

**ÇOK AMAÇLI HÜCRESEL İMALAT
TASARIMI VE HİDROMEK SİLİNDİR
ÜRETİM TESİSİNDE BİR UYGULAMA**

Hasan Çağatay BABACAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2008

ANKARA

Hasan Çağatay BABACAN tarafından hazırlanan ÇOK AMAÇLI HÜCRESEL İMALAT TASARIMI VE HİDROMEK SİLİNDİR ÜRETİM TESİSİNDE BİR UYGULAMA adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Fulya ALTIPARMAK

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Reşat KASAP

İstatistik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 23 / 06 / 2008

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN

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 orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hasan Çağatay BABACAN

**ÇOK AMAÇLI HÜCRESEL İMALAT TASARIMI VE HİDROMEK
SİLİNDİR ÜRETİM TESİSİNDE BİR UYGULAMA
(Yüksek Lisans Tezi)**

Hasan Çağatay BABACAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2008**

ÖZET

Hücresel imalat tasarımı, belirgin parça ailelerinin işlem gördüğü sistemlerde kullanımı yaygınlaşan bir tekniktir. Bu çalışmada, çalışmanın yapısına ve amaçlarına uygun olarak çok amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Probleme özel olarak modele “iki makineye tek operatör” atanmasını sağlayan yeni bir kısıt eklenmiştir. Kurulan model çok amaçlı olduğundan, çok amaçlı karar verme tekniklerinden, yaygın olarak kullanılan Hedef Programlama tekniği incelenmiş ve çözümün Hedef Programlama ile yapılmasına karar verilmiştir. Çalışmada sistemin genel analizi yapıp, problemin çözümünde kullanılacak yöntem belirlendikten sonra modelin çözümünden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. İki farklı amaç için iki farklı çözüm elde edilmiş ve her bir çözüm karşılaştırılmıştır. Performans ölçütlerine göre, uygun alternatif seçilmiş ve kazanımları tartışılmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.140
Anahtar Kelimeler : Hücresel imalat, hedef programlama, çok amaçlı hücresel imalat tasarımı
Sayfa Adedi : 95
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR

**DESIGN OF MULTI OBJECTIVE CELLULAR MANUFACTURING AND
AN APPLICATION AT HIDROMEK CYLINDER MANUFACTURING
FACILITY
(M.Sc. Thesis)**

Hasan Çağatay BABACAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2008

ABSTRACT

Cellular Manufacturing Design is spreaded as a theory and accepted especially in the family part processing systems. In this study, Multi Objective Mathematical Model which adequates for purposes of the study, improved. Specially for this problem, a new constraint added for providing “one operator to two machines”. Because of multi objective model, Goal Programming techniques are searched and decided solving the our model. In this study after system analysis, the results are obtained. Two different solutions obtained for two different objective and the results are compared. By the performance criterias, acceptable alternative are selected and discussed that's benefits.

Science Code : 906.1.140
Key Words : Cellular manufacturing, goal programming, design of multi
objective cellular manufacturing
Page Number : 95
Adviser : Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR'e en derin teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın uygulama kısmında benden hiçbir yardımı esirgemeyen ve destek olan Hidromek Planlama ve İç Satınalma Müdürü Sayın İlker KOCAMAN' a, yine değerli tecrübelerinden faydalandığım Hidromek Talaşlı İmalat Şefi Sayın Altan YÜZENDAĞ' a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmam boyunca her türlü maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme ve değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. SİSTEMİN ANALİZİ	5
2.1. Üretim Sisteminin Genel Analizi	5
2.2. Mevcut Sistemin Analizi Ve Bütün Sistem İçindeki Yeri	9
2.3. Mevcut Sistemle İlgili Veriler	12
2.4. Problemin Tespiti Ve Tanımlanması	15
2.5. Probleme İlişkin Veriler	16
3. HÜCRESEL İMALAT	20
3.1. Hücresel İmalat Sistemleri İçin Kavramsal Açıklamalar	24
3.2. Hücresel İmalat Sistemlerinin Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması	26
3.3. Literatür İncelemesi	36
3.4. Problemin Çözümünde Kullanılacak Yöntemin Seçilmesi	42
3.5. Çok Amaçlı Programlama	46

