



**OFİS MOBİLYALARI ÜRETEN BİR FİRMADA HÜCRE TASARIMI VE HÜCRE
ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Sevde Dilruba KARAYEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2014

Sevde Dilruba KARAYEL tarafından hazırlanan “OFİS MOBİLYALARI ÜRETEN BİR FİRMADA HÜCRE TASARIMI VE HÜCRE ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. H. Ediz ATMACA

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan :Prof. Dr.Cevriye GENCER

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin BAYSAL

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 17 / 09 / 2104

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sevde Dilruba KARAYEL

17/09/2014

OFİS MOBİLYALARI ÜRETEN BİR FİRMADA HÜCRE TASARIMI VE HÜCRE
ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sevde Dilruba KARAYEL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2014

ÖZET

Son yıllarda artan rekabet ortamında, ürün ömrü kısalırken ürün çeşitliliği hızla artmaktadır. Böylesi bir rekabet ortamında işletmelerin performanslarını arttırabilmeleri; kısa sürede yüksek çeşitlilik gösteren kaliteli ürünler üreterek bu ürünleri rekabetçi fiyatlarla satabilmeleri ile mümkündür. Hücresel üretim sistemleri, çeşitlilik gösteren ürünleri mümkün olan en kısa sürede ve en az maliyetle üretmeye çalışıp, verimlilik artışını hedefleyen bir yaklaşımdır. Yapılan çalışmada, ofis mobilyaları üreten bir firmada etkinliği arttırmak için; hücre tasarımı yapılmıştır. Hücre tasarımında verimlilik tabanlı bir 0-1 tam sayılı matematiksel programlama modeli hazırlanarak, GAMS 23.5.1 paket programı yardımıyla çözülmüştür. Parça ve makine ailelerinin eş zamanlı gruplanmasını sağlayan modelde, hücre içi ve dışı taşıma maliyetleri, işçilik maliyeti ve bakım maliyeti en azlanarak, parça aileleri ve makine grupları oluşturulmuştur. Grup etkinlik değerleri ölçülerek mevcut ve önerilen yaklaşım karşılaştırılmıştır. Uygulama yapılan firmanın yeni yapılanmaya gitmesi, modeldeki parça, makine, operasyon ve kısıt sayısında artışa neden olarak matematiksel programlama modelinin çözümünü güçleştirecektir. Bu nedenle büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan meta sezgisel bir teknik olan Tavlama Benzetimi tekniği kullanılarak çözüm yapılmış, matematiksel model ve tavlama benzetimi yönteminin sonuçları karşılaştırılarak firmaya önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Hücresel üretim sistemleri, grup etkinliği, tam sayılı matematiksel programlama, sezgisel algoritmalar, tavlama benzetimi benzetimi
Sayfa Adedi : 97
Danışman : Doç. Dr. H. Ediz ATMACA

THE CELL FORMATION AND DESIGN FOR AN OFFICE FURNITURE
MANUFACTURING COMPANY

(M. Sc. Thesis)

Sevde Dilruba KARAYEL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2014

ABSTRACT

In recent years, the product life cycle has been decreasing beside the product range has been increasing in competition environment. This is because to push up their performance; companies have to produce various products and have to sell these products with competitive prices. A cellular manufacturing system is an approach which targeting increment of productivity and tries to produce various products in shortest probable time. In this study, cell formation and design are made for an Office Furniture Company to increase their efficiency. For cell formation and design, 0-1 integer mathematical programming model is prepared. Proposed model can group parts and machines simultaneously, the while it tries to minimize intracellular and extracellular cost, labor cost and maintenance cost. It is solved by means of GAMS 23.5.1 and group parts and machines in cells. The group efficiency values of cells are calculated and present and proposed approaches are compared. After that, due to company's new restructuring, numbers of parts, machines, operations and constraints will increase so proposed mathematical model will be insufficient. Because of this situation, Simulated Annealing Method, which is meta heuristic technic and used for solutions of large scale problems, is used for same problem solution and results of mathematical model and simulated annealing method are compared. Finally, according to comparison of results, we offer some suggestions to company.

Science Code : 906.1.141

Key Words : Cellular manufacturing systems, group efficiency, integer mathematical programming, heuristic algorithms, simulated annealing

Page Number : 97

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. H. Ediz ATMACA

TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca bana sağladığı her türlü yardım, öneri ve yönlendirmelerden dolayı sevgili danışmanım Sayın Doç. Dr. Ediz ATMACA'ya minnet ve şükran borçluyum. Onun ilgi ve yol göstericiliği olmasaydı tezi bitirmek mümkün olmayacaktı. Uygulamada benden yardımlarını esirgemeyen firma yetkilisi Füsun ÇELEBİ'ye, çalışmamda ve hayatımın her safhasında gösterdikleri destek, sevgi ve yakın alakalarıyla hep yanımda olan aileme, çalışmada destekleriyle katkıda bulunan tüm iş arkadaşlarım ve yakın arkadaşlarıma, tezimi okuyup değerlendiren hocalarım Prof. Dr. Cevriye GENCER ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin BAYSAL'a, son olarak benimle birlikte bu sürecin her anına şahit olan, teselli ve yardımlarıyla bana güç veren ve hayatımda olduğu için her gün şükrettiğim eşim Yunus Emre KARAYEL'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜRETİM SİSTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ	3
2.1. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması	4
2.2. Geleneksel Üretim Sistemleri.....	5
2.2.1. Sürekli üretim sistemleri	5
2.2.2. Atölye tipi üretim sistemleri	6
2.2.3. Proje tipi üretim sistemleri.....	7
2.3. Geleneksel Üretim Sistemlerinden Modern Üretim Sistemlerine Geçiş	8
3. GRUP TEKNOLOJİSİ	11
3.1. Grup Teknolojisi Ve Tarihsel Gelişimi.....	11
3.2. Grup Teknolojisinin Kullanım Alanları	12
3.3. Grup Teknolojisinin Avantaj Ve Dezavantajları.....	13
3.4. Grup Teknolojisinin Uygulama Aşamaları	15
4. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİ	17
4.1. Hücresel Üretim Avantaj Ve Dezavantajları	17

	Sayfa
4.2. Hücre Tipleri.....	19
4.2.1. Ürün odaklı hücreler	19
4.2.2. Süreç odaklı hücreler.....	19
4.2.3. Genel amaçlı hücreler	20
4.2.4. Melez hücreler.....	20
4.2.5. Hücre tipine karar verilmesi.....	20
4.3. Hücresel Üretim Sistemlerinin Tasarımı.....	21
4.3.1. Hücresel üretim sisteminin kapsamının belirlenmesi	22
4.3.2. Parçaların kimliklendirilmesi	22
4.3.3. Parçaların akış rotalarının belirlenmesi.....	22
4.3.4. Hücre düzenleme işlemleri.....	23
5. LİTERATÜR İNCELEMESİ	27
5.1. Matris Temelli Yöntemler İçin Literatür İncelemesi	27
5.2. Benzerlik Katsayısı Temelli Yöntemler İçin Literatür İncelemesi	28
5.3. Matematiksel Programlama Temelli Yöntemler İçin Literatür İncelemesi	30
5.4. Sezgisel Yöntemler İçin Literatür İncelemesi	40
5.4.1. Tavlama benzetimi.....	40
5.4.2. Genetik algoritma.....	42
5.4.3. Tabu arama algoritması.....	44
5.4.4. Diğer sezgisel yöntemler.....	44
6. OFİS MOBİLYALARI ÜRETEN BİR FİRMADA HÜCRE DÜZENLEME PROBLEMİNİN UYGULANMASI	47
6.1. Firma Hakkında Bilgiler	47
6.2. Firmanın Mevcut Sistemi Ve Hücresel Üretim Sistemi Uygulanmasının Nedenleri.....	48

6.3. Hücre Düzenleme Yöntemi Olarak Matematiksel Programlamanın Tercih Edilmesinin Sebepleri	49
6.4. Hücre Düzenleme Probleminde Uygulanacak Matematiksel Modelin Seçimi ..	49
6.5. Problemin Tasarımı	52
6.5.1. Modeldeki varsayımlar.....	52
6.5.2. Model notasyonları	53
6.5.3. Model değişkenleri.....	53
6.5.4. Matematiksel model	54
6.5.5. Probleme ilişkin veriler	55
6.6. Problemin Çözümü.....	56
6.7. Hücrelerin Grup Etkinlik Ölçümleri	59
6.7.1. İstisnai elemanların yüzdesi.....	59
6.7.2. Makine kullanımı	59
6.7.3. Grup etkinliği	60
6.7.4. Grup yeterliliği	60
6.7.5. Ağırlıklandırılmış grup yeterliliği	61
6.8. Firmada Hücre Düzenleme Problemi İçin Tavlama Benzetimi Algoritması.....	62
6.8.1. Tavlama benzetimi.....	62
6.8.2. Kavramlar ve temel yapı	63
6.8.3. Tavlama benzetimi algoritması	64
6.8.4. Tavlama benzetimi algoritması kontrol parametreleri	65
6.8.5. Tavlama benzetimi algoritmasının hücre düzenleme problemine uygulanması	67
6.9. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Hesaplama Sonuçları.....	70
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73

	Sayfa
KAYNAKLAR	75
EKLER.....	82
EK-1. Parça-Makine matrisi	83
EK-2. Parçaların makinelerdeki işlem süreleri	84
EK-3. Parçaların makinelerdeki işçilik maliyeti	85
EK-4. Makinelerin aylık bakım maliyeti	86
EK-5. Parçaların talep miktarı, satış fiyatı ve ihtiyaç duydukları makine sayıları	87
EK-6. Problemin GAMS çıktıları	88
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Üretim sistemlerinin karşılaştırılması.....	8
Çizelge 4.1. Hücre tipleri ve uygulamaları	19
Çizelge 5.1. Matematiksel model temelli yaklaşımlar	36
Çizelge 6.1. Firmada ahşap bölümü çalışanlarının sayısı	47
Çizelge 6.2. Abduelmola'nın (2001) verimlilik tabanlı matematiksel modelinin notasyonları.....	51
Çizelge 6.3. Abduelmola'nın (2001) verimlilik tabanlı matematiksel modelinin karar değişkenleri.....	51
Çizelge 6.4. Model notasyonları	53
Çizelge 6.5. Modelin karar değişkenleri	53
Çizelge 6.6. Matematiksel modelin çözümünde kullanılacak veriler ve bazı sabit değerler	55
Çizelge 6.7. Makine-Hücre ataması.....	56
Çizelge 6.8. Parça-Hücre ataması	57
Çizelge 6.9. Parça-Makine ataması.....	58
Çizelge 6.10. Hesaplanan etkinlik ölçütleri	61
Çizelge 6.11. Tavlama prosesi ve optimizasyon arasındaki ilişki	64
Çizelge 6.12. TB algoritmasının pseudo codu	65
Çizelge 6.13. Çalışmada kullanılan TB algoritması parametreleri	68
Çizelge 6.14. On farklı problem boyutu için önerilen TB algoritmasından elde edilen en iyi çözümler.....	71
Çizelge 6.15. Matematiksel model ve TB algoritmasının çözüm sonuçlarının karşılaştırılması	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Üretim sisteminin şematik gösterimi	3
Şekil 2.2. n işlemlili bir sürekli tip üretim sistemi	5
Şekil 2.3. Atölye tipi üretim sistemi	6
Şekil 2.4. Proje tipi üretim sistemi.....	7
Şekil 3.1. Grup teknolojisi kullanım çerçevesi	13
Şekil 4.1. Hücre oluşturma yöntemleri	24
Şekil 6.1. Yerel ve global optimum noktalar	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
i	Parça numarası
j	Makine numarası
k	Hücre numarası
D_i	i. parçanın talebi
S_i	i. parçanın satış fiyatı
NM_i	i. parçanın ihtiyaç duyduğu makine sayısı
IMC	Hücre içi taşıma maliyeti
EMC	Hücreler arası taşıma maliyeti
b_{ij}	Parça makine değişkeni
M_{max}	Maksimum makine sayısı
L_{ij}	j. makinede işlem gören i. parçanın işlem süresi
L_{max}	Her bir hücredeki maksimum işçilik süresi
CO_{ij}	j. makinede işlem gören i. parçanın işçilik maliyeti
M_{min}	Minimum makine sayısı
M_j	Makineler için bakım maliyeti
X_{jk}	Makinelere ait değişken
Y_{ik}	Parçalara ait değişken
M	Makine
P	Parça
H	Hücre
T	Sıcaklık
E	Enerji
ΔE	Enerji değişimi
T_b	Başlangıç sıcaklığı
α	Soğutma oranı
K	İterasyon kontrol parametresi
SIS	Her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı

Simgeler**P_b****Açıklamalar**

Başlangıç kabul olasılığı

P_s

Son kabul olasılığı

IS_{max}

Algoritma durdurma koşulu

Kısaltmalar**Açıklamalar****ACO**

Karıncı koloni algoritması

ALC

Ortalama bağlantılı kümeleme

ART

Adaptif rezonans teorisi

BEA

Bağ enerji algoritması

CIA

Küme tanımlama algoritması

CLC

Tam bağlantılı kümeleme

DCA

Direk kümeleme algoritması

FMS

Esnek üretim sistemleri

GA

Genetik algoritma

GE

Grup etkinliği

GT

Grup teknolojisi

GY

Grup yeterliliği

HÜS

Hücresel üretim sistemleri

LCC

Doğrusal hücre kümeleme algoritması

MK

Makine kullanımı

MODCIA

İyileştirilmiş küme tanımlama algoritması

PTR

İşlem zamanı oranı

ROC

Sıralı kümeleme algoritması

SLC

Basit bağlantılı kümeleme

ST

Hazırlık zamanı

STR

Hazırlık zamanı oranı

TA

Tabu arama algoritması

TB

Tavlama Benzetimi

1. GİRİŞ

Günümüzde, üretim sistemleri, yüksek çeşitliliğe sahip parçaların küçük partilerde üretimini gerçekleştirmektedir. Bu tip parti büyüklüklerinin üretiminde, hazırlık zamanları, malzeme taşıma, iş gücü kullanımı, alan kullanımı ve yarı mamul stoklarında artış görülmektedir. Gözlenen bu artış firmalar için bazı limitleride beraberinde getirmektedir. Bu nedenle seri üretim yapan, ürün yelpazesi dar firmalar yerine, üretim ve planlamada esnek, dinamik ve müşteri isteklerine bağlı, ürün çeşitliliklerine uyum sağlayabilen firmalar ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu yeni oluşuma uyum sağlamak adına firmalar; verimlilik ve rekabet hedeflerine ulaşmalarını kolaylaştıracak, aynı zamanda etkin ve dinamik bir sistem olan Hücreli Üretim Sistemlerini (HÜS) tercih etmektedirler.

Yapılan çalışmada, geleneksel üretim sistemlerinin zorluklarını ve kısıtlarını yaşayan bir firma için hücre düzenleme problemi uygulaması yapılarak parça ve makine ailelerinin eş zamanlı gruplanması sağlanmıştır.

Çalışmanın amacı, etkin ve verimli bir hücre tasarımıyla firmanın malzeme taşıma maliyeti, iş gücü kullanımı ve bakım maliyetini en aza indirip; çıktı miktarını artırarak mevcut sistemi daha verimli hale getirmektir. Çalışma, sistem verimliliği üzerinde durması bakımından önemlidir.

Çalışmanın 1. bölümü giriştir.

2. bölümde, üretim sistemleri sınıflandırılarak, genel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra geleneksel üretim sistemlerinden modern üretim sistemlerine geçiş nedenleri üzerinde durularak, modern üretim sistemlerinin avantajları açıklanmıştır.

3. bölümde, modern üretim sistemlerinin temel yapısını oluşturan grup teknolojisine yer verilmiştir. Grup teknolojisinin; tarihsel gelişimi, kullanım alanları, avantaj-dezavantajları ve uygulama aşamaları verilmiştir.

Çalışmanın 4. bölümünde, uygulama konusu olan hücreli üretim sistemleri, avantaj ve dezavantajları, hücre tipleri, hücreli üretim sistemlerinin tasarımı ve tasarım yöntemleri üzerinde durulmuştur.

5. bölüm, literatür incelemesi üzerinedir. Literatürde hücresele üretim sistemleri üzerine olan çalışmalar; Matris Temelli Yöntemler, Benzerlik Katsayısı Temelli Yöntemler, Matematiksel Programlama Temelli Yöntemler ve Sezgisel Yöntemler olmak üzere beş ana gruba ayrılarak incelenmiştir.

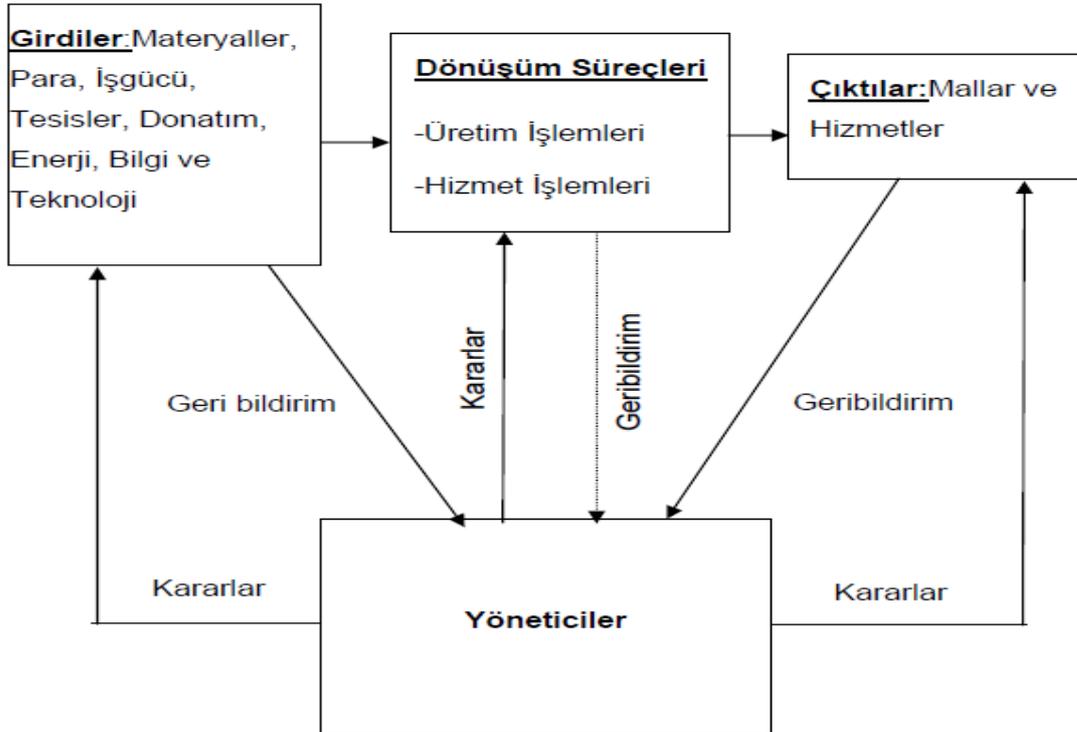
Çalışmanın 6. Bölümü uygulama kısmıdır. Bu bölümde, uygulama yapılacak olan firmanın mevcut üretim sistemi, sistemde karşılaşılan problemler ve çözüm için önerilen hücre tasarımı ve düzenleme modeli üzerinde durulmuştur. Model, GAMS 23.5.1 paket programı yardımıyla çözümlenerek, çözüm sonucunda elde edilen hücre konfigürasyonları literatürde yer alan grup etkinlik ölçütleriyle değerlendirilmiş ve mevcut sistemle karşılaştırma yapılmıştır. Uygulama yapılan firmanın yeni yapılanmaya gitmesi, ürün çeşitliliği, makine, parça, operasyon sayısı ve sırasında artışa neden olurken, problem boyutunda artırmaktadır. Problem boyutundaki artışla birlikte, matematiksel programlama modelinin yetersiz kalacağı düşünülerek, tavlama benzetimi metasezgisel algoritmasına geçiş yapılmıştır. Tavlama benzetimi ve matematiksel modelin sonuçları, çözüm süresi ve verimlilik yönünden değerlendirilmiştir.

Çalışmanın son bölümü, sonuç ve öneriler bölümüdür. Bu bölümde; uygulama sonunda geliştirilen hücre tasarımının yapılanması ve sistem verimliliği üzerindeki etkileri, yeni yapılanma durumu için geliştirilen TB algoritmasının mevcut sisteme uyumu ve ileride yapılabilecek çalışmalara öneriler getirilmiştir.

2. ÜRETİM SİSTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Üretim sistemleri; belirli bir mal veya hizmeti üretmek amacıyla, belirli miktar ve çeşitteki girdi üzerinde, ekonomik değer katacak işlemleri yapmak üzere, malzeme, makine, insan, metot ve çevre elemanlarıyla oluşturulan sistemlerdir. Üretim sistemlerinin çıktıları ise yarı mamul veya mamuldür. İşte bu girdi ve çıktı arasında kalan üretim sistemleri, ürettikleri çıktının cinsine, çıktıya olan talebe, sistemde yer alan üretim faktörlerinin fiziksel kısıtlarına, diğer ekonomik kısıtlara göre çeşitli şekillerde ortaya çıkar.

Endüstri işletmeleri, satın alma gücü bulunan, gereksinim sahiplerinin ihtiyaçlarını karşılayan, bunun için üretim ve/veya pazarlama işlevlerini yürüten kuruluşlardır. Endüstri işletmelerinde gelişen teknolojiye uyumlu olarak çeşitli girdilerden endüstriyel ürün ya da yarı işlenmiş ürünler elde edilmektedir. Girdi-çıktılar ile birlikte meydana gelen bu üretim sistemi döngüsü Şekil 2.1’de gösterilmiştir. İşletmeler üretimlerini gerçekleştirirken kendi yapılarına uygun, rasyonel bir üretim sistemi kurup işletmeli ve değişimleri dikkate alarak geliştirmelidirler.



Şekil 2.1. Üretim sisteminin şematik gösterimi (Gökşen, 2003)

Üretim sistemi, işletme içi ve işletme dışı çevre sistemleriyle karşılıklı etkileşim faaliyetlerini sürdürür. Genellikle işletmenin bir alt sisteminde verilen kararlar, işletmenin diğer alt sistemlerinin başarısını da etkiler. Bunun yanında üretim sistemini dış çevre sistemlerinin sunduğu olanaklardan yararlanarak ve getirdiği kısıtlamalar çerçevesinde çalıştırmak zorundadır.

Bir süreç olarak ele alındığında üretim sistemlerinin özellikleri şöyle sıralanabilmektedir (Demir ve Gümüšođlu, 1998).

- Bir üretim sisteminde yapılan işlemler sonucu farklı ürünler ortaya çıkabilir, ancak üretim sistemini oluşturan işlemler aynı veya benzeridir.
- Üretim sisteminde sürekli olarak materyal ve hizmet akışı mevcuttur.
- Üretim sistemi, değişen koşullara ayak uydurabilen sürekli hareket halinde bir yapıdadır. Teknolojik etkinlik yanında ekonomik etkinliği de gerçekleştirmek durumundadır.
- Üretim sisteminde, nicelikler, işin ilerleyişi, yapının kalitesi ve üretimin maliyeti arasındaki ilişki önemlidir. Bu dört ana unsur arasındaki denge, üretim sisteminin etkinliği açısından üzerinde durulması gereken noktalardır.
- Üretim sistemi, işletmelerin saptadıkları amaçlara ulaşabilmek için belirledikleri çeşitli politika ve yöntemlere dayanmaktadır. Bu nedenle işletme içindeki tüm alt ve üst birimlerden gelen bilgilerin doğru olması ve doğru değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.1. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

Endüstri devriminden bu yana üretim sistemleri için birçok sınıflandırılma yapılmıştır. Literatüre bakıldığında en genel anlamda geleneksel ve modern üretim sistemleri olarak bir sınıflandırma yapıldığı görülmektedir.

Geleneksel Üretim Sistemleri (Gökşen, 2003):

- Sürekli Üretim
- Atölye Tipi Üretim
- Proje Tipi Üretim

Modern Üretim Sistemleri:

- Esnek İmalat Sistemleri
- Grup Teknolojisi ve Hücreli Üretim Sistemleri

- Bilgisayar Destekli Üretim Planlama
- Tam Zamanlı Üretim Planlama
- Üretim Kaynakları Planlaması
- Toplam Kalite Yönetimi
- Toplam Verimli Bakım
- Robotlar

2.2. Geleneksel Üretim Sistemleri

Modern üretim sistemleri ve birçok yöntemin temelini oluşturması bakımından literatürde önemli bir yer tutan geleneksel üretim sistemleri 3 ana gruptan oluşmaktadır. Aşağıda ayrıntılı olarak verilen bu sistemleri günlük hayatta sanayinin her kesiminde görmek mümkündür. Bu nedenle belli bir sistemin egemen olduğunu söylemek mümkün değildir.

2.2.1. Sürekli üretim sistemleri

Bu tip üretim sistemlerinde tüm üretim araçları üretilen ürün tipi veya tiplerine özgü tasarlanmıştır. Diğer bir deyişle, “sürekli tip üretim sistemi özel amaçlı, tek fonksiyonlu makineleri kullanan ürün akış yerleşim düzeni ile karakterizedir”(Kamrahi ve Parsaei, 1994). Üretilen ürün tipi sınırlı kalmak kaydı ile birden fazla olabilir. Ürün tipi birden fazla olduğu durumlarda üretim makine ve ekipmanında küçük ayar değişiklikleri yapmak sureti ile bir ürün tipinin üretiminden diğerine geçmek mümkün olur. Sürekli üretim sisteminin işleyişi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. n işlemlikli bir sürekli tip üretim sistemi (Yamak, 1993)

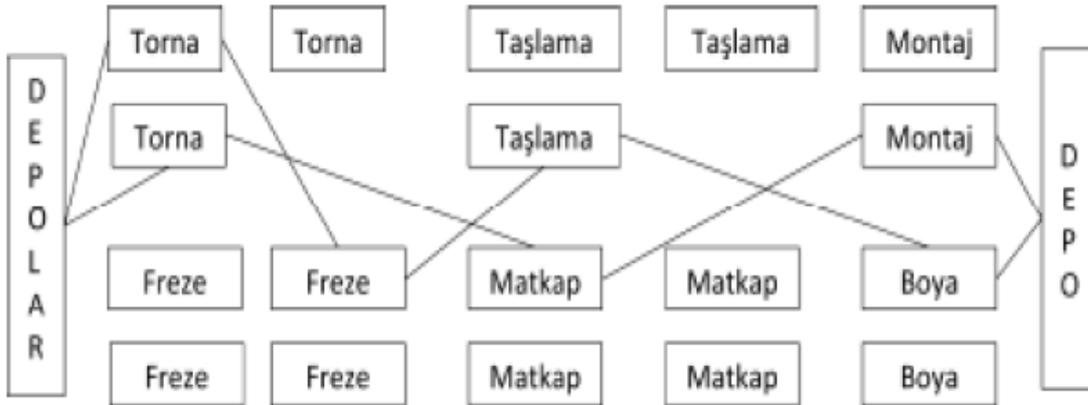
Sürekli üretim sisteminde üretilen ürün miktarlarının çok yüksek olması da bu üretim sisteminin diğer bir özelliğidir. Dolayısıyla bu üretim sistemi uzun süreli, yüksek hacimli ve düzenli bir talebe ihtiyaç gösterir. Üretilen ürünün talebinde büyük bir düşme veya tamamen ortadan kalkması durumunda, yeni bir ürüne geçiş kısa sürede sağlanamaz. Çünkü bu üretim tipinde kullanılan, makine ve ekipman üretilen ürüne özgü tasarlandığından, esnek bir yapıya sahip değildir. Bununla birlikte sisteme giren girdilerin de süreklilik arz etmesi, sistemdeki akışın devam etmesini sağlar. Girdilerdeki kesiklik

direkt olarak sisteme yansır ve sistemde duruşlara neden olur. Aynı şekilde sisteme ait makine veya ekipmandaki bir arıza veya duruş, tüm sistemin tamamen veya kısmen durmasına neden olur.

