

**HÜCRESEL İMALAT SİSTEMİNE GÖRE MOBİLYA
ENDÜSTRİSİNDE ERGONOMİK HÜCRE TASARIMI VE
MODELLENMESİ**

H. HÜSEYİN CİRİTCİOĞLU

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2009
ANKARA**

**HÜCRESEL İMALAT SİSTEMİNE GÖRE MOBİLYA
ENDÜSTRİSİNDE ERGONOMİK HÜCRE TASARIMI VE
MODELLENMESİ**

H. HÜSEYİN CİRİTCİOĞLU

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2009
ANKARA**

H. Hüseyin Ciritcioğlu tarafından hazırlanan HÜCRESEL İMALAT SİSTEMİNE GÖRE MOBİLYA ENDÜSTRİSİNDE ERGONOMİK HÜCRE TASARIMI VE MODELLENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Serpil EROL

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Serpil EROL

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ümit YÜCEER

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Erol BURDURLU

.....

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ediz ATMACA

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 06/04/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

H. Hüseyin CİRİTCİOĞLU

HÜCRESEL İMALAT SİSTEMİNE GÖRE MOBİLYA ENDÜSTRİSİNDE ERGONOMİK HÜCRE TASARIMI VE MODELLENMESİ

(Doktora Tezi)

H. Hüseyin CİRİTCİOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2009

ÖZET

Günümüzde tüketicilerin ekonomik, coğrafi ve kültürel farklılıkları nedeniyle ürünlere olan talepleri çeşitlilik göstermektedir. Aynı zamanda bu çeşitlilik ürün yaşam döngülerini de kısaltmıştır. Hücresel imalat (Hİ) sistemi tüketici beklentilerindeki bu çeşitlilik ve kısa ürün yaşam döngüsüne üretim sistemlerinin hızlı bir şekilde adaptasyonunu sağlayan önemli bir uygulamadır.

Hİ sistem tasarımı iki önemli problem vardır. Bunlardan ilk ve en önemli olanı hücre formasyonlarının (parça aileleri, makine hücreleri) oluşturulmasıdır. İkinci problem ise Hİ sistemindeki harici elemanların (harici parça, darboğaz makine) eliminasyonudur.

Hİ sistem tasarımı ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde iki önemli eksiklik belirlenmiştir. Görülen ilk eksiklik harici eleman eliminasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerde (fason imalat, hücreler arası taşıma, darboğaz makine satın alma) fazla mesaili üretim ile harici parçaların eliminasyonu alternatifinin göz önünde bulundurulmamasıdır. İkinci önemli eksiklik ise hücre formasyonunda ergonomik faktörlerin göz önünde bulundurulmamasıdır.

Bu çalışmada literatürde görülen bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli önerilmiştir. Önerilen model harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin minimizasyonunu amaçlayan ve harici eleman eliminasyonu ile hücre formasyonu problemlerini birlikte ele alan 0-1 karışık tamsayılı programlama modelidir.

Geliştirilen modelin uygulamaya esas üretim sistemi (panel mobilya üretimi) gereksinimleri göz önünde bulundurularak genişletilmesiyle üç farklı model geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ve gerçek üretim sistemi verileri kullanılarak oluşturulan problemler GAMS/CPLEX 10.2 paket programı aracılığıyla çözülmüştür.

Elde edilen çözüm sonuçları yorumlanmış ve uygulamaya esas sistem için uygun talep miktarları ve hücre formasyonları önerilmiştir.

Önerilen modellerin, gerçek yaşamda karşılaşılabilecek bir Hİ sistem tasarımı problemi için hücre formasyonu ve harici eleman eliminasyonu problemlerinin yanı sıra ergonomik faktörleri de ele alması nedeniyle gerek mobilya endüstrisi gerekse diğer endüstri dalları için etkin ve faydalı bir araç olmaya aday olduğu gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Hücresel İmalat, Harici Eleman Eliminasyonu, Ergonomi, Matematiksel Programlama, Mobilya Endüstrisi
Sayfa Adedi : 196
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Serpil EROL

**ERGONOMIC CELL DESIGN AND MODELING IN FURNITURE INDUSTRY
ACCORDING TO CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM**

(Ph.D Thesis)

H. Hüseyin CİRİTCİOĞLU

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2009

ABSTRACT

Today, the demands on products vary due to the economic, geographic and cultural differences of consumers. At the same time, this diversity has shortened the product life-cycles. Cellular Manufacturing (CM) system is an important application, which enables the production systems to quickly adapt to the diversity of consumer expectations and short product life-cycles.

There are two big problems in CM system design. The first and the most important one is the formation (part families, machine cells) of cells. The second problem is the elimination of the exceptional elements (exceptional parts, bottleneck machine) of the CM system.

When the existing literature on the CM system design is examined, two considerable deficiencies have been observed. The first deficiency observed is that over time production alternative is not taken into account with exceptional part elimination in the existing methods (subcontracting, intercellular transfer and bottleneck machine duplication) used for the elimination of exceptional elements. The second important deficiency is that the ergonomic factors are not considered in the cell formation.

In this study, a noise factored ergonomic cell design model was suggested to overcome the mentioned deficiencies observed in the relevant literature. Suggested model is a 0-1 mixed integer programming model, which aims to minimize the exceptional element elimination costs while undertaking the exceptional element elimination and cell formation problems together.

Three different models are developed by the expansion of the suggested model with respect to the requirements of the production system (panel furniture production) in practice. Developed models and the problems generated by using real production systems data are solved by GAMS/CPLEX 10.2 package program.

Obtained solution results are interpreted and appropriate demand quantities and cell formations are suggested for the system in practice.

It is observed that, as the proposed models undertake the cell formation and exceptional element elimination problems along with ergonomic factors for CM system design problem that can be faced in real life, they are efficient and useful tools both for the furniture industry and other branches of industry.

Science Code	: 906.1.141
Key Words	: Cellular Manufacturing, Exceptional Element Elimination, Ergonomics, Mathematical Programming, Furniture Industry
Page Number	: 196
Adviser	: Prof. Dr. Serpil EROL

TEŞEKKÜR

Başta çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Serpil EROL'a teşekkürü bir borç bilirim. Yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, tez izleme komitelerinde ortaya koydukları yönlendirici ve çalışmayı şekillendirici katkılarından dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN ve Prof. Dr. Erol BURDURLU ya, ayrıca Endüstri Mühendisliği Bölümü araştırma görevlileri ve personeline teşekkürü bir borç bilirim. Tüm çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemediği gösterdikleri anlayış ve sabır için eşim ve tüm aileme, biricik oğlum Ali Arda'ya sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	8
2.1. Hücresel İmalat İle İlgili Temel Kavramlar.....	9
2.1.1. Terminoloji.....	9
2.2. Hücre Formasyonu Belirleme Çalışmaları	12
2.2.1. Parça makine grup analizi	12
2.2.2. Benzerlik katsayısı metodu.....	14
2.3. Hücresel İmalat Sistemi ve Mobilya Endüstrisindeki Yeri	18
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	25
3.1. Görsel Yöntemlerle İlgili Çalışmalar	28
3.2. HF Problemi Çözüm Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar	28
3.2.1. Düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemleri ile ilgili çalışmalar	28
3.2.2. Benzerlik katsayısı kümeleme yöntemleri ile ilgili çalışmalar	30
3.2.3. Matematiksel programlamayla ilgili çalışmalar	31
3.2.4. Meta-Sezgiseller ile ilgili çalışmalar.....	35
3.3. Harici Eleman Problemi İle İlgili Çalışmalar	39

Sayfa

3.4. Ergonomik Faktörlerle İlgili Çalışmalar	43
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN ERGONOMİK FAKTÖR.....	53
4.1. Ortak Etkili Gürültü Şiddeti.....	53
4.1.1. Hesaplama adımları	61
5. GÜRÜLTÜ FAKTÖRLÜ ERGONOMİK HÜCRE TASARIMI MODELİ	65
5.1. Uygulamaya Esas Üretim Sisteminin İncelenmesi.....	65
5.1.1. Kullanılan malzemeler	69
5.1.2. Kullanılan makineler	71
5.1.3. Uygulamaya esas ürünler.....	76
5.1.3. Ofis takımı ürün parçaları	77
5.2. Gürültü Faktörlü Ergonomik Hücre Tasarımı Modelleri ve Uygulaması	83
5.3. Önerilen Model	86
5.3.1 Önerilen modelin matematiksel formülasyonu.....	87
5.3.2 Varsayımlar	88
5.3.3 Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli.....	89
5.3.4. Önerilen model ile küçük boyutlu problem çözümü	92
5.3.5. Önerilen modelin gerçek sistem verileri kullanılarak çözümü ...	95
5.4. Genişletilmiş II. Model ve Uygulaması	107
5.5. Genişletilmiş III. Model ve Uygulaması	114
5.6. Genişletilmiş IV. Model ve Uygulaması.....	121
5.7. Geliştirilen Modellerin Değerlendirilmesi	129
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR	143

Sayfa

EKLER	154
EK-1. Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görünüş ve perspektifleri (Çalışma Masası).....	155
EK-2. Uygulamaya esas parça makine matrisi.....	161
EK-3. Uygulamaya esas parça makine matrisi birim parça işleme zamanları.....	162
EK-4. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli 1. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu.....	163
EK-5. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli 1. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu.....	164
EK-6. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli 1. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu.....	165
EK-7. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı II modeli 2. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu.....	166
EK-8. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı II modeli 2. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu.....	167
EK-9. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı II modeli 2. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu.....	168
EK-10. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı III modeli 3. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu.....	169
EK-11. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı III modeli 3. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu.....	170
EK-12. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı III modeli 3. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu.....	171
EK-13. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı IV modeli 4. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu.....	172
EK-14. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı IV modeli 4. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu.....	173
EK-15. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı IV modeli 4. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu.....	174
ÖZGEÇMİŞ.....	175

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Model girdileri (parça ve maliyete göre)	41
Çizelge 3.2. Model girdileri (Makine ve kısıtlara göre)	41
Çizelge 3.3. Model amaçları (Minimum Maliyet-Miktar)	42
Çizelge 3.4. Model amaçları (Maksimum Miktar-Minimum Sapma)	42
Çizelge 3.5. Hücre tasarımı kararları	45
Çizelge 3.6. Çalışan performansını etkileyen insan merkezli anahtar faktörlerin seçimi	48
Çizelge 3.7. İşte gösterilen fiziksel çabanın değerlendirilmesi için kağıt-kalem kullanılan gözlemsel teknikler	51
Çizelge 4.1. Kabul edilebilir gürültüye maruz kalma süresi	56
Çizelge 5.1 Üretim sisteminde kullanılan makinelerin teknik özellikleri	71
Çizelge 5.2 Ofis takımı ürün bileşenleri ve özellikleri	76
Çizelge 5.3 Çalışma masası parça listesi	79
Çizelge 5.4 Etajer parça listesi.....	79
Çizelge 5.5 Keson parça listesi	79
Çizelge 5.6 Kitaplık parça listesi	80
Çizelge 5.7 Konsol parça listesi	80
Çizelge 5.8 Misafir sehpa parça listesi	80
Çizelge 5.9 Birim parça fason imalat, fazla mesaili işçilik ve hücreler arası taşıma maliyetleri	81
Çizelge 5.10. Test problemi veri kümesi (Shafer ve ark. 1992'den uyarlama).....	93
Çizelge 5.11 Test problemi çözüm sonuçları	94
Çizelge 5.12 Model I alternatif problem çözümleri	96

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13 Talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	97
Çizelge 5.15 Talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	99
Çizelge 5.16 Talebin 250 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	100
Çizelge 5.17 Temel Model I.Problem için performans ölçütleri	104
Çizelge 5.18 Model II alternatif problem çözümleri	109
Çizelge 5.19 II. modelde talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	110
Çizelge 5.20 II. modelde talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	111
Çizelge 5.21 II. modelde talebin 250 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	113
Çizelge 5.22 II Model 2.Problem için performans ölçütleri	113
Çizelge 5.23 Model III alternatif problem çözümleri	116
Çizelge 5.24 III. modelde talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	117
Çizelge 5.25 III. modelde talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	118
Çizelge 5.26 III Model 3.Problem için performans ölçütleri	120
Çizelge 5.27 Model IV alternatif problem çözümleri	122
Çizelge 5.28 IV. modelde talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	124
Çizelge 5.29 IV. modelde talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	125
Çizelge 5.30 IV. modelde talebin 250 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücreesine satın alınacak i makine sayısı	126
Çizelge 5.31 IV Model 4.Problem için performans ölçütleri	127

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 5.32 Çözümü yapılan problemlerin performans ölçütleri ve harici eleman eliminasyonu maliyetlerine göre değerlendirilme özeti.....	131
---	-----

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.2. Parça-makine matrisi	10
Şekil 2.3. Yeniden düzenlenmiş parça-makine matrisi.....	11
Şekil 2.4. Örnek ilişki şeması	16
Şekil 2.5. Hücre formasyonunda kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması ...	17
Şekil 5.1. Ürün bileşenleri temel süreç şeması	78
Şekil 5.2. Test Problemi çözümünden elde edilen hücre formasyonu.....	94

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

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

Simgeler	Açıklama
a_{ij}	Şayet j parçasının işlenmesi için i makinesi gerekli ise 1, aksi halde 0
A_i	i makinesi satın alma maliyeti
C_i	i makinesi periyodik kapasitesi
C_j	j parçasının fazla mesai ile üretim maliyeti
D	Ortak etkili gürültü şiddetinin belirleneceği öklit uzaklık (m)
D_j	j parçasına olan periyodik tahmini talep
I_{ab}	Ortam gürültü yoğunluğu (W/m^2)
IC_k	Eğer k hücresi biçimlendirilmişse 1, aksi taktirde 0
I_j	j parçasını iki hücre arasında taşıma maliyeti
i	Makine indisi $i=1,2,\dots,m$
j	Parça indisi $j=1,2, \dots,n$
k	Hücre indisi $k=1,2, \dots,c$
MM	Her bir hücrede yer almasına izin verilen makine tiplerinin maksimum miktarı
M_{ijk}	j parçasının üretimi için k hücresinde ihtiyaç duyulan i makinesi sayısı
N_i	i makinesi gürültü seviyesi dBA
N_k	k hücresine atanan m makinelerinin ortak etkili gürültü seviyesi dBA (max 120 dBA)
NM	Her bir hücrede yer almasına izin verilen makine tiplerinin minimum miktarı
O_{ijk}	i makinesinin k hücresinde ulaşılabilir olmaması nedeniyle fason imalat yapılan j parçası sayısı
$O_{t_{ijk}}$	i makinesinin k hücresinde ulaşılabilir olmaması nedeniyle fazla mesai ile imalatı yapılan j parçası sayısı
P_{ij}	j parçasını i makinesinde üretebilmek için gerekli işlem zamanı

Simgeler	Açıklama
Q_i	Bir makine hücresinde ilgili parçaları işlemek için gerekli i makinesi sayısı
R_{ik}	k hücresine satın alınacak i makine sayısı(tam sayı)
Rb_{ik}	k hücresine atanan i makinesinin REBA puanı
S_j	Bir işlem için j parçasının birim fason imalat maliyeti
SP	$a_{ij}=1$ olan (i,j) çiftlerinin kümesi
U_{ijk}	Eğer $X_{ik}=1$ ve $Y_{jk}=0$ ise 1, aksi halde 0
UC_{ij}	j parçası için i makinesinin kullanılan kapasitesi. Bu değer $P_{ij} \times D_j / C_i$ formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.
V_{ijk}	Eğer $Y_{jk}=1$ ve $X_{ik}=0$ ise 1, aksi halde 0
X_{ik}	Eğer i makinesi k hücresine atanmışsa 1, aksi halde 0
Y_{jk}	Eğer j parçası k hücresine atanmışsa 1, aksi halde 0
Z_{ijk}	Üretileceği k hücresi içerisinde i makinesinden olmaması durumunda hücreler arası transferi yapılan j parçası sayısı
η	Gruplama etkenlik ölçütü
τ	Gruplama etkinlik ölçütü
η_g	Gruplama ölçüsü
e	Hücre formasyonundaki harici eleman sayısı
v	Hücre formasyonundaki boşluk sayısı
o	Matristeki 1 değerli eleman sayısı
d	Hücrelerdeki 1 değerli eleman sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
ALC	Average Linkage Clustering
BEA	Bond Energy Algorithm (Bond enerji algoritması)
CAE	Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)

Kısaltmalar	Açıklama
CIA	Cluster Identification Algorithm (Küme belirleme algoritması)
CLC	Complete Linkage Clustering
CMSs	Cellular Manufacturing Systems (Hücresel İmalat Sistemi)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Nümerik Kontrol)
DCA	Direct CLustering Algorithm (Direkt kümeleme algoritması)
EİS	Esnek İmalat Sistemleri
EMÜH	Esnek Mobilya Üretim Hücresi
GAMS	The General Algebraic Modelling System
GT	Grup Teknolojisi
Hİ	Hücresel İmalat
MODROC	Modified Rank Order Clustering (Değiştirilmiş derece sıralı kümelendirme)
LCC	Lineer Cell Clustering
REBA	Rapid Entire Body Assessment
ROC	Rank Order Clustering (Derece sıralı kümelendirme)
ROC2	Rank Order Clustering 2 (Derece sıralı kümelendirme 2)
SLC	Single Linkage Clustering
TÜSB	Toplam Ürün Satış Bedeli
EEEs	Harici Eleman Eliminasyonu (Exceptional Element Elimination)

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında, ekonomik, coğrafi ve kültürel yapılarıdaki farklılıklardan kaynaklanan çeşitlilik ve bireysel tatmin beklentisi tüketicilerin ürünlere olan talepleri üzerinde yoğun bir etkiye sahiptir. Bu etki, işletmeler için, aynı ürün grubunda farklı istek ve ihtiyaçlara cevap vermeyi zorunlu kılmaktadır. Teknolojide yaşanan hızlı değişime paralel olarak tüketicilerin bu istek ve ihtiyaçlarına cevap verebilme oranı yükseldikçe ürün yaşam döngüleri de kısalmakta ve çeşitlilik artmaktadır. Firmaların devamlılıklarını sağlayabilmeleri için bu pazar koşullarına hızlı bir şekilde adapte olmaları gerekmektedir. Ticari anlamda ülkeler arasındaki sınırların kalkması sonucu, işletmelerin yalnızca yerel firmalarla değil diğer ülke firmalarıyla da rekabet içinde olmaları zorunlu olmuştur. Rekabetin temelinde mevcut pazardan alınan payın artırılması hedeflenir. Hedefe ulaşmak için işletmeler daha fazla sayıda müşterinin beklentilerini karşılamalıdır. Bu sebeple, hedef pazar olarak görülen bireylerin beklentilerine cevap verecek sayıda ve nitelikte ürün çeşitlemesine olanak sağlayan bir üretim sistemi günümüz işletmeleri için zorunlu olmaktadır.

Bu zorunluluk farklı üretim teknikleri ve teknolojilerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Üretim sistemlerinin zaman içerisindeki değişimine bakıldığında ilk etapta teknolojinin yetersizliği ve talebin az olması nedeniyle daha çok emek yoğun atölye tipi üretimin tercih edildiği görülmektedir. Zaman içerisinde talebin hızla artması ile üretimin emek yoğun yapıdan makine ağırlıklı üretim yapısına geçilmesini gündeme getirmiştir. Teknolojide yaşanan gelişmeler insanların yaptığı birçok işi makinelerin yapabilir olmasına olanak sağlamıştır. Bu gelişme büyüyen talebin karşılanmasında kitle tipi üretimi gündeme getirmiştir. Fakat kitle tipi üretim, yapısı itibarıyla yüksek kapasitede düşük ürün çeşitliliğine olanak sağlamaktadır. Günümüz koşullarında kitlesel üretim tekniği tüketici beklentilerindeki çeşitlilik ve aynı işlev ya da farklı işlev kombinasyonlarını bünyesinde barındıran farklı ürün çeşitliliği beklentilerine cevap vermemektedir. Ortaya çıkan problemin

özümü için talebin karşılanması amacıyla yüksek kapasitede üretim yapılırken tüketici beklentilerine cevap verebilecek ürün çeşitlemesine olanak sağlayacak bir üretim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gereksinimi karşılamak için esnek imalat sistemleri (EİS) geliştirilmiştir. EİS küçük sayılabilecek parti büyüklükleri ve yüksek çeşitlilikteki parçalar için tasarlanmış otomatik üretim sistemidir ve bu sistemin amacı atölye tipi üretimin esnekliğini sürdürürken kitle tipi üretimdeki otomasyonun faydalarına ulaşmaktır [Singh ve Rajamani, 1996].

Esnek imalat sistemlerinin elde edilebilmesinin temelinde grup teknolojisi yaklaşımı yer almaktadır. Grup teknolojisi (GT) yaklaşımı, atölye tipi üretimde ortaya çıkan düzensiz süreçler, yüksek hazırlık zamanları, yüksek üretim temin zamanları ve düşük verimliliğin ortadan kaldırılabilmesi için geliştirilmiştir.

GT yaklaşımında, benzer süreç ve makine işleme gereksinimi olan parçaların işlenmesi için makine grupları (makine hücreleri) kullanılır. Arn, GT üretim sisteminin şu üç yapıyı içerebileceğini belirtmiştir [Arn,1975]: GT merkezi, GT hücresi ve GT akış hattı. GT yi oluşturan hücreler esas alınarak hücresel imalat (Hİ) kavramı gündeme gelmiştir.

Hücresel imalat (Hİ); GT felsefesinin imalata uygulanması olarak 1950'lerin sonlarına doğru geliştirilmiştir [Heragu, 1994]. Hİ'nin temel özelliği, küçük bir sistemin etkin ve kontrol edilebilir olma özelliğini büyük sisteme yansıtmaktır. Bu noktadan hareketle, mevcut sistem içerisinde benzer üretim işlemlerine sahip parça grupları (aileleri) ve bunların amaca yönelik olarak tamamen ya da kısmen üretilmelerini sağlayacak makine hücrelerini belirlemek suretiyle oluşturulan hücreler ile uygun bir yerleşim düzeni oluşturarak sistemdeki iş akışı basitleştirilir.

Hİ sisteminin üretim sistemi üzerinde belirgin birçok faydası bulunmaktadır. Hİ sistemi ile sağlanan başlıca faydalar; hazırlık zamanlarının, süreç içi stok

miktarları ve işçilik zamanlarının azalmasının yanı sıra ürün kalitesinde artış, tesis yerleşiminde faydalı alan kullanımının artması sayılabilir. Singh (1993) Hİ sisteminin başlıca olumsuz yönlerinin makine faydasında azalma ve yatırım maliyetlerindeki artış olduğunu belirtmiştir [Singh, 1993].

Hİ'nin geliştirilmesindeki temel adım parça ailelerinin belirlenmesi ve makine hücrelerin oluşturulmasıdır. Bu işlem hücresel formasyon olarak da anılır. Hücresel formasyon benzer tasarım özellikleri ve süreç gereksinimleri olan parçaların (parça aileleri) ve bu parçaların işlenmesine yeterli makinelerin bir araya getirilmesi (makine hücreleri) olarak tanımlanır [Seifoddini ve Tjahjana, 1999, Chu, 1989]. Parça aileleri ve makine hücrelerinin oluşturulması için kullanılan yöntemler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak ele alınmıştır.

Hücre tasarımında temel hedef tamamen birbirinden bağımsız hücrelerin elde edilmesidir. Hücrelerin birbirinden bağımsız olması parça ailelerinin gereksinimi olan tüm işlemleri ilgili hücrede görmesine bağlıdır. Fakat gerçek sistemlerde bunu tam olarak başarmak mümkün olmamaktadır. Bir ailedeki parçaların tüm işlemleri bir makine hücresinde tamamlanamaması nedeniyle diğer hücrelerde de işlem görmesi gerekmektedir. Bu durum hücre tasarımı problemi içerisinde harici eleman problemini ortaya çıkarmaktadır.

Berardi ve arkadaşları harici elemanların hücresel imalat sistem yaklaşımını üç temel nedenden dolayı zedelediğini vurgulamaktadır. Birinci neden, hücresel formasyonun temel amacı olan bağımsız hücrelerin oluşturulmasını engellemesidir. İkincisi; hücresel imalatla elde edilmesi planlanan hazırlık zamanlarının azaltılması, süreç içi stokların azaltılması, malzeme taşıma maliyetlerinin azaltılması vb. faydaların zarar görmesidir. Sonuncusu ise harici elemanların hücreler arası taşınması ya da harici parçaların sistemi aksatmadan üretimini gerçekleştirmeye yönelik yapılması gereken ilave yatırımların ortaya çıkmasıdır [Öktemer, 2002].

Harici eleman probleminin çözümü için çeşitli yöntemler önerilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerin çoğu hücre formasyonu probleminin çözümünden elde edilen bir başlangıç çözümünü dikkate almaktadır. Harici eleman probleminin çözümüne yönelik ortaya konan yaklaşımlar; harici parçaları hücreler arası taşımak suretiyle üretmek, harici parçaların fason imalatı ve harici parçaların ihtiyaç duyduğu makine ve/veya teçhizatın temin edilmesidir. Bu çalışmada literatürde yer alan bu yaklaşımlara ek olarak harici parçaların fazla mesai ile ilgili hücrelerde üretilmesi yaklaşımı da göz önünde bulundurulmuştur. Fazla mesai uygulamaları ile harici parçaların üretiminin pratikte en sık kullanılan yöntem olduğu söylenebilir. Bunun temel nedeni ise, işletmenin gereksinimlerini kendi kaynaklarıyla gidermek istemesi ve ürün teslim sürecine daha fazla hakim olmak istemesi gibi gerekçeler olabilir.

Ayrıca yukarıda bahsedildiği gibi harici eleman probleminin çözümünde kullanılan yöntemler genellikle hücre formasyonu probleminin çözümünden elde edilen bir başlangıç çözümünü kullandıkları için harici eleman probleminin çözümündeki başarı başlangıç çözümün etkinliğine bağlı olmaktadır. Bu nedenle çalışmada harici eleman problemi ile hücre formasyonu problemini eş zamanlı olarak ele almak suretiyle etkinlik artırılmaya çalışılmıştır.

Bir diğer önemli nokta, hücresel formasyon problemlerinde kullanılan kısıtlarda ergonomik faktörlerin göz önünde bulundurulmamasıdır. Günümüzde ergonomik faktörlerin çalışanların emniyeti ve iş verimliliği üzerindeki etkileri bilinmektedir. Bu nedenle çalışmada hücre formasyonu problemine ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörünün kısıt olarak eklenmesi ile daha ergonomik üretim hücrelerinin elde edilmesine çalışılmıştır.

Çalışmada uygulama alanı olarak mobilya endüstrisi seçilmiştir. Mobilya endüstrisinin seçimindeki temel neden kullanılan üretim teknolojileri ve pazar gereksinimleri itibarıyla son derece çeşitliliğe sahip olmasıdır.

Günümüzde mobilya endüstrisi rekabetin giderek sıkılaştığı bir pazar yapısına bürünmektedir. Artık ürün tasarımları pazar gereksinimleri doğrultusunda on yıllar değil yalnızca bir ya da birkaç yıllık yapılmaktadır. Üreticiler, daha fazla rekabet ve değişen tüketici talepleri sonucu ihtiyaç duyulan çok çeşitli ürün grupları ve sitillerini tatmin edebilmek için üretim tesislerini yeniden yapılandırma ihtiyacını fark etmişlerdir [Kyle ve Ludka, 2000].

Culbreth ve ark. Hİ sisteminin karakteristiklerinin, mobilya endüstrisi gibi moda baskın endüstrilerin üretim gereksinimlerini tatmin edebileceğini vurgulamıştır [Culbreth ve ark., 1989].

Yukarıda bahsedilen nedenler uygulama alanı olarak mobilya endüstrisinin uygun olacağını göstermektedir. Bir gerçek yaşam problemi olarak mobilya endüstrisinin bu yapısal özelliğine çözüm üretecek bir yaklaşımın ortaya konması gerek ülkemiz gerekse uluslararası mobilya endüstrisi için faydalı olacağı açıktır. Ayrıca çalışmada ortaya konulan matematiksel model yaklaşımının yalnızca mobilya endüstrisi için değil diğer endüstri dalları için de kullanılabilir nitelikte olması bir diğer avantajlı yanıdır.

Bu çalışmada, gerçek yaşamda karşılaşılabilecek bir hücreli imalat sistem tasarımı problemi için harici eleman ve hücreli formasyonu eş zamanlı olarak ele alan ve ergonomik kısıtlarla daha çalışan dostu üretim hücreleri elde etmeyi amaçlayan bir matematiksel model ve çözüm yöntemi önerilmiştir. Çalışmada oluşturulan matematiksel modelin çözümü için GAMS/CPLEX 10.2 paket programı kullanılmıştır.

Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1, yapılan çalışmaya ilişkin genel bir giriş ve her bir bölümde incelenen konuların özeti niteliğindedir.

Bölüm 2’de hücresel imalat (Hİ) sistemlerine ilişkin temel kavramlar tanıtılarak örneklenmiştir. Bu kavramlar çalışma konusu olan Hİ sistem tasarımı probleminin tanımlanmasına olanak sağlayacak niteliktedir. Akabinde literatürde yaygın olarak kullanılan temel hücre formasyonu belirleme yöntemleri değerlendirilmiştir. Bu bölümde son olarak uygulama alanı olarak seçilen mobilya endüstrisi ve Hİ arasındaki ilişkiler ve Hİ’nin mobilya endüstrisinde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Bölüm 3’te hücresel imalat sistem tasarımına yönelik yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Çalışmalar hücre formasyonu oluşturmaya yönelik gruplama teknikleri ve çözüm yöntemleri olmak üzere iki ana başlıkta ele alınmıştır. Çözüm yöntemleri ise düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemleri, benzerlik katsayısı kümeleme yöntemleri, matematiksel programlama ve meta-sezgisel yöntemler olarak sınıflandırılmış ve bu sınıflandırma çerçevesinde daha önce yapılan çalışmalar verilmiştir. Akabinde çalışmada göz önünde bulundurulan harici eleman eliminasyonu ile ilgili literatür incelemesinin ve kullanılabilecek ergonomik faktörlerin değerlendirilebilmesi amacıyla bu alanda katkı sağlayabilecek literatürde değerlendirilmiştir.

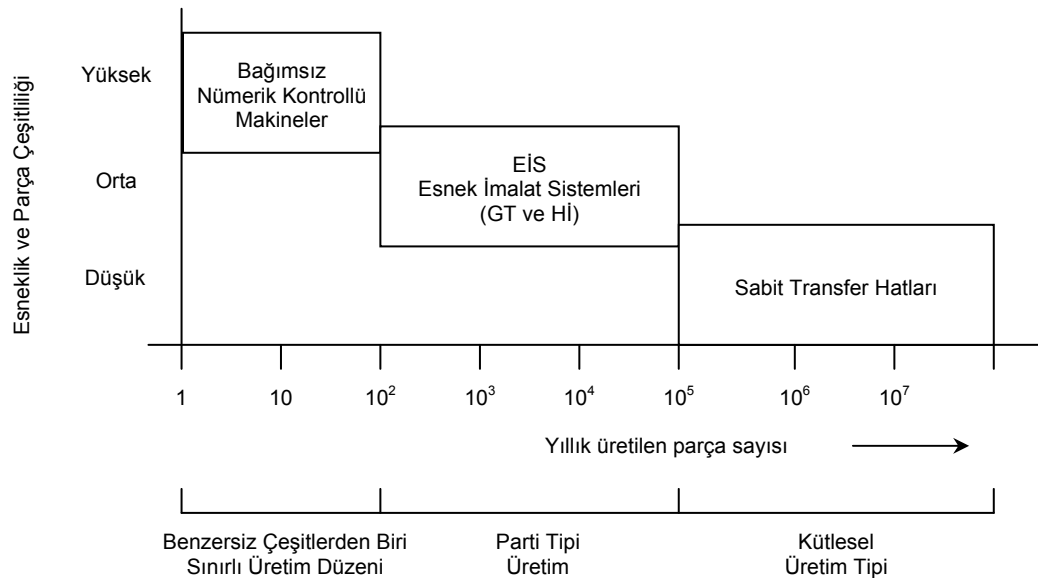
Bölüm 4’te bu çalışmada geliştirilen matematiksel modelde göz önünde bulundurulan ortak etkili gürültü şiddeti kavramsal bilgiler ve hesaplanmasına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Bölüm 5’te bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli ve modelin geliştirilme safhaları verilmiştir. Bu kapsamda öncelikle uygulamaya esas mobilya endüstrisi ve uygulamaya esas sistem bileşenleri (makine, malzeme, ürün ve parçalar) incelenmiştir. Daha sonra önerilen model ve bu modelin genişletilmesi ile elde edilen modeller kullanılarak gerçek sistem verileri ile oluşturulmuş uygulama problemlerinin çözümleri yapılarak elde edilen sonuçlar raporlanmıştır.

Bölüm 6'da çalışma sonucu elde edilen bulgular özetlenerek çalışma kapsamı dışında kalan fakat uygulamaya açık noktaların vurgulanmasıyla ileri çalışmalar için öneriler yapılmıştır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

Günümüz koşullarında küreselleşmenin de etkisiyle işletmeler, hedef pazar olarak gördükleri tüketicilerin büyüyen talepleri yanı sıra yüksek ürün çeşitliliği ve ekonomiklik beklentilerine de cevap vermek zorunda kalmıştır. Bu durum, işletmelerin beklentilere cevap verecek sayıda ürün çeşitliliği ve üretim miktarını sağlayabilmesine olanak sağlayacak üretim sistemi gereksinimlerini ortaya çıkarmıştır. Üretim sistemlerinde bu beklentilere cevap verebilmek için ürün tasarımı ve üretim arasında yüksek entegrasyon sağlanmalıdır. Bu yüksek entegrasyon ise esnek imalat sistemleri (EİS) ile elde edilebilir (Şekil 2.1). Esnek imalat sistemlerinin elde edilebilmesinin temelinde grup teknolojisi yaklaşımı yer almaktadır. Grup teknolojisi (GT) yaklaşımı, atölye tipi üretimde ortaya çıkan düzensiz süreçler, yüksek hazırlık zamanları, yüksek üretim temin zamanları ve düşük verimliliğin ortadan kaldırılabilmesi için geliştirilmiştir.



Şekil 2.1. Üretim hiyerarşisi içinde EİS, GT ve Hİ'nin yeri [78]

GT yaklaşımında, benzer süreç ve makine işleme gereksinimi olan parçaların işlenmesi için makine grupları (makine hücreleri) kullanılır. Arn, GT üretim sisteminin şu üç yapıyı içerebileceğini belirtmiştir [Arn,1975]: GT merkezi, GT

hücresi ve GT akış hattı. GT üretim sistemlerinin temel bileşenlerinden olan hücreler esas alınarak hücresel imalat (Hİ) kavramı gündeme gelmiştir.

Hİ sistemlerinin tasarımı bünyesinde birbirinden farklı problemleri barındırmaktadır. Hİ'nin ilk ve en önemli adımı hücre formasyonudur. Dolayısıyla bu konuda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu hücre formasyonu (HF) problemine odaklanmıştır. Hİ sistem tasarımındaki bir diğer önemli problem ise HF' de ortaya çıkan harici elemanların eliminasyonu problemidir. Bu çalışmada HF ve harici eleman problemleri birlikte ele alınması nedeniyle problemin bütünü hücresel imalat sistem tasarımı olarak ifade edilmiştir. Bu problemin tanımlanması ve daha iyi kavranabilmesi için kullanılan temel kavramlar bu bölümde incelenmiştir.

2.1. Hücresel İmalat İle İlgili Temel Kavramlar

2.1.1. Terminoloji

Grup Teknoloji: Grup teknolojisi (GT), ürünler ve bu ürünlerin üretiminde ihtiyaç duyulan süreçlerdeki benzerlikleri temel alarak, bu özelliklerin ele alınan sistem için faydalı hale getirilmesini amaçlayan, imalat ve mühendislik yönetim felsefesidir [Selim ve ark., 1998]. Hücresel imalat (Hİ); GT felsefesinin imalata uygulanması olarak geliştirilmiştir [Heragu, 1994].

Hücresel İmalat: Birbirine benzer özelliklere ve üretim işlemlerine sahip parça grupları (parça aileleri) ile bunların amaca yönelik olarak tamamen ya da kısmen üretilmelerini sağlayacak kümelenmiş makineleri (makine hücreleri) kapsar.

Hücresel Formasyon: Hücresel imalatın ilk ve en önemli adımı hücresel formasyondur. Benzer tasarım özellikleri ve süreç gereksinimleri olan parçaların parça aileleri ve bu parçaların işlenmesinde kullanılan makinelerin

hücreler olarak gruplanmasıdır [Chu, 1989; Selim ve ark., 1998; Tsai ve Lee, 2006].

Parça Ailesi: Benzer tasarım özellikleri ve süreç gereksinimlerine sahip parça grubunu ifade eder [Wang, 2003].

Makine Hücresi: Her bir parça ailesini tamamen ya da kısmen işlemek üzere, fonksiyonel özellikleri itibarıyla birbirine benzemeyen makinelerin gruplandığı kümelerdir [Wang, 2003].

Parça Makine Matrisi: Hücresel imalat sisteminde parçalar ve makineler arasındaki ilişkiyi gösteren matristir. Bu matris $A=[a_{ij}]$ kümesi ile ifade edilir. Burada a_{ij} 0 ya da 1 değerlidir. Şayet i parçasının j makinesinde işlem görmesi gerekiyorsa $a_{ij}=1$; aksi halde $a_{ij}=0$ değerlidir. Crama ve Oosten parça makine matrislerinin 0–1 değerleri dışında parçaların ilgili makinedeki işlem zamanları ya da probleme ait başka sayısal veriler kullanılarak değişik şekilde düzenlenebileceğini belirtmiştir [Crama ve Oosten, 1996].

Hücresel formasyonda, parça makine matrisinin satır ve sütunlarının bir blok diyagonal yapı oluşturacak şekilde yeniden düzenlenmesine çalışılır. Bu sayede oluşturulan bloklar hücreleri gösterir. Şekil 2.2’de 5 parça ve 4 makineden oluşan örnek bir parça makine matrisi görülmektedir [Singh ve Rajamani 1996].

		Parça (p)				
		1	2	3	4	5
Makine (m)	1	1	0	1	0	0
	2	0	1	1	0	1
	3	1	0	0	1	0
	4	0	0	1	0	1

Şekil 2.2. Parça-makine matrisi [103]

		Parça (p)				
		1	4	3	5	2
Makine (m)	1	1	0	1	0	0
	3	1	1	0	0	0
	2	0	0	1	1	1
	4	0	0	1	1	0

Şekil 2.3. Yeniden düzenlenmiş parça-makine matrisi [103]

Blok Diyagonal Yapı: Crama ve Oosten'e göre $A = [a_{ij}]$ kümeli parça makine matrisinde $a_{ij} \neq 0$ elemanları için satır kümesi $r_1, r_2, \dots, r_{k-1}, r_k$ olarak ve sütun kümesi $c_1, c_2, \dots, c_{k-1}, c_k$ olarak ($1 \leq l \leq k$ ve $i \in R_l, j \in C_l$) parçalanabiliyorsa A blok diyagonal yapıdadır denir [Öktemer, 2002]. Şekil 2.2'de verilen parça makine matrisinin yeniden düzenlenmesi ile elde edilen blok diyagonal yapıdaki matris Şekil 2.3'te görülmektedir.

Harici Eleman: Blok diyagonal yapı dışında kalan $a_{ij}=1$ değerli matris elemanları harici elemanları temsil eder. Harici elemanlar, iki veya daha fazla hücre arasında işlem görmek üzere hareket yaratan parçalar ve/veya makinelerdir [Shafer ve ark., 1992]. İki veya daha fazla parça ailesi tarafından ihtiyaç duyulan makineler darboğaz makineler olarak da isimlendirilebilir.

Şekil 2.3'te $a_{1,3}$ elemanı harici parçadır. 3 numaralı parça 2. hücreye atanmışken birinci hücreye atanmış olan 1 numaralı makinede işlem görmesi gerekmektedir. Bu durumda 3 numaralı parça harici parça ve 1 numaralı makine ise darboğaz makine olarak adlandırılır.

Boşluk: Blok diyagonal yapıdaki $a_{ij}=0$ değerli elemanlar ise boşluk olarak adlandırılır. Boşluklar birbiri ile doğrudan ilişkili olmayan parça ve makinelerin aynı hücreye atandığını gösterir. Şekil 2.3'te elde edilen blok diyagonal yapı içerisinde $a_{1,4}$ ve $a_{4,2}$ elemanları boşluktur. 4 numaralı parçanın 1 numaralı

makinede ve 2 numaralı parçanın da 4 numaralı makinede işlem görmesi gerekmemesine rağmen aynı hücrede kümelenmişlerdir.

2.2. Hücre Formasyonu Belirleme Çalışmaları

2.2.1. Parça makine grup analizi

Hücre formasyonunun belirlenmesinde kullanılan analitik yaklaşımlardan birisi olan parça-makine grup analizi için oluşturulan parça-makine matrisi basit anlamda hücrel formasyon probleminin özetini verir. Şayet p parçası m makinesinde işlem görmeyi gerektiriyorsa matriste bu işleme karşılık gelen $a_{mp} = 1$ aksi halde $a_{mp} = 0$ değerini alır. Parça makine matrisi ile işlemlerin diziliş sırası gözardı edilir ve eğer parçanın makinede birden fazla işlem gereksinimi var ise bu durum parça-makine matrisinde tanımlanamaz [Singh ve Rajamani, 1996]. Parça-makine matrisi olarak tanımlanan ve oluşturulan matrisin elemanları, parçaların ilgili makinedeki işlem zamanlarını gösterebileceği gibi, probleme ait başka sayısal verilerde düzenlenebilir [Crama ve Oosten, 1996]. Örnek parça-makine matrisi Şekil 2.2’de görülmektedir.

Hücrel formasyonda parça-makine matrisinin satır ve sütunları bir “blok diyagonal” form yani matris köşegeni üzerinde bloklar oluşturacak şekilde gruplandırılmaya çalışılır. Bu gruplandırılmış yapı ile elde edilen yeni matriste köşegenlerdeki blokların dışında kalan $a_{mp} = 1$ olan hücreler harici elemanları temsil etmektedir (Şekil 2.3).

Harici elemanlar iki veya daha çok hücre arasında etkileşimli hareket yaratan parçalar ve/veya makinelerdir [Shafer ve ark., 1992]. Köşegen blokları içerisinde $a_{mp} = 0$ değerli gözeler boşluk olarak adlandırılır. Köşegendeki her bir boşluk hücre içerisinde birbiri ile doğrudan ilişkisi olmayan parça ya da makinenin aynı hücre içinde yer alması anlamına gelmektedir. Hücrel formasyonların elde edilmesinde harici elemanlar ve boşlukların varlığı arzu

edilmeyen bir durumdur. Bu durum hücreyel imalat sistem tasarımı için göz önünde bulundurulması gereken başka bir problemidir.

Adil ve arkadaşları, diyagonal blokların sayısı azaldıkça blokların büyüklüğünün arttığını vurgulamıştır. Diyagonal blokların sayısının azalması ile daha çok boşluk ortaya çıkarken daha az sayıda harici eleman oluşmaktadır. Eğer tüm parça ve makineler bir diyagonal blok içerisinde gruplanırsa (örneğin tek ve büyük bir hücre) maksimum sayıda boşluk ve sıfır harici elemana sahip olunur [Singh ve Rajamani, 1996].

Hücreyel imalat sistemi içerisinde harici elemanlar kadar boşluklar da istenilmeyen bir durumdur. Bu sebepten dolayı parça makine matrisinde en uygun blok diyagonal yapının elde edilmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların temel amacı parça makine matrisindeki satır ve sütunların yerlerini değiştirmek suretiyle yeniden düzenleme yaparak uygun diyagonal blokları oluşturmaktır. Oluşturulan diyagonal bloklar sayesinde sistemdeki hücreler oluşturulur. Literatürde parça makine matrisinde satır ve sütunları yeniden düzenlemek suretiyle diyagonal blokları oluşturmak üzere geliştirilen algoritmalarından bazıları şöyledir.

- Bond Energy Algorithm (BEA): Bond enerji algoritması
- Rank Order Clustering (ROC): Derece sıralı kümelendirme
- Rank Order Clustering 2 (ROC2): Derece sıralı kümelendirme 2
- Modified Rank Order Clustering (MODROC): Değiştirilmiş derece sıralı kümelendirme
- Direct Clustering Algorithm (DCA): Direkt kümeleme algoritması
- Cluster Identification Algorithm (CIA): Küme belirleme algoritması,

Yukarıda sayılan yöntemler genellikle parça makine matrisinde satır ve sütunların yeniden düzenlenmesi ile ilgilenir. Bu düzenleme sonucu ortaya çıkan harici eleman ve boşluklarla genellikle ilgilenmezler. Örneğin; BEA

parça makine matrisindeki 0 ve 1 değerli hücrelerin satır ve sütunlarda gruplandırılmasını sağlamaya çalışan bir algoritmadır. Genel amaçlı bir kümeleme yöntemi olan bu algoritma harici eleman eliminasyonu ve darboğaz makinelerle ilişkin herhangi bir öneri getirmemektedir. Derece sıralamalı kümelendirme yöntemleri (ROC, ROC 2, MODROC) ise harici eleman problemi ve darboğaz makine problemi ile sınırlı da olsa ilgilenmektedir.

2.2.2. Benzerlik katsayısı metodu

Hücreyel formasyonun belirlenmesindeki bir diğer yöntem olan benzerlik katsayısı yönteminde, makineler, makine operasyonlarının benzerliklerine göre gruplandırılır. Makine-parça ilişki matrisini makine-makine benzerlik matrisine dönüştürmek için *benzerlik katsayısı* kullanılır. Ballakur'a göre, benzerlik katsayısı parçaların alternatif rotalar üzerinde makineler arasında eşli benzerlik katsayılarının hesaplanmasıyla bulunur ve önerilen benzerlik katsayısı hesaplama formülasyonu aşağıdaki gibidir [Ballakur, 1987].