Sayfa

4. HİDROMEK FABRİKASI SİLİNDİR ATÖLYESİNDE UYGULAMA	53
4.1. Uygulamanın Amacı Ve Önemi	53
4.2. Silindir Atölyesi İçin Matematiksel Modelin Geliştirilmesi	54
4.3. Modelin Çıktıları	69
4.4. Alternatiflerin Karşılaştırılması Ve Uygun Alternatifin Seçilmesi	72
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82
EKLER.....	86
EK-1 Silindirhane eski yerleşim planı	87
EK-2 Eski yerleşim düzeninde millerin taşındığı mesafeler.....	88
EK-3 Eski yerleşim düzeninde boruların taşındığı mesafeler.....	89
EK-4 Eski yerleşim düzeninde arkalıkların taşındığı mesafeler	90
EK-5 Silindirhane önerilen yeni yerleşim planı.....	91
EK-6 Önerilen yerleşimde millerin taşınma mesafeleri.....	92
EK-7 Önerilen yerleşimde boruların taşınma mesafeleri.....	93
EK-8 Önerilen yerleşimde arkalıkların taşınma mesafeleri	94
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Makinelere göre üretilen modeller	6
Çizelge 2.2. Silindirhanede üretilen ürünler	10
Çizelge 2.3. Silindirlerin makinelerdeki kullanım miktarları	12
Çizelge 2.4. Silindirhanede kullanılan tezgahlar.....	13
Çizelge 2.5. Silindir alt mamulleri	13
Çizelge 3.1. Oluşan hücrelerin özet gösterimi.....	32
Çizelge 3.2. Hedef Programlama formülasyonları (Ignizio, 1982).....	51
Çizelge 4.1. Parça kodları	55
Çizelge 4.2. Makine kodları	56
Çizelge 4.3. Silindirhane için parça-makine matrisi	57
Çizelge 4.4. Silindir alt parçaları için işlem süreleri (saniye)	58
Çizelge 4.5. Silindir alt parçaları yıllık işlem hacmi.....	59
Çizelge 4.6. HP modeli sonucu alternatiflere göre hücrelere yapılan atamalar	69
Çizelge 4.7. Amaçların sapmaları için Pay-Off tablosu.....	72
Çizelge 4.8. Alternatifler için gerçekleşen harici eleman sayısı, hücre içi boşluk sayısı ve hücre içi kullanım değerleri.....	73
Çizelge 4.9. Alternatifler için hücre doluluk oranları	73
Çizelge 4.10. Dört kriter için alternatiflerin değerlendirilmesi.....	74
Çizelge 4.11. Karşılaştırmalı taşıma mesafeleri tablosu	76
Çizelge 4.12. Yıllık taşınan palet sayısı	76
Çizelge 4.13. Taşıma maliyet tablosu	77

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.14. Parçaların eski yerleşimde yıllık taşıma maliyeti	77
Çizelge 4.15. Parçaların önerilen yerleşimde yıllık taşıma maliyeti.....	78
Çizelge 4.16. Önerilen yerleşim ile eski yerleşim karşılaştırmalı maliyet tablosu	78

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İmalat iş akışı	7
Şekil 2.2. Mevcut düzende silindir mili iş akış diyagramı.....	17
Şekil 2.3. Mevcut düzende silindir borusu iş akış diyagramı	18
Şekil 2.4. Mevcut düzende silindir arkılığı iş akış diyagramı	18
Şekil 3.1. Fabrika yerleşim düzeni çeşitleri	21
Şekil 3.2. Parça makine matrisi.....	30
Şekil 3.3. Parça makine matrisinin gruplandırılmış gösterimi.....	32
Şekil 4.1. 1.Alternatif için parça-makine matrisinin düzenlenmiş şekli	70
Şekil 4.2. 2. Alternatif için parça-makine matrisinin düzenlenmiş şekli	71
Şekil 4.3. Önerilen durum için hücrelerin yerleşimi	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

M

Makine

P

Parça

Kısaltmalar

Açıklama

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

ÇAP

Çok amaçlı Programlama

Hİ

Hücreyel İmalat

HP

Hedef Programlama

GT

Grup Teknolojisi

MP

Matematiksel Programlama

1. GİRİŞ

Günümüz piyasa koşullarından, üretim sistemine giren çeşitli kavramlar olmuştur. Bunlar hız, kalite ve verimliliklerdir. Bir asır öncesinde üretilen bir mil ile bugün üretilen mil arasındaki farklar, sadece teknolojinin sağladığı farklar değil, üretim süreçlerinde meydana gelen yeniliklerden oluşan farklardan da oluşmaktadır. Artık piyasa koşulları, ekonomik şartlar ne olursa olsun imalat daha hızlı, daha kaliteli ve daha verimli olmayı gerektirmektedir.

Yaşadığımız bilgi çağında, gelişen teknoloji ile üretimde de düşünce yapısı değişmiştir. Artık bir mamulün üretilmesinden farklı olarak, yapılan çoğu çalışma “nasıl üretildiği” üzerine olmaktadır. Bu bağlamda bir çok yeni üretim felsefesi ve tekniği ortaya çıkmıştır. Öyle ki artık hemen her sistem ve her firma için bir üretim felsefesine rastlamak mümkündür.

Günümüzde kalite, maliyet ve teslimat performansını eş zamanlı olarak artırmanın en geçerli çaresi Yalın düşünce ve üretim olarak görülmektedir [Womark ve Johns, 1996]. Hücreli İmalat (Hİ) Yalın üretimde önemli aşamalardan biridir. Hİ bir sistemi mümkün olduğunca bağımsız alt sistemlere ayıran ve alt sistemlerin hızlı ve etkin çalışma yeteneğini, tüm sisteme yansıtmayı amaçlayan bir yaklaşımdır.