Sürekli üretim tipinin yukarıda bahsedilen özelliklerinden de anlaşılacağı gibi, sistemin üretim hızı diğer üretim tiplerine oranla çok yüksektir. Bunun dışında yine diğer üretim tiplerine oranla sistemin yönetimi, geliştirilmesi, yapılan değişikliklerin yerleştirilmesi ve izlenmesi de bu üretim tipinin sağladığı avantajlardandır. Sistemde yer alan işlem birimlerini kolay yönetilebilir küçük parçalara bölmek suretiyle departmanlaşma sağlanmış olur. Örnek olarak, tornalama, delme, frezeleme, taşlama şeklinde giden bir işlemler dizisinde yer alan benzer işlemlerin sırasını değiştirmeden ayrı departmanlarda toplanması, ürünün montaj hattına dengeli akmasını sağlar.

2.2.2. Atölye tipi üretim sistemleri

Bu tip üretim sistemlerinde kullanılan makine ve ekipman, çok amaçlı, çok çeşitli ürünlerin üretilmesine olanak veren üretim araçlarıdır. Üretilen ürünler birbirinden çoğunlukla farklı ve çok sayıda çeşide sahip, buna karşın üretim adetleri düşüktür. Her bir ürün çeşidine ait bağlama aparatı, kesici takım, teknik bilgi paketi, makine ayarı v.b. birbirinden kısmen veya tamamen farklıdır. Bu farklılık beraberinde kalifiye işgücü gerektirir. Tipik bir atölye tipi üretim sistemi Şekil 2.3’de verilmiştir.



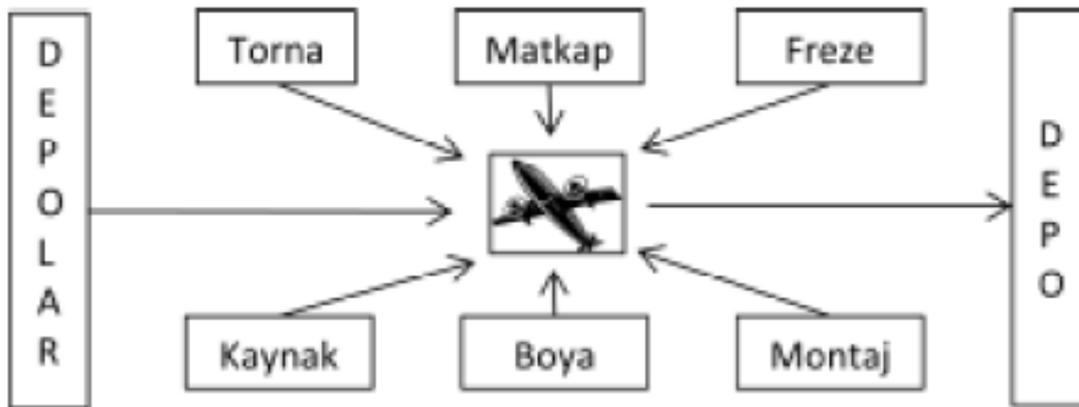
Şekil 2.3. Atölye tipi üretim sistemi (Kamrahi ve Parsaei, 1994)

Atölye tipi üretim sisteminde makine ve ekipmanın yerleşim düzeni, fonksiyonel yerleşim düzenine sahip olduğundan, işlem gören malzemelerin atölye içinde kat ettikleri mesafeler

çok fazladır. Belirli makineler bir arada gruplandırıldığından dolayı süreç içi stok fazladır. Ürün çeşidinin fazla olması her bir ürün için farklı bir hazırlık aşaması gerektirdiğinden; ürünlerin standart zamanlarının artmasına neden olur. Hatta bazı durumlarda gerekli olan teknik bilgi paketinin ilgili departmandan beklenen zamanda gelmemesi de zaman kayıplarına yol açmaktadır.

2.2.3. Proje tipi üretim sistemleri

Proje tipi üretim yukarıda verilen üretim tiplerinden tamamen farklıdır. Proje tipi üretimde üretilen ürün çoğunlukla bir kez üretilir ve üretim tamamlandıktan sonra proje ömrünü tamamlar. Hatta bazı durumlarda üretim tesisi tamamen ortadan kalkar. Örneğin; bir baraj üretiminde baraj tamamlandıktan sonra üretimde kullanılan tüm tesisler yerlerinden kaldırılır. Örnek bir proje tipi üretim sistemi Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Proje tipi üretim sistemi (Kamrahi ve Parsaei, 1994)

Bu üretim tipinde çoğunlukla üretim faaliyetlerinde kullanılan makine, ekipman ürünün etrafında yer alır. Gerektiğinde işini tamamlayan makine yerine kaldırılır. Dolayısıyla ne sürekli bir akıştan, ne de kesikli bir üretimden söz edilebilir. Sisteme giren girdiler çok sayıda ve çeşitte olup, bu girdilerin sürekli ve kesikli gelmesi sistemi etkilemez. Ayrıca bu sistem talep yapısından etkilenmez. Çünkü diğer üretim sistemlerinden farklı olarak burada talep bir kerelik oluşur ve sistem bu talebi karşıladıktan sonra mevcudiyetini yitirir.

Çizelge 2.1’de yukarıda verilen üretim sistemlerinin, makine çeşitleri, süreç tasarımı, hazırlık süresi, süreç içi stok ve temin süresi kriterlerine göre karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1. Üretim sistemlerinin karşılaştırılması (Kamrahi ve Parsaei, 1994)

ÖZELLİK	Atölye Tipi Job Shop	Akış Tipi Flow Shop	Proje Tipi Project Shop	Hücreyel
Makine Çeşitleri	Esnek, genel amaçlı	Özel ve tek amaçlı	Genel ve mobilize	Esnek ve programlanabilir
Malzeme Taşıma	Elle taşıma	Transfer hattı	Elle ve otomatik	Otomatik taşıma
Hazırlık Süresi	Uzun, değişken	Uzun	Değişken	Tek
Parti Miktarı	Orta ve küçük hacimli parti	Büyük hacimli parti	Küçük hacimli parti	Küçük hacimli parti
Proses İçi Stoklar	Büyük	Büyük	Değişken	Düşük
Kalite Kontrol	Rastgele örnekleme	Rastgele örnekleme	%100 kalite kontrol	%100 kalite kontrol

2.3. Geleneksel Üretim Sistemlerinden Modern Üretim Sistemlerine Geçiş

Çağımızda her şey çok hızlı bir değişime uğramakta ve yaşamın her alanı olduğu gibi üretim işlevi de bu durumdan etkilenmektedir. Birçok iş sisteminin beraberinde üretim sistemlerinde de ‘bilimsel bilgi’ egemen olmuş ve firmalar bilgi yoğun üretim sistemlerine kaymaya başlamışlardır. Tüm bunlara ek olarak; yenilenen ve gelişen teknolojiye ayak uydurmak zorunda kalan işletmeler; mevcut üretim sistemlerinin sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldıracak aynı zamanda esnekliğe sahip üretim sistemlerine ihtiyaç duymuşlardır. Bu durumun bir sonucu olarak modern üretim sistemleri doğmuş ve yeniçağa uyum sağlayabilmek, en önemlisi de rekabet edebilmek için firmalar büyük bir hızla geleneksel sistemlerden modern sistemlere geçişi hızlandırmışlardır.

Modern üretim sistemlerinin:

- Stok düzeyini azaltması,
- Üretim ve süreç performanslarını artırması,
- Kaynakların etkin kullanımını sağlaması,
- Verimliliği maksimize etmesi,
- Müşteri odaklı çalışmayı sağlaması,
- Kalite kontrol ile üretimi mümkün kılması (Toplam Kalite Kontrol ve Toplam Kalite Yönetimi uygulamaları),
- Rekabet avantajı sağlaması,
- Üretimde esnek bir yapı sağlaması (kitle veya sipariş tipi üretim),

gibi problemlere çözümler getirmesi ve ileri teknoloji sistemlerle çalışması geçiş döneminde etkili olan diğer bir faktördür (Gökşen, 2003).

3. GRUP TEKNOLOJİSİ

Grup teknolojisi ve hücresele üretim sistemleri modern üretim sistemlerinin temelini oluşturan en önemli iki unsurdur. Grup teknolojisinin altında yatan fikir; etkinliği arttırmak için üretim sistemlerini alt sistemlere ayırmaktır. Bu durumun bir sonucu olarak grup teknolojisinin bir uygulama çeşidi olan hücresele üretim sistemleri geliştirilmiştir.

3.1. Grup Teknolojisi Ve Tarihsel Gelişimi

Grup Teknolojisi, parçaların üretim ve tasarımındaki benzerlik avantajlarından yararlanma düşüncesi ile benzer parçaların gruplandırılarak parça ailelerinin oluşturulması esasına dayanır. Benzer parçalar, parça aileleri biçiminde düzenlenmektedir. Burada amaç, birbirlerinden ayrı, bağımsız ve kendi içlerinde kontrol mekanizmaları olan ürün grupları oluşturmaktır. Çünkü günümüzde işletmeler artan ihtiyaca cevap olması açısından oldukça fazla ürün üretmektedirler. Bu durum beraberinde atölye tipi üretimin artmasını ve ürüne göre düzenlemenin zorlaşmasını da getirmiştir.

Ayrıca malzeme çeşidinin artması, daha az kaynakla üretim ihtiyacı, müşteri ihtiyacının çeşitlenmesi, çalışan kişi-makine ve zaman ihtiyacının artması ve tüm bunlar sonucu ortaya çıkan karmaşık sisteme ayak uydurma ihtiyacı grup teknolojisini zorunlu kılmıştır (Kaplan, 2008). Grup teknolojisi ile birlikte çok sayıda mamul yerine az sayıda oluşturulan ailelerle çalışmak suretiyle verimliliği arttırmak hedeflenmiştir.

Grup Teknolojisi kavramının üretimde ilk kullanıldığı tarih 1925'dir (Kamrahi ve Parsaei, 1994). Bu tarihte R.E.Flanders Grup Teknolojisine benzer bir üretim kavramı kullanmıştır. Flanders proses, taşıma minimizasyonu ve işin gözle kontrolden çok, ürünün standardizasyonu ve ürüne göre departmanlaşmayı önermiştir. Önerilen bu kavram daha sonra Jones ve Lamson makine şirketinde uygulanmıştır.

Daha sonra 1933 yılında Almanya'da Brady, 1938 yılında Sovyetler Birliği'nde A.P. Sokolovski ve 1949 yılında İsveç'te A. Karolin yapmış oldukları çalışmalarda; "Parts be classified and parts with similar features be manufactured together" başlığı ile parçaların gruplanabileceğini ve benzer özelliklere sahip olan bu parça gruplarının birlikte standart prosesle üretilebileceğini ortaya koymuşlardır.

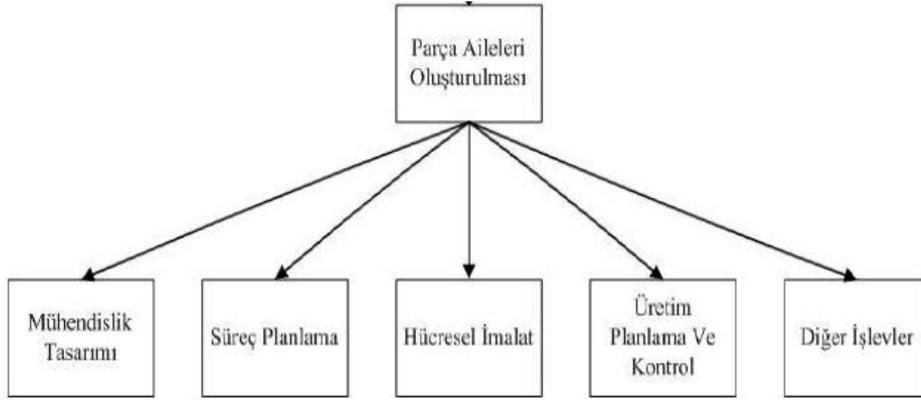
1960 yılında Burbidge üretim akış analizi olarak bilinen GT için sistematik planlama yaklaşımını geliştirmiştir. Yine bu yıllarda Opitz çok çeşitli ürün üreten firmalarda iş parçası istatistikleri üzerinde araştırma yapmış ve parçaları geometrik özelliklerine göre kodlayarak sınıflandıran bir sistem kurmuştur. Ancak 1960'ların sonuna kadar gelişmelerin büyük çoğunluğu Sovyetler Birliği'nde meydana gelmiştir. 750'den fazla işletmede grup teknolojisi uygulanmaya başlanmıştır.

Burbidge'in üretim akış analizinden sonra GT probleminin formülasyonu ve çözümüne gerçek anlamda analitik yaklaşım 1972 yılında Mc Auley tarafından yapılmıştır (Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986). Mc Auley makine ve parçaları temsil etmek için bir 0-1 matrisi ve grupları bulmak için de; tek bağlantılı kümelenendirme algoritması kullanmıştır. Kümelenendirme Jacard'ın benzerlik katsayısı temel alınarak yapılmıştır. Mc Auley'in çalışmasından sonra parça ve makine gruplandırma çalışmaları hız kazanmış ve günümüze kadar gelmiştir.

3.2. Grup Teknolojisinin Kullanım Alanları

Grup teknolojisinin işletmelere sağladığı en önemli faydalardan biri; üretimin başından sonuna kadar kontrol altında tutulmasını sağlamaktır. Bunun bir sonucu olarak da işletmede üretimi ilgilendiren hemen her alanda kullanımı mevcuttur. Grup teknolojisi kullanım çerçevesi Şekil 3.1'de verilmiştir.

- Parça aileleri oluşturulmasında grup teknolojisi kullanımı,
- Mühendislik tasarımında grup teknolojisi kullanımı,
- Süreç planlamada grup teknolojisi kullanımı,
- Üretim planlama ve kontrol sistemlerinde grup teknolojisi kullanımı,
- Atölye alanında grup teknolojisi kullanımı: Hücresel İmalat,
- Çeşitli işlerde grup teknolojisi etkisi: Kalite kontrol, lojistik, maliyet muhasebesi, insan kaynakları yönetimi,



Şekil 3.1. Grup teknolojisi kullanım çerçevesi (Suresh ve Kay, 1998)

3.3. Grup Teknolojisinin Avantaj Ve Dezavantajları

Avantajları: Üretim sisteminin her aşamasında aşağıda belirtilen yararlarından dolayı kullanılmaktadır (Kaplan, 2008);

1. Atölyelerde ve GT hücrelerinde makine kullanımını olumlu etkileyen faktörler arasında planlama ve kontrolün etkinliği, ayar zamanlarının düşüklüğü, hat dengelemesi sayılabilir. Bu faktörler her iki üretim sistemi açısından incelendiğinde Grup Teknolojisi sisteminde her ailede benzer parçalar kullanıldığında ortak takım ve aparat kullanılmaktadır. Böylece ayar zamanları oldukça düşük tutulabilmektedir. Hücreler küçük ölçekli sistemler olduklarından planlama ve kontrol bu sistemlerde daha basit olmakta ve optimizasyon tekniklerinin etkin kullanımı gerçekleştirilmektedir. Örneğin; geniş bir atölyenin çizelgelenmesi için simülasyon gibi optimizasyonu garantilemeyen ve optimum sonuçlara ulaşmanın zor ve pahalı olduğu teknikler kullanılırken küçük ölçekli bir hücrenin çizelgelenmesinde akış tipine göre optimizasyona etkin şekilde gidilip, etkili üretim planlama ve kontrolü sağlanabilir.
2. Ara stoklar Grup Teknolojisi sayesinde % 70 oranında azalabilmektedir.
3. Taşıma maliyeti (Yerleşim Düzeni): Grup yerleşimi operasyonlar arası uzaklıkların azalmasını sağlayabilmektedir. 100-150 makinelik fonksiyonel yerleşimli bir atölyede her operasyon arası taşıma uzaklığı 80 metre iken, 7-20 makinelik bir hücrede ortalama 8 metre olabilmektedir. Ayrıca küçük ölçekli hücrelerde sabit taşıma elemanları kullanma imkânları artmaktadır.
4. Etkin Üretim Planlama ve Kontrol: Ölçek küçüldükçe sıralama ve çizelgeleme işi basitleşmekte ve daha ucuza çıkmaktadır. Örneğin büyük bir atölyenin simülasyonunda kullanılan zamanla karşılaştırıldığında hücrelerin kullandıkları toplam hesaplama

zamanı atölyenininkinin % 35'i kadardır. Burada bilgisayar destekli tasarım ve üretim yapılıyor.

5. Girdi-çıkıtı zamanları Grup Teknolojisi sayesinde kısalmaktadır.
6. Ayar zamanları: Hücrelerde tasarım olarak birbirine yakın parçalar üretildiğinden genel amaçlı makineler veya ortak takım, kullanılabilir. Bunun da sistemleşmiş hali yeni yeni gelişmekte olan bir üretim kavramı esnek üretim sistemleridir. FMS (esnek üretim sistemleri) parçalar ayar için zaman kaybedilmeden nümerik kontrollü tezgâhlarda robotlarla donatılmış katlarda üretiliyor ve otomasyona geçilerek ayar zamanları % 50-60 oranında azalıyor.
7. Kalite ve işçilik: Bu konuda yapılan birçok araştırmada hücre çalışmasının işçi verimi ve kalite üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Grup Teknolojisinde belirli tip parçalar üzerinde uzmanlaşma sağlanmakta, bir işçiye birkaç tip makine sağlanabilmekte, iş zenginliği arttırılmaktadır. Ayrıca otomasyona elverişli bir sistem olan Grup Teknolojisinde tezgâhlar otomatikleştikçe kalite ve hassasiyet artmaktadır.
8. İş akışlarını düzenlemesi,
9. Toplam üretim zamanı (standart zaman) azaltması,
10. Üretim planlama ve kontrol faaliyetlerini merkezleştirmesi,
11. Veri bankası oluşturmayı kolaylaması. .

Dezavantajları: Bulunan birçok avantajının yanında her yöntemde olduğu gibi grup teknolojisinin de birtakım dezavantajları bulunmaktadır ve aşağıda verilmiştir (Kaplan, 2008).

- Ürünlerin taşınmaması için bazı üretim araçlarından birden fazla bulunmasını gerektirir. Bu durumda yatırım maliyetinin artmasına neden olur.
- Tüm ürünlerin üretim hücrelerinde üretilmesi sağlanamaya bilinir.
- Kalifiye elemana olan ihtiyaç artar.
- Tasarım ve üretim kısımları arasında güçlü bir bağ gerektirir.
- Belirli standartları yoktur.
- GT'nin uygulanabilmesi için bazı tezgâhların düzenlenmesi gerekir. Bu da ekstra maliyet anlamına gelmektedir.
- GT yönteminin uygulanması, çalışanlar için mevcut düzenden yeni bir düzene geçmek olduğu için bu konuda itirazlar gelebilir.
- Uygulanabilmesi için yönetim desteğine ihtiyaç vardır.

3.4. Grup Teknolojisinin Uygulama Aşamaları

Grup teknolojisinin uygulanabilmesi için birçok aşama gereklidir. Bu aşamalar şöyle sıralanabilmektedir (Kaplan, 2008).

1. Parçaların üretim sıraları ve çizimleri incelenerek gruplandırma imkânları araştırılır.
2. Üretim sisteminin özelliklerine uygun bir gruplandırma yöntemi seçilir.
3. Seçilen gruplama özelliklerine göre parçalar gruplandırılır.
4. Her gruptaki parçaları işleyecek tezgâhlar tespit edilir.
5. Hücreler için gerekli tezgâh ve işgücü miktarı bulunur.
6. Hücre için tezgah yerleşimi yapılır. Hücrelerin birbirleriyle ve sistemin diğer birimleriyle olan ilişkileri göz önüne alınarak genel yerleşim planı yapılır. Bir tek hücrede tamamlanamayan parçalar varsa bu parçaların sebep olduğu hücrelerarası taşımalar minimize edilir. Hücrelerde işlem gören parçalar için tezgâhlarda işlem gören parça için en uygun sıra bulunur.

4. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİ

Hücresel üretim sistemleri en genel tanımıyla; grup teknolojisi prensiplerinin üretim alanına uygulanması durumudur. Hücresel üretime ikinci nesil grup teknolojisi olarak da bakılabilir. Birinci nesil grup teknolojisi parça aileleri üzerinde yapılırken, ikinci nesil grup teknolojisinde yani hücresel üretim sistemlerinde temel anlayış; parça aileleri ve makine ekipmanlarının birlikte (eş zamanlı) gruplandırılmasını sağlamaktır (Wang ve Rose, 1997).

Hücresel üretimin temel hedefi, kitle üretimindeki kazanımların atölye tarzı üretim ya da parti üretiminde de sağlanabilmesidir. Bu hedef aynı zamanda, akış tipi üretim ortamlarındaki yüksek verimlilik ile atölye ortamlarındaki esnekliği birleştirmeyi sağlamaktadır. Sağlanan esneklik; farklı müşteri taleplerine verilen yanıtı kolaylaştıracak, parçaların hücreler arası hareketlerini en azlayacak, hazırlık zamanı problemini küçükleyecek böylece karşılanan talebi arttıracaktır. Bu bağlamda tam zamanında üretim için bir çekirdek unsurdur (Suresh ve Kay, 1998).

4.1. Hücresel Üretimin Avantaj Ve Dezavantajları

Hücre oluşturma ve hücre tasarımı konuları üzerinde günümüze kadar pek çok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda, hücresel üretim sistemlerinin firmalar için sosyal ve mali olarak pek çok faydalarının olduğu görülmüştür.

Avantajlar:

- Hazırlık zamanlarının azalması: İlk aşama olan üretime hazırlık aşamasında, hazırlık süresinin ve hazırlık maliyetlerinin azalmasını sağlar. Özelleştirilmiş hücreler, ilişkili parça ailelerinin işlenmesi için tasarlandığından tezgâhların, çalışanların ve makinelerin üretime hazırlanması kolaylaşacaktır. Hazırlık süreleri süresince üretim yapılmadığından, hazırlık süreleri katlanılan bir çeşit üretimsizlik maliyeti olmaktadır. Bunlar, hazırlık maliyeti olarak adlandırılırlar. Azalan hazırlık maliyetleri, ekonomik parti büyüklüklerinde daha düşük üretim hacimlerinin seçilmesine olanak sağlayabilir. Zira ekonomik üretim miktarı, hazırlık maliyetleri ile doğru orantılıdır.
- Süreç içi envanterlerin azalması: Üretim esnasında ara ürün stoklarının azalmasının diğer bir sebebi de, hücrelerdeki makine ve iş gücü çizelgelemesinde aksaklıkların yaşanmasındaki düşük orandır. Makineler arası geçişlerin hızlı olması, dengelemeyi

üstün hale getirmektedir. Üretim hattındaki bu üstün denge ve tek parçalık akış, hücrelerde işlem gören ürün sayısında azalma sağlamaktadır. Böylece ara ürün stokları neredeyse ortadan kalkmış olur. Bu da hücre için gereken fiziksel alanın çok daha küçük olabildiğini sağlayacaktır.

- İnsan ilişkilerinin iyileşmesi: Hücrelerde çalışan özelleşmiş çalışanlar, çalıştıkları hücreler ve hücrelerinde üretilen ürünlerle doğrudan ilişkilendirilirler. Bunun sonucunda o hücrenin düzgün çalışması ve üretim kalitesi konularında doğrudan sorumluluk sahibi olurlar. Bu sorumluluk, çalışanlara ilave bir teşvik sağlamaktadır. Hücrelerdeki çalışan sayısının azlığı ve mesafelerin kısalığı, çalışanlar arası iletişim kopukluğu ve yanlış anlamalar olmasını önleyici etkenlerdir. Bu iletişim düzgünlüğü, iş gücü maliyetinde düşüş sağlayacaktır(Heizer ve Render, 2000).
- Yüksek üretim kalitesi ve düşük çevrim süresi sağlaması: Üretim aşamasına geldiğinde, özelleştirilmiş hücrelerde çalışan özelleşmiş iş gücü, belirli süreçler konusunda uzmanlaştığı için hem üretime hazırlık, hem üretim kalitesi konusunda ciddi kazanımlar doğacaktır. Doğal bir sonuç olarak çevrim süreleri de kısalmaktadır. Azalan çevrim süreleri, gelecek taleplere daha çabuk tepki vermeyi sağlayacaktır. Bu da işlenmeyi bekleyen uzun parça kuyruklarını engelleyecektir. Bir ürüne ait tüm üretimin belirli bir alanda yapılıyor olması, kalite konusunda, uzmanlaşmış iş gücünün yanında, büyük bir öneme sahiptir. Bir hata veya aksaklık durumunda geri besleme bilgisinin çok çabuk ulaşması ve çalışanların tüm sürece hâkimiyetleri, kalitesizliğin giderilmesi konusunda büyük kazanç sağlamaktadır (Singh ve Rajamani, 1996).
- Malzeme taşımada kolaylık,
- Malzeme aktarma maliyetlerinin azalması,
- Geçiş zamanlarının azalması,
- Kapasite planlama, malzeme planlama ve kontrollerin basitleştirilmesi.
- Pek çok üretim sisteminde olduğu gibi hücresel üretiminde getirdiği faydalar yanında dezavantajları ya da istenmeyen yönleri vardır.