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N \left[\sum_{r=1}^{r_k} (X_{kr} t_{kr} + n_{kr}) P_{kr} \right] m_k}{\sum_{k=1}^N \left[\sum_{r=1}^{r_k} (X_{kr} t_{kr} + n_{kr} + Y_{kr}) P_{kr} \right] m_k} \quad (2.1)$$

Formülde kullanılan notasyonlar;

S_{ij} : i ve j makineleri arasındaki benzerlik katsayısı.

m_k : k parça tipi için bir periyot boyunca planlanan üretim hacmi

n_{kr} : r 'inci rotada i ve j makineleri arasında k parça tipinin gidip gelme sayısı

r_k : k parça tipi için alternatif rota sayısı

P_{kr} : k parça tipi için r rotasını kullanma faktörü $X_{kr}=1$ şayet k parçası i, j makinelerinin her ikisinde de işleniyorsa, aksi halde 0

Y_{kr} : 1 şayet k parçası i veya j makinelerinde işleniyorsa, aksi halde 0
 t_{kr} : r rotasındaki k parça tipi için i ve j makine çiftlerinde toplam en küçük birim işlem zamanının toplam en büyük işlem zamanına oranı

Literatürde benzerlik katsayısı yöntemini kullanan farklı uygulamalara rastlanılmaktadır. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir,

- Single Linkage Clustering (SLC)
- Complete Linkage Clustering (CLC)
- Average Linkage Clustering (ALC)
- Linear Cell Clustering (LCC)

Hücre formasyonlarını belirlemeye yönelik tüm aşamalar gerçekleştirilerek, oluşturulan üretim hücrelerinin tesis içinde nasıl yerleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi sistemdeki bir diğer sorundur. Heizer ve Render, tesis içerisindeki departmanları veya hücreleri malzeme taşıma maliyetlerini minimize edecek biçimde yerleştirmeyi önermiştir [Heizer ve Render, 1996]. Bir başka ifadeyle, birbiri ile bağımlılık ilişkisi yüksek yani malzeme-işgücü akışı olan departmanlar birbirlerine yakın tutulmalıdır. Fabrika içerisindeki malzeme taşıma maliyetleri, departmanlar arasında taşınan malzeme-işgücü sayısı ve departmanlar arası mesafe verileri, göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar ile ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak formüle etmek gerekirse [Heizer ve Render, 1996]:

$$\text{Min. Maliyet} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} C_{ij}, \quad (2.2)$$

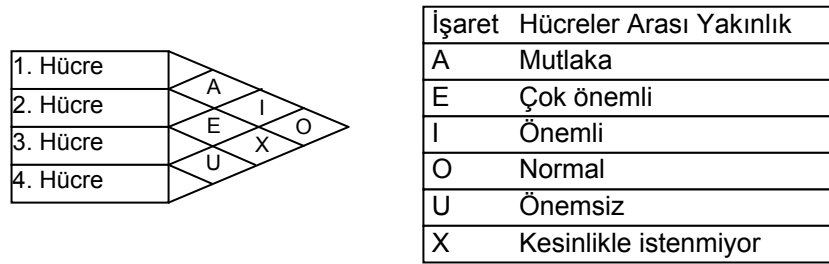
Bu formülasyonda kullanılan notasyonlar şöyledir.

n : Toplam iş hücresi sayısı
 i, j : Hücre numaraları

X_{ij} : i hücresinden j hücresine yapılan taşıma miktarı

C_{ij} : i hücresinden j hücresine birim taşıma maliyeti olarak tanımlanır.

Üretim hücrelerinin yerleştirilmesinde, taşıma miktarlarının sayısal değerlerle ifade edilemediği durumlarda sezgisel yöntemlerden yararlanılabilmektedir. Bu amaç için hücreler arasındaki ilişkilerin göreceli olarak ifade edildiği “ilişki şemaları” kullanılabilir. İlişki şemaları, tasarlanan üretim hücrelerinin birbirlerine ne derece yakın olmaları gerektiğini ifade etmekte kullanılan bir araçtır [Slack ve ark., 1998]. Şekil 2.4’te bir ilişki şeması oluşturulurken kullanılan harfler ve anlamları verilmiştir.

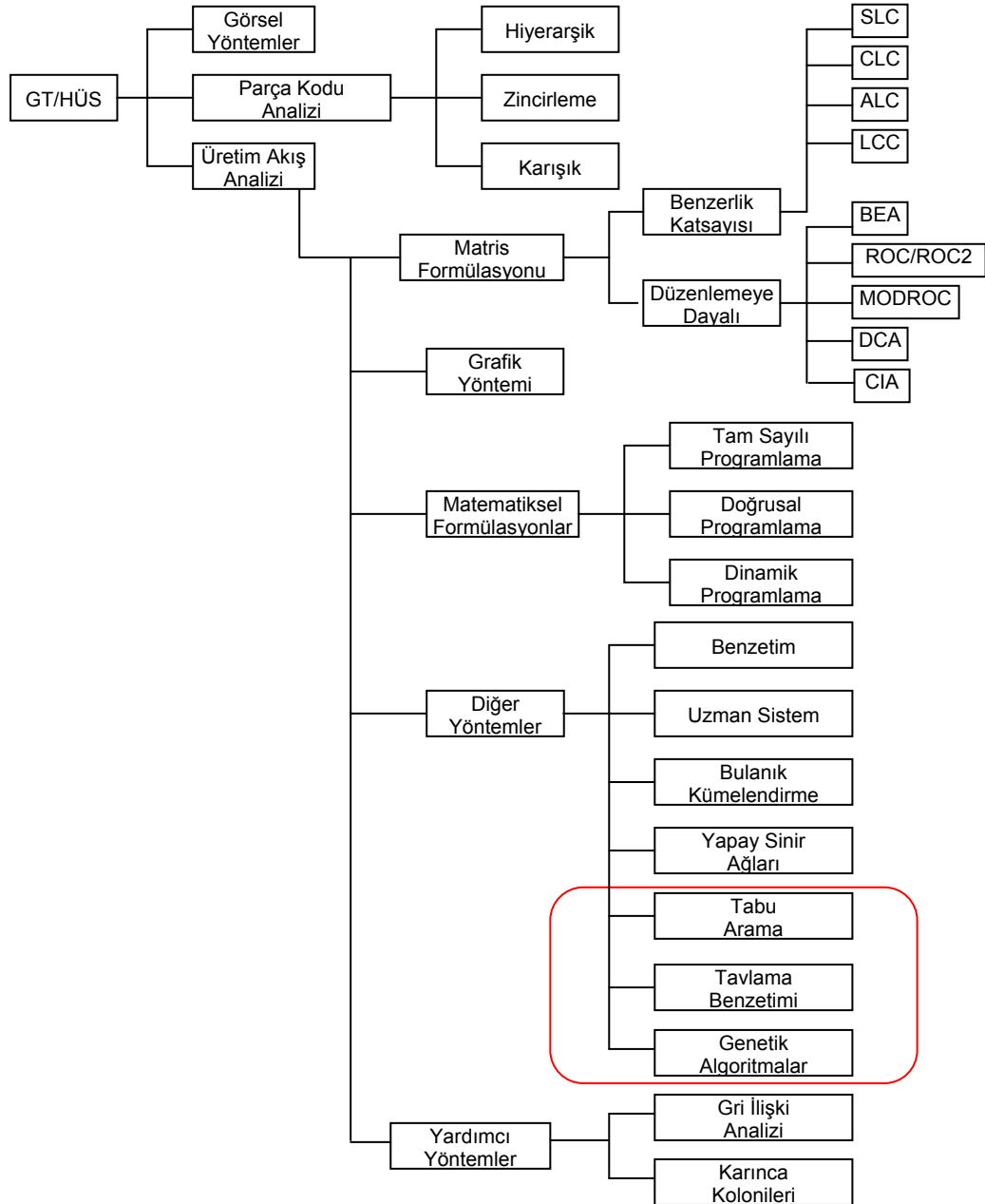


Şekil 2.4. Örnek ilişki şeması [105]

Yukarıda aktarılan klasik yöntemlerin çoğu hücreli imalat probleminin yapısını oluşturan hücre formasyonu problemi ile ilgilenmektedir. Oluşan formasyonda ortaya çıkan harici eleman problemi ile daha sonra ilgilenilmektedir. Bu durum bu yöntemlerin en büyük zayıflıklarındandır. Ayrıca hücreli formasyonu belirleyici birçok faktör (maliyet vb.) göz önünde bulundurulmamaktadır.

Offodile ve arkadaşlarının 1994 yılında yaptıkları çalışmada parça ailesi ve/veya makine hücrelerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemleri Şekil 2.5’de görüldüğü gibi şematik olarak vermiştir [Offodile ve ark., 1994]. Bu çalışmanın yapıldığı tarihten günümüze hücre formasyonu oluşturmaya yönelik birçok farklı yöntem ve çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Şekil 2.5’de

görülen şema literatürde rastlanılan güncel yöntemleri de kapsayacak şekilde güncellenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere son yıllarda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 2.5. Hücre formasyonunda kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması [80]

2.3. Hücresel İmalat Sistemi ve Mobilya Endüstrisindeki Yeri

Hücresel imalat (Hİ); GT felsefesinin imalata uygulanması olarak 1950'lerin sonlarına doğru geliştirilmiştir [Heragu, 1994]. Ayrıca, Japonlar hücresel üretim sistemini, tam zamanında üretime geçebilmek amacıyla ilk ve en önemli adım olarak ele almaktadırlar [Wemmerlöv ve Hyer, 1987].

Hİ'nin temel özelliği, küçük bir sistemin etkin ve kontrol edilebilir olma özelliğini büyük sisteme yansıtmaktır. Bu noktadan hareketle, mevcut sistem içerisinde benzer üretim işlemlerine sahip parça grupları (aileleri) ve bunların amaca yönelik olarak tamamen ya da kısmen üretilmelerini sağlayacak makine hücrelerini belirlemek suretiyle oluşturulan hücreler ile uygun bir yerleşim düzeni oluşturularak sistemdeki iş akışı basitleştirilir.

Küreselleşme ve sürekli değişen talep nedeniyle yoğun rekabet ortamına uyum sağlayabilmek için tüm işletmelerin ürün çeşitliliği ve değişimlere açık olmalarını sağlayacak nitelikleri sağlamaları gerekmektedir. Bu sebeple kitle tipi üretim yapan işletmeler verimlilik ve etkinlik sorularına çözüm bulabilmek için Hİ sistemini uygulamaktadır. Hİ sisteminin bu niteliklerine göre değişik endüstrilerde ve üretim ortamlarında başarılı olacağı görülebilir. Çalışmanın bu bölümünde gerek kullanılan üretim teknolojileri gerekse pazar gereksinimleri itibarıyla son derece çeşitliliğe sahip mobilya endüstrisine Hİ sisteminin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

İnsanların yaşamsal faaliyetlerini sürdürmesi, çalışması ve sosyal-kültürel ihtiyaçlarını karşılaması amacıyla yapılmış, mekânlar içerisinde kullanılan fonksiyonel ve estetik mekân donatı elemanı olarak tanımlanan mobilya, tüketici talepleri açısından en çok değişkenlik gösteren ürün gruplarından [Burdurlu,1994]. Talepteki bu değişkenliğin sebebi renk, form, malzeme, desen, antropometrik uyum, armoni gibi ürün özelliklerine yönelik tercihlerin farklılık göstermesidir. Tüm tüketicilerin isteklerinin tamamen yansıtıldığı bir ürün modeli hiçbir zaman mümkün olmayıp, aynı ürün türünden farklı istekleri

karşılayabilmek için ürün çeşitlendirmeye gidilmektedir [Burdurlu ve ark., 2004].

Günümüzde mobilya endüstrisi, giderek rekabetin sıkılaştığı bir pazar yapısına bürünmektedir. Artık ürün tasarımları pazar gereksinimleri doğrultusunda on yıllar değil yalnızca bir ya da birkaç yıllık yapılmaktadır. Daha fazla rekabet ve değişen tüketici talepleri, üreticilerin ihtiyaç duyulan çok çeşitli ürün grupları ve sitillerinin tatmin edilmesi için tesislerinin yeniden yapılandırılması ihtiyacını sıklıkla fark etmişlerdir [Kyle ve Ludka, 2000].

Yao ve Carlson'a göre, özellikle döşemeli mobilya üretimi başta olmak üzere tüm mobilya üretimi otomobil üretimine benzemektedir ve gerek yalın üretim gerekse çevik üretim bu endüstri koluna uygulanabilir [Yao ve Carlson, 2003]. Nitekim atölye tipi üretim sistemlerinden daha az kaynak kullandığı belirtilen yalın üretim, mobilya endüstrisindeki temel üretim felsefesini ve metodolojisini alışlagelmişin dışında çift D düzenlemesi ile yalın üretim alt montaj hücrelerinin tasarımı için kullanılmıştır [Hunter ve ark., 2004].

Culbreth ve arkadaşları, mobilyanın ürün geometrisi ve üretim sürecinin doğasındaki karmaşıklık nedeniyle, üretim öncesindeki karmaşıklığın giderilmesi için çağdaş mühendislik yaklaşımının kullanılmasını önermiş ve detaylandırmışlardır [Culbreth ve ark. 1996]. Literatürde, mobilya endüstrisinde ileri teknoloji kullanımı ve sağladığı faydaları inceleyen birkaç çalışmaya rastlanılmıştır [Von Jankowsky, 1985, Gearman, ve ark. 1989, Sanii ve ark. 1989, Romero ve ark. 1995].

Fakat mobilya endüstrisinde otomasyonun sağlanması birçok nedenden dolayı sınırlanmaktadır [Culbreth ve ark., 1989]. Mobilya endüstrisinde otomasyonu sınırlandıran başlıca nedenler aşağıdaki gibidir.

- i. Ürünlerin sitil yönelimli olması
- ii. Parçaların yaşam döngülerinin kısa ve çeşitli olması.

- iii. Parçaların estetik gereksinimleri olması
- iv. Hammaddelerin homojen olmaması
- v. Tipik üretim birimlerinin küçük ölçekli olması

Aynı çalışmada, mobilya endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerin pazardaki başarılarını sürdürebilmeleri için yılda en az iki kez yeni mobilya tasarımlarını piyasaya arz etmeleri gerektiği vurgulanmaktadır. Bu durum son derece esnek ve hızlı bir şekilde değişim sürecine uyum sağlayabilecek bir üretim yapılanmasını gerektirmektedir.

Culbreth ve ark. Hİ sistemi karakteristiklerinin, mobilya endüstrisi gibi moda baskın endüstrilerin üretim gereksinimlerini tatmin edebileceğini belirtmiştir Grover'a göre tipik FMS, 40 ile 2000 arasında çeşitli miktardaki yıllık üretimdeki 4-100 farklı parça ailesini içeren üretimlerin desteklenmesi için tasarlanmıştır [Culbreth ve ark., 1989]. Bu parça popülasyonu birçok mobilya uygulamasının tipik örneğidir ve bir işletmedeki farklı özellikli parça sayısı 3000'i aşabilir [Culbreth, 1987].

Esnek Mobilya Üretim Hücresi (EMÜH) kadar karmaşık sistem tasarımı, ana aktiviteler arasındaki önemli etkileşimleri içeren aşamalı bir süreçtir. Bu sebeple bu tip bir projeyi gerçekleştirmeyi sağlayacak eylemler kesin sıralama öncelikleri olmaksızın şöyle sıralanabilir [Culbreth ve ark., 1989]:

- i. Hücre tasarımı ve konfigürasyonu
- ii. Ahşap işleme makineleri ekipman seçimi
- iii. Parça popülasyonu analizi
- iv. Malzeme taşıma sistemi seçimi
- v. Robotik sistem seçimi
- vi. Parça sunma mekanizmaları geliştirme
- vii. Son-etken sistem tasarımı
- viii. Esnek iş parçası taşıma sistemi tasarımı

ix. Hücre kontrol yapısı tasarımı ve geliştirilmesi olarak sıralanmaktadır.

Chu'ya göre, Hİ'nin ilk adımı hücresel formasyondur. Hücresel formasyon, benzer tasarım özellikleri veya işlem ihtiyaçlarına sahip parçaların “aileler” ve ilgili makinelerin “hücreler” olarak gruplanması şeklinde tanımlanır [Öktemer, 2002]. Hücreler, bir süreci, bir parçayı, tüm bir ürünü veya bir ürün grubunu imal etmek için tasarlanabilir [Olexa, 2002]. Hİ sistemi tasarımının ilk adımı olan hücrelerin oluşturulmasında, her bir hücre bir parça ailesini işlemek için fonksiyonel anlamda birbirine benzemeyen makinelerden oluşurken, her bir hücrede işlenecek parça ailelerinin benzer süreç gereksinimleri olmasına dikkat edilmelidir.

Hücreler, değişken üretim ihtiyaçlarının en hızlı şekilde karşılanabilmesi için esnek olarak tasarlanırlar. Genel olarak iki tip üretim hücresinden söz edilebilir [Chaneski, 1998]:

- Ürün hücreleri, tek veya az sayıdaki müşteriler için son ürün imalatı yaparlar. Bir ürün hücresinde, takım elemanları ürünün montajı, paketlenmesi, testi ve hatta sevkiyatı dâhil her türlü işlemde sorumludur.
- Süreç hücreleri çok sayıdaki müşteri için, çeşitlilik gösteren ürünlerde birçok operasyonu gerçekleştirebilmektedir. Birçok parçayı tek başına üretebilen bir CNC makinesi, süreç hücrelerine örnek olarak verilebilir.

Süreç hücrelerinin mobilya endüstrisinin yapısına daha uygun ve uygulanabilir olduğu söylenebilir. Bu hücre yapılarının üretim sistemlerine sağladığı en önemli avantaj; istenilen parçayı minimum malzeme, ekipman, işgücü, zaman ve alanda üretebilmesidir.

Bunların doğal sonucu olarak da üretim maliyetleri düşmektedir. Hücresel imalat sistemleri ile sağlanabilecek avantajlar şöyle sıralanabilir [Soyuer ve Kocamaz, 2004];

- Bekleme süreleri kısalmaktadır, çünkü imalat hücresi içerisinde üretim hazırlık süreleri bulunmamaktadır.
- İşgücü hareketi azalmaktadır, çünkü istenilen tüm parçalar hücre içerisinde hazır halde bulunmaktadır.
- Malzeme taşıma miktarları azalmaktadır, çünkü departmanlar arasında her bir işlem için ayrı ayrı taşıma yapılmamakta, gerekli işlemlerin makineleri hücre içerisinde bulunmaktadır.

Her ne kadar bu sayılan avantajlarına karşın, bir ürün için gerekli olan tüm imalat safhalarının tek bir hücrede toplanması pratikte mümkün değildir. Kimi süreçler ekonomik olmamalarından veya o süreç için gerekli olan üretim parti büyüklükleri yeterli seviyelere ulaşmadığından dolayı hücrelerin içerisine alınamayabilmektedir. Bu duruma ek olarak, Singh, hücresel imalat sisteminin en belirgin dezavantajlarının, düşük makine/teçhizat kullanımı ve makine/teçhizatlara yapılabilecek ek yatırımlar olduğunu vurgulamaktadır [Özgen ve Dülger, 1996].

Black'e göre Hİ sisteminin temel özellikleri şöyle sıralanmaktadır [Özgen ve Dülger, 1996]:

- i. 1–200 arasındaki parçalar bir parça ailesini oluşturur.
- ii. 1–15 arasındaki makineler bir makine hücresini oluşturur ve bir arada bir parça ailesini üretir.
- iii. Parça ailesi tek bir hazırlık süresine sahip olabilir.
- iv. İş istasyonları arasındaki stoklar düşüktür.
- v. Yüksek kalitede mamul üretilir.
- vi. Çok işlevli işgücü mevcuttur.

vii. İş zenginliği sağlanabilir.

Bir üretim sisteminde oluşturulacak üretim hücrelerinin belirlenmesinde ilk aşama mevcut üretim akışının incelenmesiyle başlamaktadır. Üretim akışının anlaşılması için en çok kullanılan yöntem süreç akış şemalarının hazırlanmasıdır. Fabrika içersinde ürünün tabi olduğu işlemlerin belirlenmesi ve bunların bir öncelik sırasına konulması üretim hücrelerinin oluşturulmasında çok önemli bir rol oynamaktadır.

Bir sonraki aşamada ortak özelliklere sahip ürünlerin bir araya getirilerek aynı üretim hücrelerinde gruplanması gerçekleştirilir. Bu aşamada, her bir farklı parçanın tam bir uyum içerisinde aynı grupta işlem görmesi beklenmemeli, işlemlerin %70 ila %80'inin ortak olması yeterli görülmelidir [Duggan, 1998].

Parça / makine hücrelerinin oluşturulmasında üretim özelliklerinin yanı sıra aşağıdaki faktörlerin de dikkate alınması gerekir [Ham ve Hitomi, 1985].

- Hücreler kendi kendilerine yetebilir olmalıdır.
- Makine - İşgücü kullanım oranları yüksek olmalıdır. Eğer hücre içinde kullanılan makinelerin kullanım oranları yüksek değilse, esnek işçi kullanımına gidilmelidir.
- Benzerlik oranı yüksek parçaların aynı hücrede üretilmesi, işlemde kullanılan tezgâhın hazırlık zamanlarını önemli ölçüde azaltmaktadır.
- Makinelere eşit yük dağıtılmak suretiyle ortaya çıkabilecek dar boğazlar önlenmelidir.
- İş tatmininin ve denetiminin sağlanması gerekmektedir.
- Parça aileleri zaman zaman gözden geçirilerek firma esnekliğinin korunması sağlanmalıdır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında mobilya endüstrisinde Hİ sistemlerinin uygulanması ile büyük faydalar sağlanabileceği düşünülmektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hücresel imalat daha önce de vurgulandığı gibi grup teknolojisi felsefesinin imalata uygulanması olarak 1950'li yılların sonlarında Mitrafanov tarafından ortaya konulmuştur. Hİ ile ilgili çalışmalar 1970'li yıllarda yaygınlaşmaya başlayarak günümüze kadar gerek pratikte gerekse akademik çalışmalarda yaygınlaşarak büyük ilgi görmeye başlamıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğu hücresel imalatın ilk ve en önemli adımı olan hücresel formasyon üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada hücresel formasyon ve harici eleman problemi eş zamanlı olarak göz önünde bulundurulduğundan çalışmanın genel yapısı için hücresel imalat sistem tasarımı problemi olarak isimlendirilmektedir. Hücresel imalat sistem tasarımı probleminin temel bileşeni olan hücre formasyonuna yönelik literatür iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki genel grublama yöntemleri (görsel yöntemler), ikincisi ise HF problemi çözüm yöntemleridir.

Bu çalışmada literatürde hücresel imalat sistem tasarımı problemine ilişkin yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulmak suretiyle gerçek yaşamda karşılaşılabilecek bir hücresel imalat sistem tasarımı problemi için literatürde görülen eksiklikleri gidermek amaçlanmaktadır. Ayrıca, uygulamaya esas olarak seçilen mobilya endüstrisinin gereksinimlerine de cevap verecek şekilde hücresel imalat sistem tasarımı ifade eden bir matematiksel modelin kurulması ve sistem verileri kullanılarak modelin çözümü amaçlanmıştır.

Hİ sistemi ve hücre formasyonunun mobilya gibi çok bileşenli ve süreçli bir endüstriye uygulanmasının sağladığı faydaların bu denli açık olması ve bu alanda yapılan çalışmaların yetersiz ve/veya güncel olmaması, ayrıca hali hazırda geliştirilen Hİ problemi çözüm yöntemlerinin mobilya endüstrisine uygulanabilirliğinin araştırılması gereği bu çalışmanın temeli olmuştur.

Bu çalışmada hücresel imalat sistem tasarımı problemine farklı bir bakış açısı getirmek amacıyla bazı ergonomik faktörlerin problem içerisinde kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla probleme bu yönde katkı yapabilecek literatüre de yer verilmiştir.

Literatürde çok sayıda araştırmacının HF probleminin çözümü için teknikler geliştirdiği görülmektedir. Hücre formasyonu probleminde kullanılan gruplama teknikleri ve çözüm yöntemlerine yönelik kapsamlı araştırmalar King ve Nakornchai (1982), Chu (1989), Kamrani ve ark. (1993), Heragu (1994), Offodile ve ark. (1994), Joines ve King (1996)'nın yapmış olduğu çalışmalarda bulunabilir. Bu çalışmalardan da görüleceği üzere HF probleminde kullanılan gruplama teknikleri ve çözüm yöntemlerinin genel sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

HF probleminde kullanılan gruplama teknikleri genellikle parça ailelerinin oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Literatürde bu yöntemler görsel yöntemler (elle yapılan gruplama çalışmaları) olarak anılmaktadır. Gruplama tekniklerinin genel sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

- Sınıflandırma ve kodlama
- Üretim akış analizi

HF probleminde parça aileleri ve makine hücrelerinin oluşturulması (hücre formasyonunun belirlenmesi) için kullanılan çözüm yöntemlerinin genel sınıflandırılması ise aşağıda görülmektedir.

- Düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemleri
- Benzerlik katsayısı kümeleme yöntemleri
- Matematiksel programlama
- Meta-sezgisel yöntemler

Görsel yöntemler günümüzde çok fazla kullanılmamakla beraber elde edilen gruplama genellikle uygulayıcının tecrübe ve bilgisine dayanmaktadır. Bu yöntemde parçaların geometrik özellikleri ve üretim süreçleri göz önünde bulundurularak gruplar oluşturulur.

HF probleminin çözümünde kullanılan düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemlerinde ise parça makine matrisinde satır ve sütunlar bir ya da birkaç adımda yeniden düzenlenir. Bu düzenleme ile matris köşegeni üzerinde blok diyagonal yapı oluşturulmaya çalışılır. Bu yöntemin en önemli avantajı parça aileleri ve makine hücrelerinin eş zamanlı olarak elde edilmesidir.

Benzerlik katsayısı yöntemleri ise, parça aileleri ve makine gruplarının belirlenmesinde, iki parça arasındaki süreç benzerliklerini temel almaktadır. Bu yöntemde benzerlik katsayısı yüksek olan parçalar birbirine benzerdir ve birlikte gruplandırılır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı hücre formasyonunun tamamlanması için ilave işlemlere ihtiyaç duymasıdır. Ayrıca bu yöntemde parça aileleri ve makine hücreleri eş zamanlı olarak oluşturulmamaktadır. Her bir işlem basamağında parça ailesi ya da makine hücresi ayrı ayrı oluşturulabilir.

Matematiksel programlama yöntemlerinde ise matematiksel formülasyonlar aracılığıyla parça aileleri ve/veya makine hücreleri oluşturulur. Bu yöntemde en uygun çözümün elde edilmesi için amaçlar maksimize (faydanın, karın vb.) ya da minimize (maliyetler, kaynak kullanımı vb.) edilmeye çalışılır. Matematiksel programlama yöntemleri kullanılarak hücre formasyonunda parça aileleri ve makine hücreleri ayrı ayrı ya da birlikte oluşturulabilir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise problem boyutuna bağlı olarak çözümün makul zaman zarfında elde edilememesidir.

Hücre formasyonu oluşturulmasında büyük boyutlu problemlerin çözümünde matematiksel programlama yöntemlerinde yaşanan bu eksikliği gidermek için

meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Meta-sezgisel yöntemler optimal çözümü garanti etmemekle beraber oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

3.1. Görsel Yöntemlerle İlgili Çalışmalar

Önde gelen görsel (elle yapılan) yöntemlerden birisi olan üretim akış analizi Burbidge (1971) tarafından geliştirilmiştir. Üretim akışı analizinin bir parçası olan akış şeması (süreç şeması), süreç planı ya da malzeme rotaları gereği her bir parçanın işlenmek üzere ziyaret ettiği makineleri göstermektedir. Akış şemaları diğer grupta çalışmaları da kullanılan bir araç olmuştur. Örneğin; parça-makine ilişki matrislerinin oluşturulmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Üretim akış analizi yöntemi parçaların geometrik şekilleri ve tasarım özelliklerini dikkate almaksızın üretim sürecine odaklanmaktadır.

Diğer bir görsel yöntem olan sınıflandırma ve kodlama yöntemi ise parçaları, geometrik şekilleri, ölçüleri, malzeme bileşenleri ve operasyonel gereksinimlerine göre gruplandırmaktadır [Heragu, 1994]. Her bir parça, 10 ila 13 alfa-nümerik karakterden oluşan ve her bir rakamın parçaya ait bir özelliği temsil ettiği sayı dizisi ile kodlanmaktadır. Culbreth (1987), mobilya parçalarının sınıflandırılması ve kodlanması için örnek bir kodlama sistemi önermiştir [Culbreth, 1987].

3.2. HF Problemi Çözüm Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar

3.2.1. Düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemleri ile ilgili çalışmalar

Düzenlemeye dayalı grupta hücreli imalat sistemlerine yönelik yapılan çalışmalarda en sık rastlanılan yöntemlerden birisidir. Düzenlemeye dayalı grupta tekniği, daha önce de belirtildiği gibi parça –makine ilişki matrisinde satır ve sütunların matris köşegeni üzerinde blok diyagonal yapı oluşturacak şekilde düzenlenmesi ilkesine dayanır. Bu yöntem McCormic ve arkadaşları (1972) tarafından önerilmiş ve King (1980), King ve Nakornchai (1982),

Chandrasekharan ve Rajagopalan (1986) vb. birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır.

Düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemleri ikinci bölümde ele alınmıştır. BEA McCormic ve arkadaşları (1972), ROC King (1980), DCA Chan ve Milner (1982), düzenlemeye dayalı kümeleme yöntemlerinin tipik örneklerindendir. Chu ve Tsai (1990), bu üç yöntemi karşılaştırdıkları çalışmalarında BEA'nın başlangıç parça-makine matrisine bakılmaksızın diğer iki yöntemden daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

King (1980) tarafından geliştirilen ROC 0-1 değerli matris elemanlarını satır ve sütunlarda azalan sırada yeniden düzenlemektedir. Bu işlem tüm satır ve sütunlar için sıralı düzen elde edilene kadar tekrarlanmaktadır [King, 1980]. Bu yöntemin kümeleme performansında görülen eksiklikleri gidermek amacıyla ROC'un genişletilmesiyle ROC2 geliştirilmiştir [King ve Nakornchai, 1982]. Bu yöntem başlangıç parça-makine matrisine bağlı olmakla beraber temel alınan ROC'a göre daha hızlı ve etkili sonuçlar vermektedir.

MODROC ise ROC ve benzerlik katsayısı (bir sonraki bölümde değerlendirilmiştir) tekniklerinin birlikte kullanılması ile elde edilmiştir. Bu yöntem üç temel adımdan oluşmaktadır. İlk adımda ROC iki iterasyon uygulanarak, matrisin yeniden düzenlenmesinde kullanılır ve matrisin sol üst köşesinde bir blok oluşturulur. İkinci adımda, elde edilen bu dikdörtgensel blok makine grubu ve parça ailesi göz önünde bulundurularak temel hücre olarak belirlenir. Elde edilen blok sütunları daha sonraki işlemler için kesilir. ROC tüm parça aileleri belirlenene kadar kesilmiş matrise uygulanır. Üçüncü adımda benzerlik katsayısı hücreler arasındaki benzerliklerin karşılaştırılmasında kullanılır. Benzerlikler bulunduktan sonra, algoritma en yüksek benzerliğe sahip iki hücreyi belirler ve bir hücrede birleştirir. Daha sonra benzerlik ölçütü yenilenir ve kontrol edilir. Üçüncü adım her bir parça ailesi çifti için benzerlik ölçütü sıfır olana dek tekrarlanır. Eğer benzerlik

ölçütü sıfır olarak elde edilememişse bu işlem tek bir hücreye eşit olana kadar tekrarlanır [Singh ve Rajamani, 1996].

Düzenlemeye dayalı gruptama yöntemlerinin basit ve hızlı hesaplanabilir olmaları en büyük avantajlarıdır. Bununla birlikte, hücre formasyonunun oluşturulmasında makine kapasiteleri, maliyetleri ve parça talebi gibi önemli üretim verilerini göz önünde bulundurmamaları en önemli dezavantajıdır. Bu yöntemlerin bir diğer önemli dezavantajı ise genellikle çözüm kalitesinin başlangıç 0-1 matris konfigürasyonuna bağlı olmasıdır [Srinivasan, 1994].

3.2.2. Benzerlik katsayısı kümeleme yöntemleri ile ilgili çalışmalar

İkinci bölümde kısaca değinilen benzerlik katsayısı gruptama yöntemleri genellikle hiyerarşik kümeleme yöntemleri olarak da anılmaktadır. Bu yöntemlerden ilki olan SLC McAuley (1972) tarafından öne sürülmüştür [McAuley, 1972]. Bu yöntem, benzerlik katsayısı hesaplamalarına göre hiyerarşik makine gruptama sürecine dayanmaktadır. Bu yöntem, aşamalı olarak ilerleyen kümeleme veya bölümlendirme hiyerarşilerinin elde edilmesinde parçalar arasındaki benzerlik matrisini kullanmaktadır. Bu zincirleme yapı sonucu elde edilen makine gruplarında uygun olmayan atamaların yapıldığı görülmektedir ve bu problem literatürde zincirleme problemi olarak anılmaktadır [McAuley, 1972; Gupta ve Seifoddini, 1990].

Bu zincirleme probleminin giderilmesine yönelik Seifoddini (1989), diğer bir hiyerarşik kümelendirme tekniği olan ALC'yi önermiştir. Bu yöntemde, iki küme arasındaki benzerlik, her bir kümeden alınan parçaların ortalama benzerlikleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca darboğaz makineler ve harici parçalar da belirlenmektedir.

Zincirleme problemini ALC'ye göre daha fazla azaltan CLC ise farklı iki kümeden alınan parçalar arasındaki benzerlik katsayısı olarak ortalama ve

maksimum yerine minimum benzerlik katsayısını kullanmaktadır [Gupta ve Seifoddini, 1990].

Hücre formasyonu probleminde benzerlik katsayısı yöntemlerini kullanan çalışmaların sınıflandırılması için Yin ve Yasuda (2006)'dan, benzerlik katsayısı tabanlı kümeleme tekniklerinin karşılaştırmalı analizi için Oliveira ve arkadaşlarının (2008) çalışmalarından faydalanılabilir.

Yukarıda aktarılan gruplama çalışmalarının büyük çoğunlu parça aileleri ve makine hücrelerini aşamalı olarak oluşturmaktadır. Ayrıca hücre formasyonunda ortaya çıkan harici parça ve darboğaz makine problemleri ile hücre formasyonu oluşturulduktan sonra ilgilenmektedir. Hücre formasyonu ile harici eleman problemlerinin birbirinden ayrı ele alınmasının etkileri Berardi ve arkadaşlarının çalışmasında kapsamlı olarak incelenmiştir [Berardi ve ark.,1999].

3.2.3. Matematiksel programlamayla ilgili çalışmalar

Matematiksel programlama teknikleri hücresel imalat sistem tasarımında oldukça geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu teknikler; doğrusal programlama, quadratik programlama, dinamik programlama ve hedef programlama olarak dört başlık altında sınıflandırılabilir [Selim ve ark., 1998].

Matematiksel formülasyonlar, hücre formasyonunun belirlenmesinde, makine kapasiteleri, makine fiyatları, parça işleme maliyetleri, hazırlık ve parça işleme zamanları, iş yükü dengeleme, üretim planlama, alternatif süreç planları vb. birçok faktörün tasarımcılar tarafından değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat hücre formasyonu elde etmek üzere parça makine matrisinde satır ve sütunların yeniden düzenlenmesiyle blok diyagonal yapının elde edilmesi problemi özellikle büyük boyutlu sistemler için NP-zor problem olarak tanımlanmaktadır [Singh ve Rajamani, 1996; Fantahun ve Chen, 2006; Spiliopoulos ve Sofianopoulou, 2007]. Dolayısıyla mevcut

bilgisayar teknolojileri ile matematiksel programlama yöntemleri kullanılarak büyük boyutlu problemlerin çözümü makul zaman zarfında elde edilememektedir. Büyük boyutlu problemlerin çözümünde meta-sezgisel yöntemlere (tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları vb.) ihtiyaç duyulmaktadır.

GT problemlerinde doğrusal programlama tekniklerini ilk olarak Purcheck (1974-75) uygulamıştır. Bu çalışmada kümeleme analizinde kullanılan amaç parça veya makineler arasındaki benzerliklerin maksimizasyonudur.

Kusiak (1987) tarafından önerilen p -median modeli büyük boyutlu örnek problemlerin çözümünde çabuk sonuç elde edilebilen hızlı ve önemli matematiksel modellerdendir [Kusiak, 1987]. Klasik p -median modeli n parçanın (makine), p parça ailesinde (makine hücresi) gruplanmasında kullanılır. Kısıtlar her bir parçanın yalnızca bir parça ailesine ait olabileceğini ve ihtiyaç duyulan parça ile sayısının p olduğunu belirtir. Ayrıca parça yalnızca biçimlendirilmiş parça ailesine atanabilir. Elde edilen sonuç belirlenen p parça aileleri için optimaldir ve ihtiyaç duyulan p parça aileleri minimum amaç fonksiyonunun bulunmasında değerlendirilir [Baykasoğlu ve ark., 2001]. p -median modeli her bir parçanın yalnızca bir grup makine işlemine ihtiyaç duyduğunu alternatif süreç planlarının olmadığını varsaymaktadır.

Genelleştirilmiş p -median modeli ise bu varsayımı gevşeterek alternatif süreç planı önceliklerini göz önünde bulundurmaktadır [Kusiak, 1987]. Bir çok araştırmacı, Kusiak tarafından önerilen genelleştirilmiş p -median modelinde yaptıkları küçük değişikliklerle hücre formasyonu probleminde bu çözüm tekniğini başarıyla kullanmıştır [Ribeiro ve Pradin, 1993; Vizwanathan, 1996; Wang ve Roze, 1997; Deutsch ve ark., 1998].

Shtub (1989), hücre formasyonu problemini genelleştirilmiş atama problemi (GAP) olarak modellemiş ve elde edilen sonuçların p -median ve

genelleştirilmiş p-median modelleri ile eşdeğer sonuçlar verdiğini göstermiştir [Shtub, 1989].

Daha önceden oluşturulmuş parça aileleri için makine hücrelerinin oluşturulması ile hücre formasyonu elde etmeye yönelik 0-1 tamsayılı programlama yaklaşımı Gunasingh ve Lashkari (1989) tarafından geliştirilmiştir [Gunasingh ve Lashkari, 1989].

Logendran (1993), Gunasingh ve Lashkari'nin çalışmasında görülen parça ailelerinin önceden belirlenmiş olması yaklaşımı yerine parça ailesi ve makine hücrelerinin eş zamanlı olarak gruplandığı 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada parçaların toplam hücre içi ve dışı hareketlerini minimize etmek ve hücrelerde makine kullanımını artırmak için bir model geliştirilmiştir. Bu amaçlar ağırlıklandırma yaklaşımı ile tek bir amaç halinde birleştirilmiştir. Orijinal model ikinci dereceden 0-1 tamsayılı programlama modeli ile formüle edilmiş ve doğrusal 0-1 tamsayılı programlama modeline dönüştürülmüştür [Logendran, 1993].

Gunasingh ve Lashkari (1991), hücre formasyonu oluşturulmasında parça aileleri ve makine hücrelerinin eş zamanlı oluşturulduğu ve aynı zamanda parça işleme zamanları ve ekipman gereksinimlerini de göz önünde bulunduran bir tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir [Gunasingh ve Lashkari, 1991].

Boctor (1991), parça ve makinelerin eş zamanlı gruplandığı bir analitik model önermiştir. Aynı zamanda önerilen modelde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır [Boctor, 1991].

Rajamani ve arkadaşları (1990), bütçe, makine kapasiteleri ve alternatif süreç planlarını göz önünde bulunduran üç tamsayılı programlama modeli önermiştir [Rajamani ve ark., 1990].

Albadawi ve arkadaşları (2005), hücre formasyonu problemi için iki aşamalı bir matematiksel model önermiştir. İlk aşamada makine hücrelerinin oluşturulması için benzerlik katsayısı matrisinde faktör analizi kullanılmıştır. İkinci aşamada ise parçalar hücrelere tamsayılı programlama modeli aracılığıyla atanmaktadır. Çalışmada literatürden alınan altı problem önerilen çözüm yaklaşımı kullanılarak çözülmüş ve diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Yazarlar önerdikleri çözüm yaklaşımı ile diğer metotlardan daha etken sonuçların elde edildiğini belirtmektedir [Albadawi, 2005].

Hücresel imalat sistem tasarımında süreç planı seçimi ile hücre formasyonu arasında yapılan tercihin değerlendirilmesi için Kızıl ve Özbayrak (2004), doğrusal karışık tamsayılı programlama modeli önermiştir [Kızıl ve Özbayrak, 2004].

Defersha ve Chen (2006), hücresel imalat sistem tasarımı problemi için parçaların ekipman gereksinimi ve bu ekipmanların makinelerde ulaşılabilir olmasını temel alan kapsamlı bir matematiksel model önermiştir. Önerilen matematiksel model, alternatif süreçler, süreç sırası, aynı tip makineden birden fazla olması, makine kapasiteleri, hücreler arası iş yükü dengesi, işlem maliyetleri, parçaların fason imalat maliyeti, hazırlık maliyetleri, hücre büyüklüğü limitleri vb. birçok faktörü göz önünde bulundurmaktadır [Defersha ve Chen, 2006].

Hücre içi ve hücreler arası hareketlerin eş zamanlı olarak minimize edilmesi için Tavakkoli-Moghaddam ve arkadaşları (2007), doğrusal olmayan matematiksel model önermiştir. Bu model hücresel imalat sisteminde talebin belirsiz (olasılıklı) olması durumu göz önünde bulundurularak çözülmüştür [Tavakkoli-Moghaddam ve ark., 2007].

Üretim sistemlerinde parça ailelerinin oluşturulmasında bazı parçaların hangi parça ailesine ait olduğu net olarak belirlenebilirken bazılarının hangi parça ailesine ait olması gerektiği net olarak belirlenemeyebilir. Bu gibi durumlarda

hücre formasyonunun belirlenmesi için Xu ve Wang (1989) bulanık mantığı hücre formasyonu problemine uygulamıştır. Parça özellikleri bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Üyelik fonksiyonları, parçaların süreç gereksinimlerine göre ayrılmasında bulanık sayıların kullanılması için tasarlanmıştır [Xu ve Wang, 1989]. Bulanık mantık ve bulanık kümelendirme yaklaşımı hücre formasyonu problemleri için çok sayıda çalışmada kullanılmıştır [Tsai ve ark., 1997; Güngör ve Arıkan, 2000; Ravichandran ve ark., 2001; Sangwan ve Kodali, 2004; Yang ve ark., 2006; Boulif ve Atif, 2008].

3.2.4. Meta-Sezgiseller ile ilgili çalışmalar

Literatürde, hücre formasyonu oluşturmaya yönelik parça-makine matrisinde satır ve sütunların düzenlenmesi probleminin NP-zor problem tipinde olduğu vurgulanmaktadır. Problemin bu yapısı optimal çözümün makul zaman zarfında elde edilmesini mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle birçok hücreli imalat sistem tasarımı probleminde meta-sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Hücre formasyonu probleminde, genetik algoritmalar (GA-Genetic Algorithm), tavlama benzetimi (SA-Simulated Annealing), yasaklı arama (TS-Tabu Search) ve sinir ağları (NN-Neural Network) en sık kullanılan sezgisel yöntemlerdir. Bu yöntemlerin en büyük avantajı problem çözümünde hesaplama performansını artırması ve makul zaman zarfında sonuca gidilebilmesidir. Bununla birlikte, elde edilen sonuçlar optimal olmayabilir ve genellikle elde edilen sonucun kalitesi değerlendirilmelidir.

Birçok mühendislik uygulamasında sıklıkla kullanılan yapay sinir ağları, insan beyninin temel özelliklerinden biri olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen sistemlerdir [Öztemel, 2003].

Sinir ağlarını hücre formasyonu probleminde uygulayan öncü çalışmalardan biri Kaparthi ve Suresh (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazarlar bu

alışmalarında kullandıkları ART-1 (Adaptive Resonance Theory) modeli ile büyük boyutlu problemlerin çözülebildiğini ve optimale yakın sonuçların kısa zaman zarfında elde edilebildiğini belirlemiştir [Kaparathi ve Suresh, 1993].

Birçok araştırmacı yapay sinir ağlarını GT ile ilgili sınıflandırma ve kodlama problemlerinde kullanmıştır. Örneğin Awwal ve Karparathi, hopfield sinir ağını parça şekillerinin ikili değerlerle ifade edilerek algılanmasında kullanmıştır. Dört parça şekli sinir ağlarının öğrenmesinde kullanılmış ve dokuz kısmi şekil girdisini ağın algılama kabiliyeti test edilmiştir [Awwal ve Karim, 1989]. Bir başka çalışmada Kaparathi ve Suresh (1991), yapay sinir ağlarını, parça tanımlamada üç basamaklı sayı kullanarak sınıflandırma ve kodlama için kullanmıştır [Kaparathi ve Suresh, 1991]. Son yıllarda, yapay sinir ağlarını hücresel imalat sistem tasarımı probleminde farklı amaçlar ve uygulamalar için kullanan çok sayıda çalışma yapılmıştır [Park ve Suresh, 2003; Kuo ve ark., 2006; Yang ve Yang, 2008].

Hücre formasyonu problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir diğer sezgisel yöntem ise genetik algoritmalarıdır. Venugopal ve Narendaran, bu algoritmayı hücreler arası hareketler ve hücreler arası yük dengesizliklerinin minimize edilmesi amacıyla kullanmıştır. Problem çok amaçlı optimizasyon problemi olarak çözülmüştür [Venugopal ve Narendaran, 1992].

GA yaklaşımı Lee-Post tarafından GT’de parça ailelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır [Lee-Post, 2000]. GA yaklaşımı, aynı ailedeki parçalar arasındaki benzerliklerin maksimize edilmesiyle parça ailelerinin oluşturulmasını amaçlamaktadır. Parçalar arasındaki benzerlik parçanın tasarım özellikleri (geometrik şekli vb.) ve üretim özellikleri (işlem sırası, süreç vb.) esas almaktadır.

Mansouri ve. ark. (2003), çalışmalarında çok amaçlı hücre tasarımında harici eleman eliminasyonu için genetik algoritma yaklaşımını kullanmıştır. Bu çalışmada problem çözümünde kullanılan amaçlar; hücreler arası parça

hareketlerinin, makine ikileme ve fason imalat için ihtiyaç duyulan toplam maliyetlerin, sistemden yetersiz yararlanmalar ve hücrelerin faydalı kullanımları arasındaki sapmaların minimizasyonudur [Mansouri ve ark., 2003].

Son yıllarda birçok araştırmacı, GA yaklaşımı ve türevlerini (HGGA-Hybrid Grouping Genetic Algorithm) hücresel imalat sistem tasarımı problemlerinde kullanmıştır [Stawowy, 2006; Filho ve Tiberti, 2006; James ve ark., 2007; Mahdavi ve ark., 2009; Tariq ve ark., 2009].

Kombinatoriyal optimizasyon problemleri için iyi çözümler veren olasılıklı bir arama yöntemi olan SA ilk olarak Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuştur [Kirkpatrick ve ark.1983]. Tavlama benzetiminin hücresel formasyon probleminde kullanılmasında öncü olan çalışma Boctor tarafından ortaya konulmuştur [Boctor, 1991]. Bu yöntemde komşu çözümlerin elde edilmesi için bir başlangıç çözüme ihtiyaç duyulur. Daha sonra oluşturulan komşu çözüm ile başlangıç çözümü karşılaştırılır. Eğer komşu çözüm başlangıç çözümden belirlenen amaçlara göre daha iyi ise kabul edilir. Bu işlem, problem çözümündeki yerel optimumlardan uzaklaşarak global optimuma ulaşmayı hedeflemektedir. Hücre formasyonu probleminde SA yaklaşımı son yıllarda, Baykasoğlu ve arkadaşları (2001), Xambre ve Vilarinho (2003), Safaei ve arkadaşları (2008), Moghaddam ve arkadaşları (2009), tarafından kullanılmıştır.