Bir üretim işletmesinin uzun dönem amaçları, pazardaki yerini önce korumak, sonra geliştirmek ve marka olmaktır. 1970’lerde rekabet avantajı sağlamak için ana kriter ürünlerin maliyetiydi. 1980’lerde kalite, maliyetin yerini aldı ve rekabetin önemli bir boyutu haline geldi. Günümüzde ise düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünler üretim işletmeleri için amaç olmuştur. Bu amaç aynı zamanda, gerçekleştirildiği takdirde avantaj olmaktadır. Bu avantajın sağlanmasında üretim işletmeleri için işletme içi sistemlerin geliştirilmesi ve ekipmanların yeniden düzenlenmesi önemli hale gelmiş, öncelikler arasında yerini almıştır.

Bir üretim işletmesinde, üretimi gerçekleştirilen parçalar birbirinden farklı ise işletmenin standart bir makine yerleşimine göre düzenlenmesi uygun olmaktadır. işlevsel (süreç) yerleşimde parçalar çeşitli işlemler için bir bölümden diğerine taşınmaktadırlar. Bu şekilde düzenlenen yerleşimde parçalar, zamanının büyük bir kısmını işlemler öncesinde ve sonrasında beklemeye, bölümler arasında taşınmaya ve makine ayarlamaya harcamaktadır. Bekleme, gidip gelme ve ayarlama kaybedilen zaman üretim tedarik zamanını artırmakta bunun sonucunda da düşük verimlilik oluşmaktadır.

Grup teknolojisi (GT) anlayışı, bu anlayışın üretimde uygulanması olan hücresel üretim, endüstride yapılan uygulamalardan görüldüğü üzere üretimde verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Grup teknolojisinde hücresel üretim düzenlemesi özellikle Amerika’da üretime uygulanan bir düzenleme biçimidir. İlk kez Mitrofansu ve A. P. Sokolovski tarafından 1940’lı yılların sonlarında Sovyetler Birliği’nde tanımlanmış ve ilk araştırmalar F. E. Flanders tarafından üretim ve kontrol sorunlarını gidermek için başlatılmıştır [Demir ve Gümüsoğlu, 2003]. Hücresel üretimin amacı, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmak başka bir ifade ile daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edebilmektir.

Benzer özellikler taşıyan parçaların, benzer şekilde üretilebilmeleri nedeniyle bir araya toplandığı sistemler “hücre” olarak tanımlanmaktadır. Bir hücrede benzer parça ailesini üretmek için çalışanların bir takım olarak bir araya getirilmesi ve benzer olmayan makinelerin gruplaşma stratejisi ise “hücresel imalat” olarak tanımlanmaktadır [Askin ve Zhou, 1998]. Böylesi önemli bir konuda özellikle hücre tasarımına yönelik teorik anlamda literatürde oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır [Heragu, 1994]. Buna karşılık, mevcut uygulamaların analizi ve uygulamaya alma sürecine yönelik çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır [Wemmerlöv ve Johnson, 1997]. Hücresel İmalat yerleşimi, her hücrede hangi parçaların ve hangi makinelerin yer alacağına ilişkin kararın verilmesi ile başlar. Hangi makinenin hangi hücreye atanacağı ve hangi hücrede hangi parça ailesinin üretileceği belirlendikten

sonra parça ailesini üretecek makinelerin hücre içerisinde sürekli akışı sağlayacak şekilde dizilmesi ise ikinci aşamayı oluşturur. Üçüncü aşama ise oluşturulan hücreleri, birbirleri ve montaj hatları ile arasındaki ilişkilerine göre fabrikanın genel yerleşim planına göre uygun şekilde yerleştirmektir.

Hücresel imalat sistemlerinin kurulmasındaki amaç; taşımaların enazlanması, ara stokların azaltılması ve benzer özellikteki parça ailelerinin bir araya getirilerek etkin bir üretim kontrol ve takip sistemi oluşturmaktır. Hücresel imalat tasarımı bütün sistemlere uygulanamamaktadır. Genellikle işlem süreleri kısa olan ve benzer proses özelliklerine sahip parçaların işlem gördüğü sistemlerde uygulanmaktadır. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda pek çok performans ölçütü karar vericinin önceliklerine ve amaçlarına göre eniyilenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada amaç, Hidromek Fabrikasının Silindirhane Bölümünde mevcut yerleşimde hücresel imalatın uygulanmadığı parçaları ele alarak yeni bir yerleşim önermek ve önerilen bu yeni yerleşimdeki kazanımları Firmanın öncelikleri de göz önünde bulundurularak ortaya koymaktır. Çalışmada izlenen yol, bir sistem analizi yaklaşımında izlenen yol ile aynıdır.