Dezavantajlar:

- Atölye tarzı üretim sisteminin sağladığı esneklik düzeyinin her zaman sağlanamaması,
- Hücrelerin yaşam sürelerinin, mamul talebine ve mamul karışımındaki değişimlere bağlı olması,
- Makina sayılarındaki artış ve hücre dışı elemanların elenmesi ile makina kullanımının

azalması,

- Hücrelerin makina duruşlarına karşı duyarlı olmaları nedeniyle, düzenli bakım eylemlerinin istenilen boyutta olmaması; çok daha düzenli yapılmasınının gerekmesi.

4.2. Hücre Tipleri

Hücresel üretim sistemlerinin tasarımında karşılaşılan en önemli konulardan biri; üretim işlemlerine uygun hücre tipinin belirlenmesidir. Yapılan çalışmalar sonucu hücre tipleri; ürün odaklı hücreler, süreç odaklı hücreler, genel hücreler ve melez hücreler olarak dört grup altında toplanmıştır (Angra ve diğ., 2008). Hücre tipleri ve uygulamaları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Hücre tipleri ve uygulamaları

<i>Ürün adı</i>	<i>Ürün veya bileşen çeşitliliği</i>	<i>Hücre tipleri ve sayısı</i>
Yangın söndürücü	Geniş (1500)	11 Genel amaçlı hücre
Enstrüman panelleri	Küçük	Tek ürün odaklı hücre
Beyaz eşya bileşenleri	Orta	1 Adet Melez hücre
Valf ve Uyarıcı	Geniş (5000/12.000)	24 Adet Genel amaçlı hücre
Makine araçları	Geniş (50/35-40.000)	23 Adet Genel amaçlı hücre
Tıbbi araçlar	Geniş (70.000)	26 Adet Genel amaçlı hücre

4.2.1. Ürün odaklı hücreler

Ürün odaklı hücreler, bir ürün veya tanımlanmış ürün ailesine bağlı olarak kapasite sağlayan bir makine grubundan oluşmaktadır. Ailenin bütün parçaları aynı veya benzer operasyonlar dizisini takip eder ve parçalar birbiriyle orantılı olacak şekilde makineler üzerinde kalırlar (Singh ve Rajamani, 1996). İdeal bir ürün odaklı hücrede, bir ürün veya ürün ailesi hammaddeden son ürüne kadar bir hücre içinde üretilebilir. Bu tip hücreler kaynak ve üretim sistemi planlamada etkindirler.

4.2.2. Süreç odaklı hücreler

Süreç odaklı hücreler, birbirinden çok farklı çeşitteki ürünlerle ilgilenir ve diğer hücreler için harici koordinasyonun gerekliliklerini sağlarlar. Çoğunlukla işlem doğasından kaynaklanan sistem kısıtlarının olduğu yerlerde kullanılırlar. Örneğin; presleme işlemi

yüksek gürültülü bir işlem olduğundan bu işlemin diğer işlemlerle aynı hücrede yapılması uygun olmayabilir.

4.2.3. Genel amaçlı hücreler

Genel amaçlı hücreler, birçok farklı prosesi içerir ve ürün karışımlarının tamamının üretilmesi ile ilgilenmektedir. Ne bir servis ne de ürün odaklı çalışan bir hücre tipidir. Bu tip hücrelerde parçalar bazı makinelere ihtiyaç duyar ve bu makineler farklı sıralarda olmalıdır. Böylelikle hücre çok sayıdaki parça için farklı rotalar ve tüm kaynaklar ile ürünler üzerinde yerel bir kontrol sağlanabilmektedir. Diğer hücre tiplerine daha fazla esneklik sağlayabilirler.

4.2.4. Melez hücreler

Firmaların kendi ihtiyaçları doğrultusunda yukarıda bahsettiğimiz üç hücre tipini birleştirmesi sonucu ortaya çıkan hücre tipleridir. Melez hücreler, bir veya daha fazla ürün odaklı hücrenin bir süreç odaklı hücreyle birleşmesi sonucu ya da bir veya daha fazla genel amaçlı hücrenin bir süreç odaklı hücreyle birleşmesi sonucu oluşmaktadır.

4.2.5. Hücre tipine karar verilmesi

Üretim sistemine uygun hücre tipinin seçimi; üretim hacmi, ürün çeşitliliği, rota sayısı ve işlem karakteristiği gibi birçok faktöre bağlıdır. Örneğin; ürün çeşitliliği ve rota sayısının az olması durumunda hücre başına yeterli üretim sağlanması için ürün odaklı hücre kullanımı uygun olacaktır. Diğer yandan, ürün çeşitliliği ve rota sayısı fazla ise genel amaçlı hücrelerin kullanımı daha uygun olacaktır.

Hücre tipine karar verilirken; hücre tasarımında etkili olan üç oran dikkate alınmaktadır. Bu oranlar; işlem zamanı oranı (processing time ratio – PTR), hazırlık zamanı oranı (set up time ratio – STR) ve hazırlık zamanının işlem zamanına oranı (ST/PTR).

PTR, bütün işlemler göz önüne alındığında en yüksek işlem zamanı ile en düşük işlem zamanı arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. Eğer PTR yüksekse, bu en yüksek işlem zamanı ile en düşük işlem zamanı arasındaki farkın yüksek olduğu anlamına gelmektedir. En düşük işlem zamanı ile çalışan makinede işlemler tamamlanırken; en yüksek işlem

zamanı ile çalışan makinede yığılmalar olacaktır. Bu durumun üstesinden gelmek için en yüksek işlem zamanlı operasyonu diğerlerinden ayırarak stoklanan parça tamponu ile ürün odaklı hücreler oluşturulabilir.

STR, bütün işlemler dikkate alındığında maksimum hazırlık zamanı ile minimum hazırlık zamanı arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. ST/PTR, maksimum hazırlık zamanının maksimum işlem zamanına oranıdır. Bu oranlar ve üretim sistem dikkate alınarak gerekli hücre tipine karar verilmektedir.

4.3. Hücresel Üretim Sistemlerinin Tasarımı

Hücresel üretim sistemi kendi kendine işleyen birden fazla hücre içerecektir. Dolayısı ile birkaç hücrenin birlikte düşünülerek tasarlanması; bir hücresel üretim sistemi tasarlanması anlamına gelmektedir. Hücreler ayrı ayrı tasarlandıktan sonra, hücrelerin birbirine göre yerleşimleri düzenlenir ve tasarım tamamlanmış olur.

Hücresel üretim sistemlerinin tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken bazı temel kısıtlamalar mevcuttur (Heragu, 1994):

- Makinelerin kapasite kısıtları aşılmamalıdır.
- Bir hücredeki makine sayısı ve toplam hücre sayısının bir üst sınırı olmalıdır.
- Kalifiye ve teknolojik ihtiyaçlar karşılanmalıdır.
- Yönetim tarafından konulan idari ve finansal kısıtlar aşılmamalıdır.

Sistemde var olan kısıtlamalar dâhilinde tasarım sürecindeki temel hedefler ise şunlar olmalıdır (Hyer ve Wemmerlov, 2002):

- Çevrim sürelerinde azalma olmalıdır.
- Bitmiş ürün ve işlem gören ürün stoklarında azalma sağlanmalıdır.
- İş gücü ve makine kullanım oranı maksimize edilmelidir.
- Hücre içi araç-gereç kullanımını dengelenmelidir.
- Hücre içi ve hücreler arası taşıma en azlanmalıdır.
- Ürün rotalarında hücre içinde esneklik sağlanmış olmalıdır.

Uygulama yapılması planlanan sistem üzerinde temel kısıt ve hedefler belirlendikten sonra birkaç aşamadan oluşan tasarım sürecine geçiş yapılır. Tasarım sürecinin aşamaları aşağıda sırasıyla verilmiştir ve ayrıntılı açıklamaları takip eden başlıklarda yer alacaktır.

1. Hücresel İmalat Sisteminin Kapsamı Belirlenir.
2. Sisteme Dahil Edilecek Parçaların Özellikleri Belirlenir
3. Parçaların Kimliklendirme İşlemi Yapılır (Şifreleme ve Sınıflandırma).
4. Parçalara Ait Akış Ve Rotalar Belirlenir.
5. Hücre Düzenleme İşlemleri Yapılır.
6. Hücre İçi Yerleşimler Yapılır.
7. Tesis İçi Hücrelerin Yerleşim Düzeni Yapılır.
8. Çizelgeleme Yapılarak Kaynaklar Hücrelere Atanır.

4.3.1. Hücresel üretim sisteminin kapsamının belirlenmesi

Hücre tasarımının ilk aşaması hücresel üretim sisteminin kapsayacağı parçaların belirlenmesidir. Sistem tüm üretim süreçlerini kapsayabileceği gibi; bir kısım parça grubu içinde tasarım oluşturulabilir. Bu kapsamda ürün çeşitliliği, parti büyüklüğü, talepler, üretim süreçleri ve maliyetler incelenerek hangi ürün gruplarına hücre tasarımı yapılacağına karar verilmektedir.

4.3.2. Parçaların kimliklendirilmesi

Parçalara kimlik kazandırılması veri alımını kolaylaştıracağından hücre sistemine dâhil edilecek parçaların ayırt edici özellikleri incelenmeli ve uygun şifreleme yöntemleri ile parçalar kimliklendirilmektedir.

4.3.3. Parçaların akış rotalarının belirlenmesi

Üretim sisteminde yer alan parçaların akış rotaları hücre yerleşimini belirlemektedir. Bu nedenle tüm ürünler için mevcut olan üretim akış rotaları, en uygun süreli dengeleme göz önüne alınarak oluşturulmaktadır. Böylece ürün gruplaması ve hücre tasarımı yapılırken daha kolay işlem yapılması sağlanmış olunur.

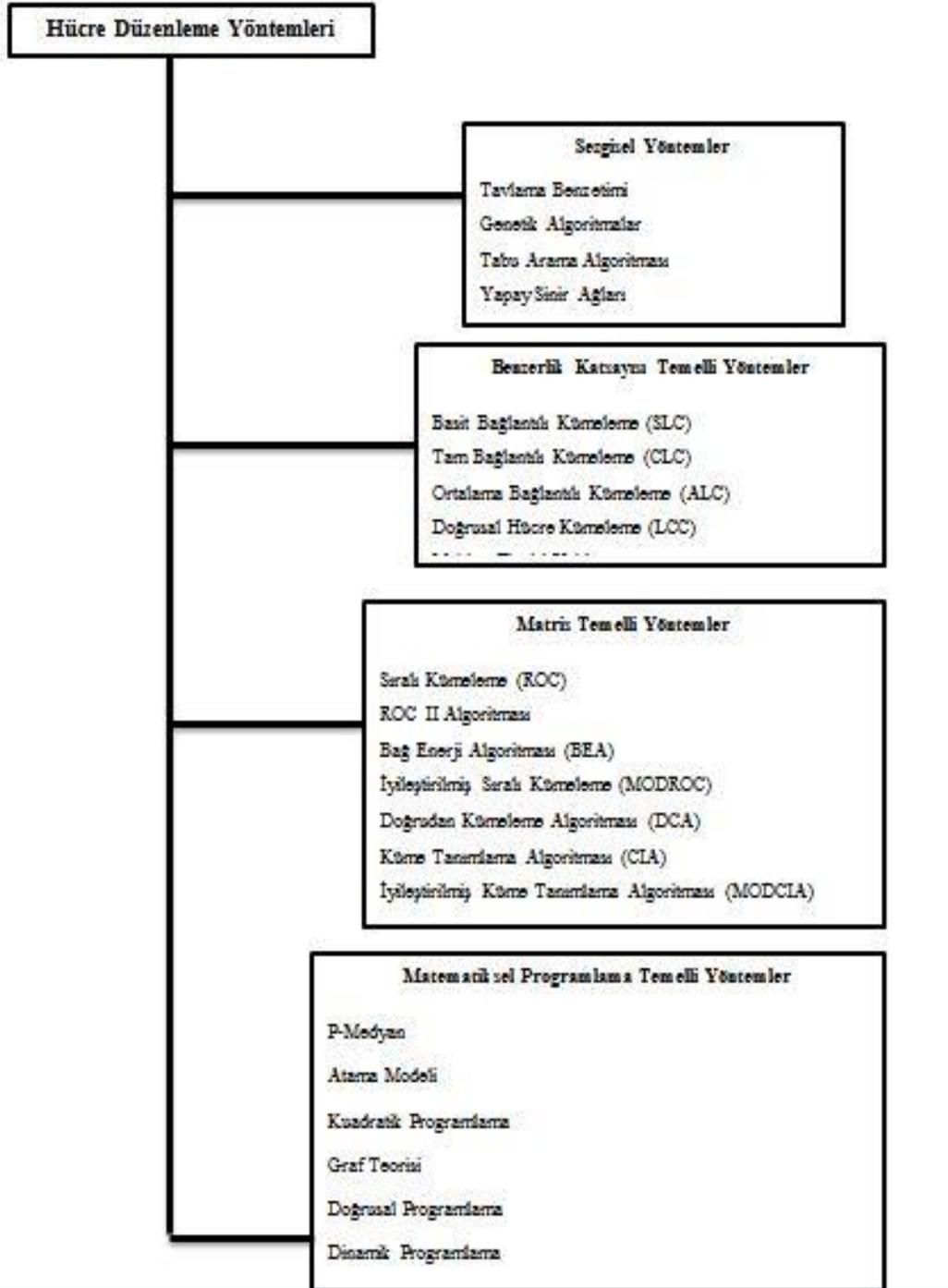
4.3.4. Hücre düzenleme işlemleri

Hücre düzenleme işlemi iki ana unsurdan oluşmaktadır: birincisi; parça ailelerinin oluşturulması, ikincisi ise; oluşturulan parça aileleri için makine gruplarının atanması ve parça ailelerinin makinelere atanmasını sağlamaktır. Böylece bir hücreyel üretim sistemi tasarlanarak hücre düzenleme işlemi gerçekleştirilmiş olunur.

Hücre düzenleme işlemi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemleri dört ana grupta toplamak mümkündür:

- Matris Temelli Yöntemler
- Benzerli Katsayısı Temelli Yöntemler
- Matetaiksel Programlama Temelli Yöntemler
- Sezgisel Yöntemler

Hücre düzenleme yöntemleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Hücre oluşturma yöntemleri

Matris Temelli Yöntemler: Hücresel üretim sistemleri için geliştirilmiş en eski yöntemlerdir. Hemen hepsi, Gauss-Jordan yöntemleri ile matris işlemleri yapılarak birim matrisler oluşturma yolu ile benzerliği yüksek parça ve makineleri belirlemeye dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemler, makine-parça matrisinin satır ve sütunlarının blok diyagonal matris tasarımı için tekrar düzenlenmesi esasına dayanırlar. Parça ve makine aileleri eş zamanlı olarak gruplanabilmektedir. Makine kapasitesi, süreç zamanı ve üretim hacmi gibi teknolojik faktörleri içermezler.

Benzerlik Katsayısı Temelli Yöntemler: Benzerlik katsayısı yaklaşımı ilk olarak 1972 yılında McAuley tarafından (Basit Bağlantılı Kümeleme) önerilmiştir. Bu yöntemlerin temel yaklaşımı, makineler arasındaki benzerlikleri hesaplamak ve makineleri benzerlik ölçülerine göre kümelendirmektir. Bu benzerlik ölçüsü; ilişkisi ölçülen makinelerde işlenen parçaların, yine bu makinelerin herhangi birinde işlenen toplam parça sayısına oranı olarak kullanılır (King ve Nakomchai, 1982). Bu yöntemler parça ve makine ailelerini eş zamanlı olarak gruplayamadığından ek çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyarlar.

Matematiksel Programlama Temelli Yöntemler: Modelleme tekniğine dayalı yöntemlerdir. Matris ve Benzerlik katsayısı temelli yöntemlerin birçoğunun parça ve makine ailelerinin eş zamanlı gruplayamaması, bununla birlikte orta ve büyük boyutlu problemlere cevap verememeleri bu yöntemleri kullanmayı zorunlu hale getirmiştir. Matematiksel programlama temelli yöntemler ile birçok amaç bir arada maksimize edilebilir ve eş zamanlı gruplama yapılabilir.

Sezgisel Yöntemler: Matematiksel programlama temelli yöntemlerde işletmelerin sahip olduğu kısıtlardan kaynaklanan boyut ve çözüm süresi artışı bu yöntemlerin işletmeler için yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla hücresel üretim sistemlerinde kullanılmaya başlanmış yöntemlerdir. Birçoğu doğadan uyarlanan yöntemler olduğu için uyarlama esnekliğine sahiptirler. Bu nedenle günlük hayat problemlerinin neredeyse hepsinin çözümünde kullanılabilirler.

5. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölümde hücresele üretim sistemlerinin tasarımı ile ilgili literatür incelenerek yapılan çalışmalar dört başlık halinde sunulmuştur. Bunlar; Matris Temelli Yöntemler, Benzerlik Katsayısı Temelli Yöntemler, Matematiksel Programlamaya Dayalı Yöntemler ve Sezgisel Yöntemlerle ilgili olan çalışmalardır.

5.1. Matris Temelli Yöntemler İçin Literatür İncelemesi

King (1980), Derece Sıralama Ve Kümeleme (ROC) adı verilen bir metot geliştirerek hücre düzenleme probleminin çözümü için kullanmıştır. Bu metodun avantajı; hariç tutulacak öğeler ve makina dar boğazlarının modele kolaylıkla uyum sağlayabilmesidir.

Chan ve Milner (1982), Direk Kümeleme Algoritması (DCA) adı verilen bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma, makina parça matrisini yeniden yapılanma söz konusu olmayıncaya kadar tekrar düzenlemektedir.

Kusiak (1987), parçaların; parça aileleri şeklinde gruplandırılarak atanmasını sağlayan ve p-medyan olarak bilinen bir modele ilişkin 0-1 tam sayılı lineer programlama modeli geliştirmiştir. Bu model, belirlenmiş hücreler için iki parça arasında benzerlik katsayısı toplamını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Her bir parçanın tek bir süreç planı olduğu ve sadece tek bir hücreye atandığı kabul edilmektedir. Kusiak, ayrıca, değişik süreç planlarına izin veren genelleştirilmiş p-medyan modelini de geliştirmiştir.

Amira ve Choobineh (1996), iki aşamalı bir prosedür geliştirerek üretim hücrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. İlk aşama makina darboğazları ve/veya hariç tutulan öğeler ve saf blok diyagonal yapıyı belirlemeyi amaçlamaktadır. İkinci aşama, 0-1 tam sayılı programlama modeli üzerine kurulmuştur. Bu model hücreler arası taşıma maliyeti ve darboğaz makinaların arttırılmasına ilişkin maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Veeramani ve Mani (1996), hücre düzenleme problemi için iki aşamalı bir algoritma sunmuşlardır. İlk aşamada başlangıç matrisinden seçilen hariç tutulan öğeleri içeren diğer bir matris belirlenmektedir. İkinci aşamada ise; seçilen matrisin kolonları tekrar düzenlenerek alt matrisler oluşturulmuş; böylece hariç tutulabilir öğelerin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Güven ve diğ. (2004), tarım makineleri üreten bir işletmede yerleşimin yeniden düzenlenmesi için Derece Sıralama Ve Kümeleme algoritmasını kullanmışlardır. Böylece makineler üzerindeki kontrol artmış ve makineler arası mesafe azalmıştır.

Güçlü G.K. (2006), üretim akış analizi kullanarak parça ve makineleri eş zamanlı gruplayan ve makine yerleşimini sağlayan bir çalışma yapmıştır. Böylece malzeme taşıma ve maliyetinde % 70 azalma sağlanmıştır. Ayrıca makine yerleşiminin devamı olan kanban sistemi de kurularak parça akışları yeniden düzenlenmiştir.

Özyörük B. ve Gürü G. (2010), atölye tipi üretim yaparak uçak gövdesi montajını gerçekleştiren bir firma ele almışlardır. Bu firmada üretimin etkinliğini artırmak için Derece Sıralama Ve Kümeleme - ROC (Rank Order Clustering Method) yöntemini kullanılarak üretim hücreleri tasarlamışlardır. Mevcut sistem ve yeni sistemi grup etkinliği değerleri hesaplayarak karşılaştırmışlardır.

Alhourani F. (2013), operasyon sırasını, üretim hacmini, çift makineleri ve makine kısıtlarını baz alan, buna ek olarak çoklu süreç rotaları ile ilişkili olan yeni bir benzerlik katsayısı geliştirmiştir. Ayrıca geliştiren benzerlik katsayısını kullanan yeni bir kümeleme algoritması oluşturarak makineler arası benzerlikleri hesaplamıştır.

5.2. Benzerlik Katsayısı Temelli Yöntemler İçin Literatür İncelemesi

McAuley (1972), hücre düzenleme probleminin çözümünde ilk kez benzerlik katsayısını kullanmıştır. 0–1 matrisini literatüre tanıtmış ve ayrıca tek bağlantı kümeleme (SLC) olarak bilinen tekniği geliştirmiştir. Bu modelde parçalar arasındaki benzerlik katsayısı iki parçanın geçtiği makina sayısının, tek bir parçanın geçtiği makina sayısına oranı olarak tanımlanmıştır.

Waghodekar ve Sahu (1984), makina-bileşen hücre düzenleme olarak bilinen modeli geliştirmişlerdir. Hücreler arası hareketleri ve üretim hücrelerini belirlemek amacı ile parçalar arası benzerlikleri, makina gruplarını belirlemek için ise Carrie (1973) yöntemini kullanmışlardır. Yöntem, örnek problemlerle denenmiş ve etkin bulunmuştur.

Choobineh (1988), iki aşamalı bir benzerlik katsayısı metodu geliştirmiştir. İlk aşamada kümeleme teknikleri kullanılarak benzerlik katsayıları bulunmuş ve parçalar

gruplandırılmıştır. İkinci aşamada ise makinaların üretim, satın alma ve bakım maliyetlerini minimize eden bir tam sayılı model geliştirmişlerdir. Bu model birden fazla makinada aynı operasyon olmasını öngörmektedir.

Gupta ve Sefoddini (1990), makina-parça gruplama probleminin çözümü için bir benzerlik katsayısı yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu ölçüm ilk aşamalarda, makina-parça gruplama prosedüründe her bir parça için uygulanan operasyonların performanslarına ilişkin bilgiyi kullanır. Bu bilgi üretim hacmini, parçaların prosesi için ihtiyaç duyulan ekipmanları ve birim üretim zamanını kapsar. Model darboğaz oluşturan makinaların arttırılmasını içermemektedir.

Taboun ve diğ. (1991) hücre düzenleme probleminin çözümünde kullanılan üç tane gruplama kriterinin karşılaştırmasını ve ölçümünü yapmışlardır. Üretim operasyonları için ihtiyaç duyulan makina, proses ve kesim aletlerinin gruplamasına yönelik kriterler seçilmiştir. SIMAN kullanılarak benzetim modeli geliştirilmiş ve problem çözümü yapılmıştır.

Kusiak ve Cho (1992), iki benzerlik katsayısı modeli geliştirmişlerdir. İlk metot alternatif proses planlarının olduğu durumda hücre düzenleme probleminin çözümünü sağlamaktadır. İkinci metot, ilk metodun sonuç çözümünde hariç tutulabilir öğelerin olduğu bir matris düzenlemesine adapte edilmesi ile geliştirilmiştir.

Shafer ve Rogers (1993), iki makina arasındaki benzerliği kullanarak, hücre düzenlemeyi amaçlayan problemler için yeni bir ölçüm tanımlamışlardır. (i,j) gibi iki makina arasındaki benzerlik, iki değişik yöntemle ölçülen oranlardan maksimum olanına eşit olarak tanımlanmaktadır. İlk oran her iki makinada işlem gören tüm parça sayısının i .makinada işlem gören parça sayısına oranı, ikinci oran ise y .makinada işlem gören parça sayısına oranı olarak hesaplanmaktadır. İki parça arasındaki benzerlik de benzer şekilde iki oran arasından maksimum olanın seçilmesi ile bulunur. İlk oran her iki parça için gereken makina sayısının ilk parça için ihtiyaç duyulan makina sayısına bölümü olarak bulunur. İkinci oran ise; ilk orandaki makina sayısının ikinci parça için ihtiyaç duyulan makina sayısına bölümü ile hesaplanır.

Kamrahi ve Parsaei (1994), hücre düzenleme probleminin çözümüne ilişkin iki aşamalı bir

metodoloji geliştirmişlerdir. İlk aşamada, parçaların tasarım ve üretim özelliklerindeki benzerliklerine göre parça aileleri oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise makinalar bakım, malzeme tasıma ve geliştirme maliyetlerine göre gruplandırılmaktadır.

Suer ve Ortega (1994), makina-parça hücrelerini düzenleme amacıyla yeni bir benzerlik katsayısı ölçümü tanımlamışlardır. Bu ölçüm makina sayısı ve makina tipi olmak üzere iki özelliği bir arada değerlendirirken, parçaların üretim hacmine veya operasyon sırasına ilişkin özellikleri kapsamamaktadır.

Hwang ve Ree (1996) hücre düzenleme probleminin çözümü için iki aşamalı bir prosedür önermişlerdir. İlk aşamada rota seçim probleminin çözümü için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde bir parçanın, tek bir proses planının olmasına izin verilmiştir. İkinci aşamada ilk aşamadan alınan sonuçlara göre p-medyan formülasyonu uygulanmış ve parça aileleri çıkan sonuca göre düzenlenmiştir. Bu model, aynı ailede bulunan parçaların benzerlik katsayılarının maksimize edilmesini amaçlamıştır.

Geonwook ve diğ. (1998), hücreyel üretim sistemlerinin tasarımında hücre düzenleme problemin çözümü için iki aşamalı bir metod geliştirmişlerdir. İlk aşamada parça ailelerinin düzenlenmesi için alternatif proses planlarını göz önüne alan bir benzerlik katsayısı tanımlanmıştır. İkinci aşamada ise makina arızalarının ortaya çıkması durumunda hücre düzenleme probleminde çizelgeleme ve operasyonel düzenleme ele alınmıştır. Metodun amacı operasyon, stokta tutma ve makina yatırım maliyetini minimize etmektir.

5.3. Matematiksel Programlama Temelli Yöntemler İçin Literatür İncelemesi

Purcheck (1974,1975), doğrusal tam sayılı programlama tekniğini ilk olarak hücre oluştırmada kullanmıştır. Parça ve makine aileleri eş zamanlı gruplanamaz.

