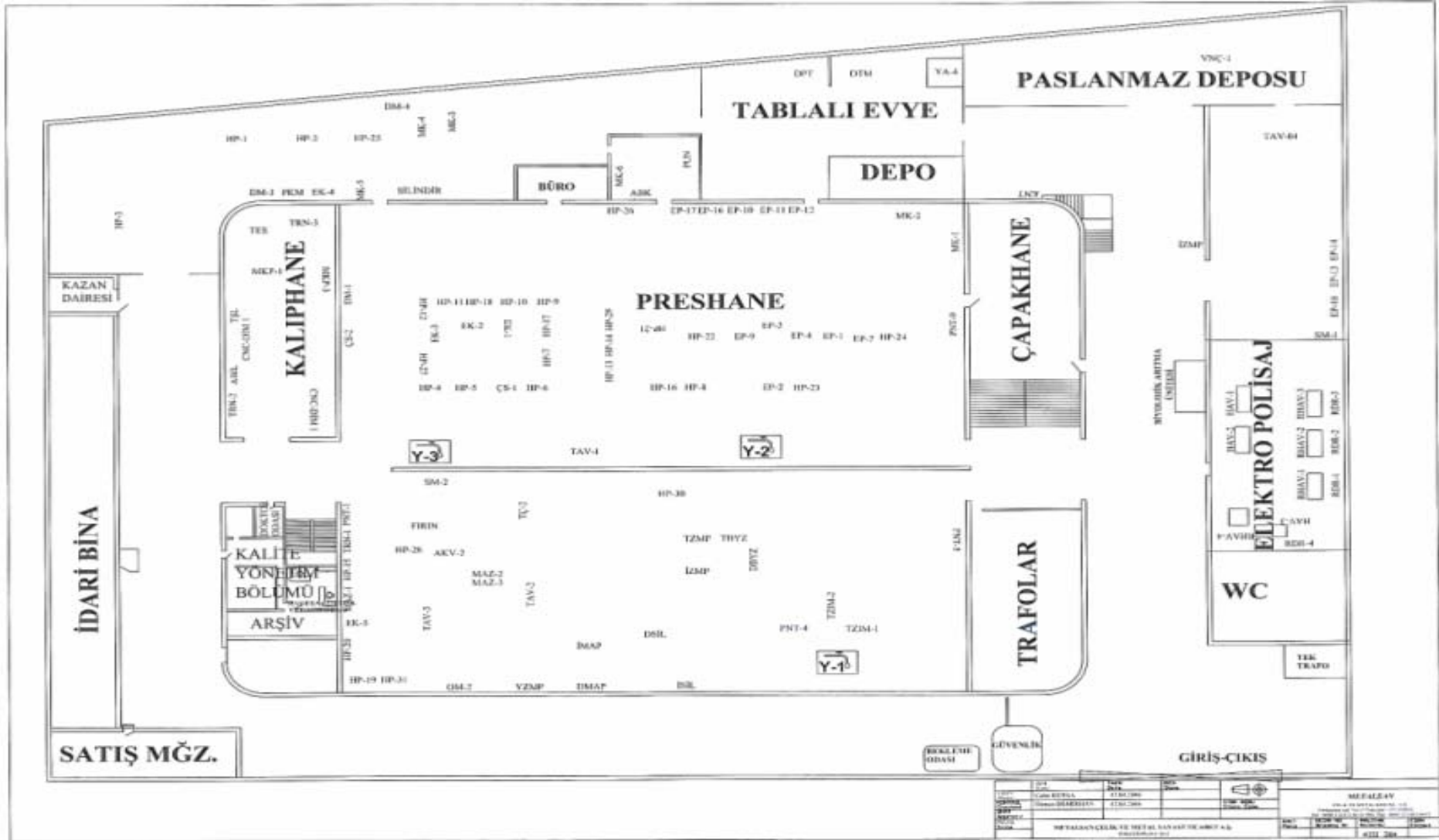
Çizelge A.5 (devam) : Gruplanmış tezgâhlar

Programdaki modül numarası	Tezgâh kodu	Eski numarası
26	EP-13	41
26	EP-14	42
26	EP-15	43
26	EP-16	44
26	EP-17	45
26	EP-18	46
27	DM-1	47
27	DM-2	48
28	EK-1	49
29	EK-2	50
30	EK-3	51
31	EK-4	52
32	MK-1	53
33	MK-2	54
34	MK-5	55
35	TAV-1	56
36	TAV-2	57
37	TAV-3	58
38	YK-1	59
39	YK-2	60
40	YK-3	61
41	HP-19	62
42	HP-20	63
43	OM-2	64
44	PNT-4	65
45	PNT-6	66
46	PNT-9	67
47	FRN-Y	68
48	MAZ-1	69
49	MAZ-2	70
50	MAZ-3	71
51	TÇ-2	72
52	YZMP	73
53	AKV-1	74
54	TZIM-2	75
55	TZIM-3	76
56	TZMP	77
57	DMAP	78

Çizelge A.5 (devam) : Gruplanmış tezgâhlar

Programdaki modül numarası	Tezgâh kodu	Eski numarası
58	DSİL	79
59	İMAP	80
60	İSİL	81
61	DBYZ	82
62	HAV-1	83
63	HAV-2	84
64	HAV-3	85
65	RDR-1	86
66	RDR-2	87
67	RDR-3	88
68	PNT-01	89
69	PNT-02	90
70	MK-03	91
71	MK-04	92
72	TÇ-01	93
73	DM-03	94





ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ronay AK

Doğum Yeri ve Tarihi: Mazgirt / 1982

Adres: G.pala mah. Edalı çıkmazı sk. No: 4/3 Avcılar-İst.

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Bozkaya B. and Ak R., 2008: Tehlikeli Madde Taşıma Güzergahlarının Risk Analizi Yöntemleri Ve Cbs Araçları Yardımıyla Belirlenmesi. 2. *Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu*, Ekim 13-15, 2008 Kayseri, Turkey.
- Ak R., Baskak M., and Kabatepe B., 2008: A Facility Layout Application on a Firm Operating in Metal Industry. *OR and Global Business-2008 Conference*, September 3-5, 2008 Augsburg, Germany.
- Bozkaya B. and Ak R., 2008: A Proposed Risk Model and a GIS Framework for Hazardous Materials Transportation. *IEMC-Europe 2008 International Engineering Management Conference*, June 28-30, 2008 Estoril, Portugal.
- Bozdağ C., Koç T., and Ak, R., 2007: Development of a justification tool for advanced technologies: An example for RFID. *1st Annual RFID Eurasia Conference*, September 5-6, 2007 İstanbul, Turkey.
- Ak R., Baskak M., and Bayraktaroğlu A.E., 2007: A Comparison of AHP and ANP Applications on An Industrial Company for Supplier Selection. *22nd European Conference on Operational Research*, July 8-11, 2007 Prag, Czech Republic.
- Özok A. F., Ak R., Sadiç Ş., and Kılınç M. S., 2006: Kobi'lerde İş Koşullarının Ergonomik Açıdan Analizi. *12. Ulusal Ergonomi Kongresi*, Kasım 16-18, 2006 Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Bayraktaroğlu A.E., Ak R., and Baskak M., 2006: Montaj Hattı Dengeleme Konusunda Yapılan Dinamik Programlama Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *6. Uluslararası Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Eylül 22-23, 2006 İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.