Mevcut düzende, silindirhanede üretimi gerçekleştirilen silindirler bu bölümde üretilirken, silindirhanenin bulunduğu holde tüm tezgahlar mevcut değildir. Kaynak işçilikleri yapılacak silindir alt parçaları kaynaklı imalat birimine taşınmakta ve işlemleri burada gerçekleştirilmektedir. Aynı şekilde talaşlı işçiliklerin bir kısmı da Talaşlı imalat biriminde işlem görmektedir. Bu düzende silindirlerin taşımaları çok fazla olmaktadır. Ayrıca silindir üretiminin, 2008 yılında faaliyete geçecek olan yeni tesiste yapılacak olması yeni bir yerleşim düzeninin yaratılmasını gerektirmektedir. Görüldüğü üzere silindirhane için iki temel problem vardır. Bunlardan birisi yerleşim diğeri de taşımaların fazla olması problemidir. Bu iki temel problem göz önüne alındığında bu çalışmadan elde edilmek istenen sonuçlar şunlardır:

- Yeni bir yerleşimin önerilmesi,
- Fabrika içi taşımaların enazlanması,
- Makineler ve parçalar arasındaki uyumun enbüyüklenmesi,
- Bir makine hücresindeki parça sayısının enbüyüklenmesi,
- Ortalama hücre kullanımının enbüyüklenmesi,

Modern imalat sistemleri ele alındığında ülkemizde pek de yaygın olmayan ama Japonya gibi gelişmiş ülkelerde sıkça rastlanılan bir imalat sistemi olan Hücreli İmalat Felsefesi bu çalışmada ele alınmıştır. Var olan problemi çözümlemede kullanılan yöntemin aşamaları ele alındıktan sonra, literatürde incelenen ve hücreli makine yerleşimi için önerilen matematiksel modeller ele alınıp, sisteme uygun yeni bir model tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu çalışmada hücreli tasarımın yapılmak istenmesinin 4 temel sebebi vardır:

- Silindir işlem sürelerinin kısa olması,
- Silindir üretimindeki temel problemlere çözüm getirebilecek bir felsefe olması,
- Parçaların imalat süreçlerinin benzer özellikte olması,
- Yeni bir yerleşim alternatifi önermesi.

Bu çalışmada öncelikle 2. Bölüm olan “Sistemin Analizi” kısmında, sistemin genel analizi, çalışmanın yapılacağı birimin analizi, problemin tespiti ve probleme ilişkin veriler anlatılmıştır. Daha sonra yine aynı bölüm içinde hücreli imalat tasarımı için yapılan çalışmalar, izlenecek yol ve kullanılacak yöntemler sunulmuştur. Yine bu bölümde hücreli imalat alanında literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Uygulama kısmında, yani üçüncü bölümde yapılan uygulamaya ilişkin olarak, uygulamanın adımları ve elde edilen ilk sonuçları verilmiştir. Sonuç bölümünde ise bu çalışmadan elde edilen sonuçlara değinilmiştir.

2. SİSTEMİN ANALİZİ

2.1. Üretim Sisteminin Genel Analizi

Hidromek firması, iş makineleri sektöründe faaliyet gösteren bir firmadır. Tasarımları tamamen yerli olan ve kendi patenti ile piyasaya sunduğu iki ana iş makinesinin üretimini yapmaktadır. Bunlardan birincisi Beko-Loder olarak piyasada satışa sunulan kazıcı-yükleyici makinedir. Diğer ise Ekskavatör'dür. Hidromek aynı zamanda Ekskavatör makinesini tasarlayan ve üreten ilk Türk firması olma özelliğini taşımaktadır.

Hidromek' de üretim 4 ana tesiste gerçekleşmektedir. Bunlar, Beko-Loder İmalat Fabrikası, Beko-Loder Montaj Fabrikası, Ekskavatör İmalat Fabrikası ve Ekskavatör Montaj Fabrikasıdır. Beko-Loder Montaj Fabrikası İzmir Gaziemir' de bulunan Ege Serbest Bölge'de faaliyetlerini sürdürmektedir. Diğer fabrikalar Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunmaktadır. Hidromek bünyesinde toplam 977 personel çalışmaktadır. Personelin ağırlıklı kısmı Ankara'daki fabrikalarda istihdam edilmiştir.

Hidromek 2005 yılında faaliyete aldığı Ekskavatör Montaj Fabrikasında 2008 yılı başı itibariyle günde 3 adet Ekskavatör üretimini gerçekleştirmektedir. Beko-Loder da ise günlük 12 adet makine üretimi yine 2008 yılı başı itibariyle gerçekleşmektedir. Satışlarının yaklaşık %50'sini yurt dışına gerçekleştiren Hidromek büyüme trendi göstermekte, bununla beraber büyümenin getirdiği sorunları da yaşamaktadır. Bu sorunların başında da üretimin planlanması ve imalatın verimliliğinin artırılması gelmektedir.