Han ve Ham (1986), sınıflandırma ve kodlama sistemine dayanan bir model geliştirmişlerdir. İlgili model iki parça arasındaki uzaklık fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlar. Bu model sadece her bir parçanın bir hücreye atandığı modelleri düzenlemektedir. Sadece parça ailelerinin olduğu durumlarda çözüm verir fakat çözümü tamamlamak için ekstra prosedürler gereklidir.

Kusiak (1987), parça ailelerini oluştırmak için P- Medyan yöntemini geliştirmiştir. Taşıma

maliyetlerini dikkate almayan bir yöntemdir. Yöntem bir medyan sayısı belirler ve bu sayıdaki medyanlara parçaları atar. Ancak, amaç fonksiyonu her zaman medyan sayısı ile örtüşmeyebilir ve makine ailesi oluşturmada kullanılamaz.

Choobineh (1988), iki fazlı bir tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Önce parçalar operasyonlar ve sıraları göz önüne alınarak benzerliklerine göre gruplandırılır. İkinci fazda ise makineler farklı hücrelere atanır.

Shtub (1989), atama yöntemine dayanarak hücre oluşturmak için matematiksel model geliştirmiştir.

Seifoddini (1989), birden fazla aynı makina kullanımının ve hücreler arası hareketlerin maliyetini inceleyen bir model geliştirmiştir. Bu model makine-parça matrisinin düzenlenmesi esasına dayanır ve üretim büyüklüğü, zamanı gibi teknolojik faktörleri göz önüne alır.

Gunasingh ve Lashkari (1989), 0–1 tam sayılı programlama kullanarak bir dizi yaklaşım geliştirdiler. Modelde, hücre içinde makina ve parçaların gruplaması, makinaların parçaları işleme kapasitelerine dayanır. Bu yaklaşımda makinalar parça işleme benzerliklerine göre gruplandırılır. Parçaların makina grupları proses gereklerine göre belirlenir.

Rajamani ve diğ. (1990), hücre tanımlama problemini düzenlerken, her bir parçanın alternatif proses planlarına sahip olduğunu ve her bir operasyonun alternatif makinalarda gerçekleştirilebildiğini varsayımlardır. Üç tane olası alternatif proses planına dayanan tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. İlk model, mevcut hücre düzenleme teknikleriyle çözülebilecek makina-parça proses matrisini formüle edecek bilgiler sağlamaktadır. İkinci model hücrelerin parça ailelerinin bilindiğini varsayarak düzenlemekte, üçüncü model ise parça ailelerini ve makina hücrelerini eş zamanlı olarak belirlemektedir.

Askin ve Chiu (1990), makina amortismanlarını, stok, malzeme taşıma ve hazırlık maliyetlerini içeren bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Maliyet modeli, çözümü basitleştirmek için iki alt probleme bölünmüştür. Birinci alt problem parçaların makinaya atanmasını incelerken ikinci alt problem makinaların hücrelere atanması problemini çözümlenmektedir.

Jain ve diğ.(1990) proses, ekipman ve makina olmak üzere tüm sistemin maliyetini minimize etmeyi amaçlayan bir 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Çözüm parça makina hücrelerinin düzenlenmesini ve makine sayısının tespitini sağlar. Bu modelde malzeme taşıma maliyeti düşünülmemiştir.

Boctor (1991), hücreler arası hareket sayısını minimize etmeyi sağlayan bir matematiksel programlama modeli geliştirmiştir. Eş zamanlı çalışan bir yöntemdir. Ancak büyük boyutlu problemler için uygun değildir.

Damodaran ve diğ. (1992) operasyon, malzeme taşıma ve makine maliyetleri konularında maliyet minimizasyonunu amaçlayan bir karışık tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu modelin çözümünde parça operasyonları, makinalara atanmaktadır. Operasyonların malzeme taşıma ve yeniden düzenleme maliyetlerinden etkilenme durumları örneklerle sunulmuştur.

Logendran (1993), makina-parça gruplama problemi için bir çözüm geliştirmiştir. Amaç fonksiyonu toplam hareket eden parça sayısı ve hücre içi kullanımı verimlilik ölçütü olarak düşünüp verimliliğin maksimizasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır.

Dahel (1995), parça ailesi ve makina gruplarını modelleyen 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu modelin amacı, parçaların birden fazla hücrede işlem görmesini ve dolayısıyla hücreler arası hareketlerini minimize etmektir. Bu model ayrıca parça hazırlık zamanlarını ve proses zamanlarını, kapasite ihtiyaçlarının hesaplanması için de hesaba katmaktadır.

Boctor (1996), makina-parça ailelerinin düzenlenmesini modelleyecek karışık tam sayılı bir model geliştirmişlerdir. Bu model, makina çiftleşmesini ve malzeme taşıma maliyetini minimize etmeyi amaçlar. Kullanıcıya hücre sayısının seçilmesi, hücre büyüklüklerinin kontrol edilmesi ve eğer ihtiyaç duyulursa ekstra makina seçilmesine izin verir. Buna rağmen hazırlık veya işçilik zamanı gibi maliyetleri hesaba katmamıştır.

Wang ve Roze (1997), Kusiak tarafından geliştirilen p-medyan modelini yeniden düzenleyerek lineer olmayan tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model parça aileleri veya makina gruplarını düzenlemeyi amaçlar. Parça ailelerini düzenlemek için kullanıldığında, her bir hücrede kullanılacak veya yer alacak maksimum parça sayısı

limitini baz alarak parçaların benzerliklerini maksimize etmeyi hedefler.

Heragu ve Chen (1997), hücre oluşturma problemi için optimal çözüm veren bir matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Rotalama esnekliği, makine kullanımı ve uygulama kısıtları en önemli özellikleridir. Sadece orta büyüklükteki problemlere uygulanabilir.

Taboun ve diğ. (1998), tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model parça ailelerini ve makina gruplarını es zamanlı olarak düzenler. Bu model firma sermayesi, malzeme taşıma maliyeti, parça tedarikçisi gibi değişken sistem maliyetlerini, minimize etmeyi amaçlar. Geniş yapılı problemleri çözmek için ayrıca sezgisel bir algoritma da geliştirilmiştir. Geliştirilen modelleri test etmek için değişik problemler kullanılmıştır. Sonuçlar gösterilmiştir ki önerilen modeller optimum sonucu vermektedir ve geniş yapılı problemleri de çözebilmektedir.

Chen ve Heragu (1999), 1997 de yapmış oldukları çalışmalarını geliştirip, daha büyük boyutlardaki problemlere uygulanmasını sağlamışlardır.

Aktürk ve Türkcan (2000), CMSD ve yerleşim problemlerinin çözülmesinde, karı maksimize eden hücrelerin holonistik yaklaşımla çözülmesi için tam sayılı matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, operasyon sırası, alternatif rotalar, üretim hacmi ve işlem zamanları da dikkate alınmıştır.

Zhao ve Wu (2000), hücre içi - hücreler arası hareketlerin ve hücre yükünün minimize edilmesini amaçlayan, çok amaçlı bir matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Orta ölçekli işletmeler için uygundur. Eş zamanlı bir yöntem değildir.

Caux ve diğ. (2000), alternatif iş planları ve makine kapasitesi kısıtları doğrultusunda hücreler arası taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan matematiksel model geliştirmişlerdir. Büyük boyutlu problemlere uygulanamamaktadır.

Onwubolu ve Mutingi (2001), hücre yükü çeşitliliğine dayanan bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Abduelmola (2001), verimlilik ölçütünü; satışların hücre içi ve hücreler arası taşıma

maliyetlerine oranı olarak ele alıp, amaç fonksiyonunda; verimliliği maksimize etmeyi sağlayan 0-1 tam sayılı matematiksel programlama modeli geliştirmiştir.

Udbin ve Shanker (2002), rotalama esnekliğini temel alan bir tam sayılı matematiksel model geliştirmişlerdir.

Nsakanda ve diğ. (2005), talep, çoklu rota, operasyon sırası, makine kapasitesi ve çoklu proses planı parametrelerini dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Ancak bu yöntem hiçbir zaman optimal sonucu garanti etmemektedir.

Albadawi ve diğ. (2005), üretim hücrelerinin oluşturulmasında yeni bir yöntem olarak; iki fazlı tam sayılı matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. İlk fazda, benzerlik katsayısı matrisi ile makine hücreleri tanımlanır. İkinci fazda ise, makine hücrelerine parçalar atanır.

Defersha ve Chen (2006), rotalama esnekliği, operasyon sırası, makine duplikasyonu ve kapasitesi, hücre yükü dengeleme, araç gereksinimi, hazırlık ve taşeronluk maliyeti bilgilerini dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Model çok amaçlı ve çok kısıtlı olduğundan çözümü çok zor olmaktadır. Bu nedenle daha sonra problemin çözümü için genetik algoritma kullanmışlardır.

Geonwook ve Herman (2006), hücre oluşturma problemi için iki fazlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. İlk fazda parça aileleri oluşturulurken; ikinci fazda makine grupları ile ilgilenen bir model geliştirmişlerdir. Problem çok amaçlı ve çok kısıtlı olduğundan, orta ve büyük boyutlu problemlerde çözüm zamanı polinomial olmuştur. Bu nedenle genetik algoritma tabanlı yeni bir yönteme başvurmuşlardır.

Tariq ve diğ. (2006), hücreler arası taşımaların toplam sayısını ve makinelerin kullanımını minimize etmeyi sağlayan bir model geliştirmişlerdir. Yöntem küçük ve orta ölçekli problemlerin çözümü için uygundur.

Mahdavi ve diğ. (2007), hücre oluşturma problemi için yeni bir matematiksel model önermişlerdir. Amaç, istisnai elemanların ve hücrelerdeki boşlukların sayısını en azlayacak, yüksek performanslı hücre kullanımını sağlayan bir model geliştirmişlerdir.

Kılıç (2008), işlem zamanlarının, satın alınan makina sayısının ve bakımlarının, hazırlık zamanlarının, fason üretim maliyetinin, hücreler arası taşımanın ve işe alınan makine operatörlerinin maliyet minimizasyonunu hedefleyen çok amaçlı 0-1 karışık tam sayılı bir matematiksel model geliştirmiştir.

Eğilmez ve diğ. (2012), kabul edilebilir risk alanında stokastik hücre tasarımı için; eş zamanlı gruplama sağlayan non-linear bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Chang ve diğ. (2013), alternatif süreç rotalarını, operasyon sırasını ve üretim hacmini baz alarak; hücre tasarımı, hücre yerleşimi ve hücreler arası makine sırasını kombine edebilecek matematiksel model geliştirmişlerdir.

Matematiksel Programlama temeline dayalı olarak yapılan çalışmaların özeti Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Matematiksel model temelli yaklaşımlar

No	Referans	Teknik	Açıklama
1	Purcheck (1974-1975)	Doğrusal Tam Sayılı Programlama	Matematiksel model ilk defa hücre oluşturmada kullanılmıştır. Parça-makine gruplaması aynı anda yapılamaz.
2	Han ve Ham (1986)	Matematiksel Programlama	Model iki parça arasındaki uzaklık fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlar. Sadece parça ailelerinin olduğu durumlarda çözüm verir.
3	Kusiak ve diğ. (1986)	Kuadratik Programlama	Parça ailelerinin sayısına ve bu ailelerin büyüklüklerine sınırlandırma getiren bir yöntem geliştirmişlerdir. Ancak bu yöntem için en uygun değer, her parçanın aynı aileye atanmasını ile sağlanabilmektedir.
4	Kusiak (1987)	Matematiksel Programlama	Parça ailelerini oluşturmak için P- Medyan yöntemini geliştirmiştir. Taşıma maliyetlerini dikkate almayan bir yöntemdir. Makine ailesi oluşturmada kullanılamaz.
5	Choobineh (1988)	Tam Sayılı Programlama	İki fazda gerçekleştirilir. Önce parçalar operasyonlar ve sıraları göz önüne alınarak benzerliklerine göre gruplandırılır. İkinci fazda ise makineler farklı hücrelere atanır.
6	Shtub (1989)	Matematiksel Programlama	Atama yöntemine dayanarak hücre oluşturmak için model geliştirmiştir.
7	Seifoddini (1989)	Matematiksel Programlama	Birden fazla aynı makine kullanımını ve hücreler arası taşıma maliyetini inceleyen bir model geliştirmiştir.
8	Gunasiqhe ve Lashkari (1989, 1990)	0-1 Tam Sayılı Programlama	Model hücreler arası hareketlerin maliyetlerini minimize etmeyi amaçlar. Büyük boyutlu problemlere cevap verememektedir.
9	Askin ve Chiu (1990)	Matematiksel Programlama	Makine amortismanlarını, stok, malzeme taşıma ve hazırlık maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir.
10	Jain ve diğ. (1990)	0-1 Tam Sayılı Programlama	Proses, ekipman ve makine olmak üzere tüm sistemin maliyetlerini minimize etmeyi amaçlar. Hücrelerin düzenlenmesi ve makine sayısının tespitini sağlar.

Çizelge 5.1. (devamı) Matematiksel model temelli yaklaşımlar

No	Referans	Teknik	Açıklama
11	Rajamani ve diğ. (1990)	Tam Sayılı Programlama	Üç olası alternatif proses planına dayanır. İlk model, mevcut hücre düzenleme teknikleriyle çözülebilecek makine-parça matrisini formüle edecek veriler sağlamaktadır. İkinci model, hücrelerin parça ailelerinin bilindiğini varsayar, üçüncü ise; parça ve makine ailelerini eş zamanlı belirlemektedir.
12	Boctor (1991)	Matematiksel Programlama	Hücreler arası hareket sayısını minimize etmeyi sağlayan bir matematiksel programlama modeli geliştirmiştir.
13	Damodaran ve diğ. (1992)	Karışık Tam Sayılı Programlama	Operasyon, malzeme taşıma ve makine maliyetlerini minimize etmeyi amaçlar.
14	Logendran (1993)	Matematiksel Programlama	Toplam hareket eden parça sayısı ve hücre içi kullanımını verimlilik ölçütü olarak amaç fonksiyonu verimliliği maksimize eden bir matematiksel programlama modeli geliştirmiştir.
15	Dahel (1995)	0-1 Tam Sayılı Programlama	Amaç fonksiyonu, parçaların birden fazla hücrede işlem görmesini ve hücreler arası hareketleri minimize etmektir. Model, parça hazırlık zamanlarını ve kapasite ihtiyaçlarını hesaba katmaktadır.
16	Boctor (1996)	Karışık Tam Sayılı Programlama	Makine çiftleşmesini ve malzeme taşıma maliyetini minimize etmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Hücre sayısının, büyüklüklerinin kontrol edilmesini ve makine seçimine izin verir.
17	Heragu ve Chen (1997)	Matematiksel Programlama	Optimal çözüm verir. Rotalama esnekliği, makine kullanımı ve uygulama kısıtları en önemli özellikleridir. Sadece orta büyüklükteki problemlere uygulanabilir.
18	Taboun ve diğ. (1998)	Tam Sayılı Programlama	Parça ve makine ailelerini eş zamanlı olarak düzenler. Firma sermayesi, malzeme taşıma maliyeti, parça tedarikçisi gibi değişken sistem maliyetlerini minimize etmeyi amaçlar.

Çizelge 5.1. (devamı) Matematiksel model temelli yaklaşımlar

No	Referans	Teknik	Açıklama
19	Chen ve Heragu (1999)	Matematiksel Programlama	1997’de yapmış oldukları çalışmalarını geliştirip, daha büyük boyutlardaki problemlere uygulanmasını sağlamışlardır.
20	Aktürk ve Türkcan (2000)	Matematiksel Programlama	Makine-parça gruplama eş zamanlı olarak yapılabilmektedir.
21	Zhao ve Wu (2000)	Matematiksel Programlama	Hücre içi - hücreler arası hareketlerin ve hücre yükünün minimize edilmesini amaçlayan, çok amaçlı bir matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir.
22	Caux ve diğ. (2000)	Matematiksel Programlama	Alternatif iş planları ve makine kapasitesi kısıtları doğrultusunda hücreler arası taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamışlardır
23	Onwubolu ve Mutingi (2001)	Matematiksel Programlama	Hücre yükü çeşitliliğine dayanan bir model geliştirmişlerdir.
24	Uddin ve Shanker (2002)	Tam Sayılı Programlama	Rotalama esnekliğini temel alan bir hücre oluşturma modeli geliştirmişlerdir.
25	Albadawi ve diğ. (2005)	Tam Sayılı Programlama	İlk fazda, benzerlik katsayısı matrisi ile makine hücreleri tanımlanır. İkinci fazda ise, makine hücrelerine parçalar atanır.
26	Nsakanda ve diğ. (2005)	Matematiksel Programlama	Talep, çoklu rota, operasyon sırası, makine kapasitesi ve çoklu proses planı parametrelerini dikkate alan bir model geliştirmişlerdir.
27	Defersha ve Chen (2006)	Matematiksel Programlama	Parçaların aletlerle şekillendirilmesi durumu göz önüne alınmıştır.
28	Fantahun ve diğ. (2006)	Matematiksel Programlama	Rotalama esnekliği, operasyon sırası, makine dublikasyonu ve kapasitesi, hücre yükü dengeleme, araç gereksinimi, hazırlık ve taşeronluk maliyeti bilgilerini dikkate alan bir model geliştirmişlerdir.
29	Geonwook ve Herman (2006)	Matematiksel Programlama	İlk fazda parça aileleri oluşturulurken; ikinci fazda makine grupları ile ilgilenen bir model geliştirmişlerdir.
30	Tariq ve diğ. (2006)	Matematiksel Programlama	Hücreler arası taşımaların toplam sayısını ve makinelerin kullanımını minimize etmeyi sağlayan bir model geliştirmişlerdir.

Çizelge 5.1. (devamı) Matematiksel model temelli yaklaşımlar

No	Referans	Teknik	Açıklama
31	Mahdavi ve diğ. (2007)	Matematiksel Programlama	Amaç, istisnai elemanların ve hücrelerdeki boşlukların sayısını en azlayacak, yüksek performanslı hücre kullanımını sağlayan bir model geliştirmişlerdir.
32	Alipour ve Shamsi (2008)	Matematiksel Programlama	Hücre içi ve hücreler arası maliyetleri minimize etmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir.
33	Kılıç (2008)	Karışık Tam Sayılı Programlama	İşlem zamanlarının, satın alınan makina sayısının ve bakımlarının, hazırlık zamanlarının, fason üretim maliyetinin, hücreler arası taşımanın ve işe alınan makine operatörlerinin maliyet minimizasyonunu hedefleyen çok amaçlı model geliştirmişlerdir.
34	Eğilmez ve diğ. (2012)	Matematiksel Programlama	Kabul edilebilir risk alanında stokastik hücre tasarımı için; eş zamanlı gruplama sağlayan model geliştirmişlerdir.
35	Chang ve diğ. (2013)	Matematiksel Programlama	Alternatif süreç rotalarını, operasyon sırasını ve üretim hacmini baz alarak; hücre tasarımı, hücre yerleşimi ve hücreler arası makine sırasını kombine edebilecek bir model geliştirmişlerdir.
36	Mahdavi ve diğ. (2013)	Bütünleşik Matematiksel Programlama	Hücre tasarımı ve hücre yerleşimini eş zamanlı sağlayan bütünleşik bir model geliştirmişlerdir. Amaç, benzer parçaları ve farklı makineleri aynı hücrede gruplamaktır.
37	Bagheri ve Bashiri (2014)	Matematiksel Programlama	Hücre içi yerleşimi ve operatör atamasını eş zamanlı sağlayan bir model geliştirmişlerdir. Amaç, hücre içi ve hücreler arası taşımayı, makine yer değişim maliyetini ve operatörlerle ilgili maliyetleri minimize etmektir. Bu amaçla rassal olarak üretilen test örnekleri ile modeli çözümlenmiş ve operatör atamanın sistem verimliliği üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir.
38	Mohammadi ve Forghani (2014)	Matematiksel Programlama	Alternatif proses rotaları, operasyon sırası, İşlem zamanı, parça talebi ve makine kısıtı gibi üretim faktörlerini dikkate alan, ve iç-dış hücre yerleşimi ile hücresel üretim sistem tasarımına yönelik, özgün bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca taşeron yaklaşımını da modele ekleyerek bütünleşik yeni bir bakış sağlamışlardır.
39	Shiyas ve Pillai (2014)	Matematiksel Programlama	Heterojen hücreler ve hücre içi taşımaları dikkate alan, çoklu kurulum sağlayan yeni bir model geliştirmişlerdir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde matematiksel programlama yöntemlerinin büyük çoğunluğunun hücre oluşturmada büyük önem taşıyan; üretim sistemi üzerindeki toplam malzeme taşıma, işleme, bekleme ve stoklama hareketleri ile operasyon sırası ve sayısı, iş yükü maliyeti gibi unsurları azaltmaya yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra matematiksel programlama yöntemi olarak da tam sayılı programlama yöntemlerinin çoğunlukla tercih edildiği gözlemlenmiştir.

5.4. Sezgisel Yöntemler İçin Literatür İncelemesi

5.4.1. Tavlama benzetimi

Chen ve Srivastava (1994), parça ailelerini ve makina gruplarını düzenleyen bir TB algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma hücre içindeki makinaların benzerliklerinin maksimize edilmesini amaçlamaktadır.

Adil ve diğ. (1996), parça aileleri ve makina gruplarının eş zamanlı olarak düzenlemesini gerçekleştiren bir TB algoritması geliştirmişlerdir. Bu model, tanımsız parçaların toplamını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Her bir parçanın, sadece bir hücreye ve her hücreye kısıtlı sayıda makina atandığını varsayar. Bu model alternatif rotaları ve makina sayısının arttırılması gibi teknolojik faktörleri de göz önüne alır.

Zolfaghari ve Liang (1998), işlem süreleri ve parti yükünü dikkate alan yeni bir genelleştirilmiş grup etkinliği önermişlerdir. Makine ve parçaları gruplamada Tavlama Benzetimi algoritması önermişlerdir. Çözümlerini desteklemek için yapay sinir ağı yaklaşımı kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalarda önerilen TB yaklaşımının literatürdeki diğer örneklere göre, optimuma yakın, en az makine çiftleşmesini sağlayan ve en iyi iş yükü dengesini kuran bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

Abduelmola (1999), parça ve makineleri gruplamada; toplam verimlilik ve etkinliği temel alan bir matematiksel programlama modeli geliştirmiştir. Ancak bu model büyük boyutlu problemlerde yetersiz kaldığı için, aynı modeli temel alan bir TB yaklaşımı önermiştir. Çalışmada, TB algoritmasının matematiksel modele üstün gelen yönleri vurgulanmıştır.

Caux ve diğ. (2000), alternatif süreç planları ve makinelerin kapasite kısıtlarını dikkate alan kombine bir algoritma geliştirmişlerdir. Belirlenen rotalar, makine kısıtları ve parça

üretim miktarı ile makineleri hücrelerde gruplamış ve her bir parça için üretim planı belirlemişlerdir. Kombine algoritmada ise; hücre tasarımı için TB algoritmasını, rota seçimi için Branch and Bound metodunu kullanmışlardır.

Xambre ve Vilarinho (2003), hücresele üretim sistemlerindeki en önemli adımlardan birinin hücre tasarımı olduğunu ve tasarıma getirilecek yeni bir adımın ise; üretim hücrelerinde çift hatta birden çok özdeş makinenin bulunması olduğunu belirtmişlerdir. Buna bağı olarak hücre içi taşıma maliyetini minimize etmeyi amaçlayan ve özdeş makine bulduran matematiksel model geliştirmişlerdir. Ancak problemin kombinatoryel yapıda olmasından dolayı, çözüm için TB algoritması geliştirmişlerdir.

Aryanezhad ve diğ. (2005), hücre tasarımının NP-hard bir problem olmasından dolayı klasik metotların çözüm sürelerinin uzun olacağını ve genel olarak yapılan çalışmaların statik şartlar altında olduğunu öne sürerek dinamik koşullar altında hücre tasarımını incelemişlerdir. Bu nedenle doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli önererek; bu modeli genetik algoritma, tavlama benzetimi ve tabu arama algoritması ile çözmüş ve sonuçları optimum sonuçla karşılaştırarak önerilen modellerin etkinliğini araştırmışlardır.

Uğraş (2005), iş gücü ve malzeme taşıma arasındaki ilişkilerden yola çıkarak hücre verimliliğinin en iyi nasıl değerlendirileceğine dair incelemeler yapmıştır. Buna bağı olarak; amaç fonksiyonu toplam hücre verimliliği olan bir model geliştirmiştir. Geliştirilen modelin çözümü için TB algoritması oluşturarak performansını incelemiştir.

Wu, Chang ve diğ. (2008), parça ailelerini buna bağı olarak makine hücrelerini oluşturan ve hücreler arası taşıma maliyetini ve taşınan parça sayısını minimize edecek bir TB yaklaşımı geliştirmişlerdir. Farklı boyutlardaki 25 adet test problemini önerilen yaklaşımın performansını ölçmek için kullanmışlar ve önerilen yaklaşımın gruplama yeterliliğini %72 artırdığını belirtmişlerdir.

Moghaddam ve diğ. (2009), çeşitli sermaye kısıtları ve farklı hücre çeşitleri için; kullanılmayan sermaye, genel ve özel hücreler için boşa kalma süresi ve gecikmeden kaynaklı maliyetleri minimize etmeyi amaçlayan TB algoritması geliştirmişlerdir.

Paydar ve diğ. (2010), parça ailesi ve makine hücre problemini hücre yerleşimi problemiyle eş zamanlı olarak çözmeyi amaçlayan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Buna

bağlı olarak hücresel üretim sistemini, çok girdili tek varışlı çoklu gezgin satıcı problemi olarak tanımlamışlar ve çözümü TB algoritması ile yapmışlardır. Test örnekleri önerilen bu yaklaşımın optimal sonucu bulmada; diğer bilinen yöntemlere göre, etkin ve etkili olduğunu göstermiştir.

Pailla ve diğ. (2010), öncelikle yerel arama algoritmasının yardımıyla standart genetik algoritmanın etkinliğini artıracak evrimsel bir algoritma geliştirmişlerdir. Daha sonra aynı yaklaşımla TB tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. İki algoritmanın da performanslarını test etmek için bilinen hücre düzenleme problem örneklerini kullanmışlardır. Sonuçları literatürdeki diğer beş algoritmanın sonuçları ile kıyaslamışlardır ve evrimsel algoritmanın; 36 örnek içinden; 28 örnekte diğerleri ile aynı iyi çözümü 8 örnekte ise daha iyi çözümler bulunduğunu, TB algoritmasının ise; diğerleri ile hem aynı en iyi çözümleri bulunduğunu hem de birden çok örnekte onlardan daha iyi çözümler bulunduğunu görmüşlerdir.