Yasaklı arama algoritması (TS), SA'ya benzer şekilde yerel optimumları elimine ederek global optimuma ulaşmayı hedeflemektedir. Gruplama için belirlenen amaç doğrultusunda her iterasyon için komşu çözüm bulunur. Elde edilen çözüm tabu listesinde yoksa ve değerlendirme ölçütünü sağlıyorsa tabu listesine eklenir ve sonraki arama için yeni başlangıç çözümü olarak kullanılır Tabu listesi kullanılarak daha önceki çözümlerin tekrar edilmesi engellenmiş olur. Bu durum problem çözümlemede harcanılan zamanın büyük ölçüde azaltılmasını sağlamaktadır. Gerçekleştirilen her iterasyonda

tabu listesi güncellenir. Bu işlem belirlenen durdurma ölçütü sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Hücresel imalat sistem tasarımı probleminde TS uygulamaları, Asokan ve arkadaşları (2001), Tavakkoli-Moghaddam ve arkadaşları (2005) ve Schaller (2005), çalışmalarında bulunabilir.

Son yıllarda birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaya başlayan meta-sezgisel yöntemlerden biri olan karınca kolonileri (ACO-Ant Colony Optimisation), hücre formasyonu problemi içinde kullanılmaktadır. Genel itibarıyla karıncaların yiyecek maddeleri ile yuvaları arasındaki en kısa yolu bulmalarından esinlenilerek geliştirilmiştir. Bu yöntem ilk defa gezgin satıcı problemi için Dorigo ve arkadaşları tarafından uygulanmıştır. ACO algoritması popülasyon tabanlı bir optimizasyon yaklaşımıdır ve farklı kombinatoriyal optimizasyon problemlerine (örn: gezgin satıcı problemi) başarıyla uygulanabilmektedir [Dorigo ve ark.,1996].

Hücre yerleşimi probleminde bu yaklaşım Solimanpur ve arkadaşları tarafından uygulanmıştır. Bu çalışmada tesis içi yerleşimde hücreler arası parça akışı quadratik atama problemi olarak modellenmiş ve problemin çözümünde ACO kullanılmıştır [Solimanpur ve ark., 2004].

Hücre formasyonu probleminde parça ailelerin oluşturulmasında gri ilişki analizi yaklaşımı Wang ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada parçalar arasındaki benzerliklerin belirlenmesi için yeni bir benzerlik katsayısı önerilmiştir. Önerilen benzerlik katsayısı, parça işleme zamanı, parti büyüklüğü, makine kullanılabilirliği vb. birçok faktörü göz önünde bulundurmak suretiyle gri ilişki analizi kullanılarak elde edilmiştir. Benzerlik katsayılarının hesaplanmasının ardından bulanık kümeleme yöntemi kullanılarak parça aileleri oluşturulmuştur [Wang ve ark., 2001].

Hücresel imalat sistem tasarımı, bünyesinde hücre formasyonu ve harici eleman eliminasyonu problemlerini barındırmaktadır. Bu doğrultuda harici

eleman eliminasyonu için literatürde önerilen çözüm yöntemlerini değerlendirmek amacıyla ilgili literatür aşağıda verilmiştir.

3.3. Harici Eleman Problemi İle İlgili Çalışmalar

Gerçek yaşam problemlerinde tamamen bağımsız üretim hücrelerinin elde edilmesi neredeyse mümkün değildir. Hücresel formasyon belirlemeye yönelik kullanılan yaklaşımların büyük çoğunluğu harici eleman problemini dikkate almamaktadır. Özellikle geleneksel hücre formasyonu yöntemleri harici eleman problemi ile hücre formasyonları oluşturulduktan sonra ilgilenmektedir. Literatürde hücre formasyonu belirlemeye yönelik kümeleme algoritmaları içeren çok sayıda çalışma mevcutken harici eleman problemiyle ilgilenen çalışma sayısı oldukça azdır.

Harici elemanların eliminasyonu için Burbidge beş farklı yaklaşım önermiştir. Bunlar, parça tasarımlarının değiştirilmesi, üretim sürecinin değiştirilmesi, hücrelerin harici elemanlara göre yeniden düzenlenmesi, hücre içinde parça rotalarının yeniden yönlendirilmesi ve harici parçanın fason imal edilmesidir. Harici eleman eliminasyonu için önerilen bu yaklaşımlara ek olarak darboğaz makinelerin satın alınması King ve Nakornchai (1986) tarafından önerilmiştir. Harici eleman eliminasyonu için farklı bir alternatif olarak harici parçaların hücreler arasında taşınmasına izin verilmesi yöntemi Chan ve Milner (1982) tarafından önerilmiştir. Önerilen tüm yöntemlerden en popüler olan üç tanesi (harici parçanın fason imalatı, hücreler arasında taşınması ve darboğaz makine satın alma) Shafer ve arkadaşları tarafından birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışmada hücre formasyonu önceden herhangi bir grupta yöntemi kullanılarak belirlenmiş hücre formasyonundaki harici parçaların eliminasyonu için kullanılan üç yöntemin maliyetleri toplamını minimize etmeyi amaçlayan bir matematiksel programlama modeli önerilmiştir. [Shafer ve ark., 1992].

Tsai ve arkadaşları Shafer ve arkadaşlarının (1992) çalışmasını referans olarak harici eleman eliminasyonu ve hücre formasyonu problemleri ile eş zamanlı olarak ilgilenen bir bulanık karışık tam sayılı programlama modeli önermiştir [Tsai ve arkadaşları, 1997].

Literatürde, hücreyel imalat sistemlerinin uygulanması ve üretim sistemlerine sağladığı faydaların değerlendirilmesine yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin; 1996 yılında Kumar ve arkadaşları, King'in hücreyel formasyon için kümeleme algoritmasını kısmen doğrusallaştırmak suretiyle büyük ölçekli uygulamalar için uygun hale getirmiş ve bir mobilya fabrikasına uygulamıştır [Kumar ve ark., 1996]. Kumar ve Motwani bir diğer çalışmalarında hücreyel formasyona geçiş ile sağlanan faydaların materyal hareketlerinde belirgin azalma, ayar-kurulum zamanlarının kısalması, işlem gören parçalar için ara stokların azalması, üretim temin zamanlarının kısalması, iş alanlarının genişlemesi ve çalışanlar arasında ekip çalışması heyecanının kayda değer gelişme sağlaması olduğunu belirtmişlerdir [Kumar ve Motwani, 1998]. Bu çalışmada, hücreyel formasyona dönüşümle gerçekleştirilen yeni yapının sisteme sağladığı katkının belirlenmesi için fayda maliyet analizleri yapılmış ve yalnızca bir hücreden yıllık 164000 \$ fayda sağlandığı belirlenmiştir. Ayrıca yeniden yapılandırma çalışmaları tamamlandığında projenin toplam katkısının yıllık 700000 \$ civarında olmasının beklendiği vurgulanmıştır.

Yukarıda incelenen literatürden görüleceği üzere hücreyel imalat problemine yönelik yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak hücre formasyonuna yöneliktir. 1990 yılından bu yana yapılan çalışmalar incelendiğinde son yıllarda, gerçek yaşam problemlerini çözebilmeye yönelik güncel çözüm yaklaşımlarının daha yaygın olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Gerçek yaşam problemlerinde karşılaşılabilecek durumlar ve problem boyutunun büyüklüğü gibi sorunlar bu çalışmaların temel aldığı noktalardır.

Çalışmaları model girdilerine, amaç fonksiyonlarına, çözüm yaklaşımları ve çıktılarına göre değerlendirdiğimizde şu sonuçlara varılabilir.

Model girdilerine göre çalışmalar ele alındığında kaynak verilerine göre 4 ana kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar; parça verileri, makine verileri, kısıtlar ve genel veriler. Değerlendirilen çalışmalarda ele alınan veriler parçalara yönelik veriler, makinelere yönelik veriler, maliyet unsurlarına yönelik veriler ve sistem kısıtları olarak sıralanabilir (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. Model girdileri (parça ve maliyete göre)

Parça Verileri	Maliyet Verileri
• İhtiyaç Duyulan Makineler • İhtiyaç Duyulan Ekipmanlar • Sabit Süreç Akışı Bilgileri • Alternatif Süreç Akışı Bilgileri • İşlem Zamanları • Hazırlık (Kurulum) Zamanları • Parti Büyüklükleri (Parça Talepleri) • Palet Kapasiteleri • Parça Kodları • İşlemler İçin Alternatif Makineler	• Direkt Üretim Maliyeti • Ekipman Kullanım Maliyeti • Operatör Ücretleri • Fason İmalat Maliyetleri • Hücreler Arası Taşıma Maliyetleri • Hücre İçi Taşıma Maliyetleri • Hazırlık Zamanı Maliyetleri • Alan Kullanım Maliyetleri

Çizelge 3.2. Model girdileri (Makine ve kısıtlara göre)

Makine Verileri	Kısıtlar
• Her Bir Makinenin Sayısı • Üretim Kapasitesi • Mevcut Ekipman • Alan Gereksinimi • Yatırım Maliyeti • İşlem Maliyeti • Makine Tip ve Çeşitleri	• Sabit Hücre Sayısı • Hücreler Arası Mesafe • Maksimum - Minimum Fayda • Maksimum - Minimum Hücre Büyüklüğü • Maksimum Hücre Çıktısı • Operatör Limiti • Mevcut Bütçe Miktarı • Mevcut Alan Miktarı • Maksimum Tabu Listesi Boyutu

Değerlendirmeye alınan çalışmalardaki amaçlar, minimum maliyet-minimum miktar için Çizelge 3.3'te, maksimum miktar-minimum sapma için Çizelge 3.4'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Model amaçları (Minimum Maliyet-Miktar)

Minimum Maliyet	Minimum Miktar
• Makine İkileme • İşlem Maliyeti • Fason Parça Üretimi • Hücreler Arası Taşıma • Hücre İçi Taşıma • Alan Kullanımı • Toplam Maliyet • Makine Yatırım Maliyeti	• İkilenmiş Makineler • Hücreler Arası Hareket • Hücre İçi Hareket • Hücre İçi Yüklerin Dengesizliği • Tesis İçi Yüklerin Dengesizliği • Parçaların Benzemezliklerinin • Atlamaların • İlave Hücre İhtiyacı

Çizelge 3.4. Model amaçları (Maksimum Miktar-Minimum Sapma)

Maksimum Miktar	Minimum Sapma
• Esneklik • Verim • Fayda • Hücre bağımsızlığı • Operatör sayısı (işlem yapabilecek) • İşçilerin kullanabileceği makine sayısı	• Parça benzerliklerinden • Mevcut makine işlem zamanlarından • Hücre operatör ücretlerinden • Makine-operatör becerisi eşleşmesinden • Minimum parça hareketleri • Maksimum parça hareketleri • Makine yatırım maliyetleri • İşlem maliyetleri • Hazırlık (kurulum) zamanları • Fayda • Mevcut bütçe • Hücreler arası hareket • Makine yükü dengesizliklerinden

Değerlendirilen literatürden görüleceği üzere hücreli imalat sistem tasarımı problemlerinde hücre formasyonları oluşturulurken herhangi bir ergonomik faktör göz önünde bulundurulmamıştır. Özellikle emek yoğun üretim sistemlerinde ergonomik faktörlerin üretim sistemi ve çalışan verimliliğine etkileri bilinmektedir. Bu çalışmada uygulama alanı olarak belirlenen mobilya endüstrisinde ağırlıklı olarak emek yoğun üretim yapılmaktadır. Dolayısıyla gerek mobilya endüstrisi gerekse diğer endüstri alanları için hücre formasyonlarının oluşturulmasında ergonomik faktörlerin göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır.

Literatürde görülen bu eksikliği gidermek için, hücre formasyonu problemlerinde göz önünde bulundurulabilecek ergonomik faktörlerin belirlenmesi amacıyla ilgili literatür değerlendirilmiştir.

3.4. Ergonomik Faktörlerle İlgili Çalışmalar

İnsanın ergonomik açıdan irdelenmesi ile yapılan iş ile birey arasındaki temel ilişki ortaya çıkmaktadır. Bu ilişki çerçevesinde ortaya çıkan kavramlar, yapılabirlik, dayanılabilirlik, beklenebilirlik, hoşnutluk olarak sıralanabilir. Ergonomi, özellikle yapılabirlik ve dayanılabilirlik ölçütleri konusunda veriler ortaya koyabilir. Buna karşılık ergonomik iş düzenlenmesi sadece beklenebilirlik ve hoşnutluk ölçütlerinin gerektirdiği koşulları yaratabilir. Bu noktadan hareketle ergonominin yapılabirlik ve dayanılabilirlik ölçütlerine yönelik model girdilerinin kullanılabileceği düşünülmektedir.

Gunther ve arkadaşları 1983 yılında montaj hattı dengelemede geleneksel yaklaşımların dışındaki uygulamaya yönelik kavramların matematiksel modellenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, iş tasarımı kısıtları ve fiziksel kısıtlar başlıkları altında kısıt formülasyonları tanımlamıştır. Bu çalışmada iş tasarımı kısıtında hedef işin yapılması için bireysel kesin karar alma gereksinimi olduğu için pek talep edilmeyen görev olarak bir ölçüt tanımlanmıştır. Burada hedef, bu işlerin iş istasyonları arasında eşit dağıtılmasını sağlamak olarak belirlenmiştir. Sapmasal değişkenlerin minimize edilmeye çalışıldığı amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir [Gunther, ve ark., 1983].

$$\sum_{j=1}^n e_j x_{ij} + d_{i5}^- - d_{i5}^+ = E_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.1)$$

Burada;

- e_j : j görevi için öznel katılık ölçütü (e_j 'nin büyük değeri bireysel karar alma olanağının düşük olması anlamına gelmektedir)
- E_i : i istasyonundaki çalışanların davranışsal toleransı (E_i özeldir)

Aynı çalışmada fiziksel kısıt olarak her bir görev için fiziksel gereksinimlerden hareket edilerek aşağıdaki formül elde edilmiştir [Gunther, ve ark., 1983].

$$\sum_{j=1}^n f_j x_{ij} + d_{i6}^- - d_{i6}^+ = F_i \quad i = 1, \dots, m \quad (3.2)$$

Burada;

f_j : j görevinin fiziksel talep indeksi (örneğin: her bir görev için enerji (kalori) gereksinimi)

F_i : i istasyonundaki çalışanların fiziksel toleransı (örneğin: çevrim zamanı boyunca bireyin ayakta durabilmesi için maksimum kalori miktarı)

Yukarıda montaj hattı dengelemede kullanılan iş tasarımı ve fiziksel kısıtlarının hücre tasarımı problemine adapte edilebileceği düşünülmektedir. Her iki kısıt fonksiyonu da ergonomik kısıtlar arasında yer almaktadır. Fakat bu kısıtlara yönelik verilerin elde edilebilirliğindeki güçlükler çalışmada kullanılmasıdaki en büyük engeldir.

Literatürde ergonomik faktörlerinin sayısallaştırılarak matematiksel modellerde kullanıldığı örneklere rastlanılmamıştır. Bu faktörler daha çok kalitatif değerlendirme ölçütü olarak ele alınmıştır.

Kleiner ve arkadaşları 1998 yılında yaptıkları çalışmada hücreli imalat için bilgisayar tabanlı verimlilik ve kalite yönetim sistemi çalışmasını uçak bileşenleri üreten bir işletmede gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada iş gücü olgunlaşmaması, aşırı hurda, iş tekrarı, koordinasyon kaybı, zayıf teslimat performansı, teknik süreçlerdeki kayıplar ve ürünün anlaşılması gibi temel sorunlar ele alınmıştır. Bu sorunların sistemde verimlilik ve kalite zaaflarını ortaya çıkardığı belirtilmiştir. Kleiner ve arkadaşları işletmedeki mevcut verimlilik yönetim sisteminin yerine yukarıda bahsedilen sorunlara duyarlı ve

bu sorunları çözebilecek yeni bir yönetim sistem yazılımı önermiştir. Yazarlar uygulama sonucunda sistemde iyileşmeler kaydedildiğini belirtmiştir [Kleiner, ve ark., 1998].

Çizelge 3.5. Hücre tasarımı kararları [47]

Kategori	Ana kararlar ve faaliyetler
Stratejik	Değişim için ihtiyaçların tanımlanması Organizasyonun hazırlanması-karar gerekçeleri ve tanıtımı Hücrede hangi süreçleri kimin tasarlayacağını belirlenmesi Stratejik hücre tasarımı amaçlarının belirlenmesi
Yapısal	Hücrede yapılacak ürün tipi ve parçaların seçilmesi Hücrede bulunacak ekipmanların seçimi Malzeme taşıma ekipmanının seçimi Sistemin Yerleşim düzeninin belirlenmesi Hücrelere operatörlerin atanması
Operasyonel	İş rotasyonu ve iş tasarımı politikalarının belirlenmesi Yönetici personelin sorumluluk ve rollerinin belirlenmesi Denetim ve kalite prosedürlerinin belirlenmesi Bakım prosedürlerinin belirlenmesi Üretim aktivite kontrollerinin belirlenmesi (sipariş dokümantasyonu ve yayımı) Üretim planlama aktivitelerinin belirlenmesi (Mastır plan ve malzeme planları) Raporlama prosedürleri kontrol maliyetlerinin belirlenmesi Ödüllendirme ve destek politikalarının belirlenmesi Dokümantasyon kontrol prosedürlerinin geliştirilmesi İş başında eğitim aktivitelerinin kurulması Hücre performansının ölçülmesi için prosedür ve ölçütlerin belirlenmesi
Uygulama	Güvenlik prosedürlerinin kurulması Değişimin bildirilmesi Değişim Planı Değişimin yapılması-Fiziksel taşıma ya da yeniden düzenleme Değerlendirme ve geliştirme

Hücre tasarımı için sosyo-teknik sistem yaklaşımını ele alan çeşitli çalışmalarda hücrelerdeki teknik gereksinimler ile operatörlerin sosyal ihtiyaçları arasındaki gerilimli etkileşimin hücresel imalat uygulamalarının başarısı için çeşitli engeller ihtiva ettiği vurgulanmaktadır. Hyer ve arkadaşları hücre tasarımı için sosyo-teknik sistem yaklaşımını ele aldıkları uygulama ve analiz çalışmasında mevcut hücre tasarımı yaklaşımları ve sosyo-teknik sistemler (STS - teorisi) baz alınarak hücresel sistem tasarımında hem teknik hem sosyal boyutları olan bir yardımcı model amaçlamışlardır. Bu çalışmada hücre tasarımında kullanılan kararlar

niteliklerine göre aşağıdaki çizelgede gruplandırılmıştır (Çizelge 3.5) [Hyer, ve ark., 1999]. Çizelge 3.5'ten görüldüğü üzere hücre tasarımına ilişkin alınan kararların çoğu kalitatif özelliktedir. Bu kararların büyük çoğunda analitik değerlendirme için ekstra çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Sistem tasarımında insan mühendisliğinin kullanılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Papantonopoulos tarafından yapılan kavramsal görev atamasına ilişkin deneysel çalışmada kuralcı ve güncel uygulamalar ele alınmıştır. Bu çalışmada analitik kavramsal görev atamasında (Analytic Cognitive Task Allocation (CTA)) talep-kaynak eşleşmesi analitik hiyerarşi süreci (AHP) aracılığıyla yapılmıştır [Papantonopoulos, 2004].

Hücre sel iş istasyonlarının tasarımında ergonomik faktörlerin değerlendirilmesini ele alan Ben-Gal ve arkadaşları iş istasyonlarının ergonomik tasarımına yönelik yaptıkları çalışmada bilgisayar destekli sanal iş istasyonu tasarım araçlarını kullanmışlardır. Yazarlar bu uygulamanın geleneksel metotlara göre çok sayıda tasarım çözümünün denenebilmesi ve benzetim teknikleriyle bu çözümlerin performanslarının araştırılmasının yanı sıra çeşitli performans ölçütlerinin elde edilebilmesi açısından büyük avantajlar sağladığını vurgulamıştır. Bu çalışmada iş istasyonu tasarımında iki temel ergonomik ölçütün kullanıldığı vurgulanmaktadır. Bunlar; i) Verimlilik ve tamamlama zamanına dayalı ekonomik ölçütler, ii) Enerji harcaması (fiziksel), duruş (postur) analizi ve fiziksel yükler gibi ergonomik ölçütlerdir [Ben-Gal ve Buckhin, 2002].

İleri üretim sistemlerinin başarısında insan faktörünün araştırıldığı bir diğer çalışmada 98 firmadan toplanan veriler insana ilişkin faktörler ile ileri üretim sistemlerinin başarısı arasındaki ilişki çapraz tablolarla ki-kare değerleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışmada başarı üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörler şöyle sıralanmaktadır; kişisel ilgi (moral, memnuniyet, ödül sistemleri ve ileri üretim sistemlerine olan inanç), üst yönetim (üst yönetim taahhütleri, çalışanların kaygılarına verilen yanıt, etkin

promosyonlar), hazırlık (eğitim) olarak sıralanmaktadır [Udo ve Ebiefung, 1999].

Hücreyel imalatla insan sorununun yeteri kadar ele alınmadığını savunan Bidanda ve arkadaşları hücreyel imalat sistemi içerisindeki sekiz farklı sorunun önem derecesini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ele alınan sekiz farklı sorunun hücreyel imalat sistemindeki akademik, yönetici ve çalışanlar arasındaki önem dereceleri sorgulanmış ve karşılaştırılmıştır. Ele alınan insan sorunları şöyle sıralanmaktadır; işçi atama stratejileri, beceri tanımlamaları, eğitim, iletişim, özerklik, ödül ve destek sistemi, ekip çalışması, sorun yönetimi. Önem dereceleri araştırılan bu sorunların akademik, yönetici ve çalışanlar arasında farklı önem derecesine sahip oldukları belirlenmiştir [Bidanda ve ark., 2005].

Hücreyel imalat sistemlerinde insan ve organizasyonel faktör sorunlarının ele alındığı bir diğer çalışmada, hücreyel formasyona geçmiş üretim ortamlarında verimliliği etkileyen önemli faktörler şunlardır [Park ve Han, 2002];

- Yeni üretim için çalışanların bilgilendirilmesi ve eğitimi
- Artan bilgi gereksinimi
- Takım çalışması becerisi: Artan koordinasyon ihtiyacı ve bağımlılık gereksinimi
- Yeni üretim ortamında kontrol ve yönetim

Üretim sistemlerindeki insan performansının modellenmesi için teorik iş çerçevesinin belirlenmesine yönelik Baines ve arkadaşlar tarafından yapılan çalışmada teorik ve pratiğe yönelik performansı etkileyen faktörler değerlendirilmiştir. Bu faktörler insan merkezli faktörler başlığı altında toplanmış ve genel ergonomik faktörleri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada ele alınan insan merkezli faktörler ve önem dereceleri Çizelge 3.6'da görülmektedir [Baines ve ark., 2005].

Çizelge 3.6. Çalışan performansını etkileyen insan merkezli anahtar faktörlerin seçimi [6]

Derce Bireysel Değişkenler	Fiziksel çevre	Organizasyonel çevre
15		Modelde değişiklik
14 (Genel kavramsal yapabilirlik)		İş ekipleri
14 İnsafılık		
13 Dışa dönüklük		Bakım
13 Sinir hastalığı		Eğitim
12 Organizasyonel taahhütler	Gürültü Seviyesi	İş Rotasyonu
12 İş tatmini	Hava Sıcaklığı	İletişim
12 Yaş		
11 İşle alakalı tutumlar		Eksiklik
11 İnanişlar, değerler		
11 İş ahlakı		
10 Hedefler		Hiyerarşik
10		Yapı
9 Hoşnutluk	Işık Seviyesi	İklim
9 Açıklık	Rutubet	
9 Cinsiyet	Hava dolaşımı	
9 IQ		
9 Kontrol Yeri		
9 Beceri, seviye, oran ve deneyim		
8 Yaşam Tarzı	Karbon monoksit	Liderlik
8 Uyku modeli	Ozon	Ücretlendirme sistemi
8		Yeni eleman
8		yönlendirme
7 Sağlık	Titreşim Frekansı ve yoğunluğu	İşveren güvenliği
7 Bioritim	Gün ışığı	
7 24 saatlik ritim	Karbon dioksit	
6 Aile statüsü	Gürültü frekansı	
6 Eğitim	Oksijen	
5 Dayanım/dayanma gücü	Işık frekansı / renk	
5 Dikkat		
5 Konsantrasyon		
4 SES	Gürültü devamlılığı	
4 Etnik özellik	Aydınlatma/Parlaklık	
4 Din	Aydınlatma/yansıtma	
4 İntibak kabiliyeti		
4 Şemalar		
3 Beslenme	Gürültü tahminedilebilirliği	
1 Çeviklik/el çabukluğu		
1 Analitik / yaratıcılık		
1 Form-Biçim		

* Oranlama skorları dört kriterin (genel ilgi, özel ilgi, sağlamlık ve ölçülebilirlik) her biri için tüm değişkenlere atanan (0–4) arası puanların toplamı olarak hesaplanmıştır. Bu üç alandaki değişkenler bu skorlara göre sıralanmıştır. Koyu renkte işaretlenmiş değişkenler iş çerçevesinde yer almaktadır, işaretlenmemiş olanlar reddedilmiştir.

Çizelge 3.6'dan görüleceği üzere fiziksel ortamla ilgili performansı etkileyen faktörlerin, gürültü seviyesi, hava kirliliği, titreşim miktarı, ışık şiddeti, rutubet, hava dolaşımı, karbondioksit ya da karbon monoksit miktarları vs. sayılmaktadır.

Baines ve arkadaşları bu çalışmada, çalışan performansını etkileyen faktörleri 3 gruba ayırmıştır. Bunlar; kişisel değişkenler, fiziksel çevre ve organizasyonel çevredir. Bu gruplarda yer alan değişkenlere önem derecesine göre puanlar vermişlerdir. Bu çalışmada fiziksel çevre koşullarından en önemlisinin 12 puanla gürültü seviyesi olduğu görülmektedir [Baines ve ark.,2005].

Mobilya endüstrisinde kullanılan makinelerin gürültü seviyelerinin son derece yüksek olduğu düşünülürse hücre tasarım problemi açısından ele alınmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmada oluşturulacak makine hücrelerindeki ortak etkili gürültü seviyesinin kritik gürültü seviyesinin altında kalmasını sağlayacak bir kısıtın modele eklenmesi düşünülmektedir.

Jung ve Freivalds 1991 yılında yaptıkları çalışmada ekonomik ve ergonomik ölçütlerden olan işçi güvenliği ve verimlilik parametrelerinin birbirine tercih edilmesini yük kaldırma işlemi için ele almıştır. Bu çalışmada yük kaldırma verimliliğinin artırıldığı fakat diğer yandan çalışanların iskelet ve kas sistemi düzensizlikleri için risklerin arttığını göstermişlerdir. Bu nedenle iş istasyonları tasarlanırken ekonomik ve ergonomik ölçütlerin tüm amaçlar ve işin gerçekleştirilmesi üzerindeki göreceli önemleri birlikte göz önünde bulundurulmalıdır [Jung ve Freivalds, 1991].

Ekonomik ölçütlerin daha belirgin ve sonuçlarının sistem üzerindeki etkilerin genellikle hesaplanabilir olması yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Diğer yandan ergonomik ölçütler (örneğin yaralanma ya da rahatsızlanma riskinin azaltılması ve çalışma koşullarının

iyileştirilmesi gibi) ve amaçlar arasındaki ilişki daha az belirgin ya da dolaylı olduğu söylenebilir. Geçmişte yapılan çalışmalarda ekonomik ve ergonomik ölçütlerin bir arada ele alındığı çalışmalara nadiren rastlanmaktadır. Genellikle bu ölçütlerin birbirinden bağımsız olarak ele alındığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Ergonomik ölçütlerin amaç üzerindeki etkilerinin açık olmaması, iş istasyonu tasarımı üzerine yapılan çok sayıda çalışmada bu ölçütlerin (Örneğin; biyo mekanik dayanım, erişme mesafesi değerlendirmesi v.b.) birbirinden bağımsız ve tekil olarak ele alınmasına yol açtığı söylenebilir [Feyen, ve. ark., 2000].

Geçmişten günümüze iş istasyonu tasarımında ve işin yapım tekniğinde ortaya çıkan ergonomik sorunların araştırılması ve çözüm önerilerinin ortaya konması amacıyla çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Günümüzde de yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunun maruz kalınan koşullar ve iskelet-kas sisteminde ortaya çıkabilecek rahatsızlıklar arasındaki ilişkinin değerlendirilmesine yönelik olduğu görülmektedir [McAtamney ve Corlett 1993; Hignett ve McAtamney 2000; Kumar ve ark. 2005(1,2); Guangyan ve Buckle 1999].

Yapılan işle ilgili olarak ortaya çıkabilecek iskelet-kas sistemi sorunlarına bağlı fiziksel bozulmaların değerlendirilmesine yönelik çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu yöntemler; yalnızca kâğıt kalem kullanılarak yapılan gözlemlerle değerlendirme, video kayıt ve bilgisayar destekli analiz olarak sıralanabilir.

Çizelge 3.7.'de kâğıt kalem kullanılarak yapılan gözlemlerin değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilen yöntemler görülmektedir [Guangyan ve Buckle 1999].

Çizelge 3.7. İşte gösterilen fiziksel çabanın değerlendirilmesi için kağıt-kalem kullanılan gözlemsel teknikler [36]

Teknik	Uygulama Alanı
Posturegram [Prigel, 1974]	Durarak Yapılan görevler için tüm bedenin değerlendirilmesinde
OWAS [Karhu ve. ark., 1977]	Tüm beden duruş (Postür) Analizi
Posture Targetting [Corlett ve. erk., 1979]	Durağan görevler için tüm beden duruşlarının kaydedilmesi
Gill ve Tunes (1989)	Oturularak yapılan görevler için tüm beden duruşlarının kaydedilmesi
RULA [McAtamney ve Corlett, 1993]	Vücudun üst kısmındaki uzuvların değerlendirilmesi
HAMA [Christmansson, 1994]	Vücudun üst kısmındaki uzuvların değerlendirilmesi
PLIBEL [Kemlert, 1995]	Risk faktörlerinin tanımlanması
REBA [McAtamney ve Hignett, 1995]	Oturarak yapılmayan görevler için tüm bedenin risk değerlemesinde
QEC [Li ve Buckle, 1998]	Durağan ve hareketli görevler için maruz kalınan koşullardaki değişimin değerlendirilmesinde

Yukarıda ergonomik faktörlerin değerlendirilmesi amacıyla incelenen literatürde, ele alınan çalışmalardan birçoğunun hücre formasyonu problemi açısından kullanılmasının oldukça güç olduğu görülmüştür. Örneğin Gunther ve arkadaşlarının 1983 yılında montaj hattı dengeleme problemi için iş tasarımı kısıtları ve fiziksel kısıtların matematiksel modellenmesine yönelik yaptıkları çalışmada ele alınan fiziksel kısıt olarak tanımlanan parametrelerden çalışanın fiziksel toleransı ve görevin fiziksel talep indeksi parametrelerinin tahmini ve sistemden bu bilgilerin elde edilmesi mümkün görülmemiştir.

Ayrıca incelenen literatürde ele alınan ergonomik faktörlerin büyük çoğunluğunun analitik olarak değerlendirilemediği görülmüştür. Bu çalışmalarda ele alınan ergonomik faktörlerden, yalnızca gürültü şiddeti, duruş analizi ve yük kaldırmaya bağlı iskelet-kas sistemlerinde meydana gelen risklerin analitik olarak değerlendirilen ergonomik faktörler olduğu

belirlenmiştir. Analitik olarak değerlendirilebilen bu ergonomik faktörlerden gürültü şiddeti gerek mobilya endüstrisinde sık rastlanılan bir sorun olması gerekse bu çalışmada geliştirilen matematiksel modele adapte edilebilir olması nedeniyle çalışmada kullanılmak üzere göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan literatür araştırmasında hücresel imalat sistem tasarımı probleminde harici eleman eliminasyonu için darboğaz makine satın alma, harici parçanın fason imalatı ve hücreler arası transferi stratejileri önerilmektedir. Bu alternatiflere ek olarak harici parçaların fazla mesai/vardiya uygulaması ile üretilerek harici eleman problemine alternatif bir yaklaşım getirilebileceği düşünülmektedir. Literatürde görülen bu eksikliğin giderilmesi amacıyla çalışmada geliştirilen matematiksel modelde harici eleman eliminasyonu için literatürde önerilen stratejilere ek olarak harici parçanın fazla mesaili üretimi alternatifi de göz önünde bulundurulacaktır. Bu doğrultuda hali hazırda birçok çalışmada ele alınan harici eleman eliminasyonu maliyetlerini minimize etmeye yönelik olarak kullanılan amaç fonksiyonlarına fazla mesai maliyetleri de katılarak revize edilecektir.

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN ERGONOMİK FAKTÖR

4.1. Ortak Etkili Gürültü Şiddeti

Endüstriyel ortamlarda, çalışmayı ya da verimliliği olumsuz yönde etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında çalışma ortamının olağan gereği olarak düşünüldüğü için, en çok gözardı edilen faktörlerden birisi de gürültüdür.

Baines ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları üretim sistemi tasarımının çalışanların performansı üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada fiziksel çevre koşullarından en önemlisinin 12 puanla gürültü seviyesi olduğu görülmektedir [Baines ve.ark., 2005].

Gürültü; istenilmeyen sesler olarak tanımlanır ve insanların alıcıları (duyuları) algılamaya başladığı seslerden neyin gürültülü neyin gürültüsüz sesler olduğuna verdiği rahatsızlığa göre karar verir.

Endüstriyel gürültü ise; işyerinde çalışanların üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkiler bırakan ve iş verimini olumsuz yönde etkileyen sesler olarak tanımlanabilir.

Gürültünün kişi üzerine etkisi;

- Gürültünün şiddeti, frekansı ve süresine,
- Etkilenmenin sürekli ya da aralıklı olmasına,
- Kişisel duyarlılık ve yaşa bağlı olarak değişmektedir.

Sesin Şiddeti (L) : Sesi oluşturan titreşimlerin atmosferde yarattığı basınç, sesin şiddetini belirler. Ses şiddetinin değerlendirme birimi dB (desiBell) dir. Desibel; değişik ses şiddetlerini karşılaştırmak için kullanılan, logaritmik esasa dayanan bir birimdir. İnsan kulağının duyum yaptığı ses şiddeti 0 dB

dir (Duyma eşiği). 100 – 120 dB ileri derecede rahatsız edicidir. 130 – 140 dB kulakta ağrı yapar ve ağrı duyma eşiği olarak kabul edilirken 150 dB'de kulakta kalıcı işitme kayıplarına yol açar.

Sesin Frekansı: Ses dalgalarının bir saniyedeki titreşim sayısıdır. Frekans sesin baslığını ve tizliğini belirler. Frekans Hertz (Hz) simgesiyle gösterilir. Genç ve sağlıklı bir kişi, 20-2000 Hz aralığındaki sesleri duyabilir.

dBA: İnsan kulağı, aynı şiddette fakat frekansları değişik sesleri eş şiddetle algılamaz, genellikle yüksek frekanslı sesler daha şiddetli, düşük frekanslı sesler ise daha az şiddetli ses olarak algılanır. Kulak duyarlılığının frekansa göre değişebilmesi nedeniyle, desibel değeri gürültünün insan kulağına etkisini değerlendirmede yeterli olmamakta ve yanlışlıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle gürültünün insan kulağına olan etkisi değerlendirilirken, ses şiddetinin ölçü birimi olarak frekansa göre değerlendirilmiş olan dBA değeri kullanılır.

Özellikle endüstriyel ortamlarda meydana gelen gürültü değerlendirilirken, birden fazla gürültü kaynağının ortak etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca bir gürültü kaynağının ortama verdiği ses şiddeti ve yoğunluğu ile bu gürültüye maruz kalınan noktanın gürültü kaynağına olan mesafesi arasında ters ilişki bulunmaktadır.

Gürültü kaynaklarının birlikte değerlendirilmesi ile sistem içerisinde gürültü düzeyi açısından riskli bölgeler belirlenebilmekte ve bu bölgelerde oluşabilecek olası risklere karşı önlem alınmasına olanak sağlanabilmektedir. Farklı gürültü kaynaklarının birlikte değerlendirilmesi ve bu gürültü kaynaklarına belirli mesafelerde ortaya çıkacak gürültü seviyelerinin değerlendirilmesi için Suebsak ve arkadaşları tarafından analitik bir yöntem ortaya konulmuştur [Suebsak ve ark., 1999].

Bu çalışma; iş yerlerinde gürültü sınır haritalarının geliştirilmesi için analitik bir prosedür sunmaktadır. Bu prosedür girdi olarak, takip eden verilere ihtiyaç duyar: ortam gürültü seviyesi, makineler tarafından bireysel olarak üretilen gürültü seviyeleri ve makine yerleşimlerinin (x,y) koordinat verileri. Geliştirilen matematiksel formül kümesi aracılığı ile çalışma alanında daha önceden belirlenen ve birden fazla gürültü kaynağının etkisine maruz kalan bir noktadaki birleşik etkili gürültü seviyesi belirlenmektedir.

Bu yaklaşımla, sisteme yeni eklenen makinenin yerleştirildiği nokta itibarıyla sistemdeki tüm gürültü düzeyi üzerine etkileri, makine yerleşimi yapılmadan önce tahmin edilebilir. Dolayısıyla gereksiz yere sarf edilecek maliyetlerin birçoğundan kurtulmanın yanı sıra işyeri güvenliği de sağlanmış olur.

Yöntemde girdi olarak kullanılan gürültü seviye bilgileri sistemden alınan ölçümlerle belirlenebilir ya da makine üreticilerinden temin edilebilir. Üretim sistemlerinde gürültü haritalarının oluşturulması ile sistem kurucuların (mühendis ve yöneticiler), olası risk bölgelerini belirlemelerinin yanı sıra yeni makinelerin ergonomiklik açısından uygun bir şekilde yerleştirmelerine de yardımcı olur.

Önerilen analitik yaklaşımın üretim hücrelerinin tasarlanmasında kullanılan matematiksel modelde kullanılması ile daha ergonomik ve işyeri güvenlik koşullarına uygun üretim hücrelerinin oluşturulması planlanmaktadır. Hücre tasarımına yönelik literatürde yer alan çalışmalarda ergonomik faktörlerin hücre tasarımına etkilerinin araştırılmasına yönelik herhangi bir çalışmanın bulunmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmanın literatürdeki bu açığın giderilmesine büyük katkı sağlayacağı söylenebilir.

Çalışma yeri ergonomisini ele alan uluslar arası organizasyonlar (ILO, OSHA, NIOSH vb.) gürültünün çalışanlar üzerindeki etkilerine yönelik çok sayıda tehdit ortaya koymaktadır. Ayrıca maruz kalınan gürültü seviyelerine göre güvenli maruz kalma süreleri de belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda ILO

tarafından önerilen kabul edilebilir gürültüye maruz kalma süreleri görülmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Kabul edilebilir gürültüye maruz kalma süresi [49]

Günlük Çalışma Süresi (Saat)	Ses Basınç Düzeyi dB(A)*
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1,5	102
1	105
0,75	107
0,5	110
0,25	115**

* A Ağırlıklandırılmış filtreli standart basınç seviyesi ölçümü desibel birimli ses basınç düzeyi

** 115 dB(A) geçen ses basınç düzeyine maruz kalınmaz

Gürültünün insan sağlığı üzerinde işitme kaybı başta olmak üzere birçok olumsuz etki bıraktığı bilinmektedir. Çizelgede görülen süreler maruz kalınan gürültü seviyesinde çalışan açısından olumsuzlukların ortaya çıkmamasını sağlayacak azami sürelerdir.

Gürültüye maruz kalmaya ilişkin çeşitli standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar aracılığı ile farklı gürültü düzeyleri için maruz kalma süreleri belirlenebilir. Aşağıda gürültüye maruz kalmaya ilişkin bazı standartlar görülmektedir.

OSHA Standardı: Belirli bir gürültü seviyesinde zorlanmaksızın çalışılabilecek sürelerin tespitine imkân verir. OSHA (Occupational Safety and Health Administration, US) , PEL (Permissible Exposure Limit) için izin verilen limit değerini 90 dbA ve 8 saat olarak önermiştir. PEL değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir.

$$T = \frac{8}{2^{(L-90)/5}} \text{ Saat cinsinden.} \quad (4.1)$$

L, dbA cinsinden gürültü seviyesi. Örneğin ortamdaki gürültü seviyesi 92 dbA ise PEL değeri, $T = 8/2^{(92-90)/5} = 6.04$ saat. Kişi, 92 dbA seviyesinde en fazla 6.04 saat çalışabilir. Kısaca, gürültü seviyesindeki her 5 dbA lık artış, PEL değerini yarıya düşürmektedir.

ACGIH Standardı: 8 saat ve 85 dbA'yı baz alarak ortamdaki gürültü seviyesine bağlı çalışma süresinin tespit edilmesi için geliştirilmiş bir standarttır. (ACGIH= American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

$$T = \frac{8}{2^{(L-85)/5}} \text{ Saat cinsinden.} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki standartların varsayımı çalışanın tüm gün boyunca aynı gürültü seviyesinde çalıştığını varsaymasıdır. Bununla beraber çalışan günün belli bölümlerinde farklı seviyedeki gürültüye maruz kalabilir. Vardiyadan vardiya yapılan işin özellikleri ve makine gürültüleri de değişebilir. Makineler belli periyotlarda hiç çalışmayabilir. Bu faktörleri de dikkate alarak tüm gün boyunca gürültüye maruz kalmanın ölçülmesi için “Zorlanma Dozajı (ZD)” kavramı geliştirilmiştir. Gün boyunca farklı gürültü seviyelerinde ne kadarlık bir zaman geçirdiği hesaplanmalı, daha sonra ZD formülünde yerine konularak, çalışanın gün boyunca gürültüye maruz kalması yüzde cinsinden hesaplanmalıdır.

$$ZD_i = \frac{C_i}{T_i} = \frac{i \text{ gürültü seviyesine maruz kalma süresi}}{i \text{ gürültü seviyesi için PE değeri}} \quad (4.3)$$

Her bir gürültü seviyesi için $i=1...n$

Toplam zorlanma dozajı, gün içindeki tüm gürültü seviyeleri için hesaplanır ve toplamı alınarak sonuca ulaşılır.

$$Dozaj = D = 100 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} = 100 \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) \quad (4.4)$$

D değerinin %100'ü aşmaması gerekmektedir. %100'ü aşması durumunda bu değeri aşağıya çekmek için, gürültüyü azaltıcı tedbirlere gitmek gerekir.

Yukarıda bahsedilen gürültünün olumsuz etkileri nedeniyle işyeri düzenlemede maruz kalınan gürültü seviyesinin minimize edilmesi gerekliliği önem kazanmaktadır. Bu çalışmada hücre tasarımı yapılırken oluşturulacak makine hücrelerinde gürültü seviyesinin minimize edilmesi de amaçlanmaktadır.

Üretim sisteminde kullanılması düşünülen makinelere ait gürültü seviyeleri makine katalog bilgilerinden ve bu makinelerin hali hazırda kullanıldığı işletmelerden gürültü seviyeleri ölçülmek suretiyle toplanarak gürültü değer kümesi oluşturulmuştur. Elde edilen veriler diğer model parametreleriyle eş zamanlı olarak modelde kullanılmak suretiyle oluşturulacak hücrelerin gürültü seviyesi açısından da eniyilenmesi planlanmaktadır.

Çalışmaya esas alınacak ortak etkili gürültü şiddetinin belirlenmesine yönelik Suebsak ve arkadaşları tarafından önerilen matematiksel formülasyonun aşamaları aşağıda görülmektedir [Suebsak ve ark., 1999].

Teori: Gürültü seviyesinin hesaplanmasında iki temel formül önemli rol oynamaktadır. Bu formüller sırasıyla ses gücünü ses yoğunluğuna ve ses yoğunluğunu ses basınç seviyesine dönüştürmektedir.

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (4.5)$$

$$L = 10 \log \left[\frac{I}{I_0} \right] \quad (4.6)$$

Burada;

P : Gürültü kaynağının ses gücü (W)

I : Ses yoğunluğu (W/m^2)

d : Gürültü (ses) kaynağına olan mesafe (m)

L : Ses basınç düzeyi (dBA)

I_0 : Referans ses yoğunluğunu ($I_0=10^{-12} W/m^2$), ifade etmektedir.

Bir gürültü kaynağına ait gürültü düzeyi bilindiğinde (L) bu formüller aracılığı ile gürültü kaynağına belli bir mesafede (d) ortaya çıkabilecek gürültü düzeyi belirlenebilir. Yukarıdaki Eş. 4.5 ve Eş. 4.6 aracılığıyla bir gürültü kaynağının ses gücü ile ses basınç düzeyi arasında dönüşümler yapılabilir. Bu dönüşümde gürültü kaynağına olan mesafe $d=1$ olduğu varsayılır. 1. formüldeki tersinir kare ($1/d^2$) özelliğinden dolayı, gürültü kaynağına olan mesafe (d) arttıkça ses yoğunluğu azalmaktadır.

Birden fazla gürültü kaynağı olması durumunda, bu kaynakların bir arada olması nedeniyle ortaya çıkan birleşik gürültü seviyesi ($\bar{L}$) herhangi bir nokta için aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanabilir.

$$\bar{L} = 10 \sum_{i=1}^n \log \left[\frac{I_i}{I_0} \right] \quad (4.7)$$

Eş. 4.6'nın hesaplanmasını kolaylaştırmak için yeniden düzenlenerek aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{I} = 10^{(L-120)/10} \quad (4.8)$$

Daha sonra gürültü kaynakları kombinasyonunun birleşik gürültü yoğunluğu ($\bar{I}$) aşağıdaki formül kullanılarak direkt olarak hesaplanır.

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^n 10^{(L_i - 120)/10} \quad (4.9)$$

Birleşik gürültü seviyesinin hesaplanmasında ortam gürültü seviyesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Ortamdaki gürültü seviyesi (dBA), ölçüm ya da tahminle belirlenmelidir. Direkt ölçüm için, ortam gürültüsü hiçbir makine çalışmazken ölçülmelidir. Elde edilen güvenilir veri, birkaç ölçümün farklı noktalardan ve farklı zaman dilimlerinde alınmasıyla elde edilmelidir. Elde edilen verilerin ortalaması ortam gürültüsü olarak kullanılır. Bu değer ortamdaki gürültü yoğunluğu I_{ab} 'ye dönüştürülmelidir. Bu dönüşüm için Eş. 4.8 kullanılır.