Firma siparişe göre üretim yapmakta, fakat bunun yanında hiçbir sipariş olmadığı durumda da üretimini durdurmamaktadır. Yani hem siparişe göre üretim yapılırken hem de seri üretim yapıldığı dikkat çekmektedir. Yapılan her makine müşteri tercihlerini dikkate alınarak yapılmaktadır. Burada hem Beko-Loder hem de

Ekskavatör alt modellere sahiptir. Bu modeller genel isimleri itibariyle Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Makinelere göre üretilen modeller

	BEKO-LODER	EKSKAVATÖR
MODEL 1	102 B	300LC
MODEL 2	102 S	220LC
MODEL 3	-	200W

Beko-Loder’de 2 model makine yapılmasına karşın bu makinelerin alt opsiyonları da ele alındığında (Klimalı, yükleyici, çift fren pedallı, teleskobik bomlu vb.) yüze yakın makine çeşidi, bir başka deyişle yüze yakın makine ürün ağacı çıkmaktadır. Ekskavatörde ise yukarıdaki üç tip modelde çeşitlilik çok fazla değildir. İki ana grupta toplanan ekskavatörler paletli (220LC ve 300LC) ve lastikli (200W) olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Beko-Loder’de ortaya çıkan bu çeşitlilik de üretimin planlanması, satın almanın planlanması, makine yerleşimleri, iş akışları ve parçaların gruplanması konusunda karışık problemlerin ortaya çıkmasına zemin oluşturmaktadır.

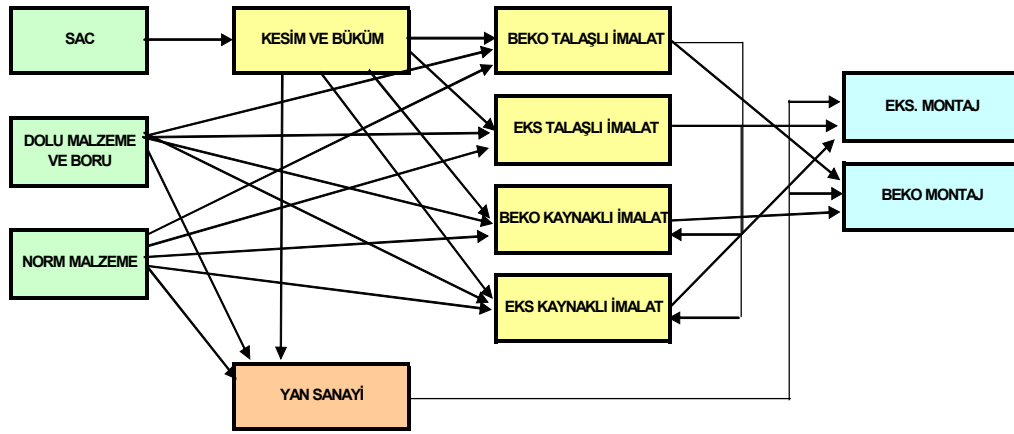
2008 yılı başına kadar Ekskavatör ve Beko-Loder imalat fabrikaları tek bir tesis de yürütülmekteydi. Üretilen iki tip makinedeki farklılıklar ve proseslerin karışıklığı nedeniyle, Sincan Organize Sanayi içinde Genişleme bölgesinde inşaatı 2007 yılı sonunda biten Beko-Loder İmalat Fabrikası 2008 yılı itibariyle Ekskavatör Fabrikasından ayrılmıştır. Bu ayrılma dolayısıyla Ekskavatör fabrikasından taşınmalar söz konusu olmuştur.

Büyüme ve taşınma gibi hususlar ele alındığında ortaya çıkacak yeni problemlere daha profesyonel yaklaşılması ve bu sorunların çözümünde mühendislik yaklaşımlarının kullanılmaya çalışılması çabası vardır.

Beko-Loder ve Ekskavatör fabrikalarında başlıca yapılan işlemler şu şekildedir:

- Kesim ve büküm
- Kaynaklı İmalat
- Talaşlı İmalat
- Montaj

İmalatın temel iş akış şeması Şekil 2.1' deki gibidir.



Şekil 2.1. İmalat iş akışı

Firmaya dışardan alınan saclar Beko-Loder fabrikasına gelir. Sac kesim ve büküm tezgahları bu tesiste bulunmaktadır. Sac stok alanına alınan saclar kumlamadan geçtikten sonra lazer kesim tezgahlarında resme göre kesilir. Daha sonra büküm işlemi var ise büküm tezgahlarında açılı büküm yapılır. Ekskavatör ve Beko-Loder için kesim ve büküm işlemleri bu bölümde yapılır.

Kesilen ve bükülen saclar daha sonra Beko-Loder İmalat yada Ekskavatör İmalat bölümlerine sevk edilir. Ayrıca yan sanayiye yaptırılan ara mamuller için yan sanayiye sevk işlemi gerçekleştirilir.