Dalfard (2013), dinamik hücre tasarımı için yeni bir matematiksel model önermiştir. Amaç fonksiyonu; hücre içi ve hücreler arası hareketlerin ortalama boyutunu minimize etmek üzerine kurulmuştur. Model NP-hard olduğundan çözümü için TB algoritması ve Branch and Cut kullanılmıştır. Ancak TB algoritmasının Branch and Cut'a göre daha üstün olduğu görülmüştür.

5.4.2. Genetik algoritma

Venugopol ve Narendran (1992), makine-parça hücrelerinin düzenlenmesi için Genetik Algoritmaya dayanan bir çözüm prosedürü önermişlerdir. Modelin amacı; hücreler arası taşıma maliyetini ve hücre yükleme değişikliklerini minimize etmektir. Algoritma literatürden seçilen problemlerle test edilmiş ve büyük boyutlu problemlere uygulanabileceği görülmüştür.

Hwang ve Sun (1996), parça makina gruplama probleminin çözümü için bir Genetik Algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma, birbiri ile ilişkili, üretim hacmi, proses zamanı ve hücre büyüklüğü gibi üretim ihtiyaçlarını birleştirmiştir. İlk aşama, makina gruplarını düzenlerken ikinci aşama, parçaların bütünleşik makina gruplarına atanmasına ilişkin çözümü içermektedir. Algoritma var olan diğer algoritmalarla karşılaştırılmış olup; esneklik ve verimlilik açısından daha etkili bulunmuştur.

Joines ve diğ. (1996), hücre düzenleme problemi için Genetik Algoritma yöntemi geliştirmişlerdir. Algoritmada, karar vericiye izin veren hücreler için kısıtlar ortadan kaldırılabılır. Algoritmanın performansı geleneksel gruplama metotları ile karşılaştırılmış ve geliştirilen metodun daha esnek ve etkin olduğu görülmüştür.

Escoto ve diğ. (1998), birinci aşamada parça ailelerinin benzer olmayan özelliklerini minimize etmeyi amaçlamaktadırlar. İkinci aşamada parça ailesi dışında kalan her bir parçanın ihtiyaç duyduğu operasyon sayısının minimize edilmesi sağlanmaktadır. Üçüncü aşama ise her bir makina için yüklemeyi bularak; her bir makinayı, makina grubuna atamaktadır. Algoritma, literatürden seçilen problemler ile test edilmiş ve sonuçlara göre esneklik ve verimlilik açısından etkili bulunmuştur.

Mahdavi ve diğ. (2009), hücre tasarım problemi için yeni bir model önermişlerdir. Modelde doğrusal olmayan terimler ve tamsayı değişkenler bulunduğundan NP-hard sınıfındadır. Bu nedenle çözüm için GA önerilmiştir. Sayısal örnekler algoritmanın optimali yakalamada etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca örnek sonuçları algoritmanın gruplama yeterliliği açısından bilinen hücre düzenleme yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Erişen (2011), hücre düzenleme yöntemi olarak GA kullanmıştır. Önerilen yöntem bir üretim işletmesinde mevcut durum üzerinde uygulanmıştır. Oluşturulan model üzerinde hücre başına işlem sayısının sınırlandırılması ve sınırlandırılmaması durumu incelenerek hücre tasarımı önerilmiştir.

Banejee ve Das (2012), sezgisel algoritmaların hücresel üretim sistemlerine uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir GA geliştirmişlerdir. Algoritma büyük boyutlu problemlerin çözümü için etkindir ve rekabetçi bir performans sergilemektedir.

Shiyas ve Pillai (2014), heterojen hücreler ve hücre içi taşımaları dikkate alan, çoklu kurulum sağlayan yeni bir model geliştirmişlerdir. Modelin çözümü için GA tabanlı bir metodoloji oluşturmuşlardır. Bu model bilinen kısıtlar altında farklı hücre alternatifleri arasından seçim yapmayı sağlamaktadır. Model için; literatürden seçilen 36 örnek problem ile yedi ayrı hücre düzenleme yöntemi karşılaştırılmıştır. Önerilen metodun grup yeterliliği açısından oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

5.4.3. Tabu arama algoritması

Aljaber, Baek ve Chen (1995), matris düzenleme ile ilişkili olarak bir TA algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma, makina-parça matrisinde hücreler arası toplam taşıma miktarını minimize etme amacı ile makina-parça kümelerini belirlemektedir.

Tavakkoli-Moghaddam ve diğ. (2005), alternatif proses planları ve makina esnekliğini baz alan ve lineer olmayan tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model üzerinde, geliştirdikleri TA algoritmasını uygulamışlardır. Literatürden seçilen on problem ile denemeler yapılmıştır. Matematiksel modelin optimal çözümü ve tabu arama algoritması ile bulunan çözüm karşılaştırılmış; gerek hesaplama süresi gerekse büyük boyutlu problemlerin çözümünde etkili sonuçlar alınmıştır.

Chang, Wu ve Chung (2011), alternatif proses rotaları ve makine güvenilirliği kriterlerini baz alarak; benzerlik katsayısı temelli TA algoritması geliştirmişlerdir. İyi başlangıç çözümleri oluşturmuş, daha sonra bunları geliştirmek için; mutasyon operatörü ve efektif komşu arama çözüm mekanizmasını TA ile birleştirmişlerdir. Deneysel test problemleri önerilen yaklaşımın fazlasıyla etkili ve verimli olduğunu göstermiştir.

Chang ve diğ. (2013), hücre tasarımı, hücre yerleşimi ve hücreler arası makine sırasını düzenleyen, alternatif süreç rotalarını, operasyon sırasını ve üretim hacmini dikkate alan; iki aşamalı bir matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemin kombinatoryel olması nedeniyle çözüm için TA algoritması uygulanmıştır. Deneysel test sonuçları hem önerilen modelin hem de TA algoritmasının etkili ve yeterli olduğunu göstermiştir.

5.4.4. Diğer sezgisel yöntemler

Burke ve Kamal (1995), parça-makine düzenleme problemi için bulanık rezonans teoremini Yapay Sinir Ağlarına uygulamışlardır. Bu çalışmanın farkı; bulanık kümeleme teorisine benzer ölçütler içerdiğinden çözüm adına daha etkili olmasıdır. Önerilen yaklaşım test problemleri üzerinde denenmiş ve farklı çözüm alternatifleriyle güzel sonuçlar vermiştir.

Chu (1997), hücre düzenleme problemi için bir karar destek aracı olarak denetimsiz Yapay

Sinir Ağı modeli önermiştir. Önerilen modelin kullanımı kolay ve eş zamanlı gruplama sağlamaktadır. Deneysel sonuçlar, modelin güçlü ve verimli olduğunu, ayrıca sürekli olarak iyi kümeleme sonuçları verdiğini göstermiştir.

Guerrero ve diğ. (2002), önce parça ailelerini buna bağlı olarak makine hücrelerini oluşturan iki aşamalı bir yöntem geliştirmişlerdir. İlk aşamada, parçaları Yapay Sinir Ağı kullanılarak kümelemişler, ikinci aşamada ise doğrusal şebeke akışı kullanarak makineleri bu parça ailelerine atamışlardır.

Pandian ve Mahapatra (2009), işlem sırası, parti büyüklüğü ve işlem zamanı gibi faktörleri dikkate alan Adaptif Rezonans Teorisini (ART) temel alan bir model geliştirmişlerdir. Faktörler tek tek modele eklenerek çalıştırılmıştır. Daha sonra modelin son hali literatürdeki test örnekleri ile denenmiş ve birçok durumda var olan metotlardan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Özkan (2010), güçlü ve adaptif yapısından dolayı hücre düzenleme yöntemi olarak Yapay Sinir Ağlarını kullanmıştır. Literatürden alınan 15 binary ve 6 nonbinary problem seti üzerinde modeli uygulamış ve sonuçları incelemiştir.

Li ve diğ. (2010), parça-makine gruplarının hücreler atanmasında Karınca Koloni Algoritmasını (ACO) kullanmışlardır. Parça ve makineleri atamada yerel arama algoritmasından da yararlanmışlardır. Deneysel çalışmalarla algoritmanın performansını değerlendirmiş ve ACO'nun en iyi yaklaşımlardan biri olduğuna karar vermişlerdir.

Moghaddam ve diğ. (2011), mevcut sistemleri tek seferde ya da adım adım hücresel üretim sistemlerine geçirmeyi amaçlayan, dinamik sistemler için uygun doğrusal olmayan bir programlama modeli hazırlamışlardır. Önerilen modelin çözümü için, GA ve Yapay Sinir Ağlarını temel alan hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Deneysel analizler, önerilen algoritmanın standart GA ve TB'den daha verimli olduğunu göstermiştir.

Moghaddam ve diğ. (2013), bir önceki çalışmalarını genişleterek çok amaçlı bir yaklaşım getirmişlerdir. Aynı şekilde önerdikleri modelin çözümü için GA ve Yapay Sinir Ağlarını temel alan hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın GA'dan daha verimli olduğunu göstermiştir.

6. OFİS MOBİLYALARI ÜRETEN BİR FİRMADA HÜCRE DÜZENLEME PROBLEMİNİN UYGULANMASI

Çalışmada ofis mobilyaları üreten bir firmada hücre düzenleme problemi ele alınmıştır. Hücre düzenleme yöntemlerinden Matematiksel Programlama ve Sezgisel Algoritmalar kullanılarak hücreler oluşturulmuş ve çeşitli etkinlik ölçütleri yardımıyla yeni sistem ve mevcut sistem karşılaştırılması yapılarak hücresel üretim sisteminin firmaya uygunluğu tartışılmıştır.

6.1. Firma Hakkında Bilgiler

Ersa, 1958 yılında Ankara’da üretime adımı atmış; yaklaşık 60 bin m²’lik alanda faaliyet gösteren ve 3 adet modern fabrikası bulunan bir firmadır. Çevreyle dost hammaddeler kullanarak ergonomik ve geri dönüşümü mümkün mobilyalar üretmektedir.

Banka, otel, hastane ve yurtlar için özel mobilya üretimi ve dekorasyon çalışmaları yapabilen firmada, projeli işler kapsamında banyo ve mutfak mobilyaları da yapılmaktadır. Bu bağlamda yıllık 1.500.000.000 m² panel işleme, 500.000 m² post-forming laminat panel, 80.00 adet masa, 160.000 adet dolap, 20.000 adet compact arşiv dolabı, 5000 adet karteks, 8000 adet keson, 20.000 adet karyola, 5000 adet sehpa ve 260.00 kg bölme paneller toplamda 72.000 parça mobilya üretimi mevcuttur.

Ersa, toplamda 149 kişi ile üretim sağlamaktadır. Bu çalışanların mesleklerine göre dağılımı Çizelge 6.1’de verilmiştir. Firmada ürün çeşidi olarak, 6 farklı yönetici odası, 4 farklı ofis sistemi, 9 farklı koltuk çeşidi, 7 farklı çalışma koltuğu, 4 farklı konferans salonu koltuğu ve tek çeşit metal dolap üretimi yapılmaktadır.

Çizelge 6.1. Firmada ahşap bölümü çalışanlarının sayısı

ERSA Ahşap Bölümü Çalışan Sayısı	
İdari Personel Sayısı:	27
Mühendis:	6
Teknisyen:	3
Eleman:	113
Toplam Personel Sayısı:	149 kişi

- Tek vardiya halinde çalışılmakta olup çalışma saatleri 08.30 – 17.30 arasındadır. 12.30 – 13.30 arası bir yemek molası ve 10.00 – 10.15 saatleri ile 15.30 – 15.45 arasında birer adet çay molası vardır.
- Net çalışma süresi 8,5 saattir (510 dk).
- Firmada bir işçi günlük yaklaşık olarak 460 dk çalışmaktadır.
- İş gücü kullanım oranı $460/510=90\%$ 'dir.

Firma üretimde kaliteye çok önem verdiği için gerekli tüm kalite standartları mevcuttur: ISO 9001: 2008 kalite, ISO 14001:2004 çevre ve OHSAS 18001:2007 iş sağlığı ve güvenliği kalite belgelerine sahiptir.

6.2. Firmanın Mevcut Sistemi Ve Hücreli Üretim Sistemi Uygulanmasının Nedenleri

Uygulama yapılan firmanın mevcut üretim sistemi yapısı ve karşılaşılan problemler şu şekilde sıralanabilir:

- Firmada ürünlerin üretimi için kesikli üretim uygulanmaktadır.
- Bu doğrultuda geniş bir ürün gamı, çok amaçlı ve çeşitli makineler bulunmaktadır. Ürün çeşitlerinin farklı olmasının yanı sıra üretim adetleri de oldukça düşüktür.
- Her bir ürün çeşidine ait bağlama aparatı, kesici takım, teknik bilgi paketi, makine ayarı vb. birbirinden kısmen veya tamamen farklıdır.
- Makine ve ekipman yerleşim düzeni, fonksiyonel yerleşim düzenine sahip olduğundan, işlem gören malzemelerin atölye içinde kat ettikleri mesafeler oldukça fazladır.
- Bunun yanı sıra ürün çeşidi fazla olduğundan her bir ürün için makine ayarı, takım ve aparat değişimi yapılmak zorundadır. Bu durum ürünün standart zamanının artmasına neden olmaktadır.

Yukarıda belirtilen mevcut üretim sistemi, firmanın genel yapısı ve istekleri incelendiğinde klasik üretim sisteminin kullanımından kaynaklanan bozuklukların olduğu görülmektedir. Örneğin; ürün üretiminde kullanılan panellerin boyutları çok büyük olduğu için taşımada zorluk yaşanmakta ve malzeme boyutundan dolayı taşıma zamanları artmaktadır. Bu durum tüm üretim sistemini etkisi altına alarak ürünün standart zamanının artmasına, bekleme, bekleme kaynaklı müşteri memnuniyetsizliğine ve verimsizliğe neden olmaktadır.

Tüm durumlar göz önüne alındığında; klasik üretim sisteminden kaynaklanan bu

bozuklukların giderilerek, daha esnek, değişken durumlara daha hızlı yanıt verebilen ve sistem verimliliğini artırmaya yönelik yeni bir yapılanmaya ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu yeni yapının da hücreyel üretim sistemi olması halinde istenilen hedeflere ulaşabileceğine karar verilmiştir.

6.3. Hücre Düzenleme Yöntemi Olarak Matematiksel Programlamanın

Tercih Edilmesinin Sebepleri

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; hücre düzenleme yöntemleri ile yapılmış birçok çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan yöntemler incelendiğinde; hemen hemen birçoğunda; temellerinde maliyet minimizasyonu ve ürün kalitesinin artırımına yönelik tek bir model ya da yöntem kullanıldığı gözlemlenmiştir. Matris ve benzerlik katsayısı temelli yöntemlerin, büyük ve orta ölçekli problemlere yeterli çözümü sağlayamaması, optimal sonuçları çoğunlukla vermemesi, eş zamanlı gruplamada yetersiz kalmaları ve çözüm sürelerinin çok uzun olması, günümüzde matematiksel programlama ve sezgisel yöntemlerin daha sıklıkla kullanılmasına neden olmuştur.

Matematiksel Programlama yöntemlerinin kullanıcılara birçok açıdan kolaylık sağlaması tercih edilme oranlarını da artırmıştır. Ancak matematiksel programlama yöntemlerinin bazı durumlarda sistem kısıtlarından ve problem büyüklüğünden dolayı optimal çözümü verememesi durumunda ise; optimale yakın çözümler veren sezgisel yöntemler kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar.

Yapılan çalışmada, hücre düzenleme probleminin çözümünde öncelikli olarak matematiksel programlama yöntemi ve sonrasında firmanın yeni yapılanmaya gitmesi ve problem boyutunun büyümesi sonucunda, çözümde, ihtiyaç duyulan bir sezgisel teknik olan tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır.

6.4. Hücre Düzenleme Probleminde Uygulanacak Matematiksel Modelin Seçimi

Yapılan çalışmada amaç, hücre verimliliğini artırarak genel sistem yapısını optimize etmektir. Bu amaçla verimlilik ve optimizasyon ilişkisi incelenmiş, malzeme taşıma, bakım ve işçilik maliyetleri minimize edilerek verimlilik artışı sağlanmaya çalışılmıştır.

Verimlilik ve optimizasyon ilişkisi incelendiğinde; yapılan çalışmalarda verimliliğe farklı

tanımlamalar yapılarak; bu tanımlamalar üzerinden hareket edildiği görülmüştür. Örneğin; Kendrick ve Creamer (1969), verimliliği çıktının girdiye oranı olarak tanımlamıştır. Ayrıca üç farklı tanımla toplam verimlilik, toplam faktör verimliliği ve kısmi verimlilik olmak üzere verimlilik ölçümünü çeşitlendirmişlerdir. Toplam verimlilik indeksi, tüm çıktıların girdilere oranı olarak tanımlanmıştır. Toplam faktör verimliliği, net çıktıların işçilik ve sermaye olmak üzere toplam faktör girdilerine oranı olarak açıklanmıştır. Kısmi verimlilik ise çıktıların tek bir girdiye oranı olarak verilmiştir. Daha sonra Kendrick (1973), kısmi verimliliğin malzeme, işçilik, sermaye gibi diğer önemli maliyet unsurlarını kapsamadığını ve dolayısıyla gerçekçi olmadığını belirterek toplam verimlilik ve toplam faktör verimlilik ölçütlerinin kullanımına göre faydalarını karşılaştırmıştır ve toplam verimlilik ile toplam faktör verimliliğinin üretim sisteminin özelliklerini daha gerçekçi sonuçlarla yansıttığını göstermiştir.

Toplam faktör verimliliğinin üretim sistemi özelliklerini net ve gerçekçi sonuçlarla ortaya koyması nedeniyle; mevcut sistem için oluşturulacak matematiksel modelde toplam faktör verimliliği kullanılmıştır.

Mevcut sistem için oluşturulacak matematiksel modelde bulunması gereken özellikler şunlardır:

- Eş zamanlı gruplama sağlaması,
- Optimum sonuç vermesi,
- Rotalama özelliği olması,
- Hücre içi ve hücre dışı maliyetlerini dikkate alması,
- İşçilik ve bakım maliyetlerini dikkate alması,
- Sistem verimliliği üzerinden hareket edebilmesi,
- Ürün talepleri ve satışları dikkate alması.

Yukarıda belirtilen tüm durumlar ve özellikler doğrultusunda, temel model olarak Abduelmola (2001)'nin hücre düzenleme için oluşturduğu verimlilik tabanlı, 0-1 tam sayılı matematiksel modeli seçilmiştir.

Abduelmola'nın (2001) verimlilik tabanlı matematiksel modeli aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Abduekmola'nın (2001) verimlilik tabanlı 0-1 tam sayılı matematiksel modelinin notasyonları

<i>Notasyon</i>	<i>Açıklama</i>
i	Parça Numarası
j	Makine Numarası
k	Hücre Numarası
D _i	i.Parçanın Talebi
S _i	i.Parçanın Satış Fiyatı
NM _i	i.Parçanın İhtiyaç Duyduğu Makine Sayısı
IMC	Hücre İçi Taşıma Maliyeti
EMC	Hücreler Arası Taşıma Maliyeti
b _{ij}	1; eğer i.Parça j.Makineye İhtiyaç Duyuyorsa 0; eğer i.Parça j.Makineye İhtiyaç Duymuyorsa
M _{max}	Her Bir Hücredeki Maksimum Makine Sayısı

Çizelge 6.3. Abduekmola'nın (2001) verimlilik tabanlı matematiksel modelinin karar değişkenleri

<i>Değişkenler</i>	<i>Açıklama</i>
X _{jk}	1; eğer j.Makine k.Hücrede ise 0; eğer j.Makine k.Hücrede değil ise
Y _{ik}	1; eğer i.Parça k.Hücreye ait ise 0; eğer i.Parça k.Hücreye ait değil ise

$$Z_{\max} = \frac{\sum_i \sum_k D_i S_i Y_{ik}}{\sum_i \sum_j \sum_k (1 - X_{jk}) b_{ij} EMC D_i Y_{ik} + \sum_i \sum_k NM_i IMC D_i Y_{ik}} \quad (6.1)$$

subject to;

$$\sum_j X_{jk} \leq M_{\max} \quad (6.2)$$

$$\sum_k X_{jk} = 1 \quad (6.3)$$

$$\sum_k Y_{ik} = 1 \quad (6.4)$$

$$X_{jk} = 0 \text{ ya da } 1 \quad (6.5)$$

$$Y_{ik} = 0 \text{ ya da } 1 \quad (6.6)$$

Abduekmola'nın (2001) modelinde; Eşitlik 6.1'de verilen amaç fonksiyonu verimlilik baz alınarak hesaplanmıştır. Verimlilik ise çıktılarının girdilere oranı şeklindedir. Çıktılar sistemdeki toplam satışları; girdilerde yer alan ilk ifade; hücreler arası maliyeti, ikinci ifade hücre içi taşıma maliyetini göstermektedir.

Eşitlik 6.2’de; her bir hücredeki makine sayısının aşılamayacağı kısıtını göstermektedir.

Eşitlik 6.3 ve Eşitlik 6.4 her bir parça ve makinenin yalnızca bir hücreye atanması kısıtıdır.

Eşitlik 6.5 ve Eşitlik 6.6 karar değişkenlerinin 0 ya da 1 olması kısıtıdır.

Abduelmola’nın (2001) hücre düzenleme için oluşturduğu 0-1 tam sayılı matematiksel modelde; sistem girdisi olarak sadece hücre içi ve hücreler arası taşıma maliyeti alınmıştır. Üretim sistemlerinin genel yapısı incelendiğinde; sadece taşıma maliyetinin girdi olarak ele alınması toplam sistem verimliliği bakımından yetersiz kalmıştır. Çünkü işçilik, sermaye ve bakım maliyetleri gibi unsurların üretim sisteminin toplam verimliliği üzerinde önemli ölçüde etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle yapısal çalışmada, mevcut üretim sistemine uyumlu kısıtlar ve maliyet kalemleri eklenerek yeni bir model oluşturulmuştur. Yeni modelde; amaç fonksiyonuna, hücre içi ve hücreler arası taşıma maliyetlerinin yanında; bakım ve işçilik maliyetleri de eklenmiş, böylece model çözümü daha gerçekçi bir hale getirilmiştir.

6.5. Problemin Tasarımı

Üzerinde çalışılan sistemde birden fazla makine mevcut olup; her bir parça birden fazla operasyona tabidir. Parça-Makine matrisi ile parçaların hangi makinada işlem gördüğü ve işlem süreleri bellidir. Amaç; parça ve makinaları, belirlenen makine ve işçilik kısıtlarını baz alarak, tanımlanan sistem verimliliğini maksimize edecek şekilde eş zamanlı olarak hücrelere atamaktır.

6.5.1. Modelde kullanılan varsayımlar

Modeldeki varsayımlar şunlardır:

- Talebi karşılayacak çeşit ve sayıda makine kapasitesi mevcuttur.
- Sistemde ürünün satış maliyeti, talebi, işçilik maliyeti, hücre içi ve hücreler arası taşıma maliyeti, bakım maliyeti ile işçilik ve makine kapasiteleri planlama periyodunun başında bilinmektedir.

6.5.2. Model notasyonları

Önerilen matematiksel modelde kullanılacak notasyonlar Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Model notasyonları

<i>Notasyon</i>	<i>Açıklama</i>
i	Parça Numarası
j	Makine Numarası
k	Hücre Numarası
D_i	i .Parçanın Talebi
S_i	i .Parçanın Satış Fiyatı
NM_i	i .Parçanın İhtiyaç Duyduğu Makine Sayısı
IMC	Hücre İçi Taşıma Maliyeti
EMC	Hücreler Arası Taşıma Maliyeti
b_{ij}	1; eğer i .Parça j .Makineye İhtiyaç Duyuyorsa 0; eğer i .Parça j .Makineye İhtiyaç Duymuyorsa
M_{max}	Her Bir Hücredeki Maksimum Makine Sayısı
L_{ij}	j .Makinede İşlem Gören i .Parçanın İşlem Süresi
CO_{ij}	j . makinede işlem gören i . parçanın işçilik maliyeti
L_{max}	Her Bir Hücredeki Maksimum İşçilik Süresi
N_j	Hücrelerdeki Müsait j Tipindeki Makine Sayısı
M_{min}	Hücrelerdeki Minimum Makine Sayısı
M_j	Hücrelerde Bulunan Her Bir Makinenin Bakım Maliyeti

6.5.3. Modelin karar değişkenleri

Model değişkenleri; X_{jk} hücelere atanacak makineleri, Y_{ik} ise hücelere atanacak parçaları göstermek üzere Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Model değişkenleri

<i>Değişkenler</i>	<i>Açıklama</i>
X_{jk}	1; eğer j .Makine k .Hücrede ise 0; eğer j .Makine k .Hücrede değil ise
Y_{ik}	1; eğer i .Parça k .Hücreye ait ise 0; eğer i .Parça k .Hücreye ait değil ise

6.5.4. Matematiksel model

Çözümü araştırılan hücrel düzenleme probleminin matematiksel formülasyonu şu şekildedir.

$$Z_{\max} = \frac{\sum_i \sum_k D_i S_i Y_{ik}}{\sum_i \sum_k N_i M_i C_i Y_{ik} + \sum_i \sum_j \sum_k (1 - X_{jk}) b_{ij} E_i M_i C_i Y_{ik} + \sum_i \sum_j \sum_k D_i C_{ij} b_{ij} X_{jk} + \sum_j \sum_k N_j M_j X_{jk}} \quad [6.7]$$

kısıtlar;

$$\sum_j X_{jk} \leq M_{\max} \quad [6.8]$$

$$\sum_k X_{jk} = 1 \quad [6.9]$$

$$\sum_k Y_{ik} = 1 \quad [6.10]$$

$$\sum_k D_i L_{ij} b_{ij} X_{jk} \leq L_{\max} \quad [6.11]$$

$$\sum_j X_{jk} \geq M_{\min} \quad [6.12]$$

$$\sum_k X_{jk} \leq N_j \quad [6.13]$$

$$X_{jk} = 0 \text{ veya } 1 \quad [6.14]$$

$$Y_{ik} = 0 \text{ veya } 1 \quad [6.15]$$

Oluşturulan yeni modelde kullanılan amaç fonksiyonu Eşitlik 6.7'de verilmiştir ve verimlilik baz alınarak hesaplanmıştır. Amaç fonksiyonunda çıktı; toplam satışları ifade etmektedir. Girdilerdeki ilk ifade hücre içi taşıma maliyetini, ikinci ifade hücreler arası taşıma maliyetini, üçüncü ifade toplam işçilik maliyetini, dördüncü ifade ise toplam bakım maliyetini (Defersha ve Chen, 2006; Moghaddam ve Safaei, 2009; Bektaş ve diğ., 2009; Mahdavi ve diğ., 2010; Rafiee ve diğ., 2011; Kia ve diğ., 2012; Mehrabad ve diğ., 2013) ifade etmektedir.