Makinelerin gürültü seviyelerinin belirlenmesi çok güç olabilir. Çünkü makineyi herhangi bir sesin olmadığı başka bir sesten etkilenmeyecek şekilde izole etmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle makineler uygun koşullarda çalıştırılarak ölçüm alınabilir. Aksi halde makine üreticilerinden makine gürültü düzeyi hakkında bilgi alınabilir. Benzer şekilde k makinesinin gürültü seviyesi, ses gücü olarak açıklanmalıdır (P_k), bu açıklama için aşağıdaki dönüşüm kullanılır.

“k” makinesinin dBA türündeki gürültü düzeyinden (L_k) 4.5 ve 4.6 Eşitlikleri kullanılarak ve d=1 var sayılarak P_k elde edilir.

$$P_k = 4\pi 10^{(L_k - 120)/10} \quad (4.10)$$

Bu eşitlik kullanılarak $k=1$ 'den m 'e kadar tekrarlanarak her bir makine için hesaplanır.

Bir araya gelecek makine yerleşimi tanımlanır ve bu yerleşimdeki birleşik gürültü seviyesinin tahmin edilmesi istenilen nokta belirlenir. Bu noktalar (x_i, y_i) olarak açıklanır, burada i birleşik gürültü seviyesi tahmin edilecek noktaların sayısını ifade etmektedir. Birleşik gürültü seviyesinin belirlenmesine yönelik formülasyon yukarıda özetle aktarılmıştı. Bu formülasyonun sistemlere uygulama adımları ise şöyledir.

4.1.1. Hesaplama adımları

i. Belirlenen yerleşimdeki makine gürültü yoğunluğunun hesaplanması

k makinesinin i yerleşim noktasındaki gürültü yoğunluğu $I_{i,k}$ aşağıdaki işlem basamakları takip edilerek tahmin edilebilir. İlk olarak öklid uzaklık $d_{i,k}$, i ve k arasındaki mesafe ($d_{i,k}$) belirlenir.

$$d_{ik} = \left[(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 \right]^{1/2} \quad (4.11)$$

Daha sonra i yerleşim noktasındaki makine gürültü yoğunluğu Eş. 4.5 kullanılarak hesaplanır.

$$I_{i,k} = \frac{P_k}{4\pi d_{i,k}^2} \quad (4.12)$$

ii. Bir araya gelen tüm makinelerin gürültü yoğunluğu

Bir araya gelen makinelerin i yerleşim noktasındaki gürültü yoğunluğu $\bar{I}_i$ tüm makine gürültü yoğunluklarının eklenmesi aracılığı ile belirlenebilir (Eş. 4.13). Burada $I_{i,k}$, $k=1$ den m' 'e kadar.

$$\bar{I}_i = \sum_{k=1}^m \frac{P_k}{4\pi d_{i,k}^2} \quad (4.13)$$

iii. Ortam gürültü yoğunluğunun Eklenmesi

Ortam gürültü düzeyinin etkisi Eş. 4.13'e I_{ab} 'nin eklenmesi aracılığıyla hesaplanabilir. Bu ekleme ile i yerleşim noktasındaki gürültü yoğunluğu; Eş. 4.14 aracılığı ile hesaplanabilir.

$$\overline{I}_i = I_{ab} + \sum_{k=1}^m \frac{P_k}{4\pi d_{i,k}^2} \quad (4.14)$$

Eş. 4.14'te hesaplamayı kolaylaştırmak için Eş. 4.10'un yerine konulması ile P_k ve 4π terimleri kaybolur. Bu işlem sonucu elde edilen Eş. 4.10'nun yeni hali aşağıdaki gibidir.

$$\overline{I}_i = I_{ab} + \sum_{k=1}^m \frac{10^{(L_k - 120)/10}}{d_{i,k}^2} \quad (4.15)$$

iv. Birleşik gürültü yoğunluğunun (dBA) gürültü düzeyine dönüştürülmesi

Hesaplamanın son adımı olarak i yerleşim noktasındaki gürültü yoğunluğu Eş. 4.6 kullanılarak L_i (dBA) birleşik gürültü düzeyine dönüştürülerek hesaplama tamamlanır.

Gürültü faktörü değerlendirilirken makinelerin tekil olarak oluşturdukları ses basıncı ile ortak etkili ses basıncı seviyeleri arasındaki ilişki yukarıda aktarılan hesaplama adımları gerçekleştirilerek belirlenmektedir. Hesaplama adımları ortak etkili gürültü seviyesinin belirlenmesinde makinelerin ses basıncı seviyelerinin sırasıyla toplanarak elde edilemeyeceğini göstermektedir. Ortak etkili gürültü seviyesinde belirleyici olan önemli etkenlerden biri de ortak etkili gürültü seviyesinin ölçüleceği (tahmin edileceği) noktanın gürültü kaynaklarına olan mesafesidir ve bu mesafe ile ortak etkili gürültü şiddeti arasında tersinir bir ilişki bulunmaktadır. Birden fazla gürültü kaynağının bulunduğu ortamda ortak etkili gürültü şiddeti

mutlaka tekil gürültü kaynağının oluşturduğu ses basıncını artırıcı yönde etki yapmakla birlikte bu etki gürültü kaynağından uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu noktadan hareketle ortak etkili gürültü şiddetinin hesaplanmasında matematiksel modelin daha etkin sonuçlar verebilmesi için çeşitli varsayımlarda bulunulmuştur. Hesaplamaya ilişkin yapılan varsayımlar ve bu varsayımların gerekçeleri şöyle sıralanabilir:

İlk varsayım gürültü kaynaklarının sistemdeki yerleşimi ve ortak etkili gürültü şiddetinin belirleneceği noktanın gürültü kaynaklarına olan mesafesi ile ilgilidir. Çalışmada ortak etkili gürültü şiddetinin hesaplanmasında gürültü kaynaklarının (makinelerin) aynı noktaya yerleştirildiği ve ortak etkili gürültü şiddetinin belirleneceği öklid uzaklığın 1m olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımın temel amacı sistemde makineler bir araya geldiklerinde oluşturacakları ortak etkili gürültü şiddetinin maksimum seviyesini tespit etmektir. Bu sayede sistemde ortaya çıkabilecek gürültü riskinin maksimum seviyesi belirlenmiş olacak ve bu seviyenin kabul edilebilir gürültü şiddetinin altında kalması sağlanarak gürültü faktörü açısından daha ergonomik üretim hücreleri elde edilmiş olacaktır. Sistemde makinelerin tek bir noktaya yerleştirilmeleri fiziksel olarak mümkün olmadığı için oluşturulan makine hücrelerindeki ortak etkili gürültü şiddeti her durumda hesaplanan ortak etkili gürültü şiddetinin altında olacaktır. Fiziksel yerleşimde makinelerin boyutları, makineler arasında bırakılan stok alanları vb. nedenlerden dolayı hücre içerisindeki herhangi bir noktada ortaya çıkacak ortak etkili gürültü şiddetinin hesaplanmasında kullanılacak öklid uzaklık 1m'den büyük olacaktır. Ortak etkili gürültü şiddeti ile ölçümün noktası arasındaki öklid uzaklık arasındaki tersinir ilişki ve fiziksel yerleşim nedeniyle büyüyen öklid uzaklıklar ortak etkili gürültü şiddetini azaltıcı etki sağlayacaktır.

Gürültü faktörüne ilişkin yapılan diğer bir varsayım ise sistemde göz önünde bulundurulacak kabul edilebilir gürültü şiddeti ile ilgilidir. Gürültü ve gürültünün çalışanlar üzerindeki etkilerine yönelik daha önceki bölümlerde aktarılan bilgiler ışığında, 8 saatlik çalışma periyodu içerisinde maruz

kalınabilecek maksimum gürültü şiddetinin 90 dBA olduğu vurgulanmıştı. Çalışanların gürültü önleyici ekipmanlar kullanması durumunda kullanılan ekipmanın teknik özellikleri çerçevesinde ortamdaki gürültü şiddetinin bu seviyenin altında kalması sağlanarak daha yüksek gürültü şiddetlerinin bulunduğu çalışma ortamlarında da standartlara uygun çalışma koşulları elde edilebilir. Gürültü önleyici ekipmanlar tasarım özellikleri ve kalitelerine bağlı olarak 20 ila 30 dB arasında değişen değerlerde gürültü etkisini azaltabilmektedir [Erkan,2003, Babalık, 2007]. İşçi sağlığı ve iş güvenliği gereği gürültü şiddetinin yüksek olduğu ortamlarda bu tip gürültü engelleyicilerin kullanılması zorunludur. Bu noktadan hareketle üretim sistemindeki çalışanların gürültü önleyici kullandıkları varsayılmıştır. Çalışanların gürültü önleyici olarak gerek kullanımının basit olması gerekse ekonomik ve kolay temin edilebilir olması nedeniyle kulak tıkacı kullandıkları varsayılmıştır. Kullanılan kulak tıkacı kişisel koruyucular arasındaki alt sınır olan 20 dBA'lık gürültü etkisini azaltıcı etki sağladığı varsayılmıştır. Bu varsayımın temel nedeni temin edilebilir gürültü önleyiciler arasındaki en düşük gürültü kesme değerine sahip olanı seçmek suretiyle sistemdeki emniyetli gürültü şiddeti sınırını genişletmektir. Gürültü önleyici ekipman kullanılması ile maruz kalınabilecek azami gürültü şiddeti gürültü önleyicinin performansı kadar artırılmış olur. Kullanılan gürültü önleyici 20 dB'lik azaltıcı etki sağladığına göre sistemde maruz kalınabilecek azami ortak etkili gürültü şiddeti $90+20=110$ dBA olarak belirlenmiştir. Kullanılacak gürültü kesicinin kalitesi artırıldıkça bu sınır daha yukarı çekilebilir. 20 dBA'lık gürültü önleyici ekipman kullanımı varsayımı ile asgari sınır kullanıldığı için emniyetli sınır belirlenmiş olacaktır.

5. GÜRÜLTÜ FAKTÖRLÜ ERGONOMİK HÜCRE TASARIMI MODELİ

Hücresel imalat sistem tasarımı problemi ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucu, literatürde görülen eksikliklerin giderilmesi amacıyla bu çalışmada harici eleman eliminasyonu için literatürdeki mevcut stratejilere (harici parçanın fason imalatı, hücreler arası taşınması ve darboğaz makine satın alma) ek olarak fazla mesaili üretim alternatifini ve hücre formasyonunda ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörü göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada geliştirilen matematiksel model hücre formasyonu ve harici eleman problemlerini eş zamanlı olarak ele alan gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modelidir.

Geliştirilen matematiksel model, mobilya endüstrisinde faaliyet gösteren ve panel mobilya üretimi yapan orta ölçekli bir firma olan Sofito Ltd. Şti. üretim sisteminden (uygulamaya esas üretim sistemi) elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Oluşturulan problemlerin çözümü GAMS/CPLEX10.2 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Uygulamaya esas üretim sistemine ait bilgiler aşağıda görülmektedir.

5.1. Uygulamaya Esas Üretim Sisteminin İncelenmesi

Türkiye İstatistik Kurumu'nun verilerine göre mobilya grubu ürünlerde 2006 yılı üretimi 5,2 milyar TL olarak gerçekleşmiştir. Devlet İstatistik Kurumu 2002 yılı genel sanayi ve işyeri sayımı verilerine göre ülkemizde imalat sanayi içerisinde ticaret ve hizmet alanları hariç ağaççılı sektöründe yaklaşık 56 000 firma faaliyet göstermektedir. Bu firmalarda yaklaşık 132 000 işçi istihdam edilmektedir. Bu firmaların yaklaşık 29 300'ü mobilya sektöründe faaliyet göstermekte ve 92 500 kişi istihdam edilmektedir. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) kapasite raporları verilerine göre firmaların istihdam ettikleri personel sayıları esas alındığında 250 ve üzeri eleman çalıştıran firma sayısı 40, yüz ve üzeri eleman istihdam eden işletme sayısı ise 155'dir.

Mobilya sanayinin toplam imalat sanayi üretimi içindeki payı %3'tür [TÜİK, 2002; IGEME, 2009].

Mobilya, tüketici talepleri açısından çok değişkenlik gösteren ürün gruplarındandır. Talepteki bu değişkenliğin sebebi renk, form, malzeme, desen, antropometrik uyum, armoni gibi ürün özelliklerine yönelik tercihlerin bireyden bireye farklılık göstermesidir. Tüketici beklentilerine cevap verebilmek için firmalar hızlı bir şekilde yeni ürün gruplarını üretim sürecine dahil edebilmelidir. Bu durum üretim sisteminin esnek ve adaptasyon gücü yüksek olmasını gerektirir. Bu adaptasyon için yüksek teknoloji makine ve ekipman yatırımlarının yanı sıra üretim sistemini efektif kullanabilecek düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, mobilya endüstrisinin seçilmesinin temel nedeni, oldukça yüksek istihdam kapasitesine sahip olan bu sektörün gerek kullanılan üretim teknolojileri gerekse pazar gereksinimleri itibarıyla son derece çeşitliliğe sahip olması yanı sıra üretim sistemlerinin daha etken kullanımına olanak sağlayacak düzenlemelere ihtiyaç duyulmasıdır.

Mobilya endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerin büyük çoğunluğu küçük ve orta ölçekli işletmelerdir. Bu nedenle uygulamaya esas sistem ölçeğinin bu yapıya uygun olmasının daha faydalı olacağı düşünülmüştür. Uygulamaya esas üretim sistemi, mobilya endüstrisinde panel mobilya üretimi yapan Ankara ili Polatlı ilçesi Temelli mevkiindeki başkent organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren SOFİTO Ltd. Şti., çalışmanın ilerleyen bölümlerinde üretim sistemi olarak anılacaktır. Üretim sisteminin kapasitesi, makine ve teçhizatların belirlenmesi işlemleri orta ölçekli bu işletmenin ihtiyaçları ve yönetsel beklentiler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Mobilya endüstrisinde süreci belirleyen en önemli faktör kullanılan hammadde ve yarı mamul malzemenin çeşitliliğidir. Farklı yapısal özelliklere sahip malzemeler farklı üretim süreci gereksinimlerine ihtiyaç duyar.

İşletmelerin tüketicilerin beklentilerine (form, estetik, fonksiyonellik vb.) daha efektif cevap verebilmesi için aynı üretim sistemi içerisinde yapısal özellikleri birbirinden farklı malzemeleri kullanması zorunludur. Bu nedenle uygulamaya esas üretim sistemi birden fazla malzeme türünün süreç gereksinimlerine cevap verecek şekilde planlanmıştır. Üretim sistemi, mobilya endüstrisinin yaygın olarak kullandığı masif ahşap, doğal ahşap-suni kaplamalı ve reçine emdirilmiş kâğıt kaplamalı levhaların üretim süreçlerine cevap verebilecek niteliktedir. Bu malzeme kombinasyonu ile üretilebilecek ürün çeşitliliği oldukça tatminkârdır.

Farklı malzeme türlerinin aynı ürün grubunda kullanılmasının bir diğer nedeni ise ürün maliyetlerini oluşturan malzeme maliyetleri ve üretim maliyetlerinin azaltılmak istenmesidir. İşletmelerin rekabet gücünü etkileyen önemli faktörlerden biri olan bu maliyetlerin azaltılması büyük avantaj sağlayacaktır. Bu nedenle uygulamaya esas ürün grubunda (ofis takımı) ürün gövdelerinde reçine emdirilmiş kâğıt kaplamalı levha, üst tabla ve kapaklar gibi daha ön planda olan bölümlerinde doğal ahşap kaplamalı yonga levha ve masif ahşap kullanılmıştır.

Üretim sisteminde günde 8 saat ve ayda 22 gün çalışma esası referans alınmıştır. Bu doğrultuda işletmenin dönemlik kapasite zamanı 10560 dk olarak belirlenmiştir. İşletmenin fazla mesai kapasite zamanı ise iş kanunu gereği normal çalışma zamanının yaklaşık %20'si olması gerektiği için dönemlik 2112 dk olarak belirlenmiştir. İşçilik maliyetleri, üretim sisteminde fiili olarak çalışan personel için kalifiye ve vasıfsız işçilik olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu doğrultuda kalifiye işçilik kişi başına aylık 1600 TL, vasıfsız işçilik ise aylık kişi başına 960 TL maliyet doğurmaktadır. Bu maliyetlerin içerisinde işçi adına ödenen sigorta primleri de dahildir. Fazla mesai yapılması durumunda işçilik ücretleri %50 zamlı olarak yapılmaktadır. Bu bilgiler ışığında işçilik saat ücreti normal mesai kapsamında kalifiye işçiler için 9,09 TL/saat, vasıfsız işçilik saat ücreti ise 5,45 TL/saat'tir. Fazla mesai işçilik ücretleri ise %50 zamlı olarak kalifiye işçiler için 13,63 TL/saat ve

vasıfsız işçilik ücreti 8,17 TL/saat olarak belirlenmiştir. İşçilik ücretleri 2009 yılı ilk çeyreğinde uygulanan ücret politikalarına göre belirlenmiştir.

Üretim sisteminde yukarıda bahsedilen gerekçelerle 20 makine bulunmaktadır. Üretim sisteminde üretilmek üzere planlanan ofis takımında 6 farklı ürün bulunmaktadır. Bu ürünler toplam 51 adet ürün bileşeninden (parça) oluşmaktadır. Her bir ürün bileşeni kullanılan hammadde ya da yarı mamul malzemenin süreç gereksinimlerine göre 20 adet makinede işlem görmektedir.

Üretim sisteminde hammaddelerin ilk işlem noktalarına ulaştırılmasına ilişkin faaliyetler hücre tasarımı problemi içerisinde rol oynamaması nedeniyle gözardı edilmiştir. İşlem gören parçaların makine hücreleri arasında taşınması işlemi tamamen iş gücü ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle hücreler arası parça taşıma maliyetleri kullanılan işgücü maliyetleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Parçaların boyutsal özelliklerine göre kullanılacak işgücü miktarı değişkenlik göstermektedir. Küçük boyutlu parçaların taşınması 1 vasıfsız işçi tarafından gerçekleştirilirken büyük boyutlu parçalarda 2 vasıfsız işçi kullanılmaktadır. Hücreler arası parça taşıma işlemi taşıyıcı ekipmanın hazırlanması, parçaların taşıyıcı üzerine yerleştirilmesi ve parçaların ilgili hücreye nakledilmesi işlem basamaklarından oluşmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde parçaların 50'şer adetlik istifler halinde bir hücreden diğerine 5 dakikada taşındığı varsayılmıştır. Bu doğrultuda birim parça taşıma maliyeti küçük ebatlı parçalar için 0,0091 TL iken büyük parçalar için 0,0182 TL olarak belirlenmiştir. Hücre içerisinde makinelerin yerleşimi ve makinelerin birbirleriyle olan bağlantısal ilişkileri bilinmediği için hücre içi taşımalar gözardı edilmiştir. Bu bölümde üretim sistemimizdeki bileşenler hakkında kapsamlı bilgi verilecektir. Sistemde kullanılacak malzemeler, makineler ve bu makinelerin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

5.1.1. Kullanılan malzemeler

Üretimi planlanan ofis takımı doğal ahşap kaplama, yonga levha, reçine emdirilmiş kâğıt kaplamalı yonga levha (Suntalam) ve masif ahşap malzemelerden üretilen ürün bileşenlerini içermektedir. Kullanılan bu malzemelerin her biri farklı üretim süreçlerine sahiptir.

Levha malzemeler genellikle 183 x 366 cm veya 210 x 280 cm ebatlarında ve farklı kalınlıklarda (8 - 30 mm) üretilmektedir. Hangi standart ölçülü plakanın kullanılacağına yapılan parça kesim optimizasyonları sonucu karar verilmektedir. Kesim optimizasyonu sonucu daha az fire verilen ve düşük maliyetli olan alternatif seçilmektedir. Yonga levhaların ürün bileşeni olarak ham halde kullanılmaları uygun değildir. Bu nedenle yüzeylerine doğal ahşap ya da suni kaplama malzemeleri yapıştırılmak suretiyle kullanıma hazır hale getirilirler. Yüzey kaplama işlemi sonrası üretim süreci tamamen kullanılan kaplama malzemesi ile ilişkilidir. Suni kaplama malzemesi kullanılması durumunda herhangi bir üst yüzey işlemine (zımparalama, boyama vs.) ihtiyaç duyulmazken doğal ahşap kaplama kullanılması durumunda ilave üst yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulur. Uygulamaya esas ürünlerimiz doğal ahşap kaplamalı olması nedeniyle üretim sürecine üst yüzey işlemleri de dahil edilmiştir. Levha malzemeler hakkında kapsamlı bilgi için Burdurlu, 1994'den faydalanılabilir [Burdurlu, 1994].

Kullanılan masif ahşap malzemeler ise 7,5 x 20 x 300 cm ebadındaki hazır kereste olarak temin edilmektedir. Keresteler gerekli üretim süreçlerinden geçirilmek suretiyle ürün bileşeni olarak hazır hale getirilir. Kereste ve kereste üretim teknolojileri hakkında kapsamlı bilgi için Burdurlu, 1995'den faydalanılabilir [Burdurlu, 1995].

Kullanılan doğal ahşap kaplamalar 0,7 mm kalınlıkta çeşitli genişliklerde ve 300 cm boyundaki bilyeler halinde temin edilmektedir. Kaplamalar boy

ölçülendirme, en ölçülendirme ve en ekleme üretim süreçlerinden geçirilmek suretiyle ürün bileşenlerinde kullanılacak hale getirilmektedir.

Reçine emdirilmiş kâğıt kaplamalı levhaların kenarlarını kapatmak amacıyla 0,6 mm kalınlığında 22 mm genişliğinde 50 – 100 m'lik rulolar halinde temin edilen PVC (Poli Vinil Klorür) malzeme kullanılmaktadır. PVC kenar bantları ihtiyaca göre desensiz ya da desen baskılı olarak temin edilmektedir. PVC kenar bantları, levha malzemelerin kenarlarına ısıyla eriyen (hot melt) tutkallar aracılığı ile yapıştırılmaktadır.

Ahşap kaplamalı levhalar ve masif ahşap malzemelerin çevre etkilerine karşı dayanımlarını artırmak ve estetik özelliklerini zenginleştirmek amacıyla üst yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Üst yüzey işlemleri hazırlık ve boya-cila işlemlerinden oluşmaktadır. Hazırlık işlemleri homojen yüzeyler elde etmek amacıyla yapılan zımparalama ve perdahlama işlemleridir. Cilalama işlemi ise malzeme yüzeyine koruyucu katman oluşturmak ya da estetik özelliklerini zenginleştirmek amacıyla uygulanan örtücü boya, renklendirici ya da şeffaf vernik uygulamalarını kapsamaktadır. Bu çalışmada şeffaf vernik uygulaması iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. İlk aşama yüzeydeki pürüzleri gidermek amacıyla uygulanan dolgu işlemidir. Dolgu işlemi için poliüretan esaslı dolgu vernikleri kullanılmıştır. Malzeme yüzeylerine 150 gr/m² dolgu verniği uygulanmaktadır. Dolgu verniği uygulaması bir yüzeye 2 kez tekrar edilmektedir. Dolgu verniği uygulaması akabinde vernik katmanı kuruduktan sonra zımparalanmak suretiyle olası pürüzler giderilir ve takip eden cilalama işlemleri uygulanır. Cilalama işlemlerinin son aşaması poliüretan esaslı son kat vernik uygulamasıdır. Son kat vernik malzeme yüzeylerine 150 gr/m² ve tek kat olarak uygulanmaktadır. Son kat vernik uygulamasından sonra parçalar kurutularak ürün bileşeni olarak kullanılabilir hale gelmektedir.

5.1.2. Kullanılan makineler

Üretim sisteminde kullanılması düşünülen makineler orta ölçekli bu işletmenin ihtiyaç duyabileceği kapasite gereksinimlerine göre belirlenmiştir. Mobilya endüstrisinde aynı işi gerçekleştirebilecek farklı fiyat ve teknolojilerde çok sayıda makine alternatifi bulunmaktadır. Bu nedenle makineler belirlenirken üretim esnekliği, kapasite ve maliyetler göz önünde bulundurularak üretim sistemi için uygun olabilecek alternatiflerin seçimine çalışılmıştır. Üretim sisteminde kullanılacak makineler ve bu makinelerin teknik-teknolojik özellikleri Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Üretim sisteminde kullanılan makinelerin teknik özellikleri

SİSTEMDE KULLANILACAK MAKİNE LİSTESİ							
No	Makine Tanımı	Aylık Kapasite	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Aylık Amortisman	Gürültü Düzeyi	Birim
1	Panel Ebatlama	29480	m ²	254400	2120	84	dBA
2	Çift Taraflı Ebatlama (1)	82368	m	371000	3091,67	94	dBA
3	Çift Taraflı Kenar Bantlama (1)	82368	m	477000	3975	92	dBA
4	Çift Taraflı Ebatlama (2)	76032	m	371000	3091,67	94	dBA
5	Çift Taraflı Kenar Bantlama (2)	76032	m	477000	3975	92	dBA
6	Çoklu Delik	63360	işl	201400	1678,33	79	dBA
7	Kalibre Zımpara	63360	m	95400	795	81	dBA
8	Silindirli Tutkal Sürme	41184	m	74200	618,33	71	dBA
9	Kaplama Yatay Bant Pres	12038,4	m ²	180200	1501,67	74	dBA
10	Kaplama Giyotin (1)	42240	işl	84800	706,67	72	dBA
11	Kaplama Giyotin (2)	42240	işl	84800	706,67	72	dBA
12	Kaplama Dikiş	42240	m	78440	653,67	68	dBA
13	Masif Boy Kesme	42240	işl	31800	265	88	dBA
14	Çoklu Dilme	59136	m	116600	971,67	103	dBA
15	4 Kenar İşleme Profil Açma	76032	m	74200	618,33	95,5	dBA
16	Yatay Delik	31680	işl	29680	247,33	82	dBA
17	CNC Boyama Ünitesi	50688	m	233200	1943,33	73	dBA
18	CNC Boyama Ünitesi	50688	m	233200	1943,33	73	dBA
19	Kurutma Fırını	50688	m	254400	2120	65	dBA
20	Osilasyon Zımpara	50688	m	116600	971,67	85	dBA

Çizelgede görülen makine kapasiteleri katalog bilgilerinden elde edilmiştir. Gürültü seviyeleri ise katalog bilgileri ve katalog bilgilerinden ulaşılamaması durumunda yerinde ölçüm yapılmak suretiyle belirlenmiştir. Gürültü seviyesi ölçümleri için (34 – 130 dBA) arasındaki tüm ses basınç düzeylerini ölçebilen

Precision Sound Level Meter Type 2232 ses basıncı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait diğer teknik özellikler ise şöyle sıralanabilir.

Markası	: Brüel & Kjaer
DC çıkış	: 50 mV/dB
İki kademeli	: Kademe I 34–94 / Kademe II 70–130 dBA
Referans Frekansı	: 1000 Hz
Referans Sıcaklığı	: 20 °C
Ortam Sıcaklık	: -15, +50 °C

Makinelerin dönemlik maliyetleri, makine bedelleri üzerinden 10 yıllık doğrusal amortismanları hesaplanmak suretiyle elde edilmiştir. Amortisman bedelleri aylık dönemler temel alınarak güncellenmiştir.

Üretim sisteminde kullanılan makinelerin parça işleme yöntemleri birbirlerinden farklıdır. Bazı makinelerden çoklu parça çıktısı elde edilirken (panel ebatlama, çoklu dilme, pres vb.) bazılarından tekil çıktı alınmaktadır. Bu farklılık tek tip kapasite birimi (örn; m, m², m³, adet vb.) elde edilmesini mümkün kılmamaktadır. Bu sebeple makinelerin aylık kapasiteleri parça işleme özelliklerine göre farklı ölçü birimlerinde elde edilmiştir (Çizelge 6.1).

Levha malzemelerden ürün bileşenlerini elde etme süreci panel ebatlama makinesi ile başlamaktadır. Panel ebatlama makinesi tek seferde birden fazla aynı kesim şablonuna sahip levhayı işleyebilmektedir. Makine parça çıktı kapasitesi kesim şablonlarının karmaşıklık özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle makine levha işleme kapasitesi orta ölçekli bir işletmenin ihtiyaçlarını ve sistem gereksinimlerini karşılayabilecek seviyede belirlenmiştir. Sistemde kullanılan panel ebatlama makinesinin günlük 200 plaka işleyebileceği varsayılmıştır. Makine teorik kapasitesi bu miktarın üzerine çıkabilecek niteliktedir. Makinenin bu özelliği üretim sistemine kapasite esnekliği kazandırmaktadır. Panel ebatlama makinesinin sistemdeki temel görevi levhaların toleranslı ölçülendirilmesidir. Panel ebatlama

makinesinde parça sabit kesici ünite hareketlidir. Tüm levha malzemeler toleranslı ölçülendirildikten sonra kullanılan levha malzemenin türüne göre farklı makinelere yönlendirilmektedir.

Panel ebatlamada işlem gören parçalar kullanılan malzeme türüne göre ya kalibre zımpara makinesine ya da çift taraflı ebatlama makinesine gitmektedir. Çift taraflı ebatlama makinesi parçanın net ölçülere getirilmesi yanı sıra kanal açma ve kenar profili açma işlemlerini de gerçekleştirmektedir. Kalibre zımpara ise kaplama presleme öncesi yonga levhaları eş kalınlığa getirmek suretiyle kaplama yapıştırma kalitesini artırmaktadır. Kalibre zımparada işlem gören parçalar yüzeylerine kaplama yapıştırılması için tutkal sürme ve presleme ünitelerine yönlendirilir. Çift taraflı ebatlama makinesinde işlem gören parçalar ise çift taraflı kenar bantlama makinesine gönderilir. Bu üç makinede işlem gören parçalar hareketli parça işleme üniteleri sabittir. Üretim sistemindeki çift taraflı ebatlama ve çift taraflı kenar bantlama makinelerinin yaptıkları işlemleri tek bir makine ile yapmak mümkündür. Bu nitelikteki bir makinenin uygulama için tercih edilmemesinin sebebi üretim sistemini farklı üretim gereksinimleri olan ürünleri üretebilecek esnek yapıya kavuşturmadır. Bu tip makineler kenar profili açma vb işlemlere ihtiyaç duyulması halinde yetersiz kalmaktadır. Kullanılan çift taraflı ebatlama, çift taraflı kenar bantlama ve kalibre zımpara makinelerinin parça işleme hızları 12 m/dk'dır.

Kalibre zımparada eş kalınlığa getirilen parçaların her iki yüzeyine silindirik tutkal sürme makinesinde kaurit tutkal sürülür. Silindirik tutkal sürme makinesi parça işleme hızı 6 m/dk'dır. Tutkallanan parçalar pres hazırlık tezgahında her iki yüzeyine uygun kaplamaların yerleştirilmesi ile presleme işlemine hazır hale gelir. Yatay bant pres, hazırlanan parçaları 5 dk. süre ile 120 °C'de preslemektedir. Kullanılan yatay bant pres baskı tablası ölçüsü 210 x 420 cm'dir.

Levha yüzeylerine yapıştırılacak kaplamalar kaplama kesme giyotinlerinde öncelikle boy ölçülendirme daha sonra kenar düzeltme işlemine tabi tutulur. Kaplama kesme giyotinlerinde bir kaplama seti için tekil işlem döngüsü 15 sn.'dir.

Boy ölçülendirme ve kenar düzeltme işlemleri tamamlanan kaplamalar yapıştırılacakları parçaların yüzey ölçülerine göre en ekleme suretiyle uygun ölçülere getirilir. En ekleme işlemi kaplama dikiş makinesinde gerçekleştirilir. Kaplama dikiş makinesi parça işleme hızı 8 m/dk'dır.

Yüzeylerine kaplama presleme işlemi biten parçalar diğer levhalar gibi net ölçülendirme kenar bantlama işlemleri için çift taraflı ebatlama ve çift taraflı kenar bantlama makinelerine gönderilir. Net ebatlama ve kenar bantlama işlemi biten parçalar montaj elemanları ve diğer aksesuar malzemelerin montajını sağlayacak delik işlemleri için çoklu delik makinesine yönlendirilir.

Çoklu delik makinesi levha malzemenin dört yüzeyine de ardışık delik delme işlemi yapabilmektedir. Çoklu delik makinesi kapasitesi uygulanacak delik şablonuna göre değişkenlik gösterir. Makine tek işlem döngüsü yaklaşık 10sn.'dir. Üretilcek parça üzerine uygulanacak delik işlemleri yön ve yüzey işlem sayısına göre birim parça işleme zamanı belirlenmektedir.

Levha malzemeler delik işlemleri sonrasında üst yüzey işlemleri için CNC vernik atma ünitesine yönlendirilmektedir. CNC vernik atma ünitesi püskürtme tekniği ile işlem yapmaktadır. CNC vernik atma ünitesi parça işleme hızı 8 m/dk'dır. Vernikleme işlemi aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Dolgu işleminden sonra vernik katmanı parçaların 8 m/dk hızla ilerlediği kurutma fırınlarında kurutulur ve aynı hızdaki Osilasyon zımpara makinesinde ince kumlu zımparalar ile zımparalanır. Zımparalama sonrası oluşan vernik tozları toz emme sistemi aracılığıyla yüzeyden uzaklaştırılır ve fırçalarla yüzey tamamen tozlardan arındırılır. Vernikleme işleminin son aşaması son kat vernik uygulamasının yapıldığı CNC vernik

atma ünitesidir. Son kat vernik uygulaması sonucu parçalar kurutularak ambalajlama ünitesine yönlendirilir.

Masif ahşap bileşenlerin üretim süreci ise boy kesme makinesinde başlamaktadır. Parça ebatlarına göre kerestelere boy ölçülendirme işlemi yapılır. Masif boy kesme makinesi tekil parça işlem zamanı 15 sn/işlem'dir. Boy ölçülendirilmesi yapılan parçalar toleranslı kalınlık ve genişlik ölçülendirilmesi için çoklu dilme makinesine yönlendirilir. Çoklu dilme makinesi parça kalınlık-genişlik ölçülerine göre yan yana sıralanmış kesiciler aracılığı ile keresteyi parçalara ayırmaktadır. Çoklu dilme makinesi parça işleme hızı 8 m/dk'dır. Toleranslı ölçülendirilmiş parçalar net ölçülerine getirilmek ve istenilen yüzey işlemlerini uygulamak üzere 4 kenar işleme profil açma makinesine yönlendirilir. Bu makine ardışık sıralanmış frezeleme bıçakları aracılığıyla parçaları net ölçülerine getirmenin yanı sıra parça tasarımı gereği ihtiyaç duyulan he türlü profil, kanal vb. işlemleri gerçekleştirmektedir. 4 kenar işleme profil açma makinesi parça işleme hızı ise 12 m/dk'dır. Net ölçülerine getirilen parçalar delik işlemleri için yatay delik makinesine yönlendirilir. Yatay delik makinesi parça işleme hızı ise 20 sn/işlem'dir. Delik işlemleri tamamlanan masif ahşap parçalar levha malzemelerde olduğu gibi malzeme yüzeyine koruyucu katman oluşturmak ya da estetik özelliklerini zenginleştirmek amacıyla CNC vernik atma makinelerine yönlendirilir. Üst yüzey işlemlerinin ardından ambalajlama ünitesine yönlendirilir. Üretim sisteminde kullanılan makinelerin büyük çoğunluğu CNC teknolojisine sahiptir. Yüksek teknolojlili makineler yeni ürünlerin üretim sistemine adapte edilmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Uygulamaya esas ürün grubu (ofis takımı), bu ürün grubunu oluşturan ürünler ve bu ürünleri oluşturan parçalara ait bilgiler (ebat, malzeme, üretim süreç bilgileri vb.) ise aşağıdaki gibidir.

5.1.3. Uygulamaya esas ürünler

Üretim sistemi için ürün tipleri belirlenirken süreç gereksinimlerinin mümkün olduğunca kapsamlı olmasına dikkat edilmiştir. Mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan masif ahşap, suni - doğal ahşap kaplamalı ve reçine emdirilmiş kâğıt kaplamalı levhaların bir arada kullanıldığı bir ofis takımının üretilmesi planlanmıştır. Bu malzeme kombinasyonu ile üretilebilecek ürün çeşitliliğinin oldukça tatminkâr olması yanı sıra ürün bileşenlerinin üretim süreç gereksinimleri genel üretim sisteminin ihtiyaç duyabileceği üretim süreçlerinin büyük çoğunluğunu kapsamaktadır. Uygulamaya esas ofis takımı ürün bileşenleri ve teknik özellikleri Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2 Ofis takımı ürün bileşenleri ve özellikleri

OFİS TAKIMI						
No	Ürün Tanımı	Genişlik	Derinlik	Yükseklik	Takımdaki Miktar (Adet)	Aylık Tahmini Talep (Adet)
1	Çalışma Masası	200	90	74	1	1000
2	Etajer	90	50	74	1	1000
3	Keson	46	65	65	2	2000
4	Kitaplık	194	44	160	1	1000
5	Konsol	198	44	86	1	1000
6	Misafir Sehpa	50	50	45	1	1000

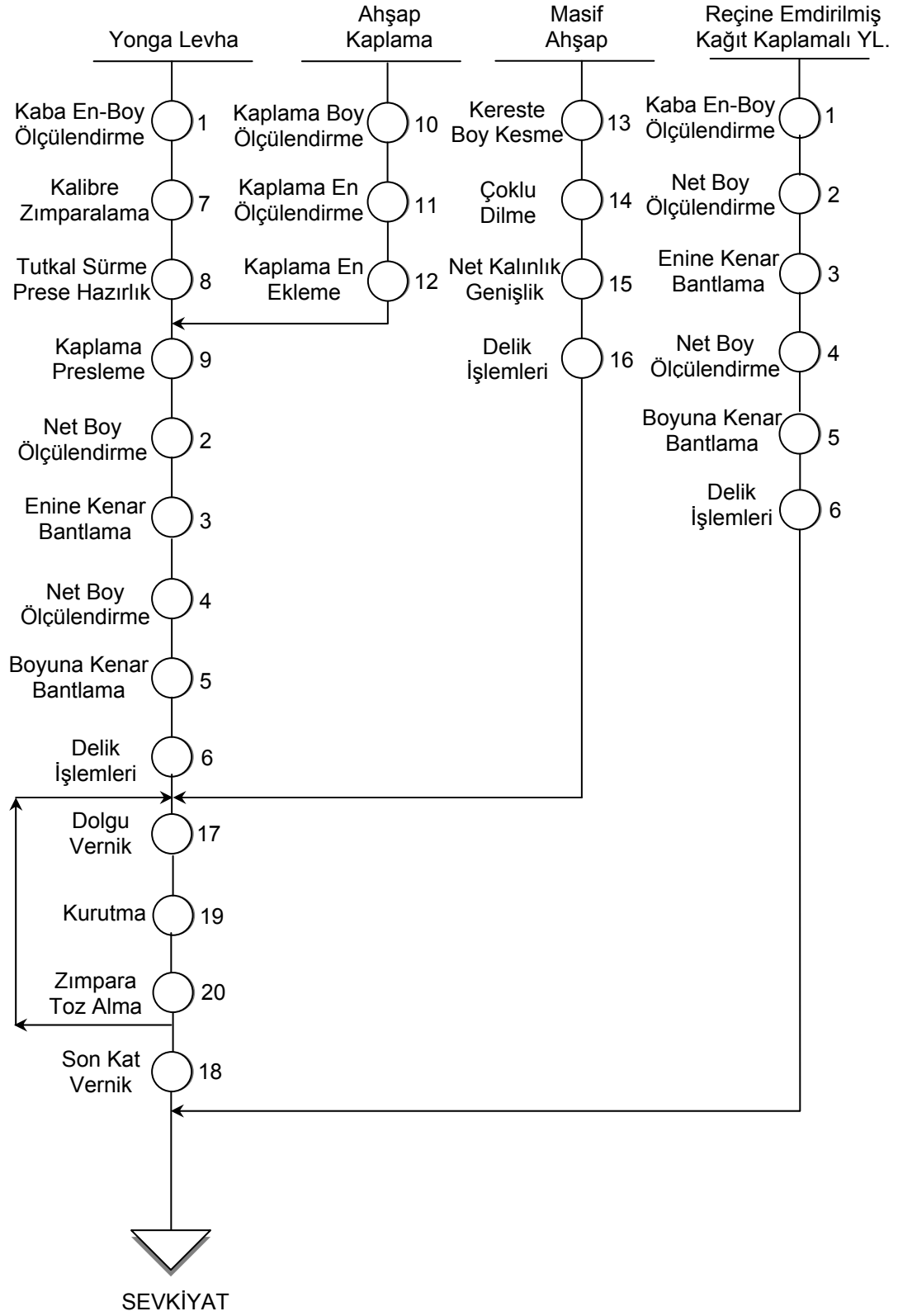
Ofis takımından aylık dönemler için 1000 adet talep edildiği varsayılmıştır. Ürüne ait dönemlik talep miktarının matematiksel model amaç fonksiyonunu oluşturan harici eleman eliminasyonu maliyetleri dengesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla dönemlik tahmini talepler için farklı miktarlar (1000, 500, 250 adet) göz önünde bulundurulmuştur. Farklı talep miktarlarının göz önünde bulundurulmasının bir diğer nedeni ise aylık dönemler için harici eleman eliminasyonu maliyetlerini de dikkate alarak uygun kapasite büyüklüğünün belirlenmek istenmesidir. Üretimi planlanan ürün bileşenlerinin üç görünüş ve perspektifleri Ek.1’de görülmektedir.

5.1.3. Ofis takımı ürün parçaları

Mobilya endüstrisinde sonuç ürün genellikle birden fazla bileşenden oluşmaktadır. Her bir bileşen üretim sistemi içerisinde farklı iş istasyonlarında işlem görmek suretiyle sonuç üründe bir araya getirilmek üzere hazırlanır.

Mobilyalar montaj durumlarına göre sabit ve demonte (sökülüp-takılabilir) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit mobilyalarda, montaj yapılırken, mobilyanın birleşme yerlerindeki sistem elemanlarına tutkal sürülmesi ve tutkalın sertleşmesi ile ek yerinden elemanların sabitlenmesi sonucu, mobilyaya zarar vermeden elemanları tekrar ayırmak mümkün değildir. Tüm taşınma veya yer değiştirmelerde, mobilyaların mevcut formları ile hareket ettirilmesi gerekmektedir. Demonte mobilyalarda ise elemanların birbirine bağlantısı, bu amaç için hazırlanmış özel bağlantı elemanları ile tutkal sürülmeden yapılmaktadır. Bu özellik nedeniyle, demonte mobilyalar sökülüp-takılabilme özelliğine sahiptir ve genellikle kullanım yerlerinde montajlanmaktadır. Herhangi bir amaçla yer değiştirme durumunda, elemanlar birbirinden ayrılabilmekte ve yeniden montajlanabilmektedir [Burdurlu ve ark., 2006].

Demonte bağlantı sisteminin sağladığı avantajlar nedeniyle uygulamaya esas ürün grubunda eksenrik bağlantı elemanlarından minifiks bağlantı kullanılmıştır. Ürün bileşenlerinin ihtiyaç duyduğu süreç basamakları genellikle bileşenin üretileceği hammadde ya da yarı mamul malzemenin türüne göre değişkenlik göstermektedir. Ürün bileşenlerinin tabi olacağı işlem basamakları ve bu işlem basamaklarında kullanılan makineler malzeme türlerine göre (masif ahşap, reçine emdirilmiş kağıt kaplamalı yonga levha, yapay-doğal ahşap kaplamalı yonga levha) Şekil 5.1’de görülmektedir. Şekilde görülen temel süreç şemaları parçaların ortak işlem gereksinimlerini belirlemede de faydalı olmaktadır. Şekil 5.1’den görüldüğü üzere ürünü oluşturan parçaların üretildikleri hammadde ya da yarı mamul malzemelerin temel üretim süreçlerinde çok sayıda ortak işlem gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.1. Ürün bileşenleri temel süreç şeması

Ürün parça bileşenleri ve teknik özellikleri sırasıyla Çizelge 5.3-4-5-6-7-8’de görülmektedir.

Çizelge 5.3 Çalışma masası parça listesi

ÇALIŞMA MASASI PARÇA LİSTESİ						
S.No	Parça Tanımı	Miktar	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Malzeme
1	Üst Tabla	1	900	2000	30	30 mm YL. + Kaplama
2	Yan Tabla	2	670	760	18	18 mm Suntalam
3	Ön Pano	1	670	1860	18	18 mm Suntalam
4	Ayak	4	70	710	70	Kayın Masif

Çizelge 5.4 Etajer parça listesi

ETAJER PARÇA LİSTESİ						
S.No	Parça Tanımı	Miktar	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Malzeme
1	Üst Tabla	1	500	900	30	30 mm YL. + Kaplama
2	Yan Tabla	2	710	480	18	18 mm Suntalam
3	Alt Tabla	1	480	864	18	18 mm Suntalam
4	Ara Tabla	1	464	864	18	18 mm Suntalam
5	Kapak	2	390	447	18	18 mm YL. + Kaplama
6	Arkalık	1	550	884	8	8 mm Suntalam

Çizelge 5.5 Keson parça listesi

KESON PARÇA LİSTESİ						
S.No	Parça Tanımı	Miktar	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Malzeme
1	Üst Tabla	2	650	460	30	30 mm YL.+Kaplama
2	Yan Tabla	4	630	600	18	18 mm Suntalam
3	Alt Tabla	2	630	424	18	18 mm Suntalam
4	Çekmece Klapası (Dar)	4	150	457	18	18 mm YL.+Kaplama
5	Çekmece Klapası (Geniş)	2	310	457	18	18 mm YL.+Kaplama
6	Arkalık	2	444	620	8	8 mm Suntalam
7	Çekmece Altı	6	400	600	8	8 mm Suntalam

Çizelge 5.6 Kitaplık parça listesi

KİTAPLIK PARÇA LİSTESİ					
S.No	Parça Tanımı	Miktar	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm) Malzeme
1	Üst Tabla	1	440	1940	30 30 mm YL.+Kaplama
2	Yan Tabla	2	420	1500	18 18 mm Suntalam
3	Alt Tabla	1	420	1940	18 18 mm Suntalam
4	Ara Dikme	2	404	1482	18 18 mm Suntalam
5	Ara Tabla	1	404	902	18 18 mm Suntalam
6	Kapak Büyük	2	510	1500	18 18 mm YL.+Kaplama
7	Kapak Küçük	2	530	460	18 18 mm YL.+Kaplama
8	Çerçeve Kapak Profili Uzun	4	80	970	18 Kayın Masif
9	Çerçeve Kapak Profili Kısa	4	80	300	18 Kayın Masif
10	Ayak	4	70	70	70 Kayın Masif
11	Arkalık	1	1920	1510	8 8 mm Suntalam

Çizelge 5.7 Konsol parça listesi

KONSOL PARÇA LİSTESİ					
S.No	Parça Tanımı	Miktar	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm) Malzeme
1	Üst Tabla	1	440	1980	30 30 mm YL.+Kaplama
2	Yan Tabla	2	750	420	18 18 mm Suntalam
3	Alt Tabla	1	420	1980	18 18 mm Suntalam
4	Ara Dikme	2	400	732	18 18 mm Suntalam
5	Çerçeve Kapak Profili Uzun	4	80	750	18 Kayın Masif
6	Çerçeve Kapak Profili Kısa	4	80	510	18 Kayın Masif
7	Çekmece Klapası	3	250	640	18 18 mm YL.+Kaplama
8	Ayak	4	70	70	70 Kayın Masif
9	Arkalık	1	1960	750	8 8 mm Suntalam

Çizelge 5.8 Misafir sehpa parça listesi

SEHPA PARÇA LİSTESİ					
S.No	Parça Tanımı	Miktar	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm) Malzeme
1	Üst Tabla	1	500	500	30 30 mm YL. + Kaplama
2	Ayak	4	70	420	70 Kayın Masif

Yukarıda görülen çizelgelerde her bir ürün bileşeninin ebatları, üründeki miktarları ve bu bileşenin üretiminde kullanılan malzemeler görülmektedir. Yukarıda verilen bilgiler ışığında matematiksel modelde kullanılmak üzere

oluşturulan parça makine matrisi Ek.2'de görülmektedir. Üretim sistemi, 51 parça 20 makineden oluşmaktadır. Her bir parçanın işlem gördüğü makinelerdeki birim işlem zamanları Ek.3'te görülmektedir.