İmalat iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar kaynaklı imalat ve talaşlı imalat bölümleridir. Kaynaklı imalat kısmında kesilen sacların puntalama ve kaynak işlemleri yapılmaktadır. Ayrıca yapılan ara mamulün özelliğine göre sac dışındaki ham malzemelerde kaynak işleminde yer alır. Bunlar kısaca burçlar, borular, nipeller, somunlardır. Kaynaklı imalatı yapılan parçalar, üretim emri gerektiriyorsa talaşlı imalatta işlenebilir, boyandıktan sonra direk montaja gidebilir yada yan sanayiye gidebilir. Kaynaklı imalat bölümünde ileri teknoloji kaynak robotları, kaynak makineleri ve el kaynakları bulunmaktadır.

Talaşlı imalata gelen parçalar burada bulunan işleme merkezlerinde işlenir. Bu işlemler tornalama, delme, yüzey kaldırma, dik işleme gibi işlemlerdir. Bu bölümde genel olarak CNC tezgahları, Dik İşleme Merkezleri, Universal Tornalar, Radyal Matkaplar ve Testereler bulunmaktadır. Talaşlı imalat kısmı üç ana kısma ayrılmıştır. Bunlardan birincisi şase ve bom gibi hacim olarak büyük parçaların işlendiği ve Micro Cut olarak adlandırılan özel tezgahların bulunduğu kısım, ikinci kısım pimlerin, burçların, sacların, nipellerin ve döküm malzemelerin işlendiği kısım, üçüncü kısım ise hidrolik silindirlerin yapıldığı silindirhanedir. Talaşlı imalatta işlenen parçalar, boya işlemi varsa boyandıktan sonra Ekskavatör ve Beko-Loder montaj fabrikalarına sevk edilmektedir.

İzmir Ege Serbest Bölgede bulunan Beko-Loder montaj fabrikasına günde ortalama beş kamyon malzeme sevkıyatı Ankara’ dan gerçekleştirilmektedir. Ekskavatör fabrikası için ise malzeme sevkıyatı forkliftlerle ve diğer taşıma araçları ile yapılmaktadır.

Makinelerin üretim süreçleri göz önüne alındığında, firma içinde yapılan imalatın yanı sıra yan sanayiye de bazı parçalar yaptırılmaktadır. Burada, yan sanayiye yaptırılan parçaların, firma içinde yapmak için yeterli teknolojiye sahip olunmadığından değil, üretim sürecinde yaşanan makine dar boğazlarını ortadan kaldırmak ve yeterli alan olmadığı durumda bir sıkışıklık yaşamamak için yaptırıldığı bilinmelidir. Ancak yeni fabrikanın kurulması (Beko-Loder Fabrikası –

Genişleme Bölgesi), fiziksel alan kısıtını ortadan kaldırdığı gibi yeni makine yatırımlarını da beraberinde getirmektedir. İşte bu noktada bu çalışmaya konu olabilecek bazı problemler de ortaya çıkmıştır.

2.2. Mevcut Sistemin Analizi Ve Bütün Sistem İçindeki Yeri

Genel üretim sisteminden bahsederken makine çeşitlerine göre fabrikaların ayrılmasından söz edilmişti. Beko-Loder ve Ekskavatör makineleri için imalat fabrikaları ve montaj fabrikaları ayrı lokasyonlarda yerleşmiştir. İlk önceleri Ekskavatör imalat fabrikası ile aynı lokasyonda faaliyet gösteren Beko-Loder imalat fabrikasının 2008 yılında taşınmaya başlaması ile, yeni kurulan fabrika içinde bazı yerleşim ve yatırım problemleri doğurmuştur.

İki makine imalatının aynı tesiste yapıldığı dönemde makine darboğazları ve alan kısıtları görülmekteydi. Bu nedenle parçaların bir kısmı yan sanayiye yaptırılıbiliyordu. Aynı şekilde hem Ekskavatör hem de Beko-Loder imalat parçalarının ortak kullanıldığı tezgahlar bulunmaktaydı. Bu durum yeni fabrikaya Beko-Loder imalat bölümünün taşınması ile beraberinde yeni makine yatırımları ihtiyacını da getirmiştir.

Bu çalışmada ele alınacak bölüm, genel sistemin analizi içerisinde bahsi geçen Beko-Loder talaşlı imalat bölümüdür. Beko-Loder talaşlı imalat bölümünün yeni fabrikaya taşınması ile yerleşim problemleri ortaya çıkmıştır.

Talaşlı imalat bölümünün bir kolu olan Silindirhane bölümü yeni fabrikaya taşınan ve burada yeniden makine yerleşimlerinin yapılması gereken bir bölümdür.