Eşitlik 6.8 her bir hücredeki makine sayısının maksimum makine sayısını aşmayacağını göstermektedir.

Eşitlik 6.9'da her makinenin yalnızca bir hücreye atanması kısıtı gösterilmiştir.

Eşitlik 6.10 her parçanın yalnızca bir hücreye atanması durumunu ifade etmektedir.

Eşitlik 6.11 hücrelerdeki maksimum işçilik süresinin aşılamayacağı kısıttır.

Eşitlik 6.12 hücrelerde bulunan makine sayısının; parçaların üretimi için gerekli minimum makine sayısına eşit ya da fazla olmasını sağlayan kısıttır.

Eşitlik 6.13 her bir hücredeki makine sayısının müsait j tipindeki makine sayısına eşit ya da küçük olması kısıttır.

Eşitlik 6.14 ve 6.15 ise karar değişkenlerinin 0 ya da 1 olması kısıttır.

6.5.5. Probleme ilişkin veriler

Uygulama yapılan firmada hücre düzenleme yönteminin uygulanması için 62 parça ve 15 adet makineden oluşan bir set seçilmiştir. Seçilen parça ve makineler için öncelikle parça-makine matrisi oluşturularak; parçaların hangi makinelerde işlem gördüğü belirlenmiştir. Bunun yanı sıra seçilen parçaların aylık talepleri, satış fiyatları ve ihtiyaç duydukları makine sayıları belirlenmiştir. Daha sonra parçaların makinelerde ne kadar zaman işlem gördüğü ve işçilik maliyetleri hesaplanarak tablolara aktarılmıştır. Son olarak da makinelerin aylık bakım maliyetleri hesaplanarak çözüm için gerekli veriler toplanmıştır.

Parçaların makinelerdeki işlem süreleri işletmede yapılan iş etüdü çalışmalarından, işçilik maliyeti ortalama 0,1 tl olarak; günlük ortalama çalışma saati ve ücret karşılığı baz alınarak hesaplanmış, bakım maliyeti ise işletmenin kontrollü bakım politikası nedeniyle her bir makine için yıllık ve aylık olarak tuttuğu hesaplardan alınmıştır. Parça-Makine matrisi Ek-1'de, parçaların makinelerdeki işlem süreleri Ek-2'de, işçilik maliyeti Ek-3'de, makinelerin bakım maliyeti Ek-4'de ve talep-satış fiyatı-makine ihtiyaç durumları Ek-5'de verilmiştir. Matematiksel modelin çözümünde kullanılacak diğer veriler ve sabitler Çizelge 6.'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Matematiksel modelin çözümünde kullanılacak veriler ve bazı sabit değerler

<i>Notasyonlar</i>	<i>Aldığı Değerler</i>
i	P1, P2, P3, ... , P62
j	M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15
k	H1, H2, H3
IMC	18.8
EMC	8
N_j	M1:3, M2:2, M3:2, M4:2, M5:2, M6:2, M7:2, M8:2, M9:2, M10:2, M11:1, M12:2, M13:1, M14:2, M15:2
M_{\max}	6

6.6. Problemin Çözümü

Oluşturulan 0-1 tam sayılı matematiksel programlama modelinin çözümü, GAMS 23.5.1 paket programı yardımıyla, Dell INSPIRON N4050 Intel Core 2.1 GHz özellikte bilgisayar kullanılarak yapılmıştır. Problemin çözümüne ait GAMS 23.5.1 paket program çıktıları Ek-6'da verilmiştir.

Parça ve makine ailelerinin eş zamanlı gruplanmasını sağlayan modelde, hücre içi, hücreler arası, işçilik ve bakım maliyetleri minimize edilmeye çalışılarak parça-makine grupları oluşturulmuştur. Böylece tüm sistem verimliliğinin maksimize edilmesi sağlanmış olup makine ve işçilik kısıtları da aşılmamıştır.

Verimlilik değeri $Z_{\max}=3,8885$ olarak 23.20 saniyede bulunmuştur. Hücelere atanan makineler; Makine-Hücre ataması olarak Çizelge 6.7'de, aynı şekilde hücelere atanan parçalar; Parça-Hücre ataması olarak Çizelge 6.8'de ve aynı hücelere atanan parça-makineler; Parça-Makine ataması olarak Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.7. Makine-Hücre ataması

Makine/Hücre	H1	H2	H3
M1		*	
M2			*
M3		*	
M4	*		
M5			*
M6		*	
M7	*		
M8			*
M9			*
M10		*	
M11	*		
M12		*	
M13	*		
M14		*	
M15	*		

Çizelge 6.8. Parça-Hücre ataması

Parça/Hüc	H1	H2	H3
P1		*	
P2	*		
P3			*
P4			*
P5		*	
P6	*		
P7			*
P8			*
P9		*	
P10	*		
P11			*
P12			*
P13		*	
P14	*		
P15			*
P16			*
P17		*	
P18	*		
P19			*
P20			*
P21		*	
P22		*	
P23	*		
P24			*
P25			*
P26		*	
P27		*	
P28	*		
P29			*
P30			*
P31		*	
P32		*	
P33	*		
P34			*
P35			*
P36		*	
P37	*		
P38			*
P39			*
P40		*	
P41	*		
P42			*
P43			*
P44		*	
P45	*		
P46			*
P47			*
P48		*	
P49		*	
P50	*		
P51			*
P52			*
P53		*	
P54		*	
P55	*		
P56			*
P57			*
P58		*	
P59		*	
P60	*		
P61			*
P62			*

Çizelge 6.9. Parça-Makine ataması

Parça/Makine	M4	M7	M11	M13	M15	M1	M3	M6	M10	M12	M14	M2	M5	M8	M9
P2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P10	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P14	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P18	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P23	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P28	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P33	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P37	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P41	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P45	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P50	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P55	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P60	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P22	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P26	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P27	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P31	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P32	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P36	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P40	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P44	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P48	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P49	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P53	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P54	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P58	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P59	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
P62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

6.7. Hücrelerin Grup Etkinlik Ölçümleri

Hücre tasarımının en önemli aşamalarından birisi de oluşturulan yeni sistemle mevcut sistem arasındaki farklılıkların ölçülmesidir. Hücresel üretim yaklaşımı ile birlikte parçama-kine gruplama bütünlüğü sağlanmış olacaktır. Ancak bu grublamanın ne derece etkin olduğu da önemli bir durumdur. Bu nedenle önerilen matematiksel model sonucu oluşan hücrelerin grup etkinliklerinin ölçülmesi başka bir deyişle derecelendirilmesi ve mevcut sisteme göre verimlilik bazında ne gibi katkılar sağladığının gösterilmesi gerekmektedir.

Hücrelerin grup etkinliklerinin ölçümü için literatürde kullanılan gruplama ölçütleri seçilmiş (Murugan ve Selladurai, 2011) ve hücreler üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Bu doğrultuda verimlilik ölçümü için literatürde aşağıda verilen yöntemler kullanılmaktadır.

- İstisnai elemanların yüzdesi
- Makine kullanımı
- Grup etkinliği
- Grup yeterliliği
- Düzeltilmiş gruplama yeterliliği
- Ağırlıklı gruplama tekniği

6.7.1. İstisnai elemanların yüzdesi

İstisnai eleman, blok diyagonallerinin dışında kalan “1” elemanlarının sayısıdır. İstisnai eleman yüzdesi ise; istisnai elemanların sayısının, “1” sayısını içeren tüm elemanların toplam sayısına bölümüne eşittir (King, 1980).

$$PE = (\text{İstisnai Elemanların Sayısı} / \text{Toplam İşlem Sayısı}) * 100$$

6.7.2. Makine kullanımı

Hücrelerdeki makinelerin üretim boyunca kullanım yüzdelerini belirlemektedir (Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986).

$$MK = 100 * \frac{N}{\sum m_k p_k}$$

N: parça-makine matrisindeki toplam 1'lerin sayısı

m_k : k. hücredeki makine sayısı

p_k : k.hücredeki parça sayısı

6.7.3. Grup etkinliği

İstisnai eleman yüzdesi ve makine kullanımının bir araya getirilmesiyle ortaya çıkmıştır (Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986).

$$GE = n = [qn_1 + (1-q)n_2] * 100$$

n_1 : parça makine matrisindeki diagonal bloklardaki 1'lerin yoğunluğu: $n_1 = N / \sum m_k p_k$.

n_2 : diagonal blokların dışındaki 0'ların yoğunluğudur: $n_2 = 1 - [NE / (MN - \sum m_k p_k)]$.

NE: istisnai eleman sayısı, MN: parça-makine matrisinin büyüklüğü

q: genellikle 0,5 olarak alınmaktadır.

Ancak Kumar ve Chandrasekharan (1990), hücre sayısının 2'den fazla olması durumunda hücre sayısı ve büyüklüğüne bağlı bir formül geliştirmişlerdir: $q = (\sum m_k p_k) / MN$.

6.7.4. Grup yeterliliği

Diyagonal blokların kalitesini değerlendirmek amacıyla Kumar ve Chandrasekharan (1990), tarafından geliştirilmiş bir etkinlik ölçütüdür. Gruplama etkinliğinin düzgün yapılı matrisler ile zayıf yapılı matrisleri ayırt etme konusundaki yetersizliğini telafi etmek amacıyla geliştirilmiştir. Mutlaka pozitif ve 0-1 arasında değerler almalıdır.

$$GY = \phi = \frac{u-e}{u+v}$$

$\phi = \frac{e}{u}$: istisnai eleman sayısının toplam işlem sayısına oranı

$\Phi = \frac{v}{u}$: boşluk eleman sayısının toplam işlem sayısına oranı

u: matris üzerindeki pozitif elemanların sayısı

e: istisnai elemanların sayısı

v: boşluk elemanların sayısı

6.7.5. Ağırlıklandırılmış grup yeterliliği

Sarker ve Khan (2001), tarafından; diyagonal blokların etkinliği ve blok dışında kalan kısımların etkisizliği olmak üzere iki etkinlik kriteri toplamından şu şekilde formül ize edilmiştir;

$$\mu_a = \frac{wt+(1-w)v}{1+v} - \frac{e(1-w)}{1+e}$$

v: boşluk elemanlarının sayısı

e: istisnai elemanların sayısı

t: diyagonal bloklardaki pozitif elemanların sayısı

w: ağırlık katsayısı ($w \geq 0,5$)

Yukarıda belirtilen formüller kullanılarak hücre tasarımı yapılan yeni sistem için grup etkinlik ölçütleri hesaplanmıştır. Böylece yeni durumda hücre yapılanmasıyla sistem verimliliğinin ne olacağı ya da ne kadar artacağı belirlenebilmektedir. Hesaplanan etkinlik ölçütleri Çizelge 6.10'da verilerek mevcut sistemle karşılaştırması yapılmıştır. Mevcut sistemde sadece makine kullanımı ve grup etkinliği değerleri hesaplanabilirken hücre tasarımı ile farklı etkinlik ölçütleri de hesaplanarak tüm sistem durumu hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

Çizelge 6.10. Hesaplanan etkinlik ölçütleri

<i>Kullanılan Etkinlik Ölçütü Yöntemi</i>	<i>Mevcut Sistem</i>	<i>Hücreyel İmalat</i>	<i>Hedeflenen Değer</i>
İstisnai Eleman Yüzdesi	-	%5	% 0,0
Makine Kullanımı	% 45	% 90	% 100
Grup Etkinliği	% 72	% 92	% 100
Grup Yeterliliği	-	% 86	1
Düzeltilmiş Gruplama Yeterliliği	-	% 87,2	1
Ağırlıklı Gruplama Tekniği	-	0,47	0,5
Verimlilik Ölçümü	-	3,8885	>1

Çizelge 6.10'a göre, makine kullanımının % 45'den % 90'lara kadar, grup etkinliğinin de %72'den % 92'lere çıkması sağlanmıştır. Diğer etkinlik ölçütleri içinde hedeflenen değere yakın değerler elde edildiği için önerilen hücre tasarımının firma için uygun olduğuna karar verilmiştir.

6.8. Firmada Hücre Düzenleme Problemi İçin Tavlama Benzetimi Algoritması

Firmanın mevcut durumu için yapılan hücre tasarımında matematiksel programlama yöntemi tercih edilmiştir. Ancak hücre tasarımı sonrasında yapılan görüşmelerde; firma; yeni bir yapılmaya gideceklerini belirterek, ürün çeşitliliği, makine sayısı gibi parametrelerin değişmesi halinde nasıl bir hücre tasarımı yapılabileceği ile ilgili yardıma ihtiyaç duyduklarını belirtmiştir.

Bir önceki hücre tasarımında optimal yapıyı bulması bakımından tercih ettiğimiz matematiksel programlama yöntemleri, parça-makine, operasyon sayı ve sırası, kısıtların artması ve karmaşıklaşması yani problem boyutunun büyümesi durumunda istenilen hedefleri karşılamayacağından; optimal çözüme çok yakın sonuçlar veren metasezgisel algoritmalarla çözüm arama yoluna gidilmiştir.

Mevcut probleme çözüm getirmesi amacıyla tercih edilen metasezgisel teknik ise; optimale yakın sonuç veren, hücre içi kullanımında iyi olan, alt rotalar, makine kısıtları gibi hedefleri karşılamada diğer metasezgisel tekniklere göre daha iyi olan Tavlama Benzetimi tekniğidir. Tavlama benzetimi tekniğinin tercih edilmesinin bir nedeni de çözüm süresinin diğer metasezgisel tekniklere göre çok daha kısa olması ve yerel optimumdan kurtulup genel optimuma ulaşmayı sağlayan bir yapıda olmasıdır. Yöntem sisteme uygulanarak en iyi çözüme olan yakınlığı ve çözüm süresi hesaplanmış ve buna göre ileriki sistem için uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

6.8.1. Tavlama benzetimi

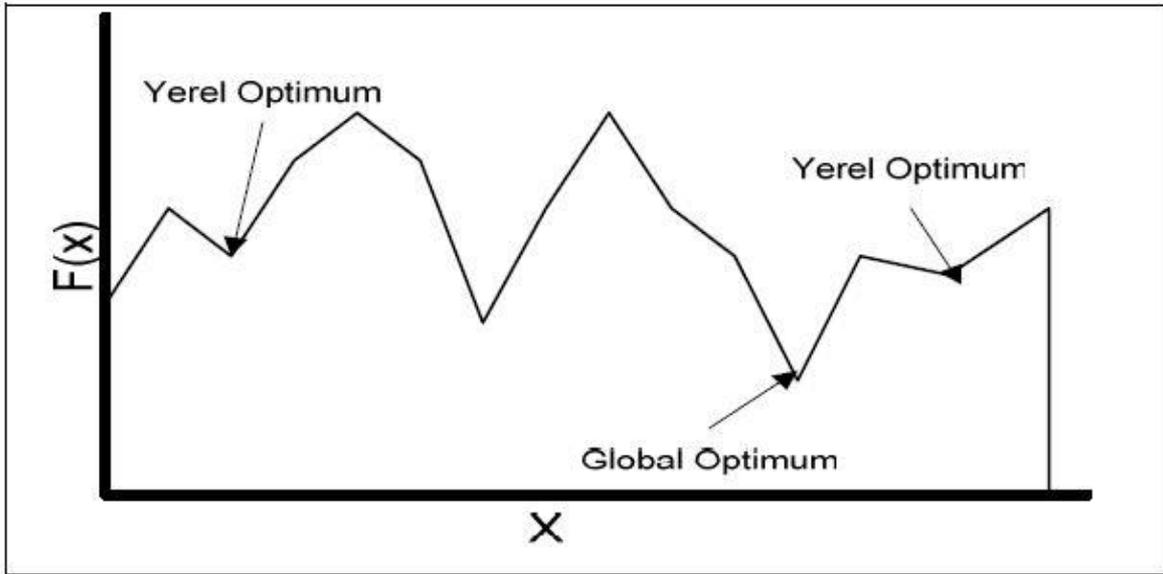
TB, katıların fiziksel tavlama sürecini taklit eden bir stokastik arama yöntemidir. Tavlama, malzemeyi rahatlatmak, yumuşatmak ve içyapıyı daha kullanılabilir hale getirmek için yapılan ısı işlemlerinin geneline verilen addır. Fiziksel tavlama, bir katının düşük enerjili durumlarının elde edilmesi prosesidir. Malzemeyi belirli bir süre (tavlama sıcaklığına kadar) ısıttıktan sonra, yavaş yavaş soğutmaktır. Yapılan işlemler sırasında düzensiz

yapıdaki atomlar gruplar halinde düzene girerek kristal yapıyı oluşturmaktadırlar. Bu işlemlerin sonucunda metalin yapısı daha kararlı bir hal almakta ve sağlamlığı artmaktadır.

Literatür incelendiğinde TB, moleküler fizik ve kimya, tesis yerleşimi, çizelgeleme, bilgisayar, şebeke tasarımı, lojistik, tedarik zinciri ve hücrel üretim gibi çeşitli alanlardaki optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulandığı görülmektedir. TB, yerel arama yöntemlerinin yerel bir minimuma ulaştıktan sonra global minimum için daha fazla arama yapmamasından kaynaklanan eksikliği gidermeye çalışan bir yöntemdir (Taş, 2007).

6.8.2. Kavramlar ve temel yapı

Bir optimizasyon problemi $f(X)$ amaç fonksiyonunu belirlenmiş kısıtlar altında optimize eden $X=(x_1,x_2,x_2,\dots,x_n)$ çözüm kümesinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Johnson ve diğ. (1989), optimum çözümü, amaç fonksiyonuna en iyi olası sonucu veren çözüm kümesi olarak tanımlamışlardır. Problemlerin arama uzayında birden fazla optimum çözüm bulunabilir. Şekil 6.1 incelenirse bu durum daha net anlaşılabilir. Bu çözümler yerel optimum çözümler olarak tanımlanırlar.



Şekil 6.1. Yerel ve global optimum noktalar

Yerel arama, algoritmalara S başlangıç çözümü ile başlar. S üzerinde bazı değişiklikler yapılarak S' çözümüne ulaşılır. Daha sonra yeni çözüm S' ile S karşılaştırılır ve eğer S' çözümü S'den daha iyi ise yeni çözüm kabul edilir değil ise reddedilir. Bu tarz algoritmalar

uygulaması kolay ve çözüm veren algoritmalarıdır. Fakat sadece yeni çözüm üzerinden devam ederler ve bir önceki çözümü elerler. TB tarafından bulunan çözümler başlangıç çözüm ile sınırlı kalmaz ve dolayısıyla global optimuma yakın sonuçlar verirler (Johnson ve diğ., 1989).

6.8.3. Tavlama benzetimi algoritması

TB algoritması, ilk olarak 1953 yılında Metropolis tarafından fiziksel bir tavlama süreci olarak literatüre sunulmuş ve daha sonra Kirkpatrick ve diğ. (1983) tarafından geliştirilerek yeniden literatüre kazandırılmıştır. Algoritma birçok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmıştır. Özellik hücre düzenleme konusunda da birçok araştırmacı tarafından kullanım kolaylığı ve optimum sonuca en yakın sonucu vermesi açısından da tercih edilmiştir (Chen ve diğ., 1995; Adil ve diğ., 1997; Sofianopoulou, 1997; Su ve Hsu, 1998; Xambre ve diğ., 2003; Uğraş, 2005; Taş, 2007; Wu ve diğ., 2008; Mahdavi ve diğ., 2010; Dalfard, 2013).

Optimizasyon problemi çözümünde, optimal bir çözüm bulma ile katıların tavlama prosedüründe düşük enerji seviyesinin bulunması arasındaki benzerliğe bağlı olarak geliştirilmiştir. Aradaki bu benzerlik ilişkisi Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.11. Tavlama prosesi ve optimizasyon arasındaki ilişki

<i>Tavlama Prosesi</i>	<i>Optimizasyon Problemi</i>
Sıcaklık	İterasyon Sayısını Kontrol Eden Parametreler
Fiziksel Sistemin Durumu	Problemin Çözümü
İçinde Bulunulan Durumun Enerjisi	Amaç Fonksiyon Değeri
Minimum Enerji	Optimal Çözüm

Çizelge 6.12’de Tavlama Benzetiminin pseudo codu verilerek genel algoritma işleyişi verilmiştir. E1 enerjisine sahip mevcut durumdaki katının durumu gelişigüzel seçilen küçük bir parçanın yer değiştirmesi ile mekanik bir değişme sağlanır ve E2 enerji seviyesi ile diğer duruma geçilir. Eğer enerji azalırsa $\Delta E=(E2-E1)<0$, E2 bir sonraki hareket için başlangıç noktası olur. Eğer $\Delta E>0$ ise E1 enerji durumu olasılık dâhilinde kabul edilebilir.

Fiziksel sistemlerde yüksek enerjiye atlama durumu görülebilir bir durum olmakla birlikte T sıcaklık değeri ile kontrol edilebilir (Xambre ve diğ., 2003).

Çizelge 6.12. TB algoritmasının pseudo codu (Taş, 2007)

```

Bir başlangıç çözümünü seç:  $s_0 \in S$  ve amaç fonksiyonu  $f(s_0)$  hesapla;
Bir başlangıç sıcaklığını belirle:  $T > 0$ ;
Sıcaklık değişim sayacını sıfırla:  $t \leftarrow 0$ ;
 $s \leftarrow s_0$ ;  $f(s) \leftarrow f(s_0)$ ;
 $s_{\text{iyi}} \leftarrow s_0$ ;  $f(s_{\text{iyi}}) \leftarrow f(s_0)$ ;
Repeat
   $n \leftarrow 0$ ;
  Repeat
     $s'$ 'nin bir komşusu olan  $s'$  çözümünü ( $s' \in N(s)$ ) rassal olarak üret;
     $\Delta \leftarrow f(s') - f(s)$ ;
     $\Delta \leq 0$  ise  $s \leftarrow s'$ ;
    değilse (0,1) aralığında düzgün dağılımdan bir rassal sayı üret ( $u$ ) ve
     $u < \exp(-\Delta/T)$  ise  $s \leftarrow s'$ ;
     $f(s') < f(s_{\text{iyi}})$  ise  $s_{\text{iyi}} \leftarrow s'$ ;
     $n \leftarrow n + 1$ ;
  Until  $n > M$ 
   $t \leftarrow t + 1$ ;
   $T = T(t)$ ;
Until (durdurma koşulu sağlanana kadar)
 $s_{\text{iyi}}$  problem için bulunan sezgisel çözüm

```

Yüksek sıcaklıklarda geniş yukarı sıçrama hareketleri yüksek, düşük sıcaklıklarda ise düşüktür. Metropolis bu dağılımı, yukarı sıçrama hareketi T sıcaklığında ΔE büyüklüğünde olan $e^{(-\Delta)/T}$ olasılığı ile verilen Boltzman dağılımı ile modellemiştir. R (0,1) rassal sayısı oluşturulur ve eğer $R \leq e^{(-\Delta)/T}$ ise kabul edilir (Mahdavi ve diğ., 2010).

6.8.4. Tavlama benzetimi algoritması kontrol parametreleri

Herhangi bir problemin çözümünde TB algoritmasının kullanılması için bazı kontrol parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu parametreler şöyle sıralanır;

- Başlangıç sıcaklığı (T_b),
- Soğutma koşulu ve oranı,
- Her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı kontrol parametresi (K),
- Her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı,
- Başlangıç kabul olasılığı (P_b),
- Son kabul olasılığı (P_s),
- Komşu çözüm,
- Yeni Çözüm kabul kriteri,

- Durdurma koşulu,

Başlangıç sıcaklığı, bir girdi parametresidir. Sıcaklık kötü çözümlerin kabul edilme olasılığını kontrol etmek için kullanılır. Mümkün çözümlerin hepsinin değerlendirilebilmesi için başlangıç sıcaklığı (T_b) yeterince büyük olmalıdır. Böylece algoritmanın başlangıç safhasında geniş bir arama yapılabilmesi sağlanır. Çözümlerin başlangıç kabul olasılığı (P_b) 1'e çok yakın olmalıdır. Bu sayede başlangıç çözümlerin çoğu kabul edilir. Sonlara doğru ise çözümlerin kabul olasılığı (P_s) 0'a çok yakın olarak alınır ve amaç fonksiyonunda herhangi bir iyileşme sağlamayan yeni çözümlerin kabul edilmemesi sağlanır.

Soğutma koşulu ve oranı, sıcaklık, bir önceki çözümden daha kötü olan bir çözümün, kabul edilme olasılığının hesaplanmasında kullanılmaktadır. TB'nde soğutma işlemi yavaş yavaş yapılmalıdır. Bunun için bir sıcaklık azaltma fonksiyonundan yararlanır. Literatürde önerilen farklı sıcaklık azaltma fonksiyonları vardır ve bunlar aşağıdaki gibidir.

- Aritmetik fonksiyon: $T_k = T_{k-1} - Cte$
- Geometrik fonksiyon: $T_k = T_{k-1} * \alpha$
- Ters fonksiyon: $T_k = Cte / (1+k)$
- Logaritmik fonksiyon: $T_k = Cte / (\text{Log}(1+k))$

Yapılan çalışmalarda, özellikle hücre düzenleme problemlerinde, en çok tercih edilen soğutma koşulu geometrik soğutmadır. Bunun nedeni ise; geometrik soğutma koşulunun algoritmaya kolayca dâhil edilebilmesi ve birçok problemin yapısına uygunluk göstermesidir. Geometrik soğutmada kullanılan α değeri genellikle; $0,7 \leq \alpha \leq 0,9$ arasında alınmış ya da $\alpha = \left(\frac{\ln P_b}{\ln P_s} \right)^{(1/S_{\max}-1)}$ formülü ile probleme ilişkin veriler kullanılarak hesaplatılmıştır (Xambre ve diğ., 2003; Uğraş,2005; Wu ve diğ., 2008;). Problem verilerine göre hesaplanması gerçek hayat çalışmalarında daha net sonuçlar alınması bakımından önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada α değeri formül kullanılarak hesaplanmıştır.

Her bir sıcaklıkta üretilecek çözümlerin sayısı'nın belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için literatürde önerilen fonksiyonlardan bazıları şunlardır. N_k aynı sıcaklıkta üretilecek çözümlerin sayısını göstermektedir.