Çizelge 5.9 Birim parça fason imalat, fazla mesaili işçilik ve hücreler arası taşıma maliyetleri

S.No	Parça Tanımı	Fason İmalat Maliyeti (S)	Fazla Mesaili İşçilik Maliyeti (C)	Hücreler Arası Taşıma Maliyeti (I)
1	Çalışma Masası Üst Tabla	121,71	3,07	0,0182
2	Çalışma Masası Yan Tabla	21,47	0,66	0,0091
3	Çalışma Masası Ön Pano	24,78	0,54	0,0182
4	Çalışma Masası Ayak	26,38	2,66	0,0091
5	Keson Üst Tabla	39,80	1,39	0,0091
6	Keson Yan Tabla	32,86	1,17	0,0091
7	Keson Alt Tabla	12,17	0,52	0,0091
8	Keson Çekmece Klapası (Dar)	16,59	2,41	0,0091
9	Keson Çekmece Klapası (Geniş)	15,49	1,30	0,0091
10	Keson Arkalık	7,25	0,07	0,0091
11	Keson Çekmece Altı	18,97	0,19	0,0091
12	Etajer Üst Tabla	31,58	1,23	0,0182
13	Etajer Yan Tabla	15,05	0,57	0,0091
14	Etajer Alt Tabla	9,00	0,31	0,0182
15	Etajer Ara Tabla	8,80	0,37	0,0182
16	Etajer Kapak	18,56	1,33	0,0091
17	Etajer Arkalık	6,41	0,06	0,0182
18	Kitaplık Üst Tabla	59,84	2,53	0,0182
19	Kitaplık Yan Tabla	26,88	0,79	0,0182
20	Kitaplık Alt Tabla	17,18	0,47	0,0182
21	Kitaplık Ara Dikme	25,85	0,90	0,0182
22	Kitaplık Ara Tabla	8,09	0,30	0,0182
23	Kitaplık Kapak Büyük	76,40	4,17	0,0182
24	Kitaplık Kapak Küçük	25,17	1,44	0,0091
25	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	19,63	4,85	0,0182
26	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	7,00	2,40	0,0091
27	Kitaplık Ayak	3,45	1,09	0,0091
28	Kitaplık Arkalık	38,20	0,39	0,0182
29	Konsol Üst Tabla	61,06	2,58	0,0182
30	Konsol Yan Tabla	14,12	0,55	0,0091
31	Konsol Alt Tabla	17,46	0,41	0,0182
32	Konsol Ara Dikme	13,39	0,67	0,0091
33	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	15,48	4,05	0,0091
34	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	10,93	3,15	0,0091
35	Konsol Çekmece Klapası	26,06	2,56	0,0091
36	Konsol Ayak	3,45	1,09	0,0091
37	Konsol Arkalık	19,37	0,20	0,0182
38	Sehpa Üst Tabla	17,79	0,70	0,0091
39	Sehpa Ayak	16,42	2,37	0,0091
40	Masa Üst Tabla Kaplama	25,83	2,16	0,0091
41	Keson Üst Tabla Kaplama	8,58	0,83	0,0091
42	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	4,36	0,69	0,0091
43	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	4,47	0,69	0,0091
44	Etajer Üst Tabla Kaplama	6,50	0,68	0,0091
45	Etajer Kapak Kaplama	5,25	0,68	0,0091
46	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	12,16	1,06	0,0091
47	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	21,17	1,44	0,0091
48	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	7,60	1,03	0,0091
49	Konsol Üst Tabla Kaplama	12,39	1,07	0,0091
50	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	6,90	0,71	0,0091
51	Sehpa Üst Tabla Kaplama	3,77	0,54	0,0091

Üretimi gerçekleştirilen her bir parçaya ait birim fason imalat maliyetleri, fazla mesaili işçilik ücretleri ve hücreler arası taşıma maliyetleri Çizelge 5.9'da görülmektedir. İşletme ofis takımlarını 3250 TL/Tk. satış bedeli ile piyasaya sunmayı planlamaktadır. Bu bölümde ele alınan üretim sistemi verileri çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli ile birlikte üretim sisteminde hücre formasyonu oluşturmaya yönelik oluşturulan problemlerin çözümünde kullanılacaktır.

5.2. Gürültü Faktörlü Ergonomik Hücre Tasarımı Modelleri ve Uygulaması

Bu bölümde, gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modelinin geliştirilmesi süreci ele alınmaktadır. Hücresel imalat sistem tasarımına yönelik yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucu problemin yapısını oluşturan hücre formasyonu ve harici eleman eliminasyonu problemlerinin eş zamanlı olarak göz önünde bulundurulmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada, harici eleman ve hücre formasyonu problemlerini eş zamanlı olarak değerlendiren çalışmalardan biri olan Tsai ve arkadaşlarının (1997) deterministik modeli referans alınmıştır.

Tsai ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma Shafer ve arkadaşlarının (1992) kullandıkları modelin genişletilmesi ile elde edilmiştir. Referans alınan geleneksel model aşağıda görülmektedir.

İndis Kümesi:

i	: Makine indisi	$i=1,2,\dots,m$
j	: Parça indisi	$j=1,2, \dots,n$
k	: Hücre indisi	$k=1,2, \dots,c$

Parametreler:

a_{ij}	: Şayet j parçasının işlenmesi için i makinesi gerekli ise 1, aksi halde 0
A_i	: i makinesi periyodik satın alma maliyeti
C_i	: i makinesi periyodik kapasitesi
D_j	: j parçasına olan periyodik tahmini talep
I_j	: j parçasını iki hücre arasında taşıma maliyeti
NM	: Her bir hücrede yer almasına izin verilen makinelerin maksimum miktarı
P_{ij}	: j parçasını i makinesinde üretebilmek için gerekli işlem zamanı

- S_j : Bir işlem için j parçasının birim fason imalat maliyeti
 SP : $a_{ij}=1$ olan (i,j) çiftlerinin kümesi
 UC_{ij} : j parçası için i makinesinin kullanılan kapasitesi. Bu değer $P_{ij} \times D_j / C_i$ formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.

Karar değişkenleri:

- M_{ijk} : j parçasının üretimi için k hücresinde ihtiyaç duyulan i makinesi sayısı
 O_{ijk} : i makinesinin k hücresinde ulaşılabilir olmaması nedeniyle fason imalat yapılan j parçası sayısı
 Q_i : Bir makine hücresinde ilgili parçaları işlemek için gerekli i makinesi sayısı
 R_{ik} : k hücresine satın alınacak i makinesi sayısı (tam sayı)
 U_{ijk} : Eğer $X_{ik}=1$ ve $Y_{jk}=0$ ise 1, aksi halde 0
 V_{ijk} : Eğer $Y_{jk}=1$ ve $X_{ik}=0$ ise 1, aksi halde 0
 X_{ik} : Eğer i makinesi k hücresine atanmışsa 1, aksi halde 0
 Y_{jk} : Eğer j parçası k hücresine atanmışsa 1, aksi halde 0
 Z_{ijk} : Üretileceği k hücresi içerisinde i makinesinden olmaması durumunda hücreler arası transferi yapılan j parçası sayısı

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_k \sum_i A_i R_{ik} + \sum_k \sum_{(i,j) \in SP} I_j Z_{ijk} + \sum_k \sum_{(i,j) \in SP} S_j O_{ijk} \quad (5.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^c X_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (5.2)$$

$$\sum_{k=1}^c Y_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ik} \leq NM \quad \forall k \quad (5.4)$$

$$X_{ik} - Y_{jk} + \frac{1}{D_j} Z_{ijk} + \frac{1}{D_j} O_{ijk} + \frac{1}{UC_{ij}} M_{ijk} - V_{ijk} = 0, \quad \forall (i, j) \in SP, \forall k \quad (5.5)$$

$$\sum_{(i,j) \in SP} M_{ijk} \leq R_{ik}, \quad \forall i, \forall k \quad (5.6)$$

$$Q_i \leq \sum_{(i,j) \in SP} UC_{ij} (1 - \sum_k V_{ijk}) + 1, \quad \forall i \quad (5.7)$$

$$\sum_k \sum_{(i,j) \in SP} \frac{P_{ij}}{C_i} Z_{ijk} \leq Q_i - \sum_{(i,j) \in SP} UC_{ij} (1 - \sum_k V_{ijk}), \quad \forall i \quad (5.8)$$

$$X_{ik}, Y_{jk}, U_{ijk}, V_{ijk} = 0 \text{ veya } 1 \quad (5.9)$$

$$R_{ik}, Q_i, \text{ tamsayı} \quad (5.10)$$

Modelin amaç fonksiyonu Eş. 5.1 üç farklı harici eleman eliminasyonu maliyeti (darboğaz makine satın alma, harici parçaların hücreler arası taşınması ve fason imalatı) toplamını minimize etmektedir.

Eş. 5.2 kısıtı her bir makinenin yalnızca bir hücreye atanmasını garantiler. Eş. 5.3 kısıtı ise her bir parçanın yalnızca bir hücreye atanmasını garantiler. Eş. 5.4 kısıtı, her bir hücreye NM 'den fazla makine atanmasını önler. Burada; NM bir hücreye atanabilecek maksimum makine miktarıdır. Eş. 5.5 kısıtı, harici elemanları; harici makine (satın alınacak darboğaz makine) ya da harici parçaları (hücreler arası taşınacak veya fason imal edilecek) garanti altına alır. Ayrıca bu kısıt ile harici j parçası talebinin üç alternatif yöntemin (darboğaz makine satın alma, hücreler arası taşıma, fason imalat) karışımı ile karşılanacağını gösterir. Eş. 5.6 kısıtı, harici elemanların üretilmesi için k hücresine atanacak ihtiyaç duyulan i makine tiplerinin miktarını hesaplar. Burada M_{ijk} k hücresindeki j parçasının işlenmesine atanmış i makine tipinin kullanılan kapasitesini gösteren değişkendir. Eş. 5.7 kısıtı, her bir hücre içerisinde ihtiyaç duyulan i makinesi miktarını hesaplar. Ayrıca bir makine ve bir parça hücreye atanmış ise ilgili hücre içerisine atanan makineden en az bir adet olmasını garantiler. Eş. 5.8 kısıtı, hücreler arası transfer miktarının i makinesinin ulaşılabilir kapasitesini aşmamasını garantiler. Eş. 5.9 ve Eş. 5.10 kısıtları sırasıyla 0-1 tamsayı ve tamsayı kısıtlarıdır.

Yukarıda görülen matematiksel modelin hücresel imalat sitem tasarımına yönelik yapılan çalışmalarda görülen eksikliklerin (hücre formasyonunda ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörünün göz önünde bulundurulması ve harici eleman eliminasyonu için fazla mesaili üretim alternatifi) giderilmesi amacıyla yeni bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

5.3. Önerilen Model

Önerilen model gerçek yaşamda karşılaşılabilecek bir hücresel imalat sistem tasarımı problemini, uygulama alanı olarak düşünülen mobilya endüstrisinin gereksinimlerini de karşılayacak şekilde matematiksel olarak ifade etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla literatürde yaygın olarak ele alınan hücresel imalat sistem tasarımı problemleri (harici elemanlar, hücresel formasyon) modelde eş zamanlı olarak incelenmiştir. Ayrıca literatürde daha önce Hİ sistem tasarımı problemlerinde ele alınmayan fazla mesaili üretim ile harici eleman eliminasyonu ve ergonomik faktör olarak ortak etkili gürültü şiddetinin modelde göz önünde bulundurulması ile gerçek yaşam problemlerine daha uygun bir matematiksel modelin ortaya konması amaçlanmıştır.

Harici eleman eliminasyonu problemine ilişkin literatürde önerilen çözüm stratejileri; harici parçanın fason imalatı, darboğaz makine satın alma ya da harici parçaların başka hücrelerde üretimine bağlı olarak hücreler arasında taşınmasıdır. Bu stratejilere ek olarak sistemde ortaya çıkan harici parçaların fazla mesaili çalışma ile işletme içerisinde üretilebileceği varsayımıyla bu problem için farklı bir çözüm alternatifi ortaya konulmuştur. Bu yöntemin diğer çözüm yöntemlerine oranla daha düşük maliyetlerle sorunun çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Modelin önde gelen bazı özellikleri ise şöyle sıralanabilir. İlk olarak hücresel formasyon ve harici eleman problemi eş zamanlı olarak incelenmektedir. Bu özelliğinin yanı sıra sistemler üzerindeki etkileri doğrudan belirlenemediği için

gözardı edilen ergonomik faktörlerden ortak etkili gürültü şiddetinin hücre formasyonunda göz önünde bulundurulması ile daha ergonomik üretim hücrelerinin elde edilmesine ve çalışan dostu üretim hücrelerinin oluşturulmasına olanak sağlanmıştır. Bu özellikler aracılığıyla harici elemanlarla, hücrelerin oluşturulması sonrasında ilgilenen klasik yaklaşımların aksine daha etkin ve gerçek yaşama daha uygun sonuçlara ulaşılmasına olanak sağlanmıştır. Literatürde harici eleman problemi ile hücre formasyonunun ayrı ayrı ele alınmasının etkileri Berardi ve arkadaşlarının çalışmasında kapsamlı olarak incelenmiştir [Berardi ve ark., 1999].

Gerçek bir sistemde karşılaşılabilecek hücresel imalat sistem tasarımı probleminin ve uygulamaya esas endüstrinin gereksinimlerini karşılamak üzere; problemin gerçeğe en yakın matematiksel ifadesini hedefleyen model önerisi aşağıdadır.

5.3.1 Önerilen modelin matematiksel formülasyonu

Önerilen matematiksel model kısıt yapısı itibarıyla Tsai ve arkadaşlarının (1997) deterministik modelini referans almaktadır. Uygulamaya esas endüstriyel gereksinimler ve literatürde görülen eksiklikler doğrultusunda amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonlarında gerekli düzenlemeler yapılarak referans alınan model genişletilmiştir. Bu düzenlemeler; harici eleman eliminasyonu için fazla mesaili üretim alternatifi ve hücre formasyonunda ergonomik faktörlerden ortak etkili gürültü şiddetinin göz önünde bulundurulmasına yöneliktir. Kısıtlar belirtilen amaç çerçevesinde modelin hücresel formasyonu oluşturmasını ve hücre dışında kalan harici elemanların ise en iyi şekilde elimine edilmesini sağlamak üzere belirlenmiştir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında geliştirilen matematiksel model Hİ sistem tasarımı probleminde hücre formasyonu ve harici eleman problemini eş

zamanlı olarak çözmeyi amaçlayan gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modelidir.

5.3.2 Varsayımlar

Geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı matematiksel modelinde kullanılan varsayımlar aşağıda görülmektedir.

- i. Parça ve makine grupları aynı anda oluşturulacaktır.
- ii. Model, harici eleman problemi ve hücresel formasyonu eş zamanlı olarak ele almaktadır.
- iii. 0-1 parça-makine matrisi dikkate alınmıştır.
- iv. Model harici eleman eliminasyonu tabanlı bir maliyet minimizasyonu modelidir.
- v. Bir hücrede yer alacak maksimum ve minimum makine sayısı bilinmektedir ve deterministiktir.
- vi. Hücre sayısı bilinmektedir ve deterministiktir.
- vii. Modelde yeni bir sistem tasarımı yapılmaktadır.
- viii. Modeldeki ilişkiler doğrusaldır.
- ix. Makine ve parça sayısı, işlem zamanları, makine maliyetleri-kapasiteleri, fazla mesai, fason imalat vb. maliyetler bilinmektedir ve deterministiktir.
- x. Ergonomik faktöre ilişkin değerler bilinmektedir ve deterministiktir.

Model gerçek yaşama uygun olacak şekilde harici elemanlara bağlı maliyetleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulacak hücrelerin çalışanlar açısından daha ergonomik olmasını da hedeflemektedir. Geliştirilen matematiksel model karışık tam sayılı programlama modelidir.

5.3.3 Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli

İndis Kümesi:

i	: Makine indisi	$i=1,2,\dots,m$
j	: Parça indisi	$j=1,2,\dots,n$
k	: Hücre indisi	$k=1,2,\dots,c$

Parametreler:

a_{ij}	: Şayet j parçasının işlenmesi için i makinesi gerekli ise 1, aksi halde 0
A_i	: i makinesi periyodik satın alma maliyeti
C_i	: i makinesi periyodik kapasitesi
OC_i	: i makinesi fazla mesai kapasitesi
D_j	: j parçasına olan periyodik tahmini talep
I_j	: j parçasını iki hücre arasında taşıma maliyeti
NM	: Her bir hücrede yer almasına izin verilen makine tiplerinin minimum miktarı
MM	: Her bir hücrede yer almasına izin verilen makine tiplerinin maksimum miktarı
P_{ij}	: j parçasını i makinesinde üretebilmek için gerekli işlem zamanı
S_j	: Bir işlem için j parçasının birim fason imalat maliyeti
UC_{ij}	: j parçası için i makinesinin kullanılan kapasitesi. Bu değer $P_{ij} \times D_j / C_i$ formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.
SP	: $a_{ij}=1$ olan (i,j) çiftlerinin kümesi
N_i	: i makinesi gürültü seviyesi dBA
C_j	: j parçasının fazla mesai ile üretim maliyeti
I_{ab}	: Ortam gürültü yoğunluğu (W/m^2)
d	: Ortak etkili gürültü şiddetinin belirleneceği öklit uzaklık (m)
N_k	: k hücreğine atanan m makinelerinin ortak etkili gürültü seviyesi dBA (max 110 dBA)
NP	: Her bir hücrede yer almasına izin verilen parça tiplerinin minimum miktarı

Karar değişkenleri:

- M_{ijk} : j parçasının üretimi için k hücresinde ihtiyaç duyulan i makinesi sayısı
 O_{ijk} : i makinesinin k hücresinde ulaşılabilir olmaması nedeniyle fason imalat yapılan j parçası sayısı
 Q_i : Bir makine hücresinde ilgili parçaları işlemek için gerekli i makinesi sayısı
 R_{ik} : k hücresine satın alınacak i makinesi sayısı (tam sayı)
 U_{ijk} : Eğer $X_{ik}=1$ ve $Y_{jk}=0$ ise 1, aksi halde 0
 V_{ijk} : Eğer $Y_{jk}=1$ ve $X_{ik}=0$ ise 1, aksi halde 0
 X_{ik} : Eğer i makinesi k hücresine atanmışsa 1, aksi halde 0
 Y_{jk} : Eğer j parçası k hücresine atanmışsa 1, aksi halde 0
 Z_{ijk} : Üretileceği k hücresi içerisinde i makinesinden olmaması durumunda hücreler arası transferi yapılan j parçası sayısı
 O_{tijk} : i makinesinin k hücresinde ulaşılabilir olmaması nedeniyle fazla mesai ile imalatı yapılan j parçası sayısı

Önerilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modelinin matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir.

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_k \sum_i A_i R_{ik} + \sum_k \sum_{(i,j) \in SP} I_j Z_{ijk} + \sum_k \sum_{(i,j) \in SP} S_j O_{ijk} + \sum_k \sum_{(i,j) \in SP} C_j O_{tijk} \quad (5.11)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^c X_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (5.12)$$

$$\sum_{k=1}^c Y_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (5.13)$$

$$NM \leq \sum_{i=1}^m X_{ik} \leq MM \quad \forall k \quad (5.14)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{jk} \geq NP \quad \forall k \quad (5.15)$$

$$X_{ik} - Y_{jk} + V_{ijk} - U_{ijk} = 0 \quad \forall (i, j) \in SP, \forall k \quad (5.16)$$

$$Z_{ijk} + O_{ijk} + Ot_{ijk} + (C_i / P_{ij}) M_{ijk} = D_j V_{ijk} \quad \forall (i, j) \in SP, \forall k \quad (5.17)$$

$$\sum_{(i,j) \in SP} M_{ijk} \leq R_{ik} \quad \forall i, \forall k \quad (5.18)$$

$$Q_i \leq \sum_{(i,j) \in SP} UC_{ij} (1 - \sum_k U_{ijk}) + 1 \quad \forall i \quad (5.19)$$

$$\sum_k \sum_{(i,j) \in SP} \frac{P_{ij}}{C_i} Z_{ijk} \leq Q_i - \sum_{(i,j) \in SP} UC_{ij} (1 - \sum_k U_{ijk}) \quad \forall i \quad (5.20)$$

$$U_{ijk} + V_{ijk} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in SP, \forall k \quad (5.21)$$

$$\log \left[\left(I_{ab} + \sum_{i=1}^m X_{ik} \left(\frac{10^{(N_i-120)/10}}{d} \right) \right) / (10^{-12}) \right] \leq 11 \quad \forall i, \forall k \quad (5.22)$$

$$\sum_k \sum_{(i,j) \in SP} P_{ij} Ot_{ijk} \leq OtC_i \quad \forall i \quad (5.23)$$

$$X_{ik}, Y_{jk}, IC_k, U_{ijk}, V_{ijk} = 0 \text{ veya } 1 \quad (5.24)$$

$$R_{ik}, Q_i, \text{ tamsayı} \quad (5.25)$$

Modelin amaç fonksiyonu Eş. 5.11 dört farklı harici eleman eliminasyonu maliyeti toplamını minimize etmektedir. Bu maliyetler sırasıyla; darboğaz makine satın alma maliyeti, hücreler arası parça transferi maliyeti, fason imalat maliyeti ve fazla mesai ile üretim maliyetleridir.

Eş. 5.12 kısıtı her bir makinenin yalnızca bir hücreye atanmasını garantiler. Eş. 5.13 kısıtı ise her bir parçanın yalnızca bir hücreye atanmasını garantiler. Eş. 5.14 kısıtı, her bir hücreye NM 'den az ve MM 'den fazla makine atanmasını önler. Burada; NM bir hücreye atanabilecek minimum makine sayısı ve MM ise bir hücreye atanabilecek maksimum makine miktarıdır. Eş.

5.15 kısıtı, bir hücrede yer alması istenen minimum parça sayısını ifade eder. Eş. 5.16 kısıtı, harici elemanın ya bir harici parça ya da bir darboğaz makine olmasını garantiler. Eş. 5.17 kısıtı, k hücresine atanmış fakat atandığı hücrede işlenmesi için gerekli i makinesi bulunmayan j parçasının talebinin dört alternatif yöntemin (darboğaz makine satın alma, hücreler arası taşıma, fason imalat ve fazla mesai) karışımı ile karşılanacağını gösterir. Eş. 5.18 kısıtı, k hücresi için satın alınmasına karar verilen i darboğaz makinesi sayısının tamsayı olarak belirlenmesini sağlar. Eş. 5.19 kısıtı, her bir hücre içerisinde ihtiyaç duyulan i makinesi miktarını hesaplar. Ayrıca bir makine ve bir parça hücreye atanmış ise ilgili hücre içerisine atanan makineden en az bir adet olmasını garantiler. Eş. 5.20 kısıtı, hücreler arası transfer miktarının i makinesinin ulaşılabilir kapasitesini aşmamasını garantiler. Eş. 5.21 kısıtı, bir harici elemanın aynı anda hem darboğaz makine hem de harici parça olarak ifade edilmesini önler. Eş. 5.22 kısıtı, k hücresine atanan i makinelerinin ortak etkili gürültü seviyesinin kritik gürültü değerini aşmamasını sağlar. Eş. 5.23 kısıtı, fazla mesai ile üretilcek parçaların toplam işlem zamanı, fazla mesai için belirlenen kapasite zamanını aşmaz. Eş. 5.24 ve Eş. 5.25 kısıtları sırasıyla 0-1 tamsayı ve tamsayı kısıtlarıdır.

5.3.4. Önerilen model ile küçük boyutlu problem çözümü

Harici eleman ve hücre formasyonu problemlerini eş zamanlı olarak çözmeyi amaçlayan gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli öncelikle küçük boyutlu problemin (test problemi) çözümü yapılarak test edilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan veriler Shafer ve arkadaşlarının (1992) çalışmasında kullanılan veri kümesinden alınmıştır. Geliştirilen model için ihtiyaç duyulan ve veri kümesinde bulunmayan fazla mesaili üretim maliyeti, fazla mesaili üretim kapasitesi ve makine gürültü değerleri rassal olarak üretilmek suretiyle veri kümesine eklenerek çözüme esas veri kümesi elde edilmiştir.

İhtiyaç duyulan verilerin eklenmesi ile elde edilen test problemi veri kümesi Çizelge 5.10'da görülmektedir.

Çizelge 5.10. Test problemi veri kümesi (Shafer ve ark. 1992'den uyarlama)

Parçalar	Makineler									S_i (\$)	I_i (\$)	D_i	C_i (\$)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1	2,95	2,76	5,54	2,91	0	1,92	0	0	0	4,2	3,7	32128	3,9
2	0	5,18	4,29	0	0	0	0	5,32	0	4,3	2,8	27598	3,2
3	2,2	1,89	0	0	0	0	0	0	0	3,5	2,8	20651	2,9
4	0	3,89	0	1,97	4,28	0	0	0	0	4,4	3,3	11340	3,6
5	0	0	0	2,59	0	0	3,4	0	0	5,0	2,8	18707	3,5
6	0	5,14	0	4,01	4,51	0	0	0	0	3,9	3,5	17040	3,6
7	0	0	0	0	0	2,23	1,16	0	4,04	4,4	2,8	46196	3,2
8	0	0	0	2,7	0	0	4,72	3,75	0	4,6	2,6	45384	3,8
9	0	0	0	0	0	5,52	0	3,85	0	5,0	3,4	16409	4,2
10	4,61	0	0	0	0	0	2,49	0	1,83	5,0	3,2	22000	4,1
A_i (\$)	50784	67053	43944	67345	42414	75225	52741	63523	50632				
C_i (saat)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
N_i (dBA)	84	94	92	87	92	79	81	101	74				

Test problemi GAMS/CPLEX 10.2 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Harici eleman eliminasyonu için bu çalışmada önerilen fazla mesaili üretim alternatifi ve ergonomik hücre formasyonu oluşturmak için önerilen ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörünün problem çözümüne etkilerini görebilmek amacıyla test problemi bu faktörlere yönelik kısıtlar önce devre dışı bırakılarak çözülmüştür. Sonra bu çalışmada önerilen fazla mesaili üretim ve ortak etkili gürültü şiddetine yönelik kısıtlar göz önünde bulundurularak tekrar çözülmüştür. Yapılan her iki çözümde de 10 sn.den kısa sürede optimal çözüme ulaşıldığı görülmüştür.

Küçük boyutlu bu problemin çözümü, bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modelinin sorunsuz olarak çalıştığını ve optimal sonuca ulaşıldığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada göz önünde bulundurulmuş faktörlerin problem çözümüne sağladığı katkılar elde edilen sonuçlarda açıkça gözlenmiştir.

Test probleminin GAMS paket programı aracılığıyla çözümünden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11'de görülmektedir.

Çizelge 5.11 Test problemi çözüm sonuçları

Model İsmi	Geleneksel Model	Gürültü Faktörlü Ergonomik Hücre Tasarımı Modeli
Problem Parametreleri	$k=3$ $NM=1$ $MM=5$ $NP=1$	$k=3$ $NM=1$ $MM=5$ $NP=$
Çözüm Zamanı	<10 sn	<10 sn
İterasyon Sayısı	8542	9839
Harici Eleman Sayısı	7	7
Boşluk Sayısı	15	15
Amaç Fonksiyonu (\$)	440 117,5	435943
$I_j Z_{ijk}$ Hücreler arası taşıma	116 138	116 138
$S_j O_{ijk}$ Fason İmalat	16 318,5	0
$A_i R_{ik}$ Darboğaz makine	307 661	307 661
$C_j Ot_{ijk}$ Fazla mesaili üretim	-	12144

Çözüm sonucu her iki problemde de harici eleman sayısı 7 boşluk sayısı 15 bulunmuştur. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli ile harici eleman eliminasyonu maliyetinde yaklaşık 5000\$ kazanç sağlanmıştır. Problem çözümünde elde edilen hücre formasyonu Şekil 5.2'de görülmektedir.

MAKİNELER										
	6	7	8	9	1	2	3	4	5	
PARÇALAR	5	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	7	1	1	0	1	0	0	0	0	0
	8	0	1	1	0	0	0	0	1	0
	9	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	10	0	1	0	1	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
	2	0	0	1	0	0	1	1	0	0
	4	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	6	0	0	0	0	0	1	0	1	1

Şekil 5.2. Test Problemi çözümünden elde edilen hücre formasyonu

Bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli ve üretim sistemine ait gerçek sistem verileri kullanılarak hücresel imalat sistem tasarımı problemi çözülmüştür.

5.3.5. Önerilen modelin gerçek sistem verileri kullanılarak çözümü

Bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli ve üretim sistemine ait gerçek sistem verileri kullanılarak hücresel imalat sistem tasarımı problemi GAMS paket programı ile çözülmüştür. Üretim sistemine ait makine, parça, işçilik ücretleri, fason imalat ve fazla mesaili üretim maliyet bilgileri bir önceki kısımda (5.1) verilmiştir. Modelde kullanılan parça-makine matrisi ve parça işlem zamanları ise sırasıyla Ek-2 ve Ek-3'te görülmektedir.

İşletme yöneticilerinin istekleri doğrultusunda hücre sayısının 6 olduğu varsayılmıştır. Üretim sisteminin farklı sistem parametrelerinde nasıl şekillendiğini gözlemek amacıyla birbirinden farklı problemler oluşturularak çözüm sonuçları gözlenmiştir.

Singh ve Rajamani (1996) hücre formasyonunu elde etmek üzere parça makine matrisinde parça ailesi ve makine gruplarının yeniden düzenlenerek blok diyagonal yapının elde edilmesi problemini NP-zor problem olarak tanımlamaktadır [Singh ve Rajamani, 1996]. Ayrıca literatürde hücresel imalat sistem tasarımı probleminin NP-zor problem tipinde olduğunu belirten çeşitli çalışmalar görülmektedir [Defersha ve Chen, 2006; Spiliopoulos ve Sofianopoulou, 2007]. Bu çalışmada ele alınan gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı problemi klasik hücresel imalat sistem tasarımı probleminin değişik bir tipi olduğu için (fazla mesaili üretim ve ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörü devre dışı bırakıldığında problem klasik hücresel imalat sistem tasarımı problemine dönüşmektedir) NP-zor problemler sınıfına girmektedir. Bu nedenle problem çözümleri sınırlandırılmış zaman dilimleri için yapılmıştır. Problem parametrelerine göre çözüm hızı dolayısı ile çözüm süresi çok büyük değişkenlik göstermektedir. Farklı sistem parametrelerinin elde edilen hücre formasyonu ve çözüm sonuçları üzerindeki etkilerini gözlemek amacıyla oluşturulan problemlerin çözümleri yapılmıştır.

Üretim sistemi için çözümlenen ilk probleme ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

- Hücre sayısı $k=6$
- Hücrede bulunabilecek minimum makine sayısı $NM=1$
- Maksimum makine sayısı $MM=5$
- Hücreye atanabilecek minimum parça miktarı $NP=2$

Ürünlere olan talebin farklı olması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetlerinde ortaya çıkabilecek değişimleri gözlemek amacıyla aynı problem farklı talep miktarları (1000, 500 ve 250 adet) göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Çözümü yapılan problemler için GAMS paket programı aracılığıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.12 Model I alternatif problem çözümleri

Model İsmi Problem Parametreleri	Model I Prob. 1 $k=6$ $NM=1$ $MM=5$ $NP=2$	Model I Prob. 1 $k=6$ $NM=1$ $MM=5$ $NP=2$	Model I Prob.1 $k=6$ $NM=1$ $MM=5$ $NP=2$
Talep Miktarı (D_i)	1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Çözüm Çalıştırma Zamanı	180000 sn	54000 sn	54000 sn
İterasyon Sayısı	333 584 570	101 183 592	126 175 188
Harici Eleman Sayısı	235	230	155
Boşluk Sayısı	83	106	31
Amaç Fonksiyonu	697 457,89	84 598,569	13 383,802
$I_j Z_{ijk}$ Hücreler arası taşıma	3 968,26	1134,324	879,133
$S_j O_{ijk}$ Fason İmalat	605 462,47	66904,07	0
$A_i R_{ik}$ Darboğaz makine	63 458,63	13094,36	10547
$C_j O_{ijk}$ Fazla mesaili üretim	24 568,53	3465,816	1957,67

Çizelge 5.12'den görüldüğü üzere belirlenen varsayımlar altında talebin 1000 adet olduğu ilk problemde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 697457,89 TL olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç harici eleman eliminasyonu için ön görülen harici elemanların hücreler arası taşınması, fason imalatı, darboğaz makine satın alma ve fazla mesai ile üretim maliyetlerini kapsamaktadır. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 3968,26 TL, fason imalat maliyeti 605462,47 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 63458,63 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 24568,53 TL olarak belirlenmiştir.

Talebin 1000 adet olduğu ilk çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonu Ek.4'de görülmektedir. Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda 1-5-12-16-17-18-22-24-37-48 numaraları parçaları işlemek üzere 7-16-17-18-20 numaralı makineler 1. hücreye, 2-6-7-9-15-34-35-42 numaralı parçaları işlemek üzere 1 numaralı makine 2. hücreye, 3-13-14-19-20-23-25-28-30-31-49-50 numaralı parçaların işlenmesi için 2-3-4-5-6 numaralı makineler 3. hücreye, 8-11-26-29-38-45-47 numaralı parçaların işlenmesi için 8-9 numaralı makineler 4. hücreye, 32-33-41-46 numaralı parçaların işlenmesi için 12-13 numaralı makineler 5. Hücreye ve 4-10-21-27-36-39-40-43-44-51 numaralı parçaların işlenmesi için 10-11-14-15-16 numaralı makineler 6. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 235 adet harici parça ve 83 adet boşluk bulunmaktadır.

Darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.13'te görülmektedir.

Çizelge 5.13 Talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

		HÜCRELER (k)					
		1	2	3	4	5	6
MAKİNELER (i)	Panel Ebatlama	1	1	1	1		1
	Çoklu Delik	6	1	1	1	1	1
	Yatay Bant Pres	9		1			
	Giyotin (1)	10		1	1	1	
	Giyotin (2)	11	1	1		1	
	Kaplama Dikiş	12	1	1	1		1
	Boy Kesme	13		1	1		1
	Yatay Delik	16		1	1	1	1
	CNC Vernik Atma (1)	17		1	1	1	1
	CNC Vernik Atma (2)	18		1	1	1	1
	Kurutma Fırını	19		1	1	1	
	Osilasyon Zımpara	20		1	1	1	1

Çizelge 5.13'ten görüldüğü üzere 1 numaralı makineden 1,3,4,6 hücrelerine, 6 numaralı makineden 1,2,4,5,6 hücrelerine, 9 numaralı makineden 3 hücrelerine, 10 numaralı makineden 2,3,4,5 hücrelerine, 11 numaralı makineden 1,2,3,5 hücrelerine, 12 numaralı makineden 1,2,3,4,6 hücrelerine,

13 numaralı makineden 2,3,4,6 hücrelerine, 16 numaralı makineden 2,3,4,5,6 hücrelerine, 17-18 ve 20 numaralı makinelerden 2,3,4,5,6 hücrelerine, 19 numaralı makineden 2,3,4,5 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Çizelge 5.14'den görüldüğü üzere belirlenen varsayımlar altında talebin 500 adet olması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetleri toplamının minimizasyonundan oluşan amaç fonksiyonu değeri 84 598,569 TL olarak belirlenmiştir. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 1134,324 TL, fason imalat maliyeti 66904,07 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 13094,36 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 3465,816 TL olarak belirlenmiştir.

Talebin 500 adet olduğu ikinci çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonu Ek.5'te görülmektedir. Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda 1-5-6-7-9-13-14-15-16-20-22-23-24-27-32-35-36-38-47 numaraları parçaları işlemek üzere 3-4-17-18-20 numaralı makineler 1. hücreye, 2-3-8-10-11-12-17-19-21-26-28-30-31-37-43-44-45-46-51 numaralı parçaları işlemek üzere 1-5-6-11-12 numaralı makineler 2. hücreye, 18-25-40 numaralı parçaların işlenmesi için 8-14 numaralı makineler 3. hücreye, 28-39-50 numaralı parçaların işlenmesi için 7-9-16-19 numaralı makineler 4. hücreye, 4-34-48 numaralı parçaların işlenmesi için 2-13-15 numaralı makineler 5. Hücreye ve 33-41-42-49 numaralı parçaların işlenmesi için 10 numaralı makine 6. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 230 adet harici parça ve 106 adet boşluk bulunmaktadır.

Talep miktarının 500 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonunda darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.15'te görülmektedir.

Çizelge 5.15 Talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

		HÜCRELER (k)					
		1	2	3	4	5	6
MAKİNELER (i)	Çoklu Delik	6	1				
	Kaplama Giyotini (2)	11					1
	Kaplama Dikiş	12	1	1	1	1	1
	Masif Boy Kesme	13	1	1			
	Yatay Delik	16		1		1	1
	CNC Boyama Ünitesi (1)	17		1	1	1	1
	CNC Boyama Ünitesi (2)	18		1	1	1	1
	Osilasyon Zımpara	20		1	1	1	1

Çizelge 5.15'ten görüldüğü üzere 6 numaralı makineden 1. hücreye, 11 numaralı makineden 6. hücreye, 12 numaralı makineden 1-3-4-5-6 hücrelerine, 13 numaralı makineden 1-2-3 hücrelerine, 16 numaralı makineden 2-3-5-6 hücrelerine, 17-20 numaralı makineden 2-3-4-5-6 hücrelerine, 18 numaralı makineden 3-4-5-6 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Talep miktarının 250 adet olarak belirlendiği son problem için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.12'de görülmektedir. Belirlenen varsayımlar altında talebin 250 adet olduğu son problemde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 13 383,802 TL olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç harici eleman eliminasyonu için öngörülen harici elemanların hücreler arası taşınması, fason imalatı, darboğaz makine satın alma ve fazla mesai ile üretim maliyetlerini kapsamaktadır. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 879,133 TL, fason imalat maliyeti 0 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 10547 TL ve fazla mesai ile üretim maliyeti 1957,67 TL olarak belirlenmiştir.

Birinci problemde talebin 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonu Ek.6'da görülmektedir. Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda 1-2-3-6-7-8-10-11-12-13-14-15-16-17-19-20-21-22-28-29-30-31-32-37-38 numaraları parçaları işlemek üzere 1-2-3-4-5 numaralı makineler 1. hücreye, 33-47 numaralı parçaları işlemek üzere 15 numaralı

makine 2. hücreye, 25-26-27-36-39 numaralı parçaların işlenmesi için 13-14-16-18-19 numaralı makineler 3. hücreye, 4-5-9-18-23-24-35-46 numaralı parçaların işlenmesi için 6-7-8-9-20 numaralı makineler 4. hücreye, 34-40 numaralı parçaların işlenmesi için 17 numaralı makine 5. Hücreye ve 41-42-43-44-45-48-49-50-51 numaralı parçaların işlenmesi için 10-11-12 numaralı makineler 6. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 155 adet harici parça ve 31 adet boşluk bulunmaktadır.

Talep miktarının 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonunda darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.16'da görülmektedir.

Çizelge 5.16 Talebin 250 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücrelerine satın alınacak i makine sayısı

			HÜCRELER (k)			
			2	3	4	5
MAKİNELER (i)	Kaplama Dikiş	12	1			1
	Yatay Delik	16	1			1
	CNC Boyama Ünitesi (1)	17	1	1	1	
	Osilasyon Zımpara	20	1	1		1

Çizelge 5.16'dan görüldüğü üzere 12-16 numaralı makinelerden 2-5 hücrelerine, 17 numaralı makineden 2-3-4 hücrelerine ve 20 numaralı makineden 2-3-5 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Talebin düşmesi sonucu sistem içerisindeki parça sayısının azalması harici eleman eliminasyonu için kullanılan alternatiflerin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetleri içindeki oranlarını değiştirmektedir. Talep azaldıkça fason imalat maliyetlerinin toplam maliyetler içindeki payının azaldığı görülmektedir. 1000 adet talebin olduğu ilk duruma ait sonuçlar ele alındığında darboğaz makine satın alma maliyetlerinin toplam maliyet içindeki payı (Çizelge 5.12'den, $63458,63 / 697457,89 \times 100$) %9, fason imalat maliyetlerinin toplam maliyetler içerisindeki payı %87, fazla mesaili üretim

maliyeti payı %4 ve harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti payı yalnızca %1'dir.

Talebin 500 adet olduğu ikinci durumda; darboğaz makine satın alma maliyetlerinin toplam maliyet içindeki payı %15, fason imalat maliyetlerinin toplam maliyetler içerisindeki payı %79, fazla mesaili üretim maliyeti payı %4 ve harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti payı yalnızca %1'dir.

Talebin 250 adet olduğu son problemde; darboğaz makine satın alma maliyetlerinin toplam maliyet içindeki payı %79, fason imalat maliyetlerinin toplam maliyetler içerisindeki payı %0, fazla mesaili üretim maliyeti payı %15 ve harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti payı yalnızca %7'dir.

Maliyet unsurlarının toplam maliyetler içindeki oranları dikkatlice incelenirse talep azaldıkça fason imalat ile harici eleman eliminasyonu alternatifinin toplam maliyet içerisindeki payı talep miktarı 500 olduğunda %8'lik bir düşüş yaşamış ve talep 250 adet olduğunda bu strateji tamamen devre dışı kalmıştır. Bunun sebebi fason imalat maliyetlerinin diğer maliyet unsurlarına göre daha yüksek olmasıdır. Dar boğaz makine satın alma alternatifinin toplam maliyetler içindeki payı talep 1000 adet olması durumunda %9 iken bu oran 500 adetlik talepte %15'e ve 250 adetlik talepte %79'a çıkmıştır. Benzer şekilde fazla mesaili işçilik maliyetlerinin payları talebin 1000 – 500 ve 250 adet olması durumundaki değişimi de sırasıyla %4, %4 e % 15'tir. Hücreler arası taşıma maliyetleri oransal değişimi ise sırasıyla %1, %1, %7'dir. Bu değişim harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin talep azaldıkça fason imalat alternatifinden ağırlıklı olarak darboğaz makine satın alma alternatifine doğru değiştiğini göstermektedir. Fazla mesaili işçilikle harici eleman eliminasyonu alternatifinin fazla mesai kapasitesi kısıtlı olması nedeniyle yeterli pay alamadığı söylenebilir. Fazla mesai kapasite zamanının daha yüksek olması durumunda toplam maliyetler içerisindeki payının daha büyük oranlarda artacağı söylenebilir.

Elde edilen hücre formasyonlarında performans ölçütlerinin test edilmesi amacıyla geliştirilen çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanlar gruplama etkenliği (grouping efficiency), gruplama etkinliği (grouping efficacy) ve gruplama ölçüsü (grouping measure) yöntemleridir. Hesaplamalarda kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir.

- M : Makine sayısı
- P : Parça sayısı
- d : Diyagonal bloklardaki (hücrelerdeki) 1 değerli eleman sayısı
- e : Çözümdeki harici eleman sayısı
- o : Matristeki 1 değerli eleman sayısı $\{ a_{pm}=1 \}$
- v : Çözümdeki boşluk sayısı

Gruplama etkenliği yöntemi Chandrasekaran ve Rajagopalan (1986) tarafından önerilen ve farklı hücre formasyonlarının karşılaştırılmasında kullanılan bir performans ölçütüdür [Chandrasekaran ve Rajagopalan, 1986]. Önerilen yöntemin matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$\eta = \omega\eta_1 + (1 - \omega)\eta_2 \quad (5.26)$$

Burada;

$$\eta_1 = \frac{o - e}{o - e + v} \quad (5.27)$$

$$\eta_2 = \frac{MP - o - v}{MP - o - v + e} \quad (5.28)$$

Bu yöntem iki etkenlik ölçütünün ağırlıklı ölçülerine göre birleşiminden oluşmaktadır. Ağırlık ölçütü ω 'nin genellikle 0,5 alınması (eşit ağırlık) önerilmektedir. η_1 diyagonal bloktaki 1 değerli elemanların diyagonal bloktaki tüm elemanlara (0 ve 1) oranıdır. η_2 diyagonal bloktaki 0 değerli elemanların diyagonal bloktaki tüm elemanlara (0 ve 1) oranıdır. Kullanılan ağırlık faktörü

tasarımcılara yararlanma ve hücreler arası taşıma arasında önem derecesi belirleyerek tercih yapma olanağı sağlamaktadır.

Gruplama performansını tespit etmeye yönelik kullanılan bir diğer yöntem ise gruplama etkinlik ölçütüdür. Bu yöntemi Kumar ve Chandrasekaran gruplama etkenliği yönteminin eksikliklerini gidermek maksadıyla önermişlerdir. Bu yöntem gruplama etkenliği yönteminin tersine matris büyüklüğünden etkilenmemektedir [Kumar ve Chandrasekaran, 1990]. Bu yöntem aşağıdaki eşitlikler aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$\tau = \frac{1 - \psi}{1 - \phi} = \frac{o - e}{o + v} \quad (5.29)$$

Burada $\psi = \frac{e}{o}$ ve $\phi = \frac{v}{o}$ 'dir. Gruplama etkinlik ölçütü (τ) harici elemanların değişiminden boşluk değişimine nazaran daha fazla etkilenmektedir.

Gruplama performansının ölçülmesindeki bir diğer yöntem ise gruplama ölçüsü (η_g)'dir. Bu yöntem Miltenburg ve Zhang (1991) tarafından önerilmiştir. Eğer makinelerin kullanım oranı yüksekse (düşük boşluk) ve az sayıda parçanın birden fazla hücredeki makinelerde işlem görme ihtiyacı varsa (az sayıda harici eleman) η_g değeri yüksek değer alır. Gruplama ölçüsü (η_g) aşağıdaki formülasyon aracılığı ile hesaplanmaktadır [Miltenburg ve Zhang, 1991].

$$\eta_g = \eta_u - \eta_m \quad -1 \leq \eta_g \leq 1 \quad (5.30)$$

$$\eta_u = \frac{d}{d + v} \quad 0 \leq \eta_u \leq 1 \quad (5.31)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{d}{o} \quad 0 \leq \eta_m \leq 1 \quad (5.32)$$

Burada η_u parça-makine matrisindeki parçaların kullanım ölçütüdür. Büyük değer alması parçaların hücrelerdeki makinelerin çoğunda işlem gördüğünü

ifade eder. η_m ise hücreler arası parça taşıma ölçütüdür ve küçük değer alması hücreler arası taşıma miktarının az olduğunu gösterir. Dolayısıyla alternatif hücre formasyonlarından η_g 'nin büyük değer aldığı hücre formasyonu tercih edilebilir.