Silindirhane ürünleri Beko-Loder montajına girdi oluşturan ve makine üzerindeki parçalardandır. Bundan dolayı silindirhane üzerinde çalışılması gereken bir bölümdür. Buradan çıkan ve makineye takılmaya hazır olan silindirler makinenin en önemli hidrolik aksamlarıdır. Özellikle kazıcı ve yükleyici grubu olarak adlandırılan

ve makinenin en hareketli kısımlarında bu silindirler kullanılmaktadır. Silindirlerdeki herhangi bir kalite problemini hattın durmasına yol açmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı silindirhane üzerinde çalışılması gereken bir bölümdür. Ayrıca Sincan Organize Sanayi Bölgesine açılan yeni tesis, sadece Beko-Loder parçalarının işlemlerinin yapılacağı bir fabrika olacağından silindirhanenin de buraya taşınması söz konusudur.

Silindirhane talaşlı imalat bölümü içerisinde yer almasına karşın, kaynaklı işçiliklerin de yapıldığı bir bölümdür. Beko-Loder makinelerde kullanılan silindirler, makinenin ana hidrolik aksamalarını oluştururlar. Bu aksamlar makinenin en hareketli kısımlarıdır. Bu kısımlar:

- Kazıcı grubu
- Yükleyici grubu

olarak iki kısma ayrılır. Makinenin kazıcı ve yükleyici grubunda kullanılan silindirlerin listesi Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Silindirhanede üretilen ürünler

PARÇA KODU	PARÇA AÇIKLAMASI
150/20135	SİLİNDİR, AYAK SAĞ
150/20235	SİLİNDİR, AYAK SOL
150/20470	SİLİNDİR ÖN DEVİRİCİ, SAĞ
150/20471	SİLİNDİR ÖN DEVİRİCİ, SOL
151/20275	SİLİNDİR, BEKO KIVIRICI MET.MAF.TELESKOPİK BOM
151/20390	SİLİNDİR, ÖN KALDIRICI, SOL
151/20490	SİLİNDİR, ÖN KALDIRICI, SAĞ
151/20640	SİLİNDİR, BEKO KIVIRICI MET.MAF.NORMAL BOM
153/20435	SİLİNDİR, BEKO KALDIRICI
154/20060	SİLİNDİR, AÇILIR
154/20160	SİLİNDİR, TELESKOPİK İTİCİ MET.DÜZ,103BX
155/20230	BEKO DEVİRİCİ SİLİNDİR MONTAJI (100,METRİK,FRENL)
155/25101	SİLİNDİR MONTAJI, DÖNÜŞ YENİ

Çizelge 2.2’ de verilen silindirler makinelerdeki kullanım yerlerine göre isimlendirilmiştir. Bazı silindirler her makinede kullanılırken bazıları makinenin opsiyonlarına göre kullanılmaktadır. Genel olarak üretilen silindirler makinelerde dört farklı kısımda kullanılır. Bunlar:

- Makine montajı
- Teleskobik bom montajı
- Normal bom montajı
- Açılır kepçe montajı

Makine montajında kullanılan silindirler her makinede kullanılırken, teleskobik bom, normal bom ve açılır kepçe montajında kullanılan silindirler yıl içinde yapılacak teleskobik bomlu makine, normal bomlu makine ve açılır kepçeli makine sayılarına göre değişmektedir.

Makinenin kazıcı grubu olarak adlandırılan bölüm iki opsiyonludur. Bir makinenin kazıcısı ya Normal Bomlu ya da Teleskobik (Uzayan) Bomlu olabilmektedir. Aynı şekilde makinenin yükleyici grubu olarak adlandırılan ön bölümünde de iki opsiyon bulunmaktadır. Bu makineler de ya açılır kepçeli ya da sabit kepçeli olmaktadır.

Bir yıl içinde yapılan Teleskobik Bomlu makine Oranı %70, Normal Bomlu makine oranı %30’dur. Aynı şekilde Açılır Kepçeli makine oranı %90, Sabit Kepçeli makine oranı %10’dur. Silindirlerin makinelerdeki kullanım miktarları da farklıdır. Bir makinede kullanılan silindirlerin kullanım miktarları Çizelge 2.3’ de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Silindirlerin makinelerdeki kullanım miktarları

KOD	AÇIKLAMA	ANA MAKİNE MONTAJI	NORMAL BOM MONTAJI	TELESKOPİK BOM MONTAJI	AÇILIR KEPÇE MONTAJI
150/20135	SİLİNDİR, AYAK SAĞ	1			
150/20235	SİLİNDİR, AYAK SOL	1			
150/20470	SİLİNDİR ÖN DEVİRİCİ, SAĞ	1			
150/20471	SİLİNDİR ÖN DEVİRİCİ, SOL	1			
151/20275	SİLİNDİR, BEKO KIVIRICI MET.MAF.TELESKOPIK BOM			1	
151/20390	SİLİNDİR, ÖN KALDIRICI, SOL	1			
151/20490	SİLİNDİR, ÖN KALDIRICI, SAĞ	1			
151/20640	SİLİNDİR, BEKO KIVIRICI MET.MAF.NORMAL BOM		1		
153/20435	SİLİNDİR, BEKO KALDIRICI	1			
154/20060	SİLİNDİR, AÇILIR				2
154/20160	SİLİNDİR, TELESKOPIK İTİCİ MET.DÜZ,103BX			1	
155/20230	BEKO DEVİRİCİ SİLİNDİR MONTAJI (100,METRIK,FREN)	1			
155/25101	SİLİNDİR MONTAJI, DÖNÜŞ YENİ	2			

Tüm bu bilgileri verdikten sonra şunu da belirtmek gerekir ki, günde 12 Beko-Loder yapılırken, silindirhane, darboğazların oluşabileceği bir bölüm olabilmektedir.