- Sabit: $N_k = Cte$
- Aritmetik: $N_k = N_{k-1} + Cte$
- Geometrik: $N_k = N_{k-1} / \alpha$, α birden küçük sabit bir sayı
- Logaritmik: $N_k = Cte / (\text{Log}(Tk))$
- Üstel: $N_k = (N_{k-1})^{(1/\alpha)}$, α birden küçük sabit bir sayı

Yapılan çalışmalarda yukarıda kullanılan fonksiyonların dışında bazı parametreler de kullanılmıştır. Bunlar, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek adına problem yapısına özgü olarak oluşturulmuştur. Örneğin; Xambre ve diğ. (2003), her bir sıcaklıkta üretilecek çözümlerin sayısını $K*O$ olarak belirlemiş ve K 'yı rastgele seçilen büyük sayı O ise operasyonlar olarak tanımlamışlardır. Ayrıca çalışmanın yapısına göre N_k sabit bir değer olarak da alınabilmektedir (Dalfard, 2013).

Yeni çözüm kabul kriteri, her problemin kendi yapısına özeldir. Karar verici tarafından algoritma ilerleme koşulları oluşturulurken yapılandırılır.

Algoritmanın son parametresi durdurma koşuludur. Durdurma koşulu için yine literatürde kullanılan farklı koşullamalar vardır.

- Verilen maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında,
- Verilen bir deneme sayısı için, kabul edilen çözümlerin sayısına ulaşıldığı zaman,
- Önceden belirlenen bir son sıcaklık değerine ulaşıldığı zaman,
- Verilen belirli bir deneme sayısında daha iyi bir çözüme ulaşılamadığı zaman,

6.8.5. Tavlama benzetimi algoritmasının hücre düzenleme problemine uygulanması

TB algoritması için seçilen parametreler literatürde yapılan geniş kapsamlı bir araştırma sonucunda ortaya çıkmıştır ve en çok kullanılan yöntem ve oranlar probleme uyarlanarak tercih edilmiştir.

Ele alınan problemin amacı üretim hücrelerinde taşıma, işçilik ve bakım maliyetlerini en aza indirerek verimliliği maksimuma ulaştırmaktır. Bu nedenle algoritma ile ilgili bazı tanımlamalar yapılmış ve algoritmanın ayrıntılı anlatımı aşağıda verilmiştir.

Komşu çözümlerin elde edilmesi: Komşu çözümler elde edilirken rasgele seçilen bir

makina ve parça rasgele seçilen bir hücreye atanır. Böylece yeni bir çözüm elde edilmiş olur.

Tavlama Çizelgesi: Bu çizelgede yer alan parametreler başlangıç sıcaklığı, soğutma oranı, kabul kriteri, bitirme koşuludur.

Tavlama çizelgesinde yer alacak olan bu kriterler Çizelge 6.13’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.13. Çalışmada kullanılan TB algoritması parametreleri

<i>Parametreler</i>	<i>Seçilen Durum Ve Değerleri</i>
Başlangıç Sıcaklık Değerleri	10, 30, 50 (Wu ve diğ., 2008)
Soğutma Koşulu Ve Soğutma Oranı	Geometrik Soğutma: $T_0 = \alpha T_{0-1}$ $\alpha = \left(\frac{\ln P_b}{\ln P_s} \right)^{(1/S_{\max}-1)}$ (Xambre ve diğ., 2003)
Başlangıç Kabul Olasılığı (P_b)	$P_b = 0.95$ (Uğraş, 2005)
Son Kabul Olasılığı (P_s)	$P_s = 1 * 10^{-15}$ (Uğraş, 2005)
Her Bir Sıcaklıktaki İterasyon Sayısı Kontrol Parametresi (K)	K: 2,4,6,8,16,32,64 (Xambre ve diğ., 2003)
Her Bir Sıcaklıktaki İterasyon Sayısı	$K * P$ (Xambre ve diğ., 2003)
Yeni Çözümün Kabul Kriteri	1. durum: Eğer yeni amaç fonksiyonu herhangi bir iyileşme sağlıyorsa kabul edilir. 2. durum: Eğer yeni amaç fonksiyonu herhangi bir iyileşme sağlamıyorsa $e^{-\frac{\Delta}{T}}$ olasılığına göre kabul ya da ret olur. ($\Delta =$ komşu çözüm – mevcut çözüm, T sıcaklık değeri.)
Komşu Çözüm	Rastgele seçilen bir makine ve parça rastgele seçilen bir hücreye atanır. Böylece yeni çözüm elde edilmiş olunur.
Durdurma Koşulu	Maksimum iterasyon sayısına ulaşmak. (2500, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000)

Algoritma JAVA programlama dilinde kodlanmış ve Dell INSPIRON N4050 Intel Core 2.1 GHz özellikte bilgisayarda çalıştırılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Algoritmanın ilerleme durumu şu şekildedir:

1. Girdi

Adım 1.1: Bu adımda parça sayısı P, makina sayısı M, hücre sayısı H, talep D, satış fiyatı S, hücreler arası taşıma maliyeti EMC, hücre içi taşıma maliyeti IMC, parçaların işçilik maliyeti CO_{ij}, makinelerin bakım maliyeti M_j, her bir hücredeki maksimum işçilik süresi L_{max}, her bir hücredeki maksimum makina sayısı M_{max}, her bir hücredeki minimum makine sayısı M_{min}, Parça-Makine ilişkisi, Makine-Parça-Maliyet ilişkisi, Makine-Parça-Zaman ilişkisi verileri girdi olarak kullanılmıştır. TB parametreleri olarak: K kontrol parametresi, başlangıç sıcaklığı Tb, maksimum iterasyon sayısı IS_{max}, başlangıç kabul olasılığı Pb, son kabul olasılığı Ps girdi olarak başlangıçta kullanılmıştır. .

Adım 1.2: Daha sonra soğutma oranı α ve her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı SIS hesaplanır. K kontrol parametresi olmak üzere P parça sayısı ile çarpılır;

$$\alpha = (\ln Pb / \ln Ps)^{(1/IS_{max}-1)} \quad SIS = K * P$$

2. Başlangıç

Adım 2.1: İterasyon sayacına ilk atama yapılır. IS_g = 0.

Adım 2.2: Çözüm için rassal bir başlangıç çözümü üretilir. Her bir parçanın rotasını tamamlamak için her hücreden geçtiği düşünülerek toplam maliyet hesaplanır. Daha sonra başlangıç amaç fonksiyonu AMCb hesaplanır.

Adım 2.3: AMC mevcut amaç fonksiyonu, BAMC şu ana kadar bulunan en iyi amaç fonksiyonu olmak üzere eşitliğe atanır.

$$AMCb = AMC = BAMC.$$

3. Her sıcaklık seviyesinde iterasyon sayısının düzenlenmesi

$$IS_i = 0.$$

4. Komşu çözüm üretilmesi

Adım 4.1: Bu basamakta her sıcaklıktaki iterasyon sayısına ait sayaç arttırılır: IS_i = IS_i + 1.

Adım 4.2: Komşu çözüm üretme koşulu olarak rassal olarak seçilen bir makina ve rassal olarak seçilen bir parça, rassal olarak seçilen bir hücreye atanır ve yeni amaç fonksiyonu bulunur. Bu yeni çözüm YAMC olarak atanır.

5. Hesaplama yapılması

Adım 5.1: Eğer $YAMC \geq AMC$ ise $AMC = YAMC$ olarak atanır ve 6. basamağa gidilir. Diğer durumda 5.2 basamağa gidilir.

Adım 5.2: Eğer $YAMC < AMC$ ise yeni çözümün kabul olasılığı $e^{-\frac{\Delta}{T}}$ ye eşit olarak alınır.

$\Delta = YAMC - AMC$. (0,1) aralığında rassal olarak bir R değeri seçilir ve eğer $R \leq e^{-\frac{\Delta}{T}}$ ise $AMC = YAMC$ olarak alınır. Diğer durumda çözüm reddedilir ve 5.3. basamağa gidilir.

Adım 5.3: Eğer $YAMC \geq BAMC$ ise $BAMC = YAMC$ olarak atanır ve 6. basamağa gidilir.

6. Eğer $IS_i < SIS$ ise 4. basamağa, diğer durumda ise 7. basamağa gidilir.

7. Bu basamakta genel iterasyon sayısına ait sayaç arttırılır.

$$IS_g = IS_g + 1$$

8. Yeni sıcaklık $T = \alpha T$ eşitliğine göre bulunur ve 9. basamağa gidilir.

9. Eğer $IS_g = IS_{max}$ ise 10. basamağa, diğer durumda 3. basamağa gidilir.

10. En iyi çözüm verimlilik değeri, makina-parça-hücre ilişkisi, son sıcaklık değeri ve hesaplama zamanı çıktısı alınarak algoritma sonlandırılır.

6.9. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Hesaplama Sonuçları

Algoritma için kullanılacak parametre setleri, TB algoritmasının geliştirilmesi sırasında belirtilmiştir. Literatürden seçilerek geliştirilen, problemin çözümünde kullanılan başlangıç sıcaklığı değerleri, geliştirilen TB algoritmasında kullanılmıştır. Problemin çözümü için 3 ayrı başlangıç sıcaklığı kullanılmıştır.

Soğutma oranı iterasyon sayısına göre değişiklik göstermekle beraber değerler 0.99

üzerinde yer almaktadır.

Problemin çözümü için farklı iterasyon sayılarında denemeler yapılmıştır. Maksimum iterasyon sayısı 2.500 – 60.000 arasında alınmıştır.

3 farklı başlangıç sıcaklık değeri, 9 farklı maksimum iterasyon sayısı ve 10 farklı problem boyutu kullanılarak çözüm yapılmış; önerilen TB algoritmasının uygunluğu araştırılmıştır. Denemeler sonunda önerilen TB yaklaşımından elde edilen en iyi çözümler Çizelge 6.14’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.14. On farklı problem boyutu için önerilen TB algoritmasından elde edilen en iyi çözümler

<i>Problem Boyutu</i>	<i>İterasyon Sayısı (IS_{max})</i>	<i>Sıcaklık Değeri (T_b)</i>	<i>Verimlilik</i>	<i>Çözüm süresi (sn)</i>
34P / 12M	7500	30	3,7895	10,01
42P / 10M	45000	30	3,8460	73,07
48P / 10M	10000	10	3,7507	23,15
25P / 12M	2500	50	3,8529	19,21
35P / 10M	20000	30	3,8105	22,01
40P / 10M	15000	50	3,7908	18,59
62P / 15M	10000	10	3,8856	20,63
50P / 15M	30000	30	3,8445	45,65
57P / 15M	20000	50	3,8601	36,43
30P / 12M	7500	10	3,8009	20,10

TB algoritması ile bulunan çözümler problemin optimum çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve sonuçların optimum sonuca yüksek oranda benzerliği saptanmıştır. TB sonuçları ve matematiksel model sonucu; verimlilik bakımından karşılaştırılarak Çizelge 6.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.15. Matematiksel model ve TB algoritmasının çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

<i>Matematiksel modelin çözüm sonucu</i>	<i>TB Algoritmasının Problem Boyutları</i>	<i>TB Algoritmasının Verimlilik Değerleri</i>	<i>Çözüm Süreleri</i>	<i>Sapma Miktarı</i>
62P / 15M $Z_{\max} = 3,8885$ Çözüm süresi=20,6 sn	34P / 12M	3,7895	10,01	0,099
	42P / 10M	3,8460	73,07	0,0425
	48P / 10M	3,7507	23,15	0,1378
	25P / 12M	3,8529	19,21	0,0356
	35P / 10M	3,8105	22,01	0,078
	40P / 10M	3,7908	18,59	0,0977
	62P / 15M	3,8856	20,63	0,0029
	50P / 15M	3,8445	45,65	0,044
	57P / 15M	3,8601	36,43	0,0284
	30P / 12M	3,8009	20,10	0,0876

Önerilen TB algoritmasının 10 farklı problem boyutundaki çözüm süresi ve matematiksel modelin çözüm süresi karşılaştırıldığında, TB algoritmasının bir çok problem için daha hızlı çözüm yaptığı ve optimum çözüme çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca verimlilik sonuçlarının sapma miktarları incelendiğinde de; bu miktarın çok az olduğu ve göz ardı edilebilir olduğu görülmektedir.

TB algoritmasının optimum çözüme çok yakın sonuçlar vermesi ve çözüm süresi bakımından matematiksel modelden daha iyi olması firmanın ileriki dönemde ulaşmayı hedeflediği büyüme planında kullanılabileceğini göstermiştir. Böylelikle artan kısıt sayısı, değişkenler ve amaç fonksiyonunda meydana gelen değişimlerden dolayı matematiksel modelin yetersiz kalması durumunda; optimuma yakın sonuç veren, çözüm süresi ve kullanım kolaylığı sağlayan, mevcut sistemdeki değişiklikleri kolayca karşılayabilecek bir sezgisel algoritma önerilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, firmanın mevcut üretim sisteminde var olan bozuklukların giderilmesi adına hücre düzenleme yapılmasına karar verilmiştir ve hücre düzenleme yöntemi olarak matematiksel programlama yöntemi seçilmiştir. Firmanın istekleri ve mevcut sistem kısıtları doğrultusunda 0-1 tam sayılı matematiksel model; verimlilik faktörü baz alınarak oluşturulmuştur. Verimlilik ele alınırken, hücre içerisinde, hücrenin maliyet oluşumuna etkide bulunan üç faktör; malzeme taşıma, işçilik maliyeti ve bakım maliyeti ele alınmıştır.

Problem için geliştirilen 0-1 tam sayılı matematiksel model GAMS 23.5.1 programı yardımı ile çözümlenerek, optimum sonuç bulunmuştur. Ancak hücre tasarımı sonrasında yapılan görüşmelerde; firma yeni bir yere taşınmayı ve ürün çeşitliliğini arttırmayı düşündüklerini ve bu durumda nasıl bir hücre tasarımı yapılması gerektiği ile ilgili yardıma ihtiyaç duyduklarını belirtmiştir. Böyle bir durumda yeni bir hücre tasarımı yöntemine ihtiyaç duyulmuştur.

Bir önceki hücre tasarımında optimal yapıyı bulması bakımından tercih ettiğimiz matematiksel programlama yöntemi, büyük boyutlu problemlerde, gerek bilgisayar hesaplama süresinin uzaması gerekse çözüme ulaşmada yetersiz kalması nedeniyle; bu modelin ileriki dönem firma sistemine uygulanmasında sorunlar yaşanabilecektir. Bu nedenle, söz konusu kısıtları ortadan kaldıracak bir metasezgisel algoritma olan Tavlama Benzetimi algoritması kullanılarak, problemin çözümü tekrardan yapılmıştır.

Tavlama Benzetimi yöntemi için 9 farklı iterasyon ve 3 farklı sıcaklık düzeyinde ve 10 farklı problem boyutu için denemeler yapılmıştır. Tavlama Benzetimi çözümünün sonucu optimum sonuca yakınlığı ve çözüm süresi bakımından matematiksel modelin çözüm sonucu ile karşılaştırılmıştır. TB çözüm sonucunun optimum çözüme yaklaşık % 90 oranında benzediği saptanmıştır. Hesaplama süreleri karşılaştırıldığında ise; TB algoritmasının matematiksel programlama modeline göre birçok problemde daha kısa sürede çözümü sunduğu görülmüştür. Böylece firma için yapılması planlanan değişiklik sürecinde kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Çalışmada verimlilik faktörü olarak malzeme taşıma, işçilik ve bakım maliyetleri ele alınmıştır. Ancak makine satın alma ve kurulum maliyeti, alternatif rota ve sıralar, dinamik üretim sistemi, talep belirsizliği, iş yükü dengeleme gibi farklı faktörler söz konusu

olduğunda daha kapsamlı sistemler üzerinde çalışılabilir. Bu nedenle firmada ileriki çalışmalar olarak şunlar sıralanabilir:

- Artacak parça sayısından dolayı yeni operasyon rotaları modele adapte edilebilir.
- Firmanın yeni durumunda talep, makine satın alma ve kurulum maliyetlerinin verimlilik faktörü üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.
- Yine firmanın yeni halinde iş yükü, parti büyüklüğü gibi kısıtların sistem üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.
- Mevcut durum ve yeni durum için sezgisel algoritmaların birleşiminden oluşan melez algoritmalar ya da Tabu Arama ve Genetik Algoritmalar gibi yeni yöntemler kullanılarak yeni çözümler bulunup sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abduelmola, A.I. (2001). Productivity model for the cell formation problem: a simulated annealing algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 37, 327-330.
- Adil, G. K., Rajamani, D., Stroag, D. (1996). Cell formation considering alternative routings. *International Journal of Production Research*, 34(5), 136-138.
- Aktürk, M. S. and Türkcan, A. (2000). Cellular manufacturing system design using holonistic approach. *International Journal of Production Research*, 38(10), 2327-2347.
- Albadawi, Z., Bashir, H. A., Chen, M. (2005). A mathematical approach for the formation of manufacturing cells. *Computers & Industrial Engineering*, 48(1), 3-21.
- Alhourani, F. (2003). Clustering algorithm for solving group technology problem with multiple process routings. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 781-790.
- Amira, F. and Choobineh, F. A. (1996). Identifying the composition of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 34(9), 2471-2488.
- Angra, S., Rakesh, S., Noori, Z. S. (2008). Cellular manufacturing: A time-based analysis to the layout problem. *International Journal of Production Economics*, 112, 427-438.
- Askin, R. G. and Chiu, K. S. (1990). A graph partitioning procedure for machine assignment and cell formation in group technology. *International Journal of Operational Research*, 28(8), 1555-1572.
- Bagheri, M. and Bashiri, M. (2014). A new mathematical model towards the integration of cell formation with operator assignment and intercell layout problems in a dynamic environment. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 1237-1254.
- Boctor, F. I. (1996). Minimum cost machine-part cell formation problem. *International Journal of Production Research*, 34, 1045-1063.
- Caux, C., Brunlaux, R., Pierreval, H. (2000). Cell formation with alternative process plans and capacity constraints: A new combined approach. *International Journal of Production Economics*, 64, 279-284.
- Chan, H. M. and Milner, D. A. (1982). Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 1(1), 65-74.
- Chandrasekharan, M. and Rajagopalan, R. (1986). MODROC: an extension of rank order clustering for group technology. *International Journal of Production Research*, 24, 1221-1233.

- Chang, C. C., Wu, T. H., Wu, C. H. (2013). An efficient approach to determine cell formation, cell layout and intercellular machine sequence in cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 3(2), 87-92.
- Chen, J. and Heragu, S. S. (1999). Step-wise decomposition approaches for large scale cell formation problems. *European Journal of Operational Research*, 113(1), 64-79.
- Chen, W. and Srivastava, B., (1994). Simulated annealing procedures for forming machine cells in group technology. *European Journal of Operational Research*, 75(3), 100-111.
- Choobineh, F. A. (1988). Framework for the design of cellular manufacturing systems. *International Journal Production Research*, 26(7), 1161-1172.
- Chu, C. H. (1997). An improved neural network for manufacturing cell formation. *Decision Support Systems*, 20, 279-295.
- Chung, S. H., Wu, T. H., Chang, C. C. (2011). An efficient tabu search algorithm to the cell formation problem with alternative routings and machine reliability considerations. *Computers & Industrial Engineering*, 60, 7-15.
- Dahel, N. E. (1995). Design of cellular manufacturing systems in tandem configuration. *International Journal of Production Research*, 33(8), 2079-2095.
- Dalfard, V. M. (2013). New mathematical model for problem of dynamic cell formation based on number and average length of intra and intercellular movements. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 1884-1896.
- Damodaran, V., Lashkari, R. S., Singh, N. (1992). Production planning model for cellular manufacturing systems with refixturing considerations. *International Journal of Production Research*, 30(7), 160-461.
- Defersha, F. M. and Chen, M. (2006). A comprehensive mathematical model for the design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 103, 767-783.
- Demir, M. H., Gümüšoğlu, Ş. (1998). *Üretim ve İşlemler Yönetimi* (Beşinci Baskı). Türkiye: BETA Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 59-61.
- Eğilmez, G., Süer, G. A., Hwang, J. (2012). Stochastic cellular manufacturing system design subject to maximum acceptable risk. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 842-854.
- Escoto, R. P., McDonnell, R. L., Salort, E. V., Esteban, F. C. (1998). Development of an algorithm for the application of group technology in the design of manufacturing systems. *Production Planning and Control*, 9(3), 267-274.
- Erişen, A. (2011). *Hücreyel İmalat Sistemlerinin Genetik Algoritmalar İle Tasarlanması Ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 75-90.

- Geonwook, J. and Herman, R. L. (2006). Forming part families by using genetic algorithm and designing machine cells under demand changes. *Computers & Operational Research*, 33, 263-283.
- Geonwook, J., Herman, R. L., Parsaei, H. R. (1998). A cellular manufacturing system based on new similarity coefficient which consider alternative routes during machine failure. *International Journal of Production Research*, 34(1), 21-36.
- Gökşen, Y. (2003). Gelenksel üretimden esnek üretime karşılaştırmalı bir inceleme. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitü Dergisi*, 5(4), 33-40.
- Guerrero, F., Lozano, S., Smith, K. A., Conca, D., Kwok, T. L. (2002). Manufacturing cell formation using a new self-organizing neural network. *Computers & Industrial Engineering*, 42, 377-382.
- Gunasingh, K. R. and Lashkari, R. S. (1989). The cell formation problem in cellular manufacturing system: a sequential modelling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 16(4), 469-474.
- Gupta, T. and Seifoddini, H. (1990). Production data based similarity coefficient for machine component grouping decisions in the design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 28(7), 1247-1269.
- Güçlü, G. K. (2006). *Türk Traktör Fabrikasında Makine Yerleşiminde Hücresel İmalat Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 38-45.
- Güven, Y., Kayışoğlu, B., Tanrıtanır, E., Beyhan, Y. (2004). Tarım alet ve makineleri üreten örnek bir fabrikada hücresel üretim sistemi ile grup teknolojisinin bilgisayar destekli uygulaması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(2), 163-168.
- Heragu, S. S. (1994). Group technology and cellular manufacturing. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 24(2), 205-215.
- Heragu, S. S. and Chen, J. (1997). Optimal solution of cellular manufacturing system design: Blender's decomposition approach. *European Journal of Operational Research*, 107(1), 19.
- Hwang, H. and Ree, P. (1996). Routes selection for the cell formation problem with alternative part process plans. *Computers & Industrial Engineering*, 30(3), 423-431.
- Hwang, H. and Sun, J. (1996). A genetic algorithm based heuristic for the group technology cell formation problem. *Computers & Industrial Engineering* 3(2), 87-92.
- Hyer, N. and Wemmerlov, U. (2002). Reorganizing the factory, competing though cellular manufacturing. *Productivity Press*.
- Jain, A. K., Kosilingsm, R., Bhole, S. D. (1990). Joint consideration of cell formation and tool provisioning problem in flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 28(9), 124-126.

- Johnson, D., Aragon, C., McGeoch., L., Schevan, C. (1989). Optimization by simulated annealing and experimental evaluation. *Operations Research*, 37(6), 865-892.
- Joines, A. J., Culbreth, T. C., King, E. R. (1996). Manufacturing cell design: an integer programming model employing genetic algorithms. *Institute of Computer Engineers Transactions*, 28, 69-75.
- Kamrahi, A. and Parsaei, H. (1994). A methodology for the design of manufacturing systems using group technology. *Production Planning and Control*, 5(5), 450-464.
- Kaplan, M. C. (2008). *Grup Teknolojilerinde Kümelendirme Yöntemlerine Sezgisel Yaklaşımlar ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 19-23.
- Kendrick, J. W. (1973). The productivity factor in phase 2. *The Conference Board Record*, 9(3), 28-35.
- Kendrick, J. W. and Creamer, D. (1969). Measuring company productivity: handbook with case studies. *Studies In Business Economics*, 2(89), 127-342.
- Kılıç, G. (2008). *Hücreyel İmalat Sistemlerinde İnsan-Makine Hücreleri Oluşturma Problemi İçin Çok Amaçlı Bir Matematiksel Programlama Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87-92.
- Kia, R., Baboli, A., Javadian, N., Moghaddam, T. R., Kazemi, M., Khorrami, J. (2012). Solving a group layout design model of dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing. *Computers & Operations Research*, 39(11), 2462-2658.
- King, J. R. (1980). Machine component grouping in production anew analysis: an approach using rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, 213-232.
- King, J. R. and Nakomcahi, V. (1982). Machine component grouping formation in group technology: review and extension. *International Journal of Production Research*, 20(2), 117-133.
- Kusiak, A. (1987). The generalized group technology concept. *International Journal of Production Research*, 25(56), 1-56.
- Kusiak, A. and Cho, M. (1992). Similarity coefficient algorithms for solving the group technology problem. *International Journal of Production Research*, 30(11), 2633-2646.
- Li, X., Baki, M. F., Aneja, Y. P. (2010). An ant colony optimization metaheuristic for machine-part cell formation problems. *Computers & Operations Research*, 37, 2071-2081.
- Logendran, R. (1993). Binary integer programming approach for simultaneous machine-part grouping in cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial*

- Engineering*, 24(3), 329-336.
- Mahdavi, I., Javadi, B., Slamp, J. (2007). Designing a new mathematical model for cellular manufacturing system based on cell utilization. *Applied Mathematics and Computation*, 190(1), 662-670.
- Mahdavi, I., Paydar, M. M., Solimanpour, M., Heidarzade, A. (2009). Genetic algorithm approach for solving a cell formation problem in cellular manufacturing. *Expert Systems with Applications*, 36, 6598-6604.
- Mahdavi, I., Teymourian, E., Baher, N. T., Kayvanfar, V. (2013). An integrated model for solving cell formation and cell layout problem simultaneously considering new situations. *Journal of Manufacturing Systems*, 32, 655-663.
- McAuley, J. O. (1972). Machine grouping for efficient production. *The production Engineering*, 53-57.
- Mehrabad, M. S., Paydar, M. M., Aalaei, A. (2013). Production planning and worker training in dynamic cellular manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(2), 308-314.
- Moghaddam, R. T., Aryanezhad, M. B., Safaei, N., Azaran, A. (2005). Solving a dynamic cell formation problem using metaheuristics. *Applied Mathematics and Computation*, 170, 761-780.
- Mohammadi, M. and Forghani, U. (2014). A novel approach for considering layout problem in cellular manufacturing systems with alternative processing routings and subcontracting approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 3624-3640.
- Murugan, M. and Selladurai, V. (2011). Formation of machine cells/part families in cellular manufacturing systems using ART-modified single linkage clustering approach- a comparative study. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(3), 199-212.
- Nsakanda, A. L. and Diaby, M. (2005). Large scale capacitated part routing in the presence of process and routing flexibilities and set up costs. *Journal of Operational Research Society*, 57, 1100-1112.
- Onwubolu, G. C. and Mutingi, M. (2001). A genetic algorithm approach to cellular manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 39(1), 125-144.
- Özyörük, B. ve Gürü, G. (2010). Uçak gövdesi montaj alanı için hücre tasarımı ve hücre etkinliğinin belirlenmesi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 3(4), 306-314.
- Pailla, A., Trindade, A. R., Parada, V., Ochi, L. S. (2010). A numerical comparison between simulated annealing and evolutionary approaches to the cell formation problem. *Expert Systems with Applications*, 37, 5476-5483.
- Pandian, R. S. and Mahapatra, S. S. (2009). Manufacturing cell formation with production data using neural networks. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1340-1347.