Yukarıda aktarılan performans ölçütleri tek başlarına bir hücre formasyonunun diğerine tercih edilmesi için yeterli değildir. Çünkü hücre formasyonları arasında tercih yapılırken bu performans ölçütlerinin yanı sıra endüstriyel gereksinimler ve hücre formasyonları için mali performans değerlemesi (fayda/maliyet oranı) gibi diğer faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda alternatif hücre formasyonları arasından hangisinin seçileceğini belirlemek amacıyla gruplama performans ölçütlerinin yanı sıra mali performans ölçütü olarak harici eleman eliminasyonu (*EEs*) maliyetlerinin toplam ürün satış bedelleri (TÜSB) içindeki payları da dikkate alınmıştır. Elde edilen mali performans ölçütünün küçük olması tercih sebebidir. Mali performans ölçütünün büyük değer alması harici eleman eliminasyonu için katlanılan maliyetlerin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çözümü yapılan ilk problemde talebin 1000,500 ve 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve *EEs* maliyetlerinin TÜSB içindeki payları Çizelge 5.17'de görülmektedir.

Çizelge 5.17 Temel Model I.Problem için performans ölçütleri

Model İsmi		Model I Prob. 1	Model I Prob. 1	Model I Prob.1
Problem Parametreleri		$k=6 \text{ NM}=1 \text{ MM}=5 \text{ NP}=2$	$k=6 \text{ NM}=1 \text{ MM}=5 \text{ NP}=2$	$k=6 \text{ NM}=1 \text{ MM}=5 \text{ NP}=2$
Talep Miktarı (D_i)		1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Gruplama Etkenliği (η)		0,640	0,620	0,833
Gruplama Etkinliği (τ)		0,252	0,254	0,510
Gruplama Ölçüsü (η_g)		-0,124	-0,146	0,410
<i>EEs</i> Maliyeti (TL)		697457,89	84598,569	13383,802
(TÜSB) (TL)		3 250 000	1 625 000	812 500
<i>EEs</i> Maliyeti /TÜSB		0,2146	0,052	0,016

Uygulamaya esas sistem için elde edilen hücre formasyonlarından 250 adet talebin olması durumunda elde edilen hücre formasyonunun performans ölçütleri ve *EEs* Maliyeti /TÜSB oranı açısından diğerlerinden üstün olduğu görülmektedir.

Bu sonuç uygulamaya esas sistem için 250 adet talebin üzerindeki miktarlar için makine kapasitelerinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu durum harici eleman eliminasyonu için önerilen yöntemlerden fason imalat ve darboğaz makine satın alma alternatiflerinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetleri içerisindeki paylarını dolayısı ile harici eleman eliminasyonu maliyetlerini artırmaktadır. Çizelge 5.17'den görüleceği üzere talebin 250 adet olması durumunda *EEs* Maliyeti /TÜSB oranı % 1,6 iken 500 adet olması durumunda % 5,2 ve 1000 adet olması durumunda % 21,46 gibi büyük bir orana ulaşmaktadır. Uygulamaya esas üretim sisteminde 250 adet ofis takımı talebinden daha yüksek taleplerin karşılanmak istenmesi durumunda daha yüksek kapasiteli makinelerin tercih edilmesi önerilmektedir.

Çalışmada önerilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli hücre sayısının bilinmesi varsayımına dayanmaktadır. Bu durum geliştirilen matematiksel model çözümünden elde edilen sonuçların kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü kurulacak hücre sayısı sistemde ortaya çıkacak harici eleman sayısı ile direkt ilişkilidir. Geliştirilen temel modelin bu zayıflığını gidermek amacıyla kurulacak hücre sayısını da belirleyecek şekilde model genişletilmiştir.

Temel modelin genişletilmesiyle elde edilen ikinci modelde, kurulabilecek maksimum hücre sayısı bilinmekle beraber hücrelerin kurulması ve kaç tane hücre açılacağı matematiksel model ile belirlenecek hale getirilmiştir.

Temel model ve üretim sistemi gerçek verileri kullanılarak oluşturulan problemlerin çözümünden elde edilen hücre formasyonlarında üretim sistemi

açısından uygun olmayan hücre yapılanmaları gözlenmiştir. Elde edilen hücre formasyonunda gerek fiziksel, gerekse süreç gereksinimleri gereği aynı hücrede bulunması gereken makine çiftlerinin birbirinden farklı hücrelere atandığı görülmüştür. Örneğin levhalara kaplamaların yapıştırılması işleminde öncelikle levhalara tutkal sürülmekte ve ardından yatay bant preste kaplamalar levha yüzeyine preslenmek suretiyle yapıştırılmaktadır. Dolayısı ile bu süreçte tutkal sürme makinesi ile presin aynı hücrede yer alması gerekmektedir. Aksi halde levhalar tutkallandıktan sonra kaplama presleme için başka bir hücreye taşınması durumunda taşıma esnasında tutkal kuruyarak yapıştırıcı özelliğini kaybedebileceği gibi tutkallanmış parçaların bir yerden başka bir yere taşınması da mümkün olmayabilir. Benzer bir durum üst yüzey işlemleri için de söz konusudur. Ürün bileşenlerine vernik atılması sürecinde dolgu verniği uygulandıktan sonra parçalar kurutulup osilasyon zımpara makinesinde zımparalanmalı ve ardından son kat vernik uygulanmalıdır. Bu süreçte de vernik atma üniteleri ve kurutma ünitesi aynı hücrede yer almalıdır. Aksi halde vernikli parçaların kurutulmadan bir yerden başka bir yere taşınması esnasında vernikli yüzeylerde deformasyonlar ve üst yüzey işlemlerinin kalitesinde azalmalar yaşanabilir. Gözlenen bu sorunun giderilmesi amacıyla sırasıyla temel model ve genişletilmiş birinci model endüstriyel gereksinimlere cevap verecek şekilde iyileştirilmiştir.

Bu doğrultuda iyileştirilerek oluşturulan üçüncü ve dördüncü modeller yukarıda belirtilen endüstriyel gereksinimleri karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. İkinci modelin endüstriyel gereksinimler doğrultusunda bağımlılık ilişkisi bulunan makine çiftlerini göz önünde bulunduracak şekilde genişletilmesi ile üçüncü model elde edilmiştir. Bu modelde ikinci modelde olduğu gibi kurulabilecek maksimum hücre sayısı bilinmekle beraber kurulacak hücre sayısına model kendi karar vermektedir. Buna ek olarak hücrelere makinelerin atanmasında ortak atama yapılma zorunluluğu olan makine çiftlerinin farklı hücrelere atanmalarını önlemeye yönelik kısıt fonksiyonları ve parametreler eklenmiştir. Son olarak temel modelin endüstriyel gereksinimler doğrultusunda aynı hücreye atanması gereken

(bağımlılık ilişkisi bulunan) makine çiftlerinin farklı hücelere atanmasını önlemeye yönelik kısıt fonksiyonu ve parametreler eklenerek genişletilmesi ile dördüncü model elde edilmiştir. Dördüncü modelde temel modelde olduğu gibi kurulacak hücre sayısının bilindiği varsayılmaktadır. Üçüncü modelin çözümü ile model tarafından belirlenen hücre sayısı dördüncü modelde kurulacak hücre sayısı olarak kullanılmıştır.

Geliştirilen temel model ve bu modelin genişletilmesi ile elde edilen matematiksel modeller harici eleman eliminasyonu ve hücre formasyonu problemlerini eş zamanlı olarak ele almakla birlikte ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörünü de göz önünde bulundurmaktadır. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modelinin genişletilmesiyle elde edilen modeller aşağıda görülmektedir.

5.4. Genişletilmiş II. Model ve Uygulaması

Bu model, tez ile geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modelinin hücre sayısının başlangıçta bilinmemesi durumunu göz önünde bulunduracak şekilde genişletilmesiyle elde edilmiştir. Temel modelde yapılan değişiklikler, eklenen kısıt fonksiyonları ve karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Eklenen karar değişkeni:

IC_k : Eğer k hücresi biçimlendirilmişse 1, aksi halde 0

Değiştirilen ve/veya eklenen kısıt fonksiyonları:

$$IC_k \text{ NM} \leq \sum_{i=1}^m X_{ik} \leq IC_k \text{ MM} \quad \forall k \quad (5.33)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{jk} \geq NP \text{ IC}_k \quad \forall k \quad (5.34)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{jk} \leq IC_k M \quad \forall k \quad (5.35)$$

Eş. 5.33 kısıtı, biçimlendirilen her bir hücreye NM 'den az ve MM 'den fazla makine atanmasını önler. Burada; IC_k eğer hücre biçimlendirilmişse 1 aksi halde 0'dır, NM bir hücreye atanabilecek minimum makine sayısı ve MM ise bir hücreye atanabilecek maksimum makine sayısıdır. Eş. 5.34 kısıtı, biçimlendirilen her bir hücrede yer alması istenen minimum parça sayısını ifade eder, bu kısıt aynı zamanda biçimlendirilmeyen hücrelere parça atamasını da önlemektedir. Eş. 5.35 kısıtı, biçimlendirilen her bir hücrede yer alması istenen maksimum parça sayısını ifade eder, burada M çok büyük bir sayıyı ifade etmektedir.

Genişletilmiş ikinci model kullanılarak çözümlenen ikinci probleme ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

- Kurulabilecek maksimum hücre sayısı $k=7$
- Hücrede bulunabilecek minimum makine sayısı $NM=2$
- Maksimum makine sayısı $MM=7$
- Hücreye atanabilecek minimum parça miktarı $NP=2$

Genişletilmiş ikinci modelin üretim sistemi verileri ve farklı talep miktarları göz önünde bulundurularak GAMS paket programı aracılığıyla edilen çözüm sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.18'den görüldüğü üzere temel modelin genişletilmesi ile elde edilen ikinci modelde belirlenen varsayımlar altında talebin 1000 adet olduğu ilk problemde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 609780,12 TL olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç harici eleman eliminasyonu için ön görülen harici elemanların hücreler arası taşınması, fason imalatı, darboğaz makine satın alma ve fazla mesai ile üretim maliyetlerini kapsamaktadır.

Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 3604,40 TL, fason imalat maliyeti 519243 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 68918,6 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 18014,12 TL olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.18 Model II alternatif problem çözümleri

Model İsmi Problem Parametreleri	Model II Prob. 2 $k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	Model II Prob. 2 $k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	Model II Prob.2 $k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$
Talep Miktarı (D_i)	1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Çözüm Çalıştırma Zamanı	172800 sn	172800 sn	172800 sn
İterasyon Sayısı	289 142 820	343 847 745	303 935 269
Harici Eleman Sayısı	240	177	113
Boşluk Sayısı	99	80	55
Amaç Fonksiyonu	609 780,12	50 712,68	13 188, 98
$I_j Z_{ijk}$ Hücreler arası taşıma	3 604,40	2 185,27	678,83
$S_j O_{ijk}$ Fason İmalat	519 243	10 843,08	0
$A_i R_{ik}$ Darboğaz makine	68 918,60	29 470,94	10 547
$C_j Ot_{ijk}$ Fazla mesaili üretim	18 014,12	8 213,38	1 963,15

Talebin 1000 adet olduğu ilk çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonu Ek.7'de görülmektedir. Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda 1-11-16-17-34-42 numaralı parçaları işlemek üzere 6-18 numaralı makineler 1. hücreye, 6-10-25-41-43-46-49 numaralı parçaları işlemek üzere 11-14-15 numaralı makineler 2. hücreye, 8-26-28-29-35-48 numaralı parçaların işlenmesi için 8-13 numaralı makineler 3. hücreye, 4-12-19-50 numaralı parçaların işlenmesi için 10-20 numaralı makineler 4. hücreye, 3-5-7-13-14-15-20-21-22-23-24-27-30-31-36-37-38-40-45 numaralı parçaların işlenmesi için 1-2-3-4-5-17-19 numaralı makineler 5. Hücreye, 2-18-39-44 numaralı parçaların işlenmesi için 7-12 numaralı makineler 6. hücreye ve 9-32-33-47-51 numaralı parçaların işlenmesi için 9-16 numaralı makineler 7. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 240 adet harici parça ve 99 adet boşluk bulunmaktadır.

Darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.19'da görülmektedir.

Çizelge 5.19 II. modelde talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

		HÜCRELER (k)						
		1	2	3	4	5	6	7
MAKİNELER (i)	Panel Ebatlama	1	1	1	1			
	Çoklu Delik	6		1	1	1	1	1
	Yatay Bant Pres	9				1		
	Giyotin (1)	10	1	1		1		1
	Giyotin (2)	11	1		1			1
	Kaplama Dikiş	12	1	1	1	1		1
	Boy Kesme	13	1	1	1	1	1	1
	Yatay Delik	16	1	1	1	1	1	
	CNC Vernik Atma (1)	17	1	1	1		1	1
	CNC Vernik Atma (2)	18		1	1	1	1	1
	Kurutma Fırını	19		1	1		1	1
	Osilasyon Zımpara	20	1	1	1	1	1	1

Çizelge 5.19'dan görüldüğü üzere 1 numaralı makineden 1,2 ve 4 hücrelerine, 6 numaralı makineden 2,3,4,5,6,7 hücrelerine, 9 numaralı makineden 5 hücresine, 10 numaralı makineden 1,2,3,5,7 hücrelerine, 11 numaralı makineden 1,3,4,7 hücrelerine, 12 numaralı makineden 1,2,3,4,5,7 hücrelerine, 13 numaralı makineden 1,2,4,5,6,7 hücrelerine, 16 numaralı makineden 1,2,3,4,5,6 hücrelerine, 17 numaralı makineden 1,2,3,4,6,7 hücrelerine, 18 numaralı makineden 2,3,4,5,6,7 hücrelerine, 19 numaralı makineden 2,4,6,7 hücrelerine ve 20 numaralı makineden 1,2,3,5,6,7 hücrelerine, birer adet satın alınmıştır.

Talep miktarının 500 adet olması durumunda toplam harici eleman eliminasyonu maliyeti 50712,68 TL'dir. Harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 2185,27 TL, fason imalat maliyeti 10843,08 TL, Darboğaz makine satın alma maliyeti 29470,94 TL ve harici parçaların fazla mesaili üretim maliyeti 8213,38 TL.'dir. Talep miktarının 1000 adet olması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetlerinden fason imalat maliyeti daha büyük paya sahipken talebin 500 adet olarak belirlenmesi durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetlerinde ağırlık darboğaz makine satın alma yönünde değişmiştir.

Genişletilmiş ikinci modelde talep miktarının 500 adet olması durumunda çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonu Ek.8'de görülmektedir. Elde edilen hücre formasyonunda 25-50 numaralı parçaların işlenmesi için 14-15 numaralı makineler 1. hücreye, 6-32-39-40 numaralı parçaların işlenmesi için 6-1 numaralı makineler 2. hücreye, 33-48 numaralı parçaların işlenmesi için 7-13 numaralı makineler 3. hücreye, 8-42-51 numaralı parçaların işlenmesi için 8-9 numaralı makineler 4. hücreye, 34-41-43-44-45-46 numaralı parçaların işlenmesi için 10-11-12 numaralı makineler 5. hücreye, 1-2-3-5-7-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-28-29-30-31-37-38-47 numaralı parçaların işlenmesi için 1-2-3-4-6-17-18 numaralı makineler 6. hücreye, 4-26-27-35-36-49 numaralı parçaların işlenmesi için 19-20 numaralı makineler 7. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 177 harici parça ve 80 boşluk bulunmaktadır.

Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda harici eleman eliminasyonu için satın alınması önerilen makineler ve bu makinelerin atama yapıldıkları hücreler Çizelge 5.20'da görülmektedir.

Çizelge 5.20 II. modelde talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

		HÜCRELER (k)						
		1	2	3	4	5	6	7
MAKİNELER (i)	Çoklu Delik	6	1					
	Kaplama Dikiş	12	1	1	1		1	
	Masif Boy Kesme	13	1	1				1
	Yatay Delik	16	1			1		1
	CNC Boyama Ünitesi (1)	17	1	1	1	1		1
	CNC Boyama Ünitesi (2)	18	1			1		1
	Osilasyon Zımpara	20	1	1	1	1	1	

Çizelge 5.20'dan görüldüğü üzere 6 numaralı makineden 2. hücreye, 12 numaralı makineden 1-2-3-4-6 hücrelerine, 13 numaralı makineden 1-2-7 hücrelerine, 16-18 numaralı makinelerden 1-3-5-7 hücrelerine, 17 numaralı makineden 1-2-3-4-5-7 hücrelerine, 20 numaralı makineden 1-2-3-4-5-6 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Talep miktarının 250 adet olarak belirlendiği ikinci modelin son çözümünde belirlenen varsayımlar altında harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 13188,98 TL olarak bulunmuştur. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 678,33 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 10547 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 1963,15 TL olarak belirlenmiştir. Fason imalat yöntemine bu talep miktarında ihtiyaç duyulmamıştır.

GAMS paket programı aracılığıyla yapılan çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonu Ek.9'da görülmektedir. Matematiksel modelde kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7 olmasına rağmen 250 adetlik talep için yapılan çözüm sonucu 5 hücre (1-2-4-5-6) kurulmuştur. Elde edilen hücre formasyonunda 25-47 numaralı parçaların işlenmesi için 7-14 numaralı makineler 1. hücreye, 33-41-42-43-44-45-46-49-50-51 numaralı parçaların işlenmesi için 10-11-12 numaralı makineler 2. hücreye, 34-40-48 numaralı parçaların işlenmesi için 9-17 numaralı makineler 3. hücreye, 1-2-3-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-28-29-30-31-32-35-37-38 numaralı parçaların işlenmesi için 1-2-3-4-5-6-8 numaralı makineler 4. hücreye, 4-26-27-36-39 numaralı parçaların işlenmesi için 13-15-16-18-19-20 numaralı makineler 5. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 113 harici parça ve 55 boşluk bulunmaktadır.

Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda harici eleman eliminasyonu için satın alınması önerilen makineler ve bu makinelerin atama yapıldıkları hücreler Çizelge 5.21'de görülmektedir.

Çizelge 5.21'den görüldüğü üzere 12-16 numaralı makinelerden 1-4 hücrelerine, 17 numaralı makineden 1-2-6 hücrelerine, 20 numaralı makineden 1-2-4 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Çizelge 5.21 II. modelde talebin 250 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

			HÜCRELER (<i>k</i>)			
			1	2	4	6
MAKİNELER (<i>i</i>)	Kaplama Dikiş	12	1		1	
	Yatay Delik	16	1		1	
	CNC Boyama Ünitesi (1)	17	1	1		1
	Osilasyon Zımpara	20	1	1	1	

Çözümü yapılan ikinci modelde talebin 1000, 500 ve 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve EEs maliyetlerinin TÜSB içindeki payları Çizelge 5.22’de görülmektedir.

Çizelge 5.22 II Model 2.Problem için performans ölçütleri

Model İsmi		Model II Prob. 2	Model II Prob. 2	Model II Prob. 2
Problem Parametreleri		$k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	$k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	$k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$
Talep Miktarı (D_i)		1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Gruplama Etkenliği	(η)	0,610	0,724	0,827
Gruplama Etkinliği	(τ)	0,236	0,395	0,58
Gruplama Ölçüsü	(η_g)	0,362	0,164	0,481
EEs Maliyeti	(TL)	609 780,12	50 712,68	13 188,98
(TÜSB)	(TL)	3 250 000	1 625 000	812 500
EEs Maliyeti /TÜSB		0,187	0,031	0,016

Üretim sistemi için elde edilen hücre formasyonlarından 250 adet talep olması durumunda elde edilen hücre formasyonunun performans ölçütleri ve EEs Maliyeti / TÜSB oranı açısından diğerlerinden üstün olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.22’den görüleceği üzere talebin 250 adet olması durumunda EEs Maliyeti /TÜSB oranı % 1,6 iken 500 adet olması durumunda % 3,1 ve 1000 adet olması durumunda % 18,7’ye ulaşmıştır. Bu sonuç, talep miktarındaki artışa bağlı olarak harici eleman eliminasyonu için katlanılması gereken maliyetlerin işletmenin karlılık politikaları ve rekabet gücü üzerindeki olumsuz etkisini göstermektedir. Harici eleman eliminasyonu için katlanılan

maliyetlerin toplam ürün satış bedeline oranı arttıkça işletmenin kar payı azalmakta dolayısı ile rekabet gücü olumsuz yönde etkilenmektedir. Elde edilen hücre formasyonları içerisinde performans ölçütleri ve harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplam ürün satış bedeline oranı açısından talep miktarının 250 adet olduğu problem çözümünden elde edilen hücre formasyonu daha iyi sonuç vermiştir.

Bir başka dikkat çekici sonuç ise talep miktarları, harici eleman sayısı, boşluk sayısı ve harici eleman eliminasyonu maliyetleri arasındaki ilişkidir. Örneğin talebin 1000 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonunda 240 adet harici parça 99 adet boşluk, 500 adet olduğunda elde edilen hücre formasyonunda 177 adet harici parça 80 adet boşluk ve talep 250 adet olması durumunda 113 harici parça ve 55 boşluk bulunmaktadır. Talep miktarlarına göre harici eleman eliminasyonu maliyetleri 1000, 500 ve 250 adet talep için sırasıyla 609780,12 TL, 50712,68 TL ve 13188,98 TL bulunmuştur. Burada dikkat çekici olan talep miktarı 1000 adetten 500'e düşmesi durumunda harici parça sayısı ve boşluk artmasına rağmen harici eleman eliminasyonu maliyetleri yaklaşık 6 kat azalmıştır. Bu durum üretim sistemi için harici eleman-boşluk sayısı kadar üretim sistemi kapasitesinin talebi karşılayabilecek nitelikte olmasının önemini vurgulamaktadır. Çünkü üretim sisteminin kapasitesi talep için yeterli olmaması durumunda fason imalat yapılması gibi yüksek maliyetler getiren harici eleman eliminasyonu alternatiflerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum işletmeler için hedef pazar talebine uygun üretim kapasitesi ve makine seçiminin önemini göstermektedir.

5.5. Genişletilmiş III. Model ve Uygulaması

Bu model endüstriyel gereksinimler nedeniyle aralarında bağımlılık ilişkisi bulunan ve aynı hücreye atanması gereken makine çiftlerinin farklı hücrelere atanmasını engelleyecek kısıt fonksiyonlarının ikinci modele eklenmesi ile

elde edilmiştir. Bu doğrultuda ikinci modele eklenen parametre ve kısıt fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

İlave parametreler:

G : Aynı hücreye atanması gereken makine çiftleri kümesi

İlave Kısıt Fonksiyonu:

$$x_{ik} + \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq k}}^c x_{gh} \leq 1, \quad \forall (i, g) \in G, \forall k \quad (5.36)$$

Eş. 5.36 Hücrelere atanmalarında bağımlılık ilişkisi olan makinelerin aynı hücreye atanmasını garantiler. Bu eşitlik aracılığı ile aralarında bağımlılık ilişkisi bulunan makine çiftlerinden herhangi birinin bir hücreye atanması durumunda bağımlı olduğu diğer makinenin farklı hücrelere atanması engellenmiş olur.

Uygulamaya esas üretim sistemi verileri kullanılarak III. model aracılığıyla çözümü yapılan bu problemde kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7, bir hücrede bulunabilecek minimum makine sayısı 2, bir hücrede bulunabilecek maksimum makine sayısı 7, ve bir hücreye atanabilecek minimum parça sayısının 2 olduğu varsayılmıştır. Aynı problem talebin harici eleman eliminasyonu maliyetleri üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla farklı talep miktarları (1000, 500 ve 250 adet) göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Bu problemin GAMS paket programı aracılığıyla çözümünden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.23'ten görüldüğü üzere belirlenen varsayımlar altında talebin 1000 adet olduğu ilk problemde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 2819300 TL olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç harici eleman eliminasyonu için ön görülen harici elemanların hücreler arası taşınması, fason imalatı, darboğaz makine satın alma ve fazla mesai ile üretim

maliyetlerini kapsamaktadır. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 5696,45 TL, fason imalat maliyeti 2742598 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 16575,54 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 54430,12 TL olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.23 Model III alternatif problem çözümleri

Model İsmi	Model III Prob. 3	Model III Prob. 3	Model III Prob.3
Problem Parametreleri	<i>k=7 NM=2 MM=7 NP=2</i>	<i>k=7 NM=2 MM=7 NP=2</i>	<i>k=7 NM=2 MM=7 NP=2</i>
Talep Miktarı (D_j)	1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Çözüm Çalıştırma Zamanı	172800 sn	172800 sn	172800 sn
İterasyon Sayısı	240 660 722	191 086 217	167 955 846
Harici Eleman Sayısı	268	275	125
Boşluk Sayısı	73	156	66
Amaç Fonksiyonu	2 819 300	674 769	108 090
$I_j Z_{ijk}$ Hücreler arası taşıma	5696,45	2442,83	727,15
$S_j O_{ijk}$ Fason İmalat	2 742 598	650024,84	99039,2
$A_i R_{ik}$ Darboğaz makine	16575,54	515,45	0
$C_j Ot_{ijk}$ Fazla mesaili üretim	54430,12	21785,88	8323,65

Talebin 1000 adet olduğu üçüncü model çözümünden elde edilen hücre formasyonu Ek.10'da görülmektedir. Belirlenen çözüm süresi sonunda kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7 olmasına rağmen 6 hücre kurulmuştur. Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonunda 8-10-26-28-29-36-41 numaraları parçaları işlemek üzere 7-8-9-10-11-12 numaralı makineler 1. hücreye, 2-7-11-13-17-23-33-42-43-44-48-50-51 numaralı parçaları işlemek üzere 3-4 numaralı makineler 2. hücreye, 4-39-46 numaralı parçaların işlenmesi için 13-14-15-16 numaralı makineler 3. hücreye, 6-9-12-14-15-21-22-25-27-30-32-40-45 numaralı parçaların işlenmesi için 1-2 numaralı makineler 4. hücreye, 3-19-20-31-34-35-47-49 numaralı parçaların işlenmesi için 5-6 numaralı makineler 5. Hücreye ve 1-5-16-18-24-37-38 numaralı parçaların işlenmesi için 17-18-19-20 numaralı makineler 6. hücreye atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 268 adet harici parça ve 73 adet boşluk bulunmaktadır.

Darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.24'te görülmektedir.

Çizelge 5.24 III. modelde talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

		HÜCRELER (k)				
		2	3	4	5	6
MAKİNELER (i)	Çoklu Delik	6			1	
	Kaplama Dikiş	12	1		1	1
	Boy Kesme	13	1	1	1	1
	Yatay Delik	16	1	1	1	1
	CNC Vernik Atma (1)	17		1		
	Osilasyon Zımpara	20	1	1	1	1

Çizelge 5.24'ten görüldüğü üzere 6 numaralı makineden 5 hücreye, 12 numaralı makineden 3,5,6 hücrelerine, 13-16 numaralı makinelerden 2-3-5-6 hücrelerine, 17 numaralı makineden 3 hücresine, 20 numaralı makineden 2,3,4,5,6 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Talebin 500 adet olması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 674769 TL olarak bulunmuştur. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 2442,83 TL, fason imalat maliyeti 650024,84 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 515,45 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 21785,88 TL olarak belirlenmiştir.

Talebin 500 adet olduğu durum için çözümden elde edilen hücre formasyonu Ek.11'de görülmektedir. Belirlenen çözüm süresi sonunda kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7 olmasına rağmen 4 hücre kurulmuştur. Çözüm sunucu elde edilen hücre formasyonunda 6-7-27-36-40-43-45-48 numaraları parçaları işlemek üzere 13-14-15-16 numaralı makineler 1. hücreye, 4-25-39-41-46-47-49 numaralı parçaları işlemek üzere 1-2-3-4-5-6 numaralı makineler 2. hücreye, 1-2-3-5-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-26-28-29-30-31-33-35-37-38-42-51 numaralı parçaların işlenmesi için 17-18-19-20 numaralı makineler 3. hücreye, 32-34-44-50 numaralı parçaların işlenmesi için 7-8-9-10-11-12 numaralı makineler 4. hücreye, atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 275 adet harici parça ve 156 adet boşluk bulunmaktadır. Talep miktarının 500 adet olması durumunda elde edilen

hücre formasyonunda darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.25'te görülmektedir.

Çizelge 5.25 III. modelde talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

MAKİNE (i)	HÜCRELER (k)	
	4	5
Yatay Delik	16	1

Çizelge 5.25'ten görüldüğü üzere 16 numaralı makineden 4 ve 5. hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Talebin 250 adet olduğu durum için elde edilen çözümde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 108090 TL olarak bulunmuştur. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 727,15 TL, fason imalat maliyeti 99039,2 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 0 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 8323,65 TL olarak belirlenmiştir. Darboğaz makine satın almaya ilişkin maliyetlerin bu talep miktarı için tamamen ortadan kalktığı görülmektedir.

Talebin 250 adet olduğu durum için çözümden elde edilen hücre formasyonu Ek.12'de görülmektedir. Belirlenen çözüm süresi sonunda kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7 olmasına rağmen talebin 500 adet olması durumunda olduğu gibi 4 hücre kurulmuştur. Çözüm sunucu elde edilen hücre formasyonunda 4-25-33-34-39-48 numaraları parçaları işlemek üzere 13-14-15-16 numaralı makineler 1. hücreye, 26-27-36-42 numaralı parçaları işlemek üzere 17-18-19-20 numaralı makineler 2. hücreye, 1-2-3-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-28-29-30-31-32-35-37-38-40 numaralı parçaların işlenmesi için 1-2-3-4-5-6 numaralı makineler 3. hücreye, 41-43-44-45-46-47-49-50-51 numaralı parçaların işlenmesi için 7-8-9-10-11-12 numaralı makineler 4. hücreye, atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 125 adet harici parça ve 66 adet boşluk bulunmaktadır.

Talep miktarının 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonunda darboğaz makine satın alma maliyetleri tamamen ortadan kalkmıştır. Sitemde ortaya çıkan harici parçalar hücreler arası taşıma, fason imalat ve fazla mesaili üretim alternatifleri ile üretilmiştir.

Endüstriyel gereksinimler nedeniyle makineler arasındaki bağımlılık ilişkisinin göz önünde bulundurulması ile harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin temel model ve ikinci modele göre daha farklı oranlarda elde edildiği görülmektedir. Makinelerin bağımlılık ilişkisi nedeniyle aynı hücreye atanmaları durumunda hücreler arası taşıma maliyetleri ve darboğaz makine satın alma maliyetlerinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyeti içindeki payları azalırken fason imalat ve fazla mesaili üretim maliyetleri artmaktadır. Ayrıca talep miktarındaki değişime olan duyarlılıkları da azalmaktadır.

Örneğin fason imalat maliyetinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetleri içerisindeki payı talebin 1000 adet olduğu problemimizde (Çizelge 5.23'ten, $2742598 / 2819300 \times 100 = 97$) %97 iken 500 adet talebin olduğu problemde %96, 250 adet talebin olduğu problemde ise %91'dir. Fazla mesaili üretim maliyetlerinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetlerindeki payları ise 1000, 500 ve 250 adet talepler için sırasıyla %1,9, %3 ve %7'dir. Harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin neredeyse tamamını fason imalat ve fazla mesaili üretim maliyetlerinin oluşturduğu görülmektedir.

Çözümü yapılan üçüncü problemde talebin 1000, 500 ve 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve *EEs* maliyetlerinin TUSB içindeki payları Çizelge 5.26'da görülmektedir.

Uygulamaya esas sistem için elde edilen hücre formasyonlarından 250 adet talebin olması durumunda elde edilen hücre formasyonunun performans ölçütleri ve *EEs* Maliyeti /TUSB oranı açısından diğerlerinden üstün olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.26 III Model 3.Problem için performans ölçütleri

Model İsmi		Model III Prob. 3	Model III Prob. 3	Model III Prob.3
Problem Parametreleri		$k=7 \text{ NM}=2 \text{ MM}=7 \text{ NP}=2$	$k=7 \text{ NM}=2 \text{ MM}=7 \text{ NP}=2$	$k=7 \text{ NM}=2 \text{ MM}=7 \text{ NP}=2$
Talep Miktarı (D_i)		1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Gruplama Etkenliği	(η)	0,603	0,482	0,799
Gruplama Etkinliği	(τ)	0,184	0,14	0,54
Gruplama Ölçüsü	(η_g)	-0,263	-0,49	0,41
<i>EEs</i> Maliyeti	(TL)	2 819 300	674 769	108 090
(TÜSB)	(TL)	3 250 000	1 625 000	812 500
<i>EEs</i> Maliyeti /TÜSB		0,867	0,415	0,133

Bu sonuç uygulamaya esas sistem için talep miktarının 250 adet'in üzerinde olması durumunda makine kapasitelerinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu durum harici eleman eliminasyonu stratejilerinden fason imalat ve darboğaz makine satın alma maliyetlerini artırmaktadır. Çizelge 5.26'dan görüleceği üzere talebin 250 adet olması durumunda *EEs* Maliyeti /TÜSB oranı % 13,3 iken 500 adet olması durumunda % 41,5 ve 1000 adet olması durumunda % 86,7 gibi kabul edilemeyecek derecede büyük bir orana ulaşmaktadır. Uygulamaya esas üretim sisteminde 250 adet ofis takımı talebinden daha yüksek taleplerin karşılanmak istenmesi durumunda daha yüksek kapasiteli makinelerin tercih edilmesi ve üretim sisteminin bu taleplere cevap verecek kapasitede belirlenmesi önerilmektedir.

Elde edilen hücre formasyonu mobilya endüstrisi için beklenilene yakın sonuçlar vermiştir. Üretim sürecinde herhangi bir bölünme olmaksızın gerçekleştirilmesine imkân sağlayacak bir hücresel formasyon elde edilmiştir. Geliştirilen modelle endüstriyel gereksinimlerin giderildiği ve bağımlılık ilişkisi bulunan makinelerin aynı hücreye atanmalarının yapıldığı görülmüştür. Bu durumun sonucunda harici eleman eliminasyonu maliyetleri temel modele nazaran oldukça yüksek bulunmuştur. Örneğin temel modelin kullanıldığı birinci problemde talep miktarının 1000, 500 ve 250 adet olması durumlarında harici eleman eliminasyonu toplam maliyetleri sırasıyla 697457,89 TL, 84598,569 TL, 13383,802 TL iken, aynı talep miktarını göz

önünde bulunduran üçüncü problemde 2819300 TL, 674769 TL ve 108090 TL bulunmuştur. Fakat bir gerçek yaşam problemi için sistem gereksinimlerinin karşılanmasının daha elzem olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Çözümü yapılan ve kurulacak hücre sayısı model tarafından belirlenen üçüncü modelde kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7 olmasına rağmen talebin 1000 adet olması durumunda 6 hücre, talebin 500 ve 250 adet olması durumunda ise 4 hücre kurulmuştur. Çözüme ilişkin kullanılan veriler ve göz önünde bulunduran kısıtlar uygulamaya esas sistemimiz için ideal hücre formasyonunun 4 hücreli olduğunu göstermektedir. Elde edilen hücre formasyonunun endüstriyel yapıya ve gerçek sistem gereksinimlerine uygun sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bu çözümle elde edilen hücre sayısı kullanılarak hücre sayısı başlangıçta bilinen ve endüstriyel gereksinimleri de göz önünde bulunduran dördüncü model üretim sistemi gerçek verileri kullanılarak çözülmüştür.

5.6. Genişletilmiş IV. Model ve Uygulaması

Geliştirilen dördüncü model, gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modelinin endüstriyel gereksinimler doğrultusunda bağımlılık ilişkisi bulunan makine çiftlerinin göz önünde bulundurulmasını sağlayacak kısıt fonksiyonu ve parametrelerin eklenerek genişletilmesiyle elde edilmiştir. Kurulacak hücre sayısı üçüncü model çözümünden elde edilmiştir. Böylece model çözümünde daha az sayıda hücreye parça ve makine atamasıyla ilgilenileceğinden daha etken sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir. Geliştirilen dördüncü model için temel modele eklenen parametre ve kısıt fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

İlave parametreler:

G : Aynı hücreye atanması gereken makine çiftleri kümesi

İlave Kısıt Fonksiyonu:

$$x_{ik} + \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq k}}^c x_{gh} \leq 1, \quad \forall (i, g) \in G, \forall k \quad (5.36)$$

Eş. 5.36 Hücrelere atanmalarında bağımlılık ilişkisi olan makinelerin aynı hücreye atanmasını garantiler. Bu eşitlik aracılığı ile aralarında bağımlılık ilişkisi bulunan makine çiftlerinden herhangi birinin bir hücreye atanması durumunda bağımlı olduğu diğer makinenin farklı hücrelere atanması engellenmiş olur.

Üretim sistemi verileri kullanılarak IV. model aracılığıyla çözümü yapılan bu problemde kurulacak hücre sayısı (k) 4, bir hücrede bulunabilecek minimum makine sayısı (NM) 2, bir hücrede bulunabilecek maksimum makine sayısı (MM) 7 ve bir hücreye atanabilecek minimum parça sayısının (NP) 2 olduğu varsayılmıştır. Aynı problem talebin harici eleman eliminasyonu maliyetleri üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla farklı talep miktarları (1000, 500 ve 250 adet) göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Bu problemin GAMS paket programı aracılığıyla elde edilen çözüm sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.27 Model IV alternatif problem çözümleri

Model İsmi	Model IV Prob. 4	Model IV Prob. 4	Model IV Prob.4
Problem Parametreleri	<i>k=4 NM=2 MM=7 NP=2</i>	<i>k=4 NM=2 MM=7 NP=2</i>	<i>k=4 NM=2 MM=7 NP=2</i>
Talep Miktarı (D_i)	1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Çözüm Çalıştırma Zamanı	172800 sn	172800 sn	172800 sn
İterasyon Sayısı	438 879 607	389 475 814	488 601 426
Harici Eleman Sayısı	243	172	133
Boşluk Sayısı	152	105	78
Amaç Fonksiyonu	1 276 300	232 830	13 288
$I_j Z_{ijk}$ Hücreler arası taşıma	3951,03	1652,469	783,601
$S_j O_{ijk}$ Fason İmalat	1192032	197295,7	0
$A_i R_{ik}$ Darboğaz makine	41570	19741,32	10547
$C_j O_{ijk}$ Fazla mesaili üretim	38746,97	14140,48	1957,48

Çizelge 5.27'den görüldüğü üzere belirlenen varsayımlar altında talebin 1000 adet olması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 1276300 TL olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç harici eleman eliminasyonu için ön görülen harici elemanların hücreler arası taşınması, fason imalatı, darboğaz makine satın alma ve fazla mesai ile üretim maliyetlerini kapsamaktadır. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 3951,03 TL, fason imalat maliyeti 1192032 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 41570 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 38746,97 TL olarak belirlenmiştir.

Talebin 1000 adet olduğu dördüncü model çözümünden elde edilen hücre formasyonu Ek.13'te görülmektedir. Çözüm sunucu elde edilen hücre formasyonunda 11-21-24-28-29-36-38-45-50 numaralı parçaları işlemek üzere 17-18-19-20 numaralı makineler 1. hücreye, 2-3-6-7-13-14-15-17-19-20-22-23-25-26-27-31-32-40-42-46 numaralı parçaları işlemek üzere 2-3-4-5 numaralı makineler 2. hücreye, 8-35-37-43-47-48-49-51 numaralı parçaların işlenmesi için 1-13-14-15-16 numaralı makineler 3. hücreye, 1-4-5-9-10-12-16-18-30-33-34-39-41-44 numaralı parçaların işlenmesi için 6-7-8-9-10-11-12 numaralı makineler 4. hücreye atanmıştır.

Elde edilen hücre formasyonunda 243 adet harici parça ve 152 adet boşluk bulunmaktadır.

Darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.28'de görülmektedir.

Çizelge 5.28'den görüldüğü üzere 1-13-16 numaralı makinelerden 1-2-4 hücrelerine 6-10-12 numaralı makinelerden 1-2-3 hücrelerine, 9 numaralı makineden 2. hücreye, 11 numaralı makineden 1-2 hücrelerine, 17-18-19-20 numaralı makinelerden 2-3-4 hücrelerine birer adet satın alınmıştır.

Çizelge 5.28 IV. modelde talebin 1000 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

HÜCRELER (k)					
		1	2	3	4
MAKİNELER (i)	Panel Ebatlama	1	1	1	1
	Çoklu Delik	6	1	1	
	Yatay Bant Pres	9		1	
	Kaplama Kesme Giyotini (1)	10	1	1	
	Kaplama Kesme Giyotini (2)	11	1	1	
	Kaplama Dikiş	12	1	1	
	Boy Kesme	13	1	1	1
	Yatay Delik	16	1	1	1
	CNC Vernik Atma Ünitesi (1)	17		1	1
	CNC Vernik Atma Ünitesi (2)	18		1	1
	Kurutma Fırını	19		1	1
	Osilasyon Zımpara	20		1	1

Dördüncü modelin çözümünde talebin 500 adet olması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 232830 TL olarak bulunmuştur. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 1652,469 TL, fason imalat maliyeti 197295,7 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 19741,32 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 14140,48 TL olarak belirlenmiştir.

Talebin 500 adet olduğu dördüncü model çözümünden elde edilen hücre formasyonu Ek.14'te görülmektedir. Çözüm sunucu elde edilen hücre formasyonunda 6-27-36-40-48-49 numaraları parçaları işlemek üzere 17-18-19-20 numaralı makineler 1. hücreye, 7-25-26-41-44-45-50 numaralı parçaları işlemek üzere 7-8-9-10-11-12 numaralı makineler 2. hücreye, 4-34-39-42-43-51 numaralı parçaların işlenmesi için 13-14-15-16 numaralı makineler 3. hücreye, 1-2-3-5-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-28-29-30-31-32-33-35-37-38-46-47 numaralı parçaların işlenmesi için 1-2-3-4-5-6 numaralı makineler 4. hücreye, atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 172 adet harici parça ve 105 adet boşluk bulunmaktadır. Bu problem çözümünde darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.29'da görülmektedir.

Çizelge 5.29'dan görüldüğü üzere 6 numaralı makineden 1 hücre sine 12 numaralı makineden 1-3-4 hücrelerine 13-16 numaralı makinelerden 1-2-4 hücrelerine 17-18-20 numaralı makinelerden 2-3-4 hücrelerine, birer adet satın alınmıştır. Çok sayıda darboğaz makine ortaya çıkması sistemdeki makineleri 500 adetlik talebin karşılanması için yeterli olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.29 IV. modelde talebin 500 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücre sine satın alınacak i makine sayısı

			HÜCRELER (k)			
			1	2	3	4
MAKİNELER (i)	Çoklu Delik	6	1			
	Kaplama Dikiş	12	1		1	1
	Boy Kesme	13	1	1		1
	Yatay Delik	16	1	1		1
	CNC Vernik Atma Ünitesi (1)	17		1	1	1
	CNC Vernik Atma Ünitesi (2)	18		1	1	1
	Osilasyon Zımpara	20		1	1	1

Dördüncü problemde talebin 250 adet olduğu son çözümde harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin toplamı 13288TL olarak bulunmuştur. Sistemde ortaya çıkan harici parçaların hücreler arası taşıma maliyeti 783,601 TL, darboğaz makine satın alma maliyeti 10547 TL ve fazla mesaili üretim maliyeti 1957,48 TL olarak belirlenmiştir. Fason imalat maliyetinin bu talep miktarı için tamamen ortadan kalktığı görülmektedir. Sistemde ortaya çıkan harici parçalar ağırlıklı olarak darboğaz makine satın alma yöntemi ile devre dışı bırakılmıştır.

Talebin 250 adet olduğu dördüncü problem çözümünden elde edilen hücre formasyonu Ek.15'te görülmektedir. Çözüm sunucu elde edilen hücre formasyonunda 33-41-42-43-44-45-46-48-50-51 numaraları parçaları işlemek üzere 7-8-9-10-11-12 numaralı makineler 1. hücreye, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-28-29-30-31-32-35-37-38-49 numaralı parçaları işlemek üzere 1-2-3-4-5-6 numaralı makineler 2. hücreye, 26-39-40 numaralı parçaların işlenmesi için 17-18-19-20 numaralı makineler

3. hücreye, 25-27-34-36-47 numaralı parçaların işlenmesi için 13-14-15-16 numaralı makineler 4. hücreye, atanmıştır. Elde edilen hücre formasyonunda 133 adet harici parça ve 78 adet boşluk bulunmaktadır. Talep miktarının 250 adet var sayıldığı bu problemin çözümünde fason imalat maliyetlerinin tamamen ortadan kalktığı görülmektedir. Sistemde ortaya çıkan harici elemanlar hücreler arası taşıma, fazla mesaili üretim ve darboğaz makine satın alma yöntemleri kullanılarak devre dışı bırakılmıştır.

Çözüm sonucu belirlenen darboğaz makinelerden hangi hücrelere satın alınması gerektiğini gösterir bilgiler Çizelge 5.30'de görülmektedir.

Çizelge 5.30'den görüldüğü üzere 12 numaralı makineden 3-4 hücrelerine 16 numaralı makineden 1-3 hücrelerine 17-20 numaralı makinelerden 1-2-4 hücrelerine, birer adet satın alınmıştır.

Çizelge 5.30 IV. modelde talebin 250 adet olması durumunda (R_{ik}) k hücresine satın alınacak i makine sayısı

		HÜCRELER (k)			
		1	2	3	4
MAKİNELER (i)	Kaplama Dikiş	12		1	1
	Yatay Delik	16	1	1	
	CNC Vernik Atma Ünitesi (1)	17	1	1	1
	Osilasyon Zımpara	20	1	1	1

Harici eleman eliminasyonu için kullanılan alternatif stratejilerin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetleri içindeki payları ve bu payların talep miktarındaki değişime (1000-500-250 adet) bağlı olarak nasıl değiştiği aşağıda görülmektedir.

Örneğin fason imalat maliyetinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetleri içerisindeki payı talebin 1000 adet olduğu problemde (Çizelge 5.27'den, $1192032 / 1276300 \times 100 = 93,4$) %93,4 iken 500 adet talebin olduğu problemde %84,74 pay almıştır. 250 adet talebin olduğu problemde

ise harici eleman eliminasyonunda fason imalat yöntemi tamamen ortadan kalkmıştır. Fazla mesaili üretim maliyetlerinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetlerindeki payları ise 1000, 500 ve 250 adet talepler için sırasıyla %3,04, %6,07 ve %14,73'tür. Harici eleman eliminasyonu maliyetleri içerisinde darboğaz makine satın alma yönteminin payı, talebin 1000-500 ve 250 adet olduğu problem çözümlerinde sırasıyla %3,26, %8,48, %79,37'dir. Hücreler arası parça taşıma maliyeti payları ise sırasıyla %0,31, %0,71 ve %5,9 bulunmuştur. Talep miktarının 500 ve 1000 adet olması durumlarında harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin neredeyse tamamını fason imalat ve fazla mesaili üretim maliyetlerinin oluşturduğu görülmektedir. Talep miktarının 250 adet olması durumunda ise bu denge darboğaz makine satın alma ve fazla mesaili üretim alternatifleri yönünde değişmiştir. Bu sonuç talep miktarının 250 adet olması durumunda uygulamaya esas üretim sisteminin dışarıya bağımlılığının asgari düzeyde olduğunu göstermektedir. Talep miktarı arttıkça üretim sisteminin fason imalat yaptıracığı işletmelere olan bağımlılığı artmaktadır. Bu durum işletmenin ürün kalitesi, teslim zamanı gibi rekabet gücünü etkileyebilecek faktörleri kontrol etmesini zorlaştırmaktadır.

Çözümü yapılan dördüncü problemde talebin 1000, 500 ve 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve *EEs* maliyetlerinin TÜSB içindeki payları Çizelge 5.31'de görülmektedir.

Çizelge 5.31 IV Model 4.Problem için performans ölçütleri

Model İsmi Problem Parametreleri		Model IV Prob. 4 $k=4$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	Model IV Prob. 4 $k=4$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	Model IV Prob.4 $k=4$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$
Talep Miktarı (D_i)		1000 Adet	500 Adet	250 Adet
Gruplama Etkenliği	(η)	0,542	0,697	0,774
Gruplama Etkinliği	(τ)	0,205	0,389	0,501
Gruplama Ölçüsü	(η_g)	-0,303	0,135	0,345
<i>EEs</i> Maliyeti	(TL)	1 276 300	232 830	13 288
(TÜSB)	(TL)	3 250 000	1 625 000	812 500
<i>EEs</i> Maliyeti /TÜSB		0,392	0,143	0,016

Uygulamaya esas sistem için elde edilen hücre formasyonlarından 250 adet talebin olması durumunda elde edilen hücre formasyonunun performans ölçütleri ve *EEs* Maliyeti /TÜSB oranı açısından diğerlerinden üstün olduğu görülmektedir.

Bu sonuç üretim sisteminde 250 adet talebin üzerindeki miktarlar için makine kapasitelerinin yetersiz olduğunu ve uygulamaya esas üretim sisteminin harici eleman eliminasyonu için dışarıya bağımlılığının arttığını göstermektedir. Harici eleman eliminasyonu için fason imalat yönteminin kullanılması maliyetleri daha fazla artırmasının yanı sıra işletmenin rekabet gücünde önemli rol oynayan ürün kalitesi, ürün teslim zamanı ve ürünü oluşturan parçalar arasındaki uyumluluk ilişkisi gibi faktörleri kontrol edebilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum matematiksel modeller aracılığıyla elde edilen hücre formasyonları arasında tercih yapılırken hücre formasyonlarının performans ölçütleri ve ekonomik ölçütlerin yanı sıra dikkate alınmalıdır. Dördüncü problemin farklı talep miktarları göz önünde bulundurularak GAMS paket programı aracılığıyla çözümünden elde edilen hücre formasyonlarının performans ölçütleri Çizelge 5.31’de görülmektedir. Çizelgeden görüleceği üzere talebin 250 adet olması durumunda *EEs* Maliyeti /TÜSB oranı % 1,6 iken 500 adet olması durumunda % 14,3 ve 1000 adet olması durumunda % 39,2 gibi büyük bir orana ulaşmaktadır. Göz önünde bulundurulan performans ölçütlerinin (gruplama etkenliği, gruplama etkinliği ve gruplama ölçümü) tamamında talebin 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonu daha iyi sonuçlar vermiştir. Üretim sisteminde 250 adet ofis takımı talebinden daha yüksek taleplerin karşılanmak istenmesi durumunda daha yüksek kapasiteli makinelerin tercih edilmesi ve üretim sisteminin bu taleplere cevap verecek kapasitede belirlenmesi faydalı olacaktır.

Elde edilen hücre formasyonu mobilya endüstrisi için beklenilene yakın sonuçlar vermiştir. Üretim sürecinde herhangi bir bölünme olmaksızın

gerçekleştirilmesine imkân sağlayacak bir hücresel formasyon elde edilmiştir. Geliştirilen modelle endüstriyel gereksinimlerin giderildiği ve bağımlılık ilişkisi bulunan makinelerin aynı hücreye atamalarının yapıldığı görülmüştür.

Temel model akabinde geliştirilen modellerde eklenen parametre ve kısıt fonksiyonları aracılığıyla gerek problem çözümünde gerçekleştirilecek işlem sayısının azaltılması gerekse elde edilen sonuçların endüstriyel gereksinimleri karşılayabilir olması sağlanmaya çalışılmıştır. İkinci modelde ilk modele eklenen kısıt fonksiyonları aracılığıyla kurulacak hücrelerin model tarafından belirlenmesi sağlanmakla beraber açılmayacak hücreler için gerçekleştirilecek çözüm işlemlerinin engellenmesi ile problem çözümünde gerçekleştirilecek toplam işlem sayısının azaltılması sağlanmıştır. Üçüncü modelde, ikinci modele eklenen kısıt fonksiyonu ve parametreler aracılığıyla mobilya endüstrisinin süreç gereksinimleri doğrultusunda ortaya çıkan makineler arasındaki bağımlılık ilişkisi göz önünde bulundurularak ilgili makinelerin aynı hücreye atanması sağlanmıştır.

Son modelde ise makineler arasındaki bağımlılık ilişkisine yönelik eklenen parametre ve kısıtlar temel modelin genişletilmesinde kullanılmıştır. Son model, makineler arasındaki bağımlılık ilişkisi gereği makinelerin hücrelere atanmasına yönelik matematiksel model çözümündeki işlemlerin azaltılması yanı sıra üçüncü modele nazaran daha az sayıda hücreye parça ve makine ataması yapılması nedeniyle diğer modellere nazaran daha etken sonuçlar vermektedir.

5.7. Geliştirilen Modellerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli (I. Model) ve bu modelin genişletilmesiyle elde edilen diğer matematiksel modellerle birlikte üretim sistemi verilerinin kullanıldığı problemler talep miktarlarının 1000, 500 ve 250 adet olması durumları için GAMS paket programı aracılığıyla çözülmüştür.

Çizelge 5.32 Çözümü yapılan problemlerin performans ölçütleri ve harici eleman eliminasyonu maliyetlerine göre değerlendirilme özeti

Model İsmi Problem Parametreleri	Talep Miktarı (D_i)	EEs^* Maliyeti (TL)	TÜSB** (TL)	Hücreler Arası Taşıma	Fason İmalat	Darboğaz Makine	Fazla Mesaili Üretim	EEs Sayısı (e)	Boşluk Sayısı (v)	Gruplama Etkenliği (η)	Gruplama Etkinliği (τ)	Gruplama Ölçüsü (η_g)	EEs Maliyeti / TÜSB***	Hücre Yapısı
Model I Prob. 1 $k=6$ $NM=1$ $MM=5$ $NP=2$	1000	697 457,89	3 250 000	3968,2	605462,4	63458,6	24568,5	235	83	0,640	0,252	-0,124	0,214	Ek 7
	500	84 598,569	1 625 000	1134,3	66904	13094,3	3465,8	230	106	0,620	0,254	-0,146	0,052	Ek 8
	250	13 383,802	812 500	879,1	0	10547	1957,6	155	31	0,833	0,510	0,410	0,016	Ek 9
Model II Prob. 2 $k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	1000	609 780,12	3 250 000	3604,4	519243	68918,6	18014,1	240	99	0,610	0,236	0,362	0,187	Ek 10
	500	50 712,68	1 625 000	3185,2	10843	29470,9	8213,3	177	80	0,724	0,395	0,164	0,031	Ek 11
	250	13 188,98	812 500	678,8	0	10547	1963,1	113	55	0,827	0,580	0,481	0,016	Ek 12
Model III Prob. 3 $k=7$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	1000	2 819 300	3 250 000	5696,4	2742598	16575,5	54430,1	268	73	0,603	0,184	-0,263	0,867	Ek 13
	500	674 769	1 625 000	2442,8	650024,8	515,4	21785,8	275	156	0,482	0,140	-0,490	0,415	Ek 14
	250	108 090	812 500	727,1	99039,2	0	8323,6	125	66	0,799	0,540	0,410	0,133	Ek 15
Model IV Prob. 4 $k=4$ $NM=2$ $MM=7$ $NP=2$	1000	1 276 300	3 250 000	3951	1192032	41570	38746,9	243	152	0,542	0,205	-0,303	0,392	Ek 16
	500	232 830	1 625 000	1652,4	197295,7	19741,3	14140,4	172	105	0,697	0,389	0,135	0,143	Ek 17
	250	13 288	812 500	783,6	0	10547	1957,4	133	78	0,774	0,501	0,345	0,016	Ek 18

* Harici eleman eliminasyonu (EEs), ** Toplam ürün satış bedeli (TÜSB), *** Mali performans oranı

Üretim sistemi verileri kullanılarak oluşturulan problemlerin çözümünden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.32’de özetlenmiştir.

Çözümü yapılan ilk problemde harici eleman eliminasyonu maliyetleri talep miktarlarına göre (1000, 500, 250 adet) sırasıyla 697450,89 TL, 84598,569 TL ve 13383,802 TL olarak bulunmuştur. Harici eleman eliminasyonu maliyetlerinden fason imalat maliyeti 500 ve 1000 adetlik taleplerde yaklaşık %90 pay alırken talep miktarının 250 adet olması durumunda ağırlık darboğaz makine satın alma yönünde değişmiştir. Bu durum uygulamaya esas üretim sisteminde 250 adetlik talebin üzerindeki talep miktarları için makinelerin kapasitelerinin yetersiz kaldığını ve harici parçaların yüksek maliyet doğuran fason imalat yöntemi ile giderilmek zorunda kaldığını göstermektedir. Performans ölçütleri ve ekonomik ölçütler göz önünde bulundurulduğunda talep miktarının 250 adet olması durumunda tatmin edici hücresele formasyon yapılarının oluşturulduğu görülmektedir ($\eta=0,83$, $\tau=0,51$, $\eta_g=0,41$ ve EEs Maliyeti / TÜSB= %1,6).

Temel modelde talebin 1000 adet olması durumunda çözümü yapılan problemde elde edilen hücre formasyonunda 235 adet harici parça 83 adet boşluk varken talep miktarının 500 adet olması durumunda 230 adet harici parça 106 adet boşluk ortaya çıkmıştır. Hücresele formasyonlarda elde edilen harici eleman sayıları ve boşluklar birbirlerine oldukça yakın sayıda olmasına rağmen harici eleman eliminasyonu maliyetlerinde çok büyük farklılıklar olduğu görülmüştür. Talep miktarının (500 ve 1000) iki katına çıkması durumunda harici eleman eliminasyonu maliyeti yaklaşık 8 kat artmıştır. Bu durum harici eleman eliminasyonu probleminde üretim sistemi için kapasitenin (talebin) doğru belirlenmesinin önemini göstermektedir. Üretim sisteminde ofis takımı için 250 adet üzerindeki taleplerin karşılanması düşünülüyorsa makinelerin daha yüksek kapasitede seçilmesi gerekmektedir. Aksi halde katlanılan harici eleman eliminasyonu maliyetleri işletmenin rekabet gücünü olumsuz yönde etkileyecektir.

İkinci model kullanılarak çözülen 2. problemde talep miktarının 1000,500 ve 250 adet olması durumları için GAMS paket programı aracılığıyla çözümünden elde edilen hücre formasyonları Ek 7,8 ve 9'da görülmektedir. Çözüm sonucu toplam harici eleman eliminasyonu maliyeti 1000 adetlik talep için 609780,12TL, 500 adet için 50712,68 TL ve 250 adet için 13188,98 TL olarak bulunmuştur. Harici eleman eliminasyonu yöntemlerinden fason imalat yöntemi talep miktarlarına göre 1000 adet için %85 payla 519243 TL, 500 adet için %21 payla 10843 TL bulunmuştur. Talep miktarının 250 adet olması durumunda fason imalat yöntemi kullanılmamıştır. Bu durum talep miktarı ile harici eleman eliminasyonu için fason imalat yönteminin kullanılması arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Talep miktarındaki artışa bağlı olarak İşletme kapasitesi yetersiz kalmakta ve harici elemanların üretilmesinde fason imalat yöntemine başvurulmaktadır. Bu durum harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin çok büyük oranlarda artmasına yol açmaktadır. Çünkü talep miktarı arttıkça harici eleman olarak belirlenen parçaların miktarları artmakta ve bu parçaların elimine edilmesinde kullanılan yöntem maliyetleri de büyümektedir. İkinci problemin çözümünden elde edilen hücre formasyonları gruplama performansları ve mali performans ölçütleri açısından değerlendirildiğinde en uygun hücre formasyonu 250 adetlik talebin göz önünde bulundurulduğu problem çözümünden elde edilmiştir. Bu problemin çözümü sonucu elde edilen hücre formasyonunda 113 adet harici parça ve 55 adet boşluk ortaya çıkmıştır. Bu hücre formasyonunda gruplama etkenliği (η) % 83, gruplama etkinliği (τ) % 51, gruplama ölçüsü (η_g) %41 ve mali performans ölçütü %1,6 olarak belirlenmiştir.

Üçüncü model kullanılarak çözülen üçüncü problemde, talep miktarının 1000,500 ve 250 adet olması durumları için GAMS paket programı ile çözümünden elde edilen hücre formasyonları Ek 10,11 ve 12'de görülmektedir. Bu çözümde elde edilen hücre formasyonlarında talebin 1000 adet olması durumunda 268 harici parça 73 boşluk, 500 olması durumunda 275 harici parça 156 boşluk ve 250 olması durumunda 125 harici parça 66

boşluk ortaya çıkmıştır. Çözüm sonucu ortaya çıkan harici elemanların eliminasyonu için sırasıyla 2819300 TL, 674769 TL ve 108090 TL maliyet hesaplanmıştır. Temel model ve ikinci modele nazaran harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin çok büyük oranlarda arttığı gözlenmiştir. Bu sonucun ortaya çıkmasının temel nedenlerinden biri endüstriyel gereksinimler nedeniyle bağımlılık ilişkisi bulunan makinelerin aynı hücreye atanması sonucu sistemde ortaya çıkan harici parçaların eliminasyonunda parçaların hücreler arası taşınması yönteminin kısmen sınırlandırılmış olmasıdır. Bu durum sistemde ortaya çıkan harici parçaların miktar olarak artması ve harici eleman eliminasyonunda fason imalat yönteminin ağırlıklı olarak kullanılması sonucunu doğurmuştur. Ayrıca makineler arasındaki bağımlılık ilişkisi darboğaz makine satın alma yöntemini de dolaylı olarak sınırlandırmaktadır. Bu sınırlandırma, harici eleman eliminasyonunda daha yüksek maliyet doğuran fason imalat yönteminin ağırlığının artması ve harici eleman maliyetlerinin yükselmesi sonucunu doğuran diğer bir etkidir. Üçüncü problemin çözümünden elde edilen hücre formasyonları gruplama performansları ve mali performans ölçütleri açısından değerlendirildiğinde en iyi hücre formasyonu ilk iki modelde olduğu gibi 250 adetlik talebin göz önünde bulundurulduğu problem çözümünden elde edilmiştir. Bu problemin çözümü sonucu elde edilen hücre formasyonunda 125 adet harici parça ve 66 adet boşluk ortaya çıkmıştır. Bu hücre formasyonunda gruplama etkinliği (η) % 79,9, gruplama etkinliği (τ) % 54, gruplama ölçüsü (η_g) % 41 ve mali performans ölçütü %13,3 olarak belirlenmiştir. Çözümü yapılan problemde kurulabilecek maksimum hücre sayısı 7 olmasına rağmen talebin 1000 adet olması durumunda 6, talebin 500 ve 250 adet olması durumlarında 4 hücre kurulmuştur. Performans ölçütleri açısından daha iyi sonuçların elde edildiği talebin 250 adet olması durumunda kurulan 4 hücre son modelde kurulacak hücre sayısı girdisi olarak kullanılmıştır.

Son olarak dördüncü model kullanılarak çözülen dördüncü problemde talep miktarının 1000,500 ve 250 adet olması durumları için GAMS paket programı ile yapılacak çözümlerde kurulacak hücre sayısının 4 olduğu varsayılmıştır.

Çözüm sonucu elde edilen hücre formasyonları Ek 13,14 ve 15'te görülmektedir. Bu çözümde elde edilen hücre formasyonlarında talebin 1000 adet olması durumunda 243 harici parça 152 boşluk, 500 olması durumunda 172 harici parça 105 boşluk ve 250 olması durumunda 133 harici parça 78 boşluk ortaya çıkmıştır. Harici eleman eliminasyonu maliyetleri ise sırasıyla 1276300 TL, 232830 TL ve 13288 TL olarak hesaplanmıştır. Elde edilen harici eleman eliminasyonu maliyetleri talep miktarının 1000 ve 500 adet olması durumlarında temel model ve ikinci modele nazaran daha yüksek bulunmuştur. Talebin 250 adet olması durumunda ise temel modelden daha düşük ikinci modelden yalnızca 100 TL yüksek bulunmuştur. Bu sonuç uygulamaya esas sistem gereksinimlerini de göz önünde bulunduran dördüncü modelde talebin 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonunun uygulamaya esas sistem için ideale en yakın hücre formasyonu olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mobilya, son yıllarda gerek ülkemiz gerekse dünyada tüketiciler açısından temel ihtiyaç malzemesi olarak görülmeye başlanmıştır. Ayrıca mobilya sektörü bu alanda faaliyet gösteren işletmelerin küresel pazarda rekabet etmelerinin zorunlu olduğu bir sektör halini almıştır. Tüketicilerin mobilya tercihlerinde renk, desen, form, estetik, fonksiyonellik, antropometrik uyum ve ekonomiklik önemli rol oynamaktadır. Tüketicilerin bu beklentileri, mobilya endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerin beklentilere cevap verebilecek çeşitlilikte ürünü beklenen kalite ve miktarda üretebilecek nitelikte olmalarını zorunlu kılmaktadır.

Hİ sistemi ve hücresel formasyonunun mobilya gibi çok bileşenli ve sürekli bir endüstriye uygulanmasının sağlayacağı faydaların bu denli açık olması ve bu alanda yapılan çalışmaların yetersiz ve/veya güncel olmaması, ayrıca hali hazırda Hİ sistem tasarımı problemi için geliştirilen çözüm yöntemlerinin mobilya endüstrisine uygulanabilirliğinin araştırılması gereği bu çalışmanın temeli olmuştur.

Bu doğrultuda Hİ sistem tasarımı problemi ile ilgili daha önceki çalışmalar değerlendirilerek literatürde eksik görülen yönler belirlenmiştir. Hücresel imalat sistem tasarımına ilişkin daha önce yapılan çalışmalarda eksik görülen yönlerden ilki harici eleman eliminasyonu için hali hazırda kullanılan stratejilerde (fason imalat, hücreler arası taşıma ve darboğaz makine satın alma) fazla mesaili imalat ile harici parçaların eliminasyonu alternatifinin göz önünde bulundurulmamasıdır. Eksik görülen bir diğer yön ise hücre formasyonunda ergonomik faktörlerin göz önünde bulundurulmamasıdır. Bu eksikliği gidermek amacıyla matematiksel modellerde kullanılabilecek ergonomik faktörler araştırılmıştır. Gerek uygulamaya esas endüstri kolunda sık rastlanan bir problem olması gerekse hücre tasarımı problemine adapte edilebilirliği uygun görülen ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörü matematiksel modelde göz önünde bulundurulmuştur. Ortak etkili gürültü

şiddeti ergonomik faktörü, oluşturulacak makine hücrelerinde ortak etkili gürültü şiddetinin uluslararası kuruluşlarca belirlenen risk seviyesinin altında kalmasını sağlayacak kısıt fonksiyonunun matematiksel modele eklenmesi ile adapte edilmiştir. Eklenen bu kısıt aracılığı ile oluşturulan makine hücrelerinde ortak etkili gürültü şiddetinin risk seviyesi altında kalması sağlanarak ilgili hücrede çalışan personel için daha ergonomik bir çalışma ortamı sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle literatürde görülen eksiklikleri giderecek şekilde harici eleman eliminasyonu ve hücre formasyonu problemlerini eş zamanlı olarak ele alan gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli geliştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen model mobilya endüstrisine has özellikleri (ortak atama yapılması zorunlu makine çiftleri) de göz önünde bulunduracak şekilde genişletilmek suretiyle alternatif modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, amaç fonksiyonları harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin minimizasyonu olan 0-1 karışık tamsayılı programlama modelleridir.

Üretim sistemine ait bilgiler ve geliştirilen matematiksel modeller göz önünde bulundurularak oluşturulan problemler GAMS/CPLEX 10.2 paket programı kullanılarak çözülmüştür. Problem çözümlerinde elde edilen hücre formasyonu ve harici eleman eliminasyonu maliyetleri üzerinde talep miktarındaki değişimin etkilerini gözlemek amacıyla 1000,500 ve 250 adetlik ofis takımı talebi göz önünde bulundurulmuştur. Problem çözümlerinden elde edilen hücre formasyonları, gruplama performans ölçütleri (gruplama etkenliği (η), gruplama etkinliği (τ) ve gruplama ölçümü (η_g)), mali performans ölçütü (harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin, toplam ürün satış bedeline oranı (EEs Maliyeti / TÜSB)) uygulamaya esas sistem gereksinimleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş ve uygulamaya esas sistem için uygun talep miktarı ve hücre formasyonu belirlenmiştir.

Çözümü yapılan ilk problemde harici eleman eliminasyonu maliyetleri talep miktarlarına göre (1000, 500, 250 adet) sırasıyla 697450,89 TL, 84598,569 TL ve 13383,802 TL olarak bulunmuştur. Problem çözümleri sonucu elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve mali performans ölçütleri ise gene talep miktarlarına göre sırasıyla, $\eta=0,64$; $0,62$; $0,833$, $\tau=0,252$; $0,254$; $0,51$, $\eta_g= -0,124$; $-0,146$; $0,41$ ve EEs Maliyeti / TÜSB= %21,4; %5,2 ve %1,6 olarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen hücre formasyonlarında ortaya çıkan harici parça ve boşluk sayıları da talep miktarlarına göre sırasıyla 235-83, 230-106, 155-31 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ilk problem için en iyi hücre formasyonunun talebin 250 adet olması durumunda elde edildiğini göstermektedir.

Çözümü yapılan ikinci problemde harici eleman eliminasyonu maliyetleri talep miktarlarına göre (1000, 500, 250 adet) sırasıyla 609780,12 TL, 50712,68 TL ve 13188,98 TL olarak bulunmuştur. Problem çözümleri sonucu elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve mali performans ölçütleri ise gene talep miktarlarına göre sırasıyla, $\eta=0,61$; $0,724$; $0,827$, $\tau=0,236$; $0,395$; $0,58$, $\eta_g= 0,362$; $0,164$; $0,481$ ve EEs Maliyeti / TÜSB= %18,7; %3,1 ve %1,6 olarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen hücre formasyonlarında ortaya çıkan harici parça ve boşluk sayıları da talep miktarlarına göre sırasıyla 240-99, 177-80, 113-55 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ikinci problem için de en iyi hücre formasyonunun talebin 250 adet olması durumunda elde edildiğini göstermektedir.

Endüstriyel gereksinimler doğrultusunda ikinci modelin genişletilmesi ile elde edilen üçüncü modelin kullanıldığı üçüncü problemin çözümünde harici eleman eliminasyonu maliyetleri talep miktarlarına göre (1000, 500, 250 adet) sırasıyla 2819300 TL, 674769 TL ve 108090 TL olarak bulunmuştur. Problem çözümleri sonucu elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve mali performans ölçütleri ise gene talep miktarlarına göre sırasıyla, $\eta=0,603$; $0,482$; $0,799$, $\tau=0,184$; $0,140$; $0,54$, $\eta_g= -0,263$; $-0,49$; $0,41$

ve EEs Maliyeti / TUSB= %86,7; %41,5 ve %13,3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen hücre formasyonlarında ortaya çıkan harici parça ve boşluk sayıları da talep miktarlarına göre sırasıyla 268-73, 275-156, 125-66 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ilk ve ikinci problemlerde olduğu gibi en iyi hücre formasyonunun talebin 250 adet olması durumunda elde edildiğini göstermektedir. Bu problemde dikkat çekici bir diğer nokta ise harici eleman eliminasyonu maliyetlerinin oldukça büyük oranlarda artmasıdır. Bunun temel nedeni ise endüstriyel gereksinimler nedeniyle makinelerin hücrelere zorunlu ortak atamalarının yapılması ile harici eleman eliminasyonu için kullanılan stratejilerden düşük maliyet getiren parçaların hücreler arası taşınması ve darboğaz makine satın alma alternatiflerinin dolaylı olarak sınırlandırılmış olmasıdır.

Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modelinin (birinci model) endüstriyel gereksinimler göz önünde bulundurulmak suretiyle genişletilmesiyle elde edilen dördüncü modelin kullanıldığı son problemde (dördüncü problem) harici eleman eliminasyonu maliyetleri talep miktarlarına göre (1000, 500, 250 adet) sırasıyla 1276300 TL, 232830 TL ve 13288 TL olarak bulunmuştur. Problem çözümleri sonucu elde edilen hücre formasyonlarının gruplama performansları ve mali performans ölçütleri talep miktarlarına göre sırasıyla, $\eta=0,542$; $0,697$; $0,774$, $\tau=0,205$; $0,389$; $0,501$, $\eta_g=-0,303$; $0,135$; $0,345$ ve EEs Maliyeti / TUSB= %39,2; %14,3 ve %1,6 olarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen hücre formasyonlarında ortaya çıkan harici parça ve boşluk sayıları da talep miktarlarına göre sırasıyla 243-152, 172-105, 133-78 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar en iyi hücre formasyonunun diğer problemlerde olduğu gibi gene talebin 250 adet olması durumunda elde edildiğini göstermektedir.

Çözümü yapılan tüm problemlerde talebin 250 adet olması durumunda elde edilen hücre formasyonları gruplama performansları ve mali performans ölçütleri açısından diğer talep miktarlarına nazaran daha iyi sonuçlar

vermiştir. Ayrıca harici eleman eliminasyonu alternatiflerinin toplam harici eleman eliminasyonu maliyetlerindeki payları incelendiğinde talep azaldıkça fason imalat maliyetleri yerine daha düşük maliyet getiren darboğaz makine satın alma ve fazla mesaili üretim maliyetlerinin ağırlık kazandığı görülmüştür. Bu durum modelleme yaklaşımında harici eleman eliminasyonu stratejilerinin tamamının problem çözümünde göz önünde bulundurulmasının önemini ortaya koymaktadır. Tek yönlü belirlenen harici eleman eliminasyonu stratejisinin sistemdeki harici elemanların elimine edilmesi için sağlıklı sonuçlar vermeyeceği bu değişim ile belirginleşmektedir.

Bu değerlendirme harici eleman eliminasyonu için literatürde yer alan stratejilere (fason imalat, darboğaz makine satın alma, hücreler arası taşıma) fazla mesaili üretim alternatifinin ilave edilmiş olmasının önemini pekiştirmektedir. Çünkü fazla mesaili üretim maliyeti diğer harici eleman eliminasyonu maliyetlerinden fason imalat ve darboğaz makine satın alma alternatiflerine nazaran sisteme daha az yük getirmektedir. Dolayısı ile bu alternatifin harici eleman eliminasyonu maliyetleri üzerinde olumlu etki doğurduğu görülmektedir.

Uygulamaya esas sistem için ideale en yakın sonucun elde edildiği dördüncü model kullanılarak çözülen, talebin 250 adet olduğu problemde fazla mesaili üretim alternatifi devre dışı bırakılarak aynı problem tekrar çözülmüştür. Çözüm sonucu harici eleman eliminasyonu toplam maliyeti 13414 TL olarak belirlenmiştir. Aynı problemde fazla mesaili üretim alternatifi devrede iken harici eleman eliminasyonu maliyeti 13288 TL olarak belirlenmişti. Görüldüğü üzere harici eleman eliminasyonu için çalışmada önerilen fazla mesaili üretim alternatifi yaklaşık %1'lik daha düşük maliyetle harici elemanların elimine edilmesinde katkı sağlamıştır. Talep miktarı arttıkça bu faydanın daha fazla artacağı düşünülmektedir. Küçük boyutlu test probleminin çözümünde de harici eleman eliminasyonu için bu çalışmada önerilen fazla mesaili üretim alternatifi aynı şekilde katkı sağlamıştır. Test problemi geleneksel model (fazla mesaili üretim alternatifi ve ortak etkili gürültü şiddeti ergonomik faktörü

devre dışı bırakılarak) çözüldüğünde 440117,5 \$, bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli kullanılarak çözüldüğünde ise 435943 \$ harici eleman eliminasyonu maliyeti ortaya çıkmıştır. Görüldüğü üzere bu çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı modeli ile harici eleman eliminasyonu maliyetinde yaklaşık 5000\$ tasarruf sağlanmıştır.

Harici eleman eliminasyonu için fazla mesaili üretim alternatifinin göz önünde bulundurulmasının bu alanda yapılan çalışmalara önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çözümü yapılan problemlerde gruplama performansı ve mali performans ölçütü açısından en iyi hücre formasyonu ikinci model kullanılarak çözülen talep miktarının 250 adet olduğu problem çözümünden elde edilmiştir (Ek.9). Makineler arasındaki bağımlılık ilişkisi benzeri endüstriyel gereksinimlerin olmadığı sistemler için geliştirilen ikinci modelin kullanılması önerilmektedir. Endüstriyel gereksinimler göz önünde bulundurulduğunda mali performans ölçütü ve gruplama performans ölçütleri açısından ideale en yakın hücre formasyonu dördüncü model kullanılarak çözülen talebin 250 adet olduğu dördüncü problemin çözümünden elde edilmiştir (Ek.15). Uygulamaya esas üretim sistemi (Sofito Ltd. Şti.) için Ek 15'te görülen hücre formasyonu ve 250 adetlik talebin karşılanmasına yönelik pazarlama politikalarının belirlenmesi önerilmektedir. İşletmenin daha yüksek talep miktarlarına cevap vermek istemesi durumunda daha yüksek kapasiteli makineler temin etmesi faydalı olacaktır.

Yukarıda aktarılan çözüm sonuçları problemin belirlenen çözüm süresi sonundaki durumunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar optimum sonuç olmayıp belirlenen çözüm süresi sonundaki anlık en iyi çözümdür.

Sonuç olarak çalışmada geliştirilen gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli ve bu modelin genişletilmesi ile elde edilen modeller gerçek

yaşama uygun olacak şekilde harici elemanlara bağlı maliyetleri minimize etmektedir. Bu amaç doğrultusunda oluşturulacak hücrelerde ortak etkili gürültü şiddetinin risk seviyesinin altında kalmasını sağlayacak kısıtlar kullanılması nedeniyle elde edilen hücre formasyonlarının çalışanlar açısından daha ergonomik olması da sağlanmaktadır.

Geleceğe yönelik çalışmalar ve öneriler:

Hücre formasyonu probleminde göz önünde bulundurmak üzere analitik değerlendirilebilen ergonomik faktörlerin incelenmesi sonucu Hignett ve McAtamney tarafından geliştirilen duruş analizi (REBA – Rapid Entire Body Assessment) yönteminin matematiksel modele adapte edilebilir nitelikte olduğu görülmüştür. REBA yönteminin hücre formasyonunda göz önünde bulundurulması için aşağıdaki eşitlik kısıt fonksiyonu olarak matematiksel modele eklenebilir.

$$\left(\sum_i Rb_i X_{ik} \right) / \sum_i X_{ik} \leq 7 \quad \forall k \quad (6.1)$$

Burada; Rb_i : i makinesinin REBA puanıdır. REBA ergonomik faktörünü hücre formasyonu problemine adapte etmek üzere matematiksel modele eklenilmesi düşünülen kısıt fonksiyonu eşitliğinden görüleceği üzere matematiksel modelin doğrusal yapısını bozmaktadır ve problemi doğrusal olmayan (non linear) problem tipine dönüştürmektedir. Bu ergonomik faktörü hücresel imalat sistem tasarımında kullanabilmek için doğrusal olmayan yaklaşımların (doğrusal olmayan matematiksel model çözücüleri, sezgisel yaklaşımlar) kullanılması uygun olacaktır. REBA skorunun hesaplanmasında detaylı bilgi için Hignett ve McAtamney'in çalışmasından yararlanılabilir [Hignett ve McAtamney, 2000].

İleri çalışmalarda özellikle mobilya endüstrisine yönelik gerçek yaşam problemlerinde aynı işi yapan alternatif makineleri de göz önünde

bulunduracak şekilde matematiksel modellerin geliştirilmesi faydalı olacaktır. Gerek mobilya endüstrisinde gerekse diğer endüstri kollarında aynı işi yapan maliyet ve diğer teknik/teknolojik özellikleri birbirinden farklı çok sayıda makine alternatifi bulunmaktadır. Bu durumun göz önünde bulundurulması gerçek yaşam problemlerine yönelik yapılan çalışmalarda daha etken sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Hücre formasyonu problemlerinin genel yapısı itibarıyla NP-Zor problem tipinde olması ve gerçek yaşam problemlerinin büyük boyutlu olması nedeniyle makul zaman zarfında en iyi sonuçlara ulaşmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, problemin çözümü için, diğer birçok problemde oldukça iyi sonuçlar veren meta-sezgisel yöntemlerin uygulanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Albadawi, Z, Bashir, H.A. ve Chen, M., "A mathematical approach for the formation of manufacturing cells", **Computers & Industrial Engineering**, 48: 3-21 (2005).
2. Arn, E.A., "Group technology: an integrated planning and implementation concept for small and medium batch production", **Springer-Verlag**, Berlin, (1975).
3. Asokan, p., Prabhakaran, G. ve Kumar, G.S., "Machine-cell grouping in cellular manufacturing systems using non-traditional optimization techniques-A comparative study", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 18: 140-147 (2001).
4. Awwal, A.A.S. ve Karim, M.A., "Machine parts recognition using a trinary associative memory", **Optical Engineering**, 28: 537-543 (1989).
5. Babalık, F.C., "Mühendisler için Ergonomi-İşbilim, 2.Baskı", **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 227 (2007).
6. Baines, T.S., Asch, R., Hadfield, L., Mason, J.P., Fletcher, S. ve Kay, J.M., "Towards a theoretical framework for human performance modeling within manufacturing system design", **Simulation Modeling Practice and Theory**, 13: 486-504 (2005).
7. Ballakur, A. ve Steudel, H.J., "A within-cell utilization based heuristic for designing cellular manufacturing systems", **International Journal of Production Research**, 25: 639-665 (1987).
8. Baykasoğlu, A., Gindy, N. ve Cobb, R., "Capability based formulation and solution of multiple objective cell formation problem using simulated annealing", **Integrated Manufacturing Systems**, 12:258-274 (2001).
9. Ben-Gal, I. ve Buckin, J., "The ergonomic design of workstations using virtual manufacturing and response surface methodology", **IIE Transactions**, 34: 375-391 (2002).
10. Berardi, V.L., Zhang, G. ve Offodile, O.F., "A mathematical programming approach to evaluating alternative machine clusters in cellular manufacturing", **International Journal of Production Economics**, 58(3): 253-264 (1999).
11. Bidanda, B., Ariyawongrat, P., Needy, L.S.K., Norman, B.A. ve Thammaphornphilas, W., "Human related issues in manufacturing cell design, implementation, and operation: a review and survey", **Computers&Industrial Engineering**, 48: 507-523 (2005).

12. Boctor, F.F., "A linear formulation of the machine-part cell formation problem", *International Journal of Production Research*, 29(2): 343-356 (1991).
13. Boulif, M. ve Atif, K., "A new fuzzy genetic algorithm for dynamic bi-objective cell formation problem considering, passive and active strategies", *International Journal of Approximate Reasoning*, 47:141-165 (2008).
14. Burbidge, J.L., "Production flow analysis", *The Production Engineer*, 42(12):742-752 (1971)
15. Burdurlu, E., "Ahşap kökenli kaplama ve levha üretim-kullanım teknolojisi", *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 322 (1994).
16. Burdurlu, E., "Kereste endüstrisi ve kurutma", *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 289 (1995).
17. Burdurlu, E., İlçe, A.C. ve Ciritcioğlu, H.H., "Mobilya ürün özellikleri ile ilgili tüketicilerin tercih öncelikleri", *Hacettepe Üniversitesi Sosyalistik Araştırmalar e- Dergisi*, (2004).
18. Burdurlu, E., Ciritcioğlu, H.H., Bakır, K. ve Özdemir, M., "Analysis of the most suitable fitting type for the assembly of knock - down panel furniture", *Forest Products Journal*, v(56)1:46-52,(2006).
19. Chan, H. ve Milner, D., "Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing", *Journal of Manufacturing Systems*, 1:65-74 (1982).
20. Chandrasekaran, M.P. ve Rajagopalan, R., "An ideal seed non hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, 24(2):451-464 (1986).
21. Chaneski, W. S., "Cellular manufacturing can help you", *Modern Machine Shop*, 71(3): 52-53 (1998).
22. Chu, C. H., "Cluster analysis in manufacturing cellular formation", *Omega*, 17(3): 289-295 (1989).
23. Chu, C.H. ve Tsai, M., "A comparison of three array-based clustering techniques for manufacturing cell formation", *International Journal of Operations Research*, 28: 1417-1433 (1990).

24. Crama, Y. ve Oosten, M., "Models for machine-part grouping in cellular manufacturing", ***International Journal of Production Research***, 34(6): 1693-1713 (1996).
25. Culbreth, C.T., "A Furniture parts classification and coding system", ***Forest Product Journal***, 38(2):19-24 (1987).
26. Culbreth, C.T., King, R.E. ve Sanii, E.T., "A flexible manufacturing system for furniture production", ***Manufacturing Review***, 2(4): 257-265 (1989).
27. Culbreth, C.T., Miller, M. ve Grady, P.O., "A concurrent engineering system to support flexible automation in furniture production", ***In Robotics and Computer Integrated Manufacturing***, 12(1): 81-91 (1996).
28. Defarsha, M.F., Chen, M., "A comprehensive mathematical model for the design of cellular manufacturing systems", ***Int. Journal of Production Economics***, 103: 767-783 (2006).
29. Deutsch, S.J., Freeman, S.F. ve Helander, M., "Manufacturing cell formation using an improved p-median model", ***Computers & Industrial Engineering***, 34: 135-146 (1998).
30. Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colorni, A., "The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents", ***IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics***, 1(26): 29-41 (1996).
31. Duggan K. J., "Facilities design for lean manufacturing", ***IIE Solutions***, 30(12): 30-34 (1998).
32. Erkan, N., "Verimlilik, Sağlık ve Güvenlik için İnsan Faktörü Mühendisliği-Ergonomi, 8. Basım", ***Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:373***, Ankara, 167 (2003).
33. Feyen, R., Liu, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G. ve Joseph, B., "Computer aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomic analysis in to workplace design", ***Applied Ergonomics***, 31: 291-300 (2000).
34. Filho, E.V.G., ve Tiberti, A.J., "A group genetic algorithm for the machine cell formation problem", ***International Journal of Production Economics***, 102: 1-21 (2006).
35. Gearman, T.A. ve Culbreth, C.T., "Making wood furniture: Robot lends helping hands", ***Robotic World***, 7(1): 19-20 (1989).

36. Guangyan L. ve Buckle P., "Current techniques for assessing physical exposure to work related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods", **Ergonomics**, 42(5): 674-695 (1999).
37. Gunasingh, K.R. ve Lashkari, R.S., "Machine grouping problem in cellular manufacturing systems-an integer programming approach", **International Journal of Production Research**, 27(9): 1465-1473 (1989).
38. Gunasingh, K.R. ve Lashkari, R.S., "Simultaneous grouping of parts and machines in cellular manufacturing systems: An integer programming approach", **Computers & Industrial Engineering**, 20(1): 111-117 (1991).
39. Gunther, E.R., Johnson, G.D. ve Peterson, R.S., "Currently practiced formulations for the assembly line balancing", **Journal of Operation Management**, 3(4): 209-221 (1983).
40. Gupta, T. ve Seifoddini, H., "Production data based similarity coefficient for machine component grouping in decisions in the design of a cellular manufacturing systems", **International Journal of Production Research**, 28: 1247-1269 (1990).
41. Güngör, Z. ve Arıkan, F., "Application of fuzzy decision making in part-machine grouping", **International Journal of Production Economics**, 63:181-193 (2000).
42. Ham, I. ve Hitomi, K., "Group technology", **Kluwer-Nijhoff Publishing**, 12, (1985).
43. Heizer, J. ve Render, B., "Operations Management", 5th Edition, **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 837 (1996)
44. Heragu, S.S., "Group technology and cellular manufacturing", **IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics**, 24(2): 203-214 (1994).
45. Hignett, S. ve McAtamney, L., "Rapid entire body assessment (REBA)", **Applied Ergonomics**, 31: 201-205 (2000).
46. Hunter, S.L., Bullard, S. ve Steele, P.H., "Lean production in furniture industry: The double D assembly cell", **Forest Product Journal**, 54(4): 32-38 (2004).
47. Hyer, N.L., Brown, A.K. ve Zimmerman, S., "A socio-technical system approach to cell design: Case study and analysis", **Journal of Operation Management**, 17: 179-203 (1999).
48. İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi, Mobilya sektör raporu, **İGEME**, 22 (2009).

49. ILO International Labor Organization, (1976).
50. James, T.L., Brown, E.C. ve Keeling, K.B., "A hybrid grouping genetic algorithm for the cell formation problem", **Computers & Operations Research**, 34: 2059-2079 (2007).
51. Joines, J. C. ve King, C. R., "A comprehensive review of production oriented cell formation techniques", **International Journal of Factory Automation and Information Management**, 3:225-265 (1996).
52. Jung, E.S. ve Freivalds, A., "Multiple criteria's decision-making for the resolution of conflicting ergonomic knowledge in manual material handling", **Ergonomics**, 34(11): 1351-1356 (1991).
53. Kamrani, A., Parsaie, H. ve Chaudhry, M., "A survey of design methods for manufacturing cells", **Computers & Industrial Engineering**, 25:487-490 (1993).
54. Kaparthi, S. ve Suresh, N., "A new network system for shape-based classification and coding of rotational parts", **International Journal of Production Research**, 29: 1771-1784 (1991).
55. Kaparthi, S. ve Suresh, N., "An improved neural network leader algorithm for part-machine grouping in group technology", **European Journal of Operational Research**, 69(3): 342-356 (1993).
56. Kızıl, M. ve Özbayrak, M., "A tradeoff analysis between process plan selection and cell formation in cellular manufacturing", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 23(7): 501-506 (2004).
57. King, J.R., "Machine component grouping in production flow analysis", **International Journal of Production Research**, 20(1): 213-237 (1980).
58. King, J.R. ve Nakornchai, V., "Machine-component group formation in group technology: review and extensions", **International Journal of Production Research**, 20(2): 117-133 (1982).
59. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. ve Vecchi, M., "Optimization by simulated annealing", *Science*, 220: 671-680 (1983).
60. Kleiner, B.M., Drury, C.G. ve Palepu, P., "A computer-based productivity and quality management system for cellular manufacturing", **Computers Industrial Engineering**, 34: 207-217 (1998).

61. Kumar, C.S. ve Chandrasekaran, M.P., "Groping efficacy: a quantitative criterion for goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology", ***International Journal of Production Research***, 28(2):233-243 (1990).
62. Kumar, A., Zubair, M., Jaideep, M. ve Mohamed, Y., "Linearization of King's algorithm to reconfigure large-size FMSs into CMSs", ***Proceedings-Annual Meeting of Decision Sciences Institute***, 3:1288 (1996).
63. Kumar, A. ve Motwani, J., "Case study: reconfiguring a manufacturing system for strategic advantage - a real-world application", ***Journal of Enterprise Information Management***, 11(4): 244-256 (1998).
64. Kumar, R., Chaikumarn, M. ve Kumar S., "Physiological, subjective and postural loads in passenger train wagon cleaning sing a conventional and redesigned cleaning tool", ***International Journal of Industrial Ergonomics***, (1), (2005).
65. Kumar, R., Chaikumarn, M. ve Lundberg, J., "Participatory ergonomics and evaluation of low-cost improvement effect on cleaners' working posture", ***International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)***, 11(2): 203-210 (2005).
66. Kuo, R.J., Su, Y.T., Chiu, C.Y., Chen, KY. ve Tien, F.C., "Part family formation through fuzzy ART2 neural network", ***Decision Support Systems***, 42: 89-103 (2006).
67. Kusiak, A., "The generalized group technology concept", ***International Journal of Production Research***, 25(4);561-569 (1987)
68. Kyle, R.G. ve Ludka, C.R., "Simulating the furniture industry", ***Proceeding of the 2000 Winter Simulation Conference***, 1347-1350 (2000).
69. Lee-Post, A., "Part family identification using a simple genetic algorithm", ***International Journal of Production Research***, 38: 793-810 (2000).
70. Logendran, R., "A binary integer programming approach for simultaneous machine part grouping in cellular manufacturing systems", ***Computers and Industrial Engineering***, 24: 329-336 (1993).
71. Mahdavi, I., Paydar, M.M., Solimanpur, M. ve Heidarzade, A., "Genetic algorithm approach for solving a cell formation problem in cellular manufacturing", ***Expert Systems with Applications***, 36: 6598-6604 (2009).

72. Mansouri, S.M., Moattar-Husseini, S.M. ve Zegordi, S.H., "A genetic algorithm for multiple objective dealing with exceptional elements in cellular manufacturing", ***Production Planning & Control***, 14(5): 437-446 (2003).
73. McAtamney, L. ve Corlett, E.N., "RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders", ***Applied Ergonomics***, 24(2): 91-99 (1993).
74. McAuley, D., "Machine grouping for efficient production", ***The Production Engineer***, 51:53-57 (1972).
75. McCormic, J.W.T., Schweitzer, P.J. ve White, T.W., "Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique", ***Operations Research***, 22: 993-1008 (1972).
76. Miltenburg, J., ve Zhang, W., "A comparative evaluation of nine well known algorithms for solving the cell formation problem in group technology", ***Journal of Operations Management***, 10(1):44-72 (1991).
77. Moghaddam, R.T., Vahed, A.R.R., Ghodrathnama, A. ve Siadat, A., "A simulated annealing method for solving a new mathematical model of multi-criteria cell formation problem with capital constraints", ***Advances in Engineering Software***, 40: 268-273 (2009).
78. Nahmias, S., "Production and operation analysis", 2nd Edition, ***Irwin***, USA, 41 (1997).
79. Offodile, F.O., Mehrez, A. ve Grznor, U., "Cellular manufacturing: A taxonomic review framework", ***Journal of Manufacturing Systems***, 13(3): 196-220 (1994).
80. Olexa, R., "When cells makes sense", ***Manufacturing Engineering***, 128(6): 45-51 (2002).
81. Oliveira, S., Ribeiro, J.F.F. ve Seok, S.C., "A comparative study of similarity measures for manufacturing cell formation", ***Journal of Manufacturing Systems***, 27:19-25 (2008).
82. Öktemer, F.A., "Hİ sistemlerinin tasarımı için bulanık çok amaçlı matematiksel programlama modeli ve çözüm yaklaşımı", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1 (2002).
83. Özgen, H. ve Dülger, A., "Hücreli üretim sistemine ilişkin bir uygulama", ***Verimlilik Dergisi***, MPM yayınları, 37-54 (1996).