- Paydar, M. M., Mahdavi, I., Sharafuddin, I., Solimanpour, M. (2010). Applying simulated annealing for designing cellular manufacturing systems using MDmTSP. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 929-936.
- Purcheck, F. K. (1974). A mathematical classification as a basis for the design of group technology production cells. *Production Engineer*, 54(1), 35-48.
- Rafiee, K., Rabbani, M., Rafiei, H., Vahed, A. R. (2011). A new approach towards integrated cell formation and inventory lot sizing in an unreliable cellular manufacturing system. *Applied Mathematical Modelling*, 35(4), 1810-1819.
- Render, B. and Heizer, J. (2000). *Principles of Operations Management* (Beşinci Baskı). USA: Prentice Hall PTR, 213-215.
- Rezaeion, J., Javadian, N., Moghaddam, R. T., Jobi, F. (2011A) hybrid approach based on the genetic algorithm and neural network to design an incremental cellular manufacturing system. *Applied Soft Computing*, 11, 4195-4202.
- Seifoddini, H. (1989). Duplication process in machine cells formation in group technology. *Institute of Industrial Engineers Transactions*, 2, 382-388.
- Shafer, S. M. and Rogers, D. F. (1993). Simulating and distance measures for cellular manufacturing: extension and comparison. *International Journal of Production Research*, 31(6), 1315-1326.
- Shiyas, C. R. and Pillai, M. (2014). A mathematical programming model for manufacturing cell formation to develop multiple configuration. *Journal of Manufacturing Systems*, 33, 149-158.
- Singh, N. and Rajamani, D. (1996). Design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 37(7), 1917-1928.
- Suresh, N. C. and Kay, J. M. (1998). Group technology and cellular manufacturing state-of-art synthesis of research and perspective. *Kluwer Academic Publishers*, 1-3.
- Taboun, S. M., Merchawi, N. S., Ulger, T. (1998). Part family and machine cell formation in multi period planning horizon of cellular manufacturing systems. *Production Planning and Control*, 9(6), 561-571.
- Taboun, S. M., Sankaran, S., Blende, S. (1991). Comparison and evaluation of similarity measures in group technology. *Computers & Industrial Engineering*, 70(3), 343-353.
- Tariq, A., Hussain, I., Ghafoor, A. (2006). A hybrid genetic algorithm for machine part grouping. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 347-356.
- Taş, O. (2007). *Hava Yolu Şirketlerinde Uçuşların Atanması Probleminin Tavlama Benzetimi Yöntemi İle Çözülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 57-62.
- Udbin, M. K. and Shanker, K. (2002). Grouping of parts and machines in the presence of

- alternative process routes by genetic algorithm. *International Journal of Production Economics*, 76, 219-228.
- Uğraş, S. (2005). *Hücreyel İmalat Sistemlerinde Verimlilik Bazlı Etkili Bir Yaklaşım: Tavlama Benzetimi Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 47-61.
- Veeramani, D. and Mani, K. (1996). A polynomial time algorithm for optimal clustering in a special class of (0,1) matrices. *International Journal of Production Research*, 4(9), 2587-2611.
- Venugopol, V. and Narendran, T. T. (1992). Cell formation in manufacturing systems through simulated annealing: an experimental evaluation. *European Journal of Operational Research*, 63, 409-422.
- Waghodekar, P. H. and Sahu, S. (1984). Machine component cell formation in group technology, MACE. *International Journal of Production Research*, 23(6), 937-948.
- Wang, J. and Rose, C. (1997). Formation of machine cells and part families: R modified p-median model and comparative study. *International Journal of Production Research*, 35, 125-138.
- Wu, T. H., Chang, C. C., Chung, S. H. (2008). A simulated annealing algorithm for manufacturing cell formation problems. *Expert Systems with Applications*, 34, 1609-1617.
- Xambre, A. R. and Vilarinho, P. M. (2003). A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines. *European Journal of Operational Research*, 151, 434-446.
- Yamak, Y. D. (1993). *Üretim Yönetimi* (İkinci Baskı). Türkiye: Alfa Basım, 27-30.
- Zeidi, J. R., Javadian, N., Moghaddam, R. T., Jaloi, F. (2013). A hybrid multiobjective approach based on the genetic algorithm and neural network to design an incremental cellular manufacturing system. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 1004-1014.
- Zhao, C. and Wu, Z. (2000). A genetic algorithm for manufacturing cell formation with multiple routes and multiple objectives. *International Journal of Production Research*, 38(2), 385-395.

EKLER

EK-1. Parça-Makine matrisi

Çizelge 1.1. Parça-Makine matrisi

b_j	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
P1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P3	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P5	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P6	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P7	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P9	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P10	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P11	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P13	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P14	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P15	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P17	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P18	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P19	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P21	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P22	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P23	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P24	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P25	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P26	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P27	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P28	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P29	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P30	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P31	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P32	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P33	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P34	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P35	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P36	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P37	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P38	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P39	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P40	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P41	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P42	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P43	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P44	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P45	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P46	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P47	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P48	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P49	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P50	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P51	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P52	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P53	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P54	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P55	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P56	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P57	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P58	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P59	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P60	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
P61	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P62	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

EK-2. Parçaların makinelerdeki işlem süreleri

Çizelge 2.1. Parçaların makinelerdeki işlem süreleri

L _{ij}	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
P1	8	0	4	0	0	9	0	0	0	8,2	0	9,5	0	4,2	0
P2	0	5,5	0	5,3	0	0	8,5	0	0	0	7	0	12	0	3
P3	0	5,5	0	0	5,3	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	5,2	0	0	6	2,5	0	0	0	0	0	0
P5	8	0	4	0	0	9	0	0	0	8,3	0	10	0	4,2	0
P6	0	5,7	0	5,4	0	0	8,5	0	0	0	7	0	12	0	3
P7	0	5,5	0	0	5,3	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	5,2	0	0	6	2,5	0	0	0	0	0	0
P9	8	0	4	0	0	9	0	0	0	8,5	0	10	0	4,5	0
P10	0	6	0	5,5	0	0	9	0	0	0	7,5	0	12,5	0	3,5
P11	0	5,8	0	0	5,5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	5,5	0	0	6,5	3	0	0	0	0	0	0
P13	8	0	4	0	0	9	0	0	0	8,8	0	10,2	0	4,8	0
P14	0	6,5	0	6	0	0	9,5	0	0	0	7,5	0	13	0	3,5
P15	0	5,8	0	0	5,5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	5,5	0	0	6,5	3	0	0	0	0	0	0
P17	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	10,5	0	7	0
P18	0	6	0	5,5	0	0	8,5	0	0	0	7	0	12	0	3
P19	0	5,5	0	0	5,3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	5,2	0	0	5,5	3	0	0	0	0	0	0
P21	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	10,5	0	7	0
P22	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	11	0	7	0
P23	0	6	0	5,5	0	0	9	0	0	0	7,5	0	13	0	3,5
P24	0	5,5	0	0	5,3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P25	0	0	0	0	5,5	0	0	6,5	3,5	0	0	0	0	0	0
P26	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	11	0	7	0
P27	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	12	0	7	0
P28	0	6	0	5,5	0	0	9,5	0	0	0	8	0	13,5	0	4
P29	0	5,5	0	0	5,5	0	0	0	3,5	0	0	0	0	0	0
P30	0	0	0	0	6	0	0	7	4	0	0	0	0	0	0
P32	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	10,5	0	6	0
P33	0	6	0	5,5	0	0	8,5	0	0	0	7	0	12	0	3
P34	0	5,5	0	0	5,3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P35	0	0	0	0	5,2	0	0	5,5	3	0	0	0	0	0	0
P36	9	0	5	0	0	9	0	0	0	10	0	11	0	6,5	0
P37	0	6	0	5,5	0	0	9	0	0	0	7,5	0	13	0	3,5
P38	0	5,5	0	0	5,3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
P39	0	0	0	0	5,5	0	0	6,5	3,5	0	0	0	0	0	0
P40	9	0	5	0	0	9	0	0	0	11	0	11,5	0	7	0
P41	0	6	0	5,5	0	0	9,5	0	0	0	8	0	13,5	0	4
P42	0	5,5	0	0	5,5	0	0	0	3,5	0	0	0	0	0	0
P43	0	0	0	0	6	0	0	7	4	0	0	0	0	0	0
P44	9	0	5	0	0	11,5	0	0	0	10	0	11,5	0	11	0
P45	0	7	0	6,5	0	0	9,5	0	0	0	8	0	13	0	4
P46	0	6,5	0	0	6,3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P47	0	0	0	0	5,2	0	0	5,5	3	0	0	0	0	0	0
P48	9	0	5	0	0	11,5	0	0	0	10	0	11,5	0	11	0
P49	9	0	5,5	0	0	12	0	0	0	11	0	12	0	11	0
P50	0	8	0	7,5	0	0	10,5	0	0	0	9	0	14	0	5
P51	0	7,5	0	0	7,3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
P52	0	0	0	0	5,5	0	0	5,7	3,5	0	0	0	0	0	0
P53	9	0	5,5	0	0	12	0	0	0	11	0	12	0	11	0
P54	9	0	6	0	0	12,5	0	0	0	11,5	0	12,5	0	11	0
P55	0	9	0	8,5	0	0	10,5	0	0	0	10	0	15	0	6
P56	0	8,5	0	0	8	0	0	0	5,5	0	0	0	0	0	0
P57	0	0	0	0	5,7	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0
P58	9	0	6	0	0	12,5	0	0	0	11,5	0	12,5	0	11	0
P59	9	0	5	0	0	11,5	0	0	0	10	0	11,5	0	11	0
P60	0	7	0	6,5	0	0	9,5	0	0	0	8	0	13	0	4
P61	0	6,5	0	0	6,3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P62	0	0	0	0	5,2	0	0	5,5	3	0	0	0	0	0	0

EK-3. Parçaların makinelerdeki işçilik maliyeti

Çizelge 3.1. Parçaların makinelerdeki işçilik maliyeti

CO _{ij}	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
P1	0,8	0	0,4	0	0	0,9	0	0	0	0,82	0	0,95	0	0,42	0
P2	0	0,55	0	0,53	0	0	0,85	0	0	0	0,7	0	1,2	0	0,3
P3	0	0,55	0	0	0,53	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0,52	0	0	0,6	0,25	0	0	0	0	0	0
P5	0,8	0	0,4	0	0	0,9	0	0	0	0,83	0	1	0	0,42	0
P6	0	0,57	0	0,54	0	0	0,85	0	0	0	0,7	0	1,2	0	0,3
P7	0	0,55	0	0	0,53	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0,52	0	0	0,6	0,25	0	0	0	0	0	0
P9	0,8	0	0,4	0	0	0,9	0	0	0	0,85	0	1	0	0,45	0
P10	0	0,6	0	0,55	0	0	0,9	0	0	0	0,75	0	1,25	0	0,35
P11	0	0,58	0	0	0,55	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0,55	0	0	0,65	0,3	0	0	0	0	0	0
P13	0,8	0	0,4	0	0	0,9	0	0	0	0,88	0	1,02	0	0,48	0
P14	0	0,65	0	0,6	0	0	0,95	0	0	0	0,75	0	1,3	0	0,35
P15	0	0,58	0	0	0,55	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0,55	0	0	0,65	0,3	0	0	0	0	0	0
P17	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	0,9	0	1,05	0	0,7	0
P18	0	0,6	0	0,55	0	0	0,85	0	0	0	0,7	0	1,2	0	0,3
P19	0	0,55	0	0	0,53	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0,52	0	0	0,55	0,3	0	0	0	0	0	0
P21	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	0,9	0	1,05	0	0,7	0
P22	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	0,9	0	1,1	0	0,7	0
P23	0	0,6	0	0,55	0	0	0,9	0	0	0	0,75	0	1,3	0	0,35
P24	0	0,55	0	0	0,53	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
P25	0	0	0	0	0,55	0	0	0,65	0,35	0	0	0	0	0	0
P26	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	0,9	0	1,1	0	0,7	0
P27	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	12	0	7	0
P28	0	6	0	5,5	0	0	9,5	0	0	0	8	0	13,5	0	4
P29	0	5,5	0	0	5,5	0	0	0	3,5	0	0	0	0	0	0
P30	0	0	0	0	6	0	0	7	4	0	0	0	0	0	0
P31	9	0	5	0	0	9	0	0	0	9	0	12	0	7	0
P32	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	0,9	0	1,05	0	0,6	0
P33	0	0,6	0	0,55	0	0	0,85	0	0	0	0,7	0	1,2	0	0,3
P34	0	0,55	0	0	0,53	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
P35	0	0	0	0	0,52	0	0	0,55	0,3	0	0	0	0	0	0
P36	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	1	0	1,1	0	0,65	0
P37	0	0,6	0	0,55	0	0	0,9	0	0	0	0,75	0	1,3	0	0,35
P38	0	0,55	0	0	0,53	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
P39	0	0	0	0	0,55	0	0	0,65	0,35	0	0	0	0	0	0
P40	0,9	0	0,5	0	0	0,9	0	0	0	1,1	0	1,15	0	0,7	0
P41	0	0,6	0	0,55	0	0	0,95	0	0	0	0,8	0	1,35	0	0,4
P42	0	0,55	0	0	0,55	0	0	0	0,35	0	0	0	0	0	0
P43	0	0	0	0	0,6	0	0	0,7	0,4	0	0	0	0	0	0
P44	0,9	0	0,5	0	0	1,15	0	0	0	1	0	1,15	0	1,1	0
P45	0	0,7	0	0,65	0	0	0,95	0	0	0	0,8	0	1,3	0	0,4
P46	0	6,5	0	0	6,3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P47	0	0	0	0	0,52	0	0	0,55	0,3	0	0	0	0	0	0
P48	0,9	0	0,5	0	0	1,15	0	0	0	1	0	1,15	0	1,1	0
P49	0,9	0	0,55	0	0	1,2	0	0	0	1,1	0	1,2	0	1,1	0
P50	0	0,8	0	0,75	0	0	1,05	0	0	0	0,9	0	1,4	0	0,5
P51	0	0,75	0	0	0,73	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
P52	0	0	0	0	0,55	0	0	0,57	0,35	0	0	0	0	0	0
P53	0,9	0	0,55	0	0	1,2	0	0	0	1,1	0	1,2	0	1,1	0
P54	0,9	0	0,6	0	0	1,25	0	0	0	1,15	0	1,25	0	1,1	0
P55	0	0,9	0	0,85	0	0	1,05	0	0	0	1	0	1,5	0	0,6
P56	0	0,85	0	0	0,8	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0
P57	0	0	0	0	0,57	0	0	0,6	0,4	0	0	0	0	0	0
P58	0,9	0	0,6	0	0	1,25	0	0	0	1,15	0	1,25	0	1,1	0
P59	0,9	0	0,5	0	0	1,15	0	0	0	1	0	1,15	0	1,1	0
P60	0	0,7	0	0,65	0	0	0,95	0	0	0	0,8	0	1,3	0	0,4
P61	0	0,65	0	0	0,63	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0
P62	0	0	0	0	0,52	0	0	0,55	0,3	0	0	0	0	0	0

EK-4. Makinelerin aylık bakım maliyeti

Çizelge 4.1. Makinelerin aylık bakım maliyetleri (tl cinsinden)

Makineler	Aylık Bakım Maliyeti (M _i)
M1	357 tl
M2	1000 tl
M3	45 tl
M4	1667 tl
M5	1667 tl
M6	433 tl
M7	100 tl
M8	110 tl
M9	283 tl
M10	917 tl
M11	833 tl
M12	1250 tl
M13	67 tl
M14	803 tl
M15	283 tl

EK-5. Parçaların talep miktarı, satış fiyatı ve ihtiyaç duydukları makine sayıları

Çizelge 5.1. Parçaların talep, satış fiyatı ve makine ihtiyaçları

Parçalar	Talepler (D _i)	Satış Fiyatları (S _i)	Makine Sayısı (NM _i)	Parçalar	Talepler (D _i)	Satış Fiyatları (S _i)	Makine Sayısı (NM _i)
P1	76	340	6	P32	30	400	6
P2	152	255	6	P33	30	300	6
P3	304	170	3	P34	120	200	3
P4	152	85	3	P35	60	100	3
P5	80	360	6	P36	40	440	6
P6	160	270	6	P37	40	330	6
P7	640	180	3	P38	320	220	3
P8	320	90	3	P39	160	110	3
P9	23	372	6	P40	44	460	6
P10	46	279	6	P41	44	345	6
P11	184	186	3	P42	352	230	3
P12	92	93	3	P43	176	115	3
P13	20	380	6	P44	88	660	6
P14	40	255	6	P45	66	550	6
P15	160	190	3	P46	352	330	3
P16	80	95	3	P47	176	220	3
P17	66	321	6	P48	88	440	6
P18	66	265	6	P49	204	690	6
P19	264	160	3	P50	153	575	6
P20	132	107	3	P51	1224	345	3
P21	33	214	6	P52	612	230	3
P22	78	345	6	P53	204	460	6
P23	78	287	6	P54	232	750	6
P24	624	172	3	P55	174	625	6
P25	312	115	3	P56	1392	375	3
P26	39	230	6	P57	696	250	3
P27	70	375	6	P58	232	500	6
P28	70	312	6	P59	32	840	6
P29	560	187	3	P60	24	643	6
P30	235	125	3	P61	128	432	3
P31	35	250	6	P62	64	210	3

EK-6. Problemin GAMS çıktıları

GAMS Rev 148 x86/MS Windows

08/04/14 14:30:58 Page 1

General Algebraic Modeling System

Compilation

Set

i parca

/P1*P62/

j makine

/M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15/

k hucre

/H1, H2,H3/ ;

Parameters

D(i) i parcasinin talebi

/P1 76

P2 152

P3 304

...

P62 64 /

S(i) i parcasinin satis fiyatı

/ P1 340

P2 255

P3 170

...

P62 210 /

NM(i) i parcasinin ihtiyac duydugu makine sayisi

/ P1 6

P2 6

P3 3

...

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

P62 3 /

N(j) hucrelerdeki musait j tipindeki makine sayisi

/ M1 3

M2 2

M3 2

...

M15 2 /

M(j) makinelerin bakım maliyeti

/ M1 357

M2 1000

M3 45

...

M15 283 /

Table

b(i,j) i parcasinin j makinesine ihtiyac durumu

Parça-Makine matrisi burada görülecektir ;

Table

CO(i,j) j makinesinde islem goren i parcasinin iscilik maliyeti

Parçaların makinelerdeki işçilik maliyet matrisi burada görülecektir ;

Table

L(i,j) j makinesinde islem goren i parcasinin islem suresi

Parçaların makinelerdeki işlem süresi matrisi burada görülecektir ;

Scalar

IMC hucreler arasi tasima maliyeti /18.8/

EMC hucre ici tasima maliyeti /8/

Mmin hucrelerdeki minimum makine sayisi /3/

Mmax hucrelereki maksimum makine sayisi /6/

Lmax hucrelerdeki maksimum iscilik suresi /61000/ ;

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

Variables

$x(j,k)$ j makinesinin k hucresine atanması

$y(i,k)$ i parçasının k hucresine atanması

Z tasima-iscilik maliyeti;

Binary variables x,y;

Equations

amac amac fonsiyonu

kisit1(k) her bir hucredeki maksimum makine sayısı

kisitdeneme(k) her bir hucredeki minimum makine sayısı

kisit2(j) her bir makinenin yalnızca bir hucreye atanması

kisit3(i) her bir parca ailesinin en son atamasının sadece bir hucreye atanması

kisit4(i,j) maksimum iscilik süresi

kisit5(j) hucrelerdeki müsait j tipindeki makine sayısı ;

amac.. $Z = e = \sum((i,k), D(i) * S(i) * y(i,k)) / (\sum((i,k), NM(i) * IMC * D(i) * y(i,k)) + \sum((j,k), N(j) * M(j) * x(j,k)) + \sum((i,k,j), (1 - x(j,k)) * y(i,k) * b(i,j) * EMC * D(i)) +) + 0.00001$;

kisit1(k).. $\sum(j, x(j,k)) = l = Mmax$;

kisitdeneme(k).. $\sum(j, x(j,k)) = g = Mmin$;

kisit2(j).. $\sum(k, x(j,k)) = g = 1$;

kisit3(i).. $\sum(k, y(i,k)) = e = 1$;

Model problem /all/ ;

problem.optfile=1;

Solve problem using MINLP maximizing Z;

Display x.l, x.m, y.l, y.m;

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	7	SINGLE EQUATIONS	387
BLOCKS OF VARIABLES	3	SINGLE VARIABLES	232
NON ZERO ELEMENTS	1,462	NON LINEAR N-Z	231
DERIVATIVE POOL	423	CONSTANT POOL	181
CODE LENGTH	18,285	DISCRETE VARIABLES	231
GENERATION TIME	= 0.016 SECONDS	4 Mb	WIN225-148 May 29, 2007
EXECUTION TIME	= 0.016 SECONDS	4 Mb	WIN225-148 May 29, 2007
GAMS Rev 148 x86/MS Windows		08/04/14 14:30:58 Page 5	

General Algebraic Modeling System

Solution Report SOLVE problem Using MINLP From line 498

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

MODEL problem OBJECTIVE Z
 TYPE MINLP DIRECTION MAXIMIZE
 SOLVER BARON FROM LINE 498
 **** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
 **** MODEL STATUS 8 INTEGER SOLUTION
 **** OBJECTIVE VALUE 3.8885
 RESOURCE USAGE, LIMIT 23.200 1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000
 EVALUATION ERRORS 0 0

GAMS/BARON Jun 1, 2007 WIN.BA.NA 22.5 012.000.000.VIS P3PC

Branch And Reduce Optimization Navigator

Nikolaos Sahinidis and Mohit Tawarmalani

The Optimization Firm, LLC.

--- Using Option File

Reading parameter(s) from "C:\Users\Dilruba\Documents\gammdir\projdir\baron.opt"

>> numloc 0

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

>> dolocal 0

Finished reading from "C:\Users\Dilruba\Documents\gamsdir\projdir\baron.opt"

Total time elapsed : 000:00:23, in seconds: 23.20
 on parsing : 000:00:01, in seconds: 1.03
 on preprocessing: 000:00:09, in seconds: 8.97
 on navigating : 000:00:00, in seconds: 0.05
 on relaxed : 000:00:01, in seconds: 0.56
 on local : 000:00:00, in seconds: 0.00
 on tightening : 000:00:00, in seconds: 0.02
 on marginals : 000:00:00, in seconds: 0.00
 on probing : 000:00:13, in seconds: 12.57

Total no. of BaR iterations: 6

Best solution found at node: 6

Max. no. of nodes in memory: 4

Solution = 3.88850324971 found at node 6

Best possible = 3.90809335272

Absolute gap = 0.0195901030100001 optca = 1E-9

Relative gap = 0.00501 optcr = 0.1

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR Z	-INF	3.889	+INF	.

Z tasima-iscilik maliyeti

***** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED
 0 ERRORS

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

GAMS Rev 148 x86/MS Windows

08/04/14 14:30:58 Page 6

General Algebraic Modeling System

Execution

---- 500 VARIABLE x.L j makinesinin k hucresine atanmasi

	H1	H2	H3
M1		1.000	
M2	1.000		1.000
M3		1.000	
M4	1.000		
M5			1.000
M6		1.000	
M7	1.000		
M8			1.000
M9			1.000
M10		1.000	
M11	1.000		
M12		1.000	
M13	1.000		
M14		1.000	
M15	1.000		

---- 500 VARIABLE y.L i parcasinin k hucresine atanmasi

	H1	H2	H3
P1		1.000	
P2	1.000		
P3			1.000
P4			1.000
P5		1.000	
P6	1.000		

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

P7		1.000
P8		1.000
P9	1.000	
P10	1.000	
P11		1.000
P12		1.000
P13	1.000	
P14	1.000	
P15		1.000
P16		1.000
P17	1.000	
P18	1.000	
P19		1.000
P20		1.000
P21	1.000	
P22	1.000	
P23	1.000	
P24		1.000
P25		1.000
P26	1.000	
P27	1.000	
P28	1.000	
P29		1.000
P30		1.000
P31	1.000	
P32	1.000	
P33	1.000	
P34		1.000

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

P35	1.000
P36	1.000
P37	1.000
P38	1.000
P39	1.000
P40	1.000
P41	1.000
P42	1.000
P43	1.000
P44	1.000
P45	1.000
P46	1.000
P47	1.000
P48	1.000
P49	1.000
P50	1.000
P51	1.000
P52	1.000
P53	1.000
P54	1.000
P55	1.000
P56	1.000
P57	1.000
P58	1.000
P59	1.000
P60	1.000
P61	1.000
P62	1.000

EK-6. (devamı) Problemin GAMS çıktıları

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 3 Mb WIN225-148 May 29, 2007

**** FILE SUMMARY

Input C:\Users\Dilruba\Documents\gamsdir\projdir\tez 2.gms

Output C:\Users\Dilruba\Documents\gamsdir\projdir\tez 2.lst

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAYEL, Sevde Dilruba
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 21.12.1989, Gümüşhane
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 582 38 19
 Faks :
 e-mail : dilrubakarayel@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /End. Müh. A.B.D.	Devam Ediyor
Lisans	Selçuk Üniversitesi/End. Müh.	2011
Lise	Çağrıbey Anadolu Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2014	Erzurum Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

S.D. Karayel, E. Atmaca, *Ofis Mobilyaları Üreten Bir İşletmede Hücre Tasarımı Ve Hücre Etkinliğinin Belirlenmesi*, 34. Ulusal Yöneyim Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, Bildiri Özeti Kitabı 73-75.

Hobiler

Kitap okuma, film izleme, seyahat



GAZİ GELECEKTİR..