- 84.Öztemel, E., “Yapay sinir ağları”, **Papatya Yayıncılık**, İstanbul, 232 (2003).
- 85.Papantonopoulos, S., “System design in normative actual practice: A comparative study of cognitive task allocation in advanced manufacturing systems”, **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, 14(2), 181-198 (2004).
- 86.Park, K.S. ve Han, S.W., “Performance Obstacles in Cellular manufacturing implementation-empirical investigation”, **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, 12(1): 17-29 (2002).
- 87.Park, S. ve Suresh, N.C., “Performance of fuzzy ART neural network and hierarchical clustering for part-machine grouping based on operation sequences”, **International Journal of Production Research**, 41(14): 3185-3216 (2003).
- 88.Purcheck, G., “A mathematical classification as a basis for the design of group technology production cells”, **Production Engineer**, 54:35-48 (1974).
- 89.Purcheck, G., “A linear programming method for the combinatorial grouping of an incomplete power set”, **Journal of Cybernetics**, 5:51-76 (1975).
- 90.Rajamani, D., Singh, N. ve Aneja, Y.P., “Integrated design of cellular manufacturing systems in the presence of alternative process plans”, **International Journal of Production Research**, 30: 1541-1554 (1990).
91. Ravichandran, K.S. ve Rao, K.C.S., “A new approach to fuzzy part-family formation in cellular manufacturing systems”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 18: 591-597 (2001).
92. Ribeiro, J.F.F. ve Pradin, B., “A methodology for cellular manufacturing design”, **International Journal of Production Research**, 31: 235-250 (1993).
93. Romero, S.F. ve Rosado, P., “Design of a line control system for the modular furniture industry”, **International Journal of Production Research**, 33(7): 1953-72 (1995).
94. Safaei, N., Saidi-Mehrabad, M., Jabal-Ameli, M.S., “A hybrid simulated annealing for solving an extended model of dynamic cellular manufacturing system”, **European Journal of Operational Research**, 185: 563-592 (2008).

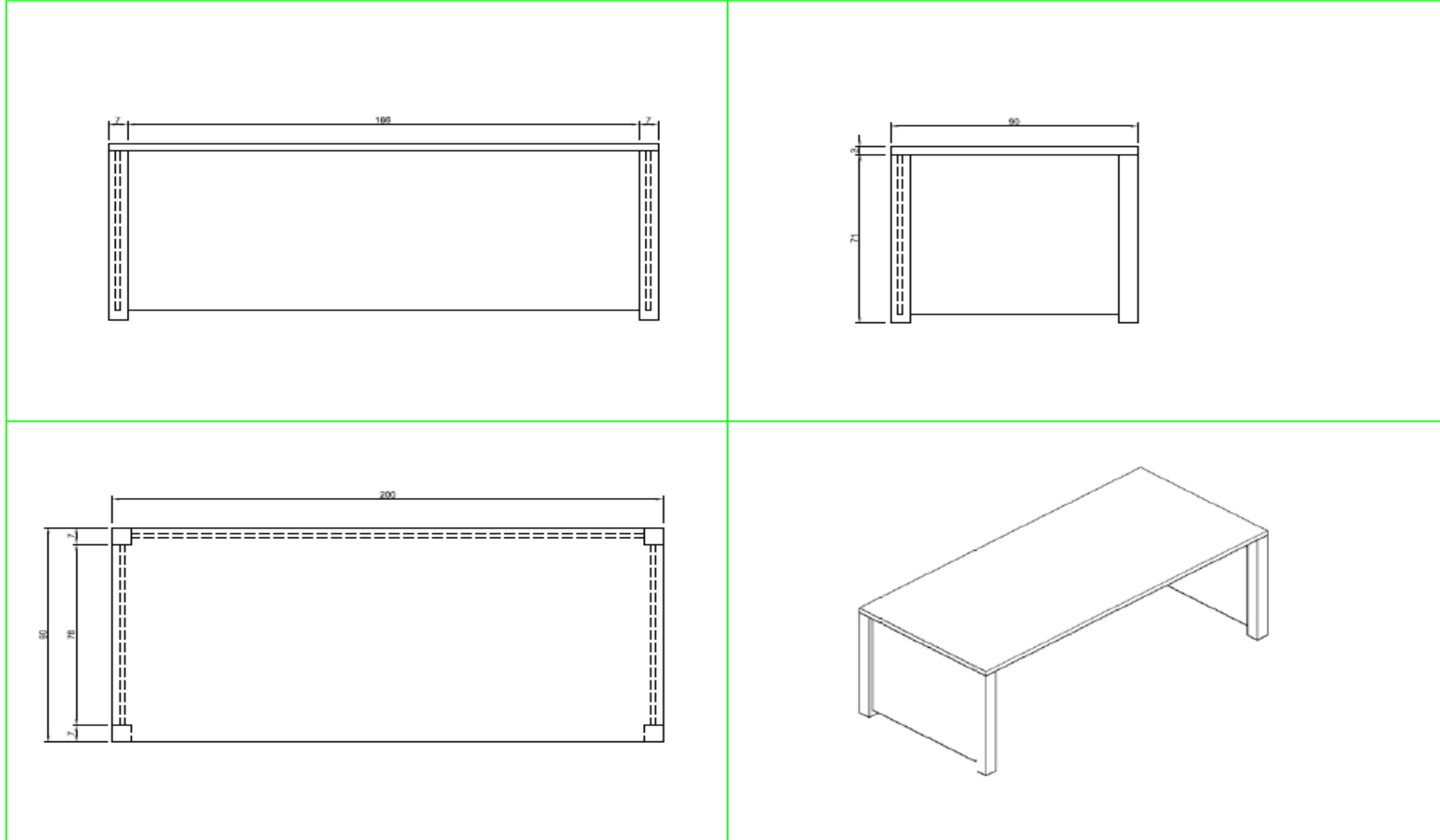
95. Sangwan, S.K. ve Kodali, R., "Fuzzy part family formation for cellular manufacturing systems", ***Production Planning & Control***, 15(3): 292-302 (2004).
96. Sanii, E., King, R., Culbreth, T. ve Huang, J., "Design, development and implementation of a flexible manufacturing cell for furniture parts" ***SME Technical Paper (Series) MS***, (1989).
97. Schaller, J., "Tabu search procedures for the cell formation problem with intra-cell transfer costs as a function of cell size", ***Computers & Industrial Engineering***, 49: 449-462 (2005).
98. Seifoddini, H., ve Tjahjana, B., "Part-family formation for cellular manufacturing: a case study at Harnischfeger", ***International Journal of Production Research***, 37(14): 3263-3273 (1999).
99. Selim, H.M., Askin, R.G. ve Vakharia, A. J., "Cell formation in group technology: Review, evaluation and directions for future research", ***Computers & Industrial Engineering***, 34(1): 3-20 (1998).
100. Shafer, S.M., Kern, G.M. ve Wei, J.C., "A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements in cellular manufacturing", ***International Journal of Production Research***, 30(5): 1029-1036 (1992).
101. Shtub, A., "Modeling group technology cell formation as a generalized assignment problem", ***International Journal of Production Research***, 27: 775-782 (1989).
102. Singh, N., "Design of cellular manufacturing systems: An invited review", ***European Journal of Operational Research***, 69, 284-291 (1993).
103. Singh, N. ve Rajamani, D., "Cellular Manufacturing Systems designing, planning and control", ***Chapman&Hall***, UK, 277 (1996).
104. Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A. ve Johnston, R., "Operations Management", 2nd Edition, ***Pitman Publishing***, 861 (1998).
105. Solimanpur, M., Vrat, P. ve Shankar, R., "Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing", ***European Journal of Operational Research***, 157: 592-606 (2004).
106. Soyuer, H. ve Kocamaz, M., "Kesikli üretim yapan işletmelerde hücreli imalat sistemi ve tesis içi yerleşim uygulaması", ***YAEM XXIV. Ulusal Kongresi Bildirileri***, (2004).

107. Spiliopoulos, K. ve Sofianopoulou, S., "Manufacturing cell design with alternative routings in generalized group technology: reducing the complexity of the solution space", ***International Journal Production Research***, 45(6):1355-1367 (2007).
108. Srinivasan, G., "A clustering algorithm for cell formation in group technology using minimum spanning trees", ***International Journal of Production Research***, 32(9): 2149-2158 (1994).
109. Stawowy, A., "Evolutionary strategy for manufacturing cell design", ***Omega***, 34: 1-18 (2006).
110. Suebsak, N., Boonyawat, T ve Wongwanthanee, S, "Analytical procedure for constructing noise contours", ***International Journal of Industrial Ergonomics***, 23: 123-127 (1999).
111. Tariq, A., Hussain, I., ve Ghafoor, A., "A hybrid genetic algorithm for machine-part grouping", ***Computer & Industrial Engineering***, 56: 347-356 (2009).
112. Tavakkoli-Moghaddam, R., Aryanezhad, M.B., Safaei, N. ve Azaron, A., "Solving a dynamic cell formation problem using meta-heuristics", ***Applied Mathematics and Computation***, 170: 761-780 (2005).
113. Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadian, N., Javadi, B. ve Safaei, N., "Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands", ***Applied Mathematics and Computation***, 184(2): 721-728 (2007).
114. Tsai, C.C., Chu, C.H. ve Barta, T.A., "Modeling and analysis of a manufacturing cell formation problem with fuzzy mixed-integer programming", ***IIE Transactions***, 29: 533-547 (1997).
115. Tsai, C.C. ve Lee, C, "Optimization of manufacturing cell formation with a multi-functional mathematical programming model", ***International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 30: 309-318 (2006).
116. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), ***Türkiye Genel nüfus Sayımı, Sanayi ve işyeri Sayımı Sonuçları***, (2002).
117. Udo, G.G., ve Ebiefung, A.A., "Human factors affecting the success of advanced manufacturing systems", ***Computers&Industrial Engineering***, 37: 297-300 (1999).
118. Venugopal, V. ve Narendaran, T.T., "A genetic algorithm approach to the machine-component grouping problem with multiple objectives", ***Computers and Industrial Engineering***, 22(4): 469-480 (1992).

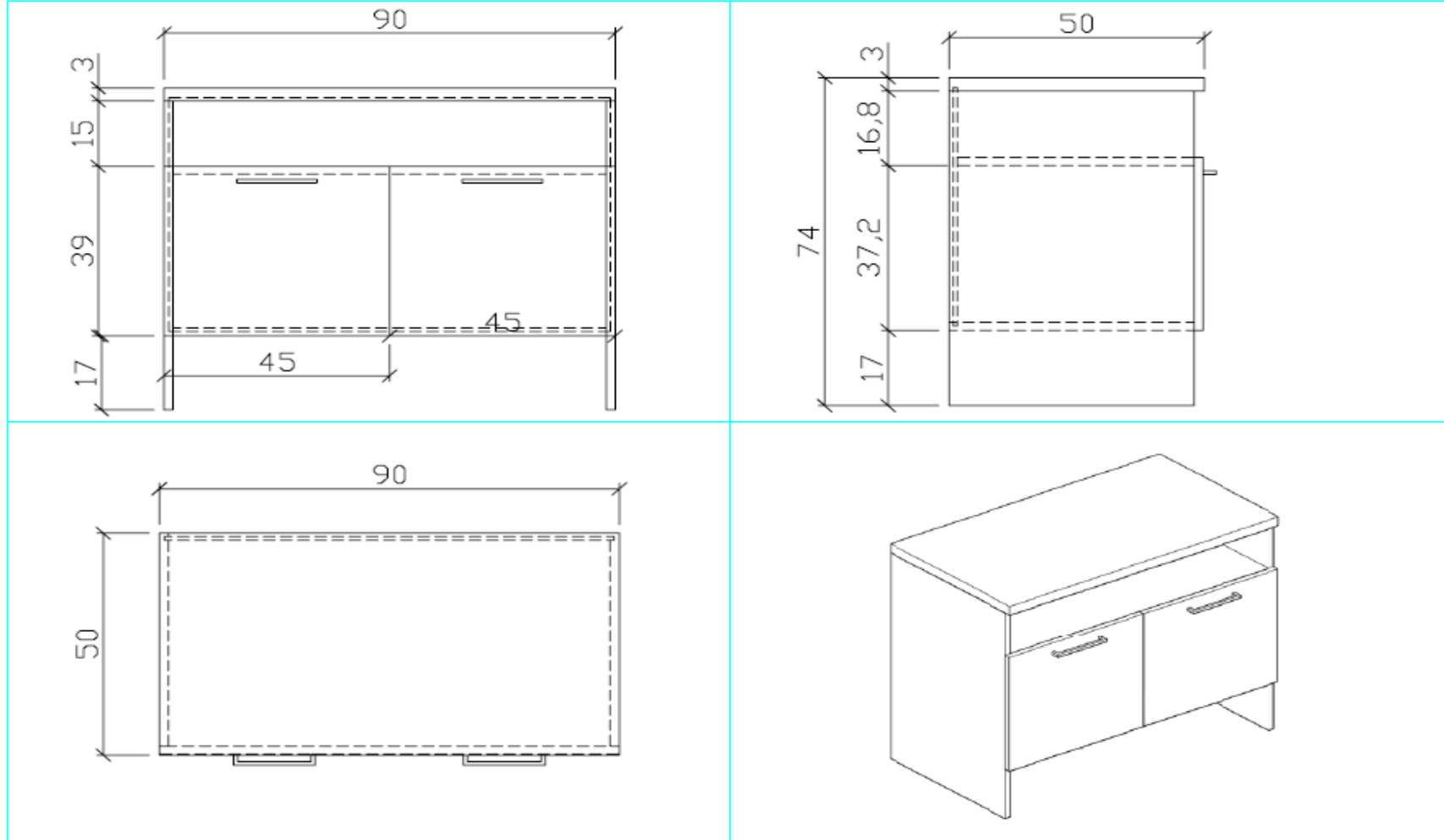
119. Vizwanathan, S., "A new approach for solving the p-median problem in group technology", ***International Journal of Production Research***, 34: 2691-2700 (1996).
120. Von Jankowsky, P., "Robots automate cutting and gluing", ***Robotic World***, 3(6): 68-70 (1985).
121. Wang, C.L.C., Chen, S.F. ve Yuen, M.M.F., "Fuzzy part family formation based on gray relational analysis", ***Advanced Manufacturing Technology***, 18: 128-132 (2001).
122. Wang, J., "Formation of machine cells and part families in cellular manufacturing systems using a linear assignment algorithm", ***Automatica***, 39, 1607-1615 (2003).
123. Wang, J. ve Roze, C., "Formation of Machine cells and part families in cellular manufacturing: an experimental study", ***Journal of Operations Management***, 35: 1259-1286 (1997).
124. Wemmerlöv, U. ve Hyer, N.L., "Research issues in cellular manufacturing", ***International Journal of Production Research***, 25: 413-431 (1987).
125. Xambre, A.R. ve Vilarinho, P.M., "A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines", ***European Journal of Operational Research***, 151: 434-446 (2003).
126. Xu, H. ve Wang, H.P., "Part family formation for GT applications based on fuzzy mathematics", ***International Journal of Production Research***, 27(9): 1637-1651 (1989).
127. Yang, MS., Hung, WL. ve Cheng, FC., "Mixed variable fuzzy clustering approach to part family and machine cell formation for GT applications", ***International Journal of Production Economics***, 103: 185-198 (2006).
128. Yang, MS. ve Yang, JH., "Machine-part cell formation in group technology using a modified ART1 method", ***European Journal of Operational Research***, 188: 140-152 (2008).
129. Yao, A.C. ve Carlson, J.G.H., "Agility and mixed-model furniture production", ***International Journal of Production Economics***, 81(82): 95-102 (2003).
130. Yin, Y. ve Yasuda, K., "Similarity coefficient methods applied to the cell formation problem: A taxonomy and review", ***International Journal of Production Economics***, 101: 329-352 (2006).

EKLER

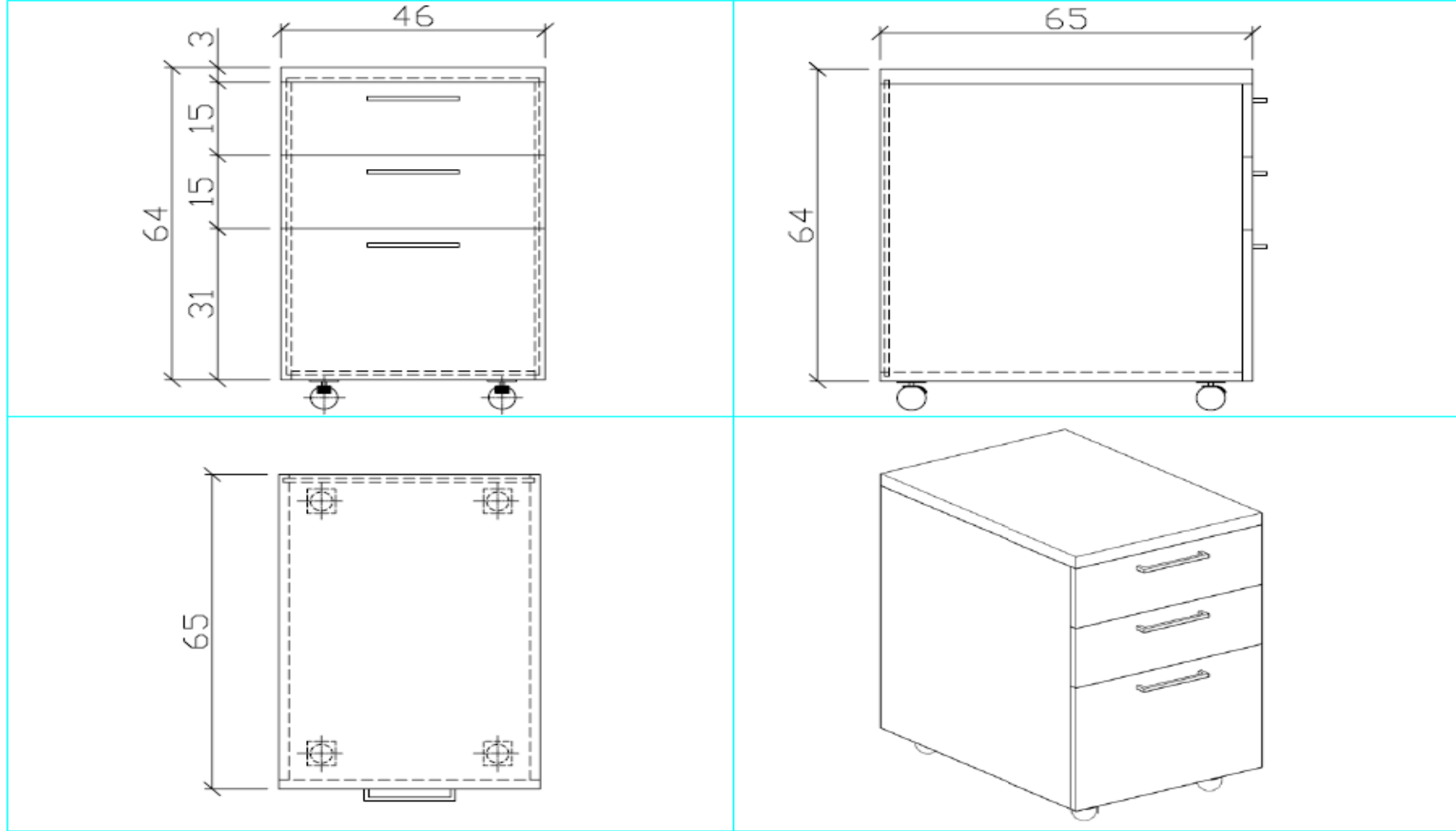
EK-1. Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görüşü ve perspektifleri (Çalışma Masası)



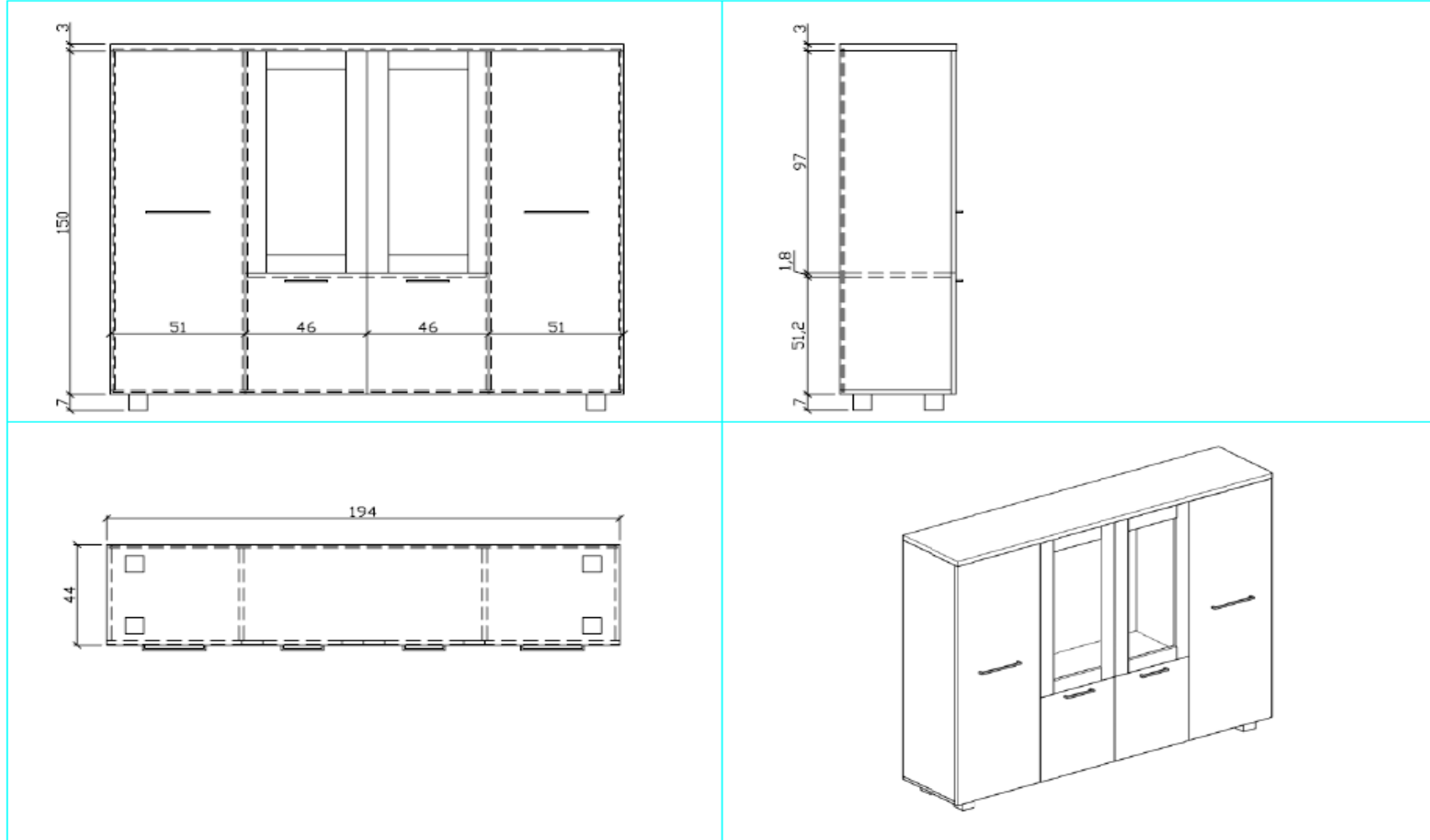
EK-1. (Devam) Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görünüş ve perspektifleri (Etajer)



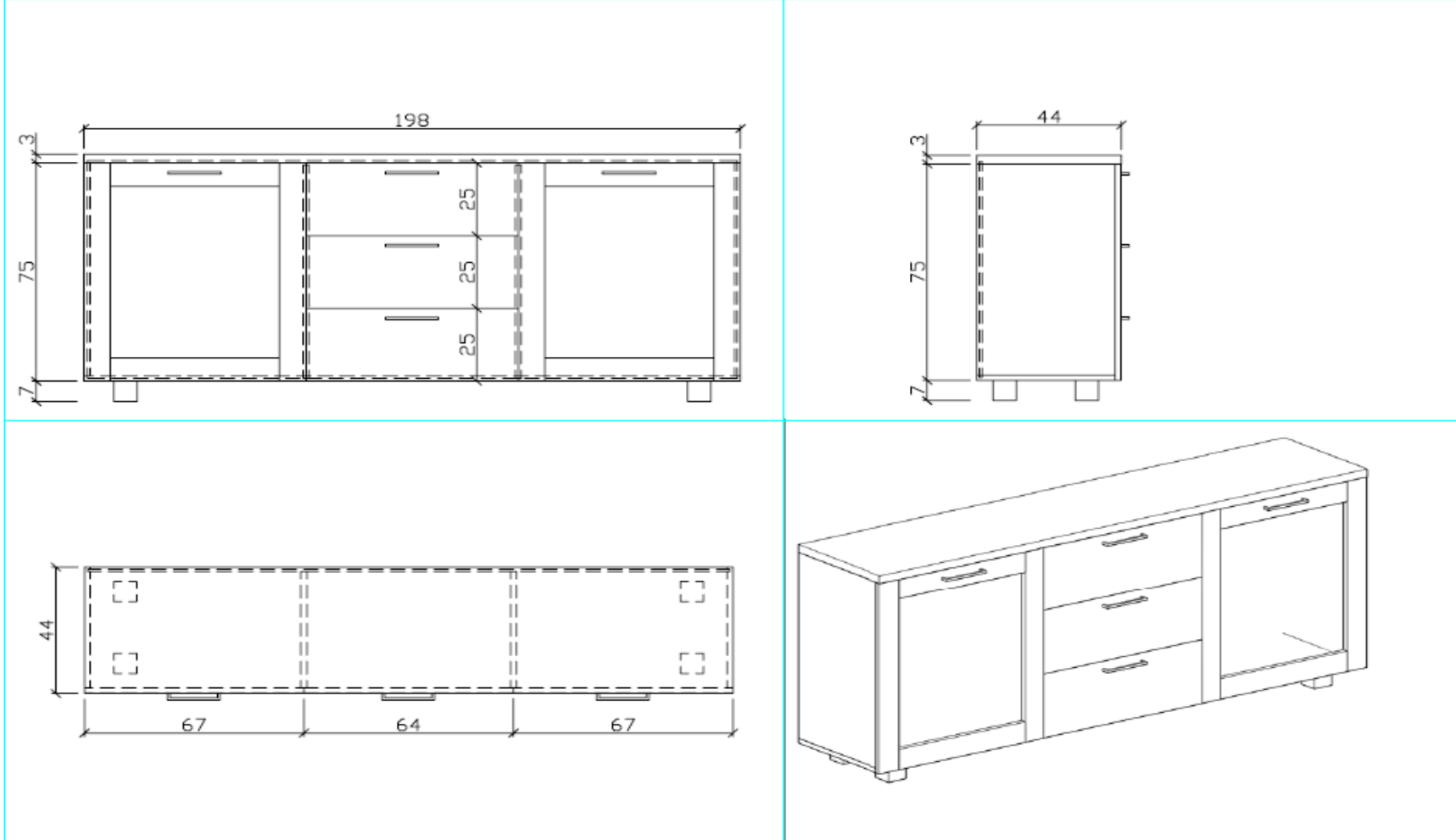
EK-1. (Devam) Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görünüş ve perspektifleri (Keson)



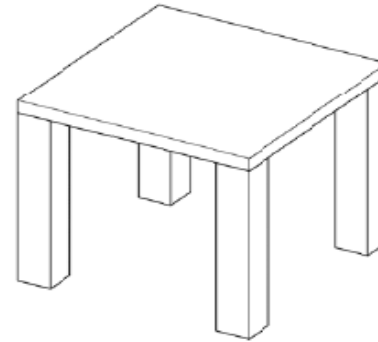
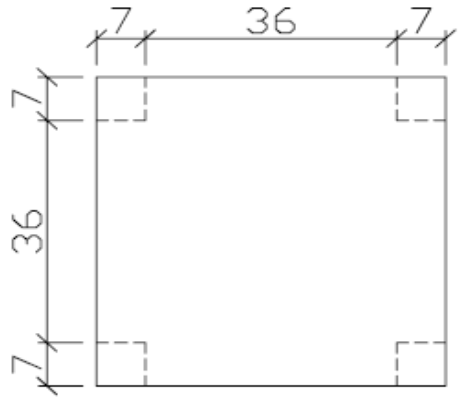
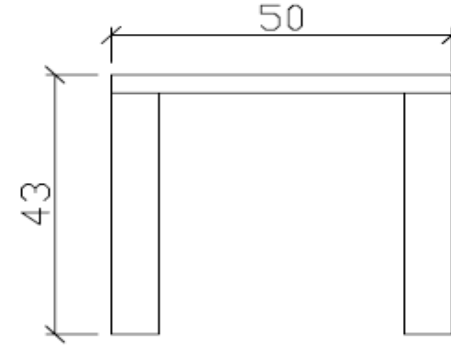
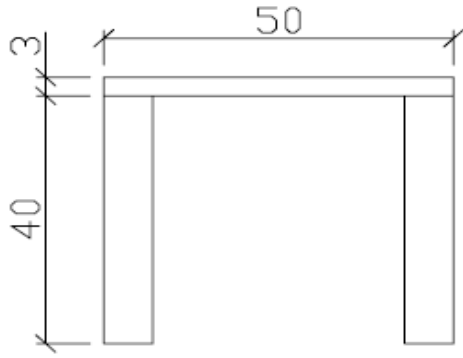
EK-1. (Devam) Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görünüş ve perspektifleri (Kitaplık)



EK-1. (Devam) Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görünüş ve perspektifleri (Konsol)



EK-1. (Devam) Uygulamaya esas ürün grubu (Ofis Takımı) bileşenleri üç görünüş ve perspektifleri (Sehpa)



EK-2. Uygulamaya esas parça makine matrisi

PARÇALAR (i)	MAKİNELER (ii)																				
	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotin (1)	Giyotin (2)	Kaplama Dikiş	Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma	Osilasyon Zımpara	
	S.No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Çalışma Masası Yan Tabla	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Çalışma Masası Ön Pano	3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Çalışma Masası Ayak	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Keson Üst Tabla	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Keson Yan Tabla	6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Alt Tabla	7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Keson Arkalık	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Çekmece Altı	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Etajer Yan Tabla	13	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Alt Tabla	14	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Ara Tabla	15	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Kapak	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Etajer Arkalık	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Kitaplık Yan Tabla	19	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Alt Tabla	20	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Ara Dikme	21	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Ara Tabla	22	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Kitaplık Ayak	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Kitaplık Arkalık	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Konsol Yan Tabla	30	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Alt Tabla	31	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Ara Dikme	32	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Konsol Ayak	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Konsol Arkalık	37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Sehpa Ayak	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	

EK-3. Uygulamaya esas parça makine matrisi birim parça işleme zamanları

PARÇALAR (i)	Parça Tanımı	S.No.	MAKİNELER (j)																			
			Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotin (1)	Giyotin (2)	Kaplama Dikiş	Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (1)	Kurutma	Osilasyon Zımpara
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	0,67	0,12	0,12	0,28	0,28	0,17	0,34	0,52	1,58	0	0	0	0	0	0	0	1,68	0,84	0,42	1,68
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0,38	0,17	0,17	0,21	0,21	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0,46	0,09	0,09	0,26	0,26	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ayak	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,26	0,40	1,32	2,39	1,19	0,60	0,24
	Keson Üst Tabla	5	0,22	0,17	0,17	0,13	0,13	0,34	0,16	0,24	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0,77	0,39	0,19	0,78
	Keson Yan Tabla	6	0,56	0,33	0,33	0,34	0,34	1,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0,20	0,16	0,16	0,12	0,12	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	0,10	0,08	0,08	0,26	0,26	0,68	0,31	0,48	0,24	0	0	0	0	0	0	0	1,54	0,77	0,38	1,52
	Keson Çekmece Klapası (Geniş)	9	0,10	0,08	0,08	0,13	0,13	0,34	0,16	0,24	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,77	0,38	0,19	0,76
	Keson Arkalık	10	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	0,17	0,07	0,07	0,13	0,13	0,17	0,15	0,23	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0,76	0,38	0,19	0,76
	Etajer Yan Tabla	13	0,25	0,18	0,18	0,13	0,13	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0,15	0,06	0,06	0,12	0,12	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0,15	0,06	0,06	0,12	0,12	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak	16	0,13	0,10	0,10	0,13	0,13	0,34	0,15	0,23	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,38	0,19	0,76
	Etajer Arkalık	17	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla	18	0,32	0,06	0,06	0,27	0,27	0,17	0,33	0,50	0,75	0	0	0	0	0	0	0	1,63	0,81	0,41	1,63
	Kitaplık Yan Tabla	19	0,47	0,11	0,11	0,42	0,42	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0,30	0,05	0,05	0,27	0,27	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0,44	0,11	0,11	0,41	0,41	1,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0,13	0,05	0,05	0,13	0,13	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	0,57	0,13	0,13	0,42	0,42	0,34	0,51	0,78	1,35	0	0	0	0	0	0	0	2,52	1,26	0,63	2,52
	Kitaplık Kapak Küçük	24	0,18	0,14	0,14	0,13	0,13	0,34	0,16	0,24	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0,77	0,39	0,19	0,78
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,35	0,54	2,64	3,26	1,63	0,81	3,24
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,11	0,17	2,64	1,01	0,50	0,25	1
	Kitaplık Ayak	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,03	0,04	1,32	0,24	0,12	0,06	0,24
	Kitaplık Arkalık	28	1,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla	29	0,32	0,06	0,06	0,28	0,28	0,17	0,34	0,51	0,77	0	0	0	0	0	0	0	1,66	0,83	0,42	1,66
	Konsol Yan Tabla	30	0,23	0,20	0,20	0,12	0,12	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	0,31	0,05	0,05	0,28	0,28	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0,22	0,10	0,10	0,20	0,20	1,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,27	0,42	2,64	2,52	1,26	0,63	2,52
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,18	0,29	2,64	1,71	0,86	0,43	1,64
	Konsol Çekmece Klapası	35	0,18	0,10	0,10	0,27	0,27	0,51	0,33	0,50	0,42	0	0	0	0	0	0	0	1,61	0,81	0,40	1,62
	Konsol Ayak	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,03	0,04	1,32	0,24	0,12	0,06	0,24
	Konsol Arkalık	37	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla	38	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07	0,17	0,09	0,13	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0,42	0,21	0,11	0,42
	Sehpa Ayak	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,15	0,24	1,32	1,41	0,71	0,35	1,4
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	5,00	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1,30	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,93	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,93	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1,95	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	3,00	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1,85	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1,97	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0

EK-4. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli 1. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Kalibre Zımpara	Yatay Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Oslasyon Zımpara	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Kaplama Dikiş	Boy Kesme	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Kurutma Fırını
		7	16	17	18	20	1	2	3	4	5	6	8	9	12	13	10	11	14	15	19
P A R Ç A L A R	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Üst Tabla	5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak	16	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla	18	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Küçük	24	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Yan Tabla	6	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Yan Tabla	13	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Yan Tabla	30	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	Konsol Üst Tabla	29	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla	38	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Çalışma Masası Ayak	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ayak	27	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Konsol Ayak	36	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Sehpa Ayak	39	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0

EK-5. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli 1. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Osilasyon Zımpara	Panel Ebatlama	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş	Tutkal Sürme	Çoklu Dilme	Kalibre Zımpara	Yatay Bant Pres	Yatay Delik	Kurutma Fırını	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Boy Kesme	4 Kenar İşleme	Giyotini (1)
		3	4	17	18	20	1	5	6	11	12	8	14	7	9	16	19	2	13	15	10
P A R Ç A L A R	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
	Keson Üst Tabla	5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
	Keson Yan Tabla	6	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Etajer Yan Tabla	13	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Etajer Kapak	16	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Kitaplık Ayak	27	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1
	Konsol Ara Dikme	32	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Konsol Ayak	36	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
	Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Yan Tabla	19	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Yan Tabla	30	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	
Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	
Sehpa Ayak	39	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Çalışma Masası Ayak	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	
Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

EK-6. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı temel modeli 1. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	4 Kenar İşleme	Boy Kesme	Çoklu Dilme	Yatay Delik	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Çoklu Delik	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Osilasyon Zımpara	CNC Vernik Atma (1)	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş
		1	2	3	4	5	15	13	14	16	18	19	6	7	8	9	20	17	10	11	12
P A R Ç A L A R	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Çalışma Masası Ön Pano	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Yan Tabla	6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Alt Tabla	7	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Keson Arkalık	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Altı	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Etajer Yan Tabla	13	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Alt Tabla	14	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Ara Tabla	15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Kapak	16	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Etajer Arkalık	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Yan Tabla	19	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Alt Tabla	20	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Ara Dikme	21	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Ara Tabla	22	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Arkalık	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Konsol Yan Tabla	30	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Alt Tabla	31	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Ara Dikme	32	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Arkalık	37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Kitaplık Ayak	27	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Konsol Ayak	36	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Sehpa Ayak	39	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Çalışma Masası Ayak	4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Keson Üst Tabla	5	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Keson Çekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	

EK-7. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı II modeli 2. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																				
		Çoklu Delik	CNC Vernik Atma (2)	Giyotini (2)	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Tutkal Sürme	Boy Kesme	Giyotini (1)	Osilasyon Zımpara	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	CNC Vernik Atma (1)	Kurutma Fırını	Kalibre Zımpara	Kaplama Dikiş	Yatay Bant Pres	Yatay Delik	
		6	18	11	14	15	8	13	10	20	1	2	3	4	5	17	19	7	12	9	16	
P A R Ç A L A R	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Kapak	16	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Keson Yan Tabla	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Üst Tabla	29	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	
	Çalışma Masası Ayak	4	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
	Etajer Üst Tabla	12	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
	Kitaplık Yan Tabla	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Çalışma Masası Ön Pano	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Keson Üst Tabla	5	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
	Keson Alt Tabla	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Etajer Yan Tabla	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Etajer Alt Tabla	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Etajer Ara Tabla	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Alt Tabla	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Ara Dikme	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Ara Tabla	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
Kitaplık Ayak	27	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1		
Konsol Yan Tabla	30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Konsol Alt Tabla	31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Konsol Ayak	36	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1		
Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sehpa Üst Tabla	38	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
Çalışma Masası Yan Tabla	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0		
Sehpa Ayak	39	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1		
Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
Keson Çekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
Konsol Ara Dikme	32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1		
Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		

EK-8. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı II modeli 2. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Çoklu Dime	4 Kenar İşleme	Kenar Bantlama (2)	Yatay Delik	Kalibre Zımpara	Boy Kesme	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Çoklu Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara
		14	15	5	16	7	13	8	9	10	11	12	1	2	3	4	6	17	18	19	20
P A R Ç A L A R	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Yan Tabla	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Sehpa Ayak	39	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Keson Üst Tabla	5	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Keson Alt Tabla	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Geniş)	9	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Etajer Kapak	16	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla	18	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Kapak Küçük	24	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla	29	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Konsol Yan Tabla	30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla	38	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ayak	4	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Kitaplık Ayak	27	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Konsol Çekmece Klapası	35	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Konsol Ayak	36	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

EK-9. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı II modeli 2. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Kalibre Zımpara	Çoklu Dilme	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş	Yatay Bant Pres	CNC Vernik Atma (1)	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	Tutkal Sürme	Boy Kesme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara
		7	14	10	11	12	9	17	1	2	3	4	5	6	8	13	15	16	18	19	20
P A R Ç A L A R	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Keson Üst Tabla	5	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Keson Çekmece Klapası (Geniş)	9	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak	16	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla	18	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Kitaplık Kapak Küçük	24	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla	29	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla	38	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Çalışma Masası Ayak	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Ayak	27	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Konsol Ayak	36	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Sehpa Ayak	39	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

EK-10. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı III modeli 3. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara
		7	8	9	10	11	12	3	4	13	14	15	16	1	2	5	6	17	18	19	20
P A R Ç A L A R	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Konsol Ayak	36	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ayak	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	Sehpa Ayak	39	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
	Kitaplık Ayak	27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
	Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	
Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Keson Üst Tabla	5	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Etajer Kapak	16	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	

EK-11. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı III modeli 3. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş
		13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	17	18	19	20	7	8	9	10	11	12
P A R Ç A L A R	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ayak	27	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Konsol Ayak	36	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Çalışma Masası Ayak	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Sehpa Ayak	39	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Üst Tabla	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak	16	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla	18	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kitaplık Kapak Büyük	23	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Kitaplık Kapak Küçük	24	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Üst Tabla	29	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
Konsol Çekmece Klapası	35	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sehpa Üst Tabla	38	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	

EK-12. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı III modeli 3. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	CNC Vernik Alma (1)	CNC Vernik Alma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş
		13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P A R Ç A L A R	Çalışma Masası Ayak	4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Sehpa Ayak	39	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Ayak	27	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Ayak	36	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Keson Üst Tabla	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Keson Çekmece Klapası (Geniş)	9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Üst Tabla	12	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Etajer Kapak	16	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Üst Tabla	18	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
Kitaplık Kapak Büyük	23	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
Kitaplık Kapak Küçük	24	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Konsol Üst Tabla	29	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0		
Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0		
Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0		
Konsol Çekmece Klapası	35	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sehpa Üst Tabla	38	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		

EK-13. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı IV modeli 4. Problem (Talep 1000) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																			
		CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Panel Ebatlama	Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	Çoklu Delik	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş
		17	18	19	20	2	3	4	5	1	13	14	15	16	6	7	8	9	10	11	12
P A R Ç A L A R	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Konsol Ayak	36	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ayak	27	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
Çalışma Masası Ayak	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
Keson Üst Tabla	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
Etajer Kapak	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
Sehpa Ayak	39	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	

EK-14. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı IV modeli 4. Problem (Talep 500) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																				
		CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara	Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş	Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	
		17	18	19	20	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	
P A R Ç A L A R	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
	Kitaplık Ayak	27	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Konsol Ayak	36	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Çalışma Masası Ayak	4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Sehpa Ayak	39	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Keson Üst Tabla	5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	Etajer Kapak	16	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

EK-15. Gürültü faktörlü ergonomik hücre tasarımı IV modeli 4. Problem (Talep 250) için hücre formasyonu

		MAKİNELER																				
		Kalibre Zımpara	Tutkal Sürme	Yatay Bant Pres	Giyotini (1)	Giyotini (2)	Kaplama Dikiş	Panel Ebatlama	Çift Taraflı Ebatlama (1)	Kenar Bantlama (1)	Çift Taraflı Ebatlama (2)	Kenar Bantlama (2)	Çoklu Delik	CNC Vernik Atma (1)	CNC Vernik Atma (2)	Kurutma Fırını	Osilasyon Zımpara	Boy Kesme	Çoklu Dilme	4 Kenar İşleme	Yatay Delik	
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	17	18	19	20	13	14	15	16	
P A R Ç A L A R	Konsol Çerçeve Kapak Profili Uzun	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Keson Üst Tabla Kaplama	41	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (D)	42	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Keson Çekmece Klapası Kaplama (G)	43	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Üst Tabla Kaplama	44	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Etajer Kapak Kaplama	45	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Üst Tabla Kaplama	46	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kitaplık Kapak Kaplama (K)	48	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Konsol Çekmece Klapası Kaplama	50	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Sehpa Üst Tabla Kaplama	51	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Çalışma Masası Üst Tabla	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Çalışma Masası Yan Tabla	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ön Pano	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Çalışma Masası Ayak	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Keson Üst Tabla	5	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Keson Yan Tabla	6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Alt Tabla	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Klapası (Dar)	8	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	KesonÇekmece Klapası (Geniş)	9	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Keson Arkalık	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Keson Çekmece Altı	11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Üst Tabla	12	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Etajer Yan Tabla	13	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Alt Tabla	14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Ara Tabla	15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Etajer Kapak	16	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Etajer Arkalık	17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Üst Tabla	18	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Yan Tabla	19	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Alt Tabla	20	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Dikme	21	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Ara Tabla	22	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Büyük	23	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Kapak Küçük	24	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Kitaplık Arkalık	28	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla	29	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Konsol Yan Tabla	30	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Alt Tabla	31	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Ara Dikme	32	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Konsol Çekmece Klapası	35	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Konsol Arkalık	37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sehpa Üst Tabla	38	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Konsol Üst Tabla Kaplama	49	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Kısa	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Sehpa Ayak	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Masa Üst Tabla Kaplama	40	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kitaplık Çerçeve Kapak Profili Uzun	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Ayak	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Konsol Çerçeve Kapak Profili Kısa	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Konsol Ayak	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kitaplık Kapak Kaplama (B)	47	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, adı : CİRİTCİOĞLU, Hasan Hüseyin
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.08.1975 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 287 26 80 /1491
 Faks : 0 (312) 287 89 42
 e-mail : hhcirtci@gmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Hacettepe Üniversitesi /Ağaçşleri End. Müh. Böl.	2001
Lisans	Hacettepe Üniversitesi /Ağaçşleri End. Müh. Böl.	1998
Lise	Atatürk Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-	Afetişleri Genel Müdürlüğü	Mühendis
1999-2007	Hacettepe Üniversitesi	Arş. Gör.
1998-1999	TTM Müh. Müm. Tic. Ltd. Şti.	Mühendis
1998-1999	Orsan Mobilya A.Ş.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Burdurlu,E., Ciritcioğlu, H.H., Bakır, K. ve Özdemir, M., Analysis Of The Most Suitable Fitting Type For The Assembly Of Knock - Down Panel Furniture, Forest Products Journal, v(56)1:46-52,(2006)
2. Burdurlu,E., İlçe, A.C., Ciritcioğlu, H.H., Mobilya Ürün Özellikleri İle İlgili Tüketicilerin Tercih Öncelikleri, HÜ. Sosyal Araştırmalar e-Dergisi, ISSN 1304-2823, 17 Haziran (2004), Ankara.
3. Ciritcioğlu, H.H., Müzik Aleti Yapımında Kullanılan Ahşabın Genel Özellikleri, Yapı Dünyası, ISSN: 1300–977, Ekim 2000,Sayı: 55, Ankara
4. Ciritcioğlu, H.H., Ulusam, S., Kurt, M., Kapı - Doğrama Üreten Bir İşletmede Üç Temel Makinenin Operatör Kulak Seviyesindeki Ses Basınç Düzeyinin Belirlenmesi, YAEM (Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği) XXIII. Ulusal Kongresi, 3 - 5 Temmuz 2002 / İstanbul