Silindirlerde kullanılan millerin tedariği yurt dışından yapılmaktadır. Bu millerde yaşanabilecek kalite ve temin sıkıntıları silindir üretimini direkt etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı silindir üretiminde bir de prosesden ve yerleşimden kaynaklanan kayıpların olduğu düşünülürse, silindirhanenin mevcut üretim sistemi içindeki yeri önemlidir.

2.3. Mevcut Sistemle İlgili Veriler

Mevcut düzende (Bkz. EK-1) yani, 2008 yılı başı itibariyle Beko-Loder ve Ekskavatör imalat bölümlerinin bir arada bulunduğu dönemde, iki makinede ayrı ayrı kullanılacak parçalar ortak birimlerde işlem görmektedir. Burada kaynaklı imalat birimindeki kaynak robotlarında ve makinelerinde kaynak işlemleri, talaşlı imalat biriminde ise talaşlı işçilikleri yapılmaktadır. Silindirhane de ayrı bir holde bulunmasına karşın talaşlı imalat biriminin bir alt birimidir.

Mevcut düzende silindirhanede kullanılan tezgahlar Çizelge 2.4’ de verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere silindir üretimi için kullanılan ve silindir alt parçalarının işlem gördüğü tezgahların bir kısmı kendi bulunduğu holde yer alırken bir kısmı

diğer birimler de bulunmaktadır. Özellikle CNC ve Kaynak makinelerinde işlemlerin süreleri diğer tezgahlardakine oranla yüksek sürelerdir.

Çizelge 2.4. Silindirhanede kullanılan tezgahlar

MAKİNE	MİKTAR	BULUNDUĞU YER
KAYNAK ROBOTU	1 ADET	SİLİNDİRHANE
CNC	1 ADET	TALAŞLI
DİM	1 ADET	TALAŞLI
RADYAL MATKAP	1 ADET	TALAŞLI
KAYNAK MAKİNESİ	3 ADET	2 ADET KAYNAKLI, 1 ADET SİLİNDİRHANE
EL KAYNAĞI	1 ADET	SİLİNDİRHANE
HİDROLİK PRES	1 ADET	SİLİNDİRHANE
TEMİZLEME ÜNİTESİ	1 ADET	SİLİNDİRHANE
ÜNİVERSAL TORNA	1 ADET	SİLİNDİRHANE

Silindir üretiminde bir çok alt parça yer almaktadır. Bu parçaların bir kısmı norm malzeme olarak adlandırdığımız satın alma kalemleridir (o-ring, keçe, piston gibi). Diğer kısmını ise üretim kalemleri oluşturmaktadır. Bu üretim kalemleri de kendi içinde aslında ikiye ayrılmaktadır; bunlar direk ham malzeme olarak firmaya gelenler ve burada işlem görenler ve ham malzemesi yan sanayiye sevk edilenler ve bazı talaşlı işçilikleri dışarıya yaptırılanlardır. Çizelge 2.5’ de silindir yapımında kullanılan alt mamullerin listesi yer almaktadır.

Çizelge 2.5. Silindir alt mamulleri

NO	ALT PARÇA
1	MİL
2	MİLBAŞLIĞI
3	SİLİNDİR BORUSU
4	NİPEL
5	ARKALIK
6	PİSTON
7	BOĞAZ
8	KAPAK
9	BURÇ
10	VİDA
11	PİSTON KEÇESİ
12	YATAKLAMA BANDI
13	O-RİNG
14	TOZ KEÇESİ
15	TAMPON KEÇESİ

Tabloda yer alan ve bir silindiri oluşturan alt parçalar da kendi içlerinde çeşitli geometrik ve metalurjik özelliklerine göre ayrılırlar. Fakat silindiri oluşturan alt mamul gruplarını tablodaki gibi sınıflandırabiliriz. Burada yer alan alt mamullerden Miller, Borular ve Arkalıklar silindirhanede yer alan tezgahlarda işlem görmektedir. Burçlar ve nipeller sürekli yan sanayide işlenen malzemeler olduklarından işlendikten sonra silindirhaneye gelirler. Ancak burada millerin bir kısmı tezgah kapasitesi yetersizliğinden yan sanayide ilk işlemlerini gördükten sonra silindirhaneye gelir ve diğer işlemleri burada gerçekleştirilir. Borular ve arkalıklar ise silindirhanede tüm işlemlerini tamamlarlar. Diğer alt mamuller ise satın alma kalemleridir ve direk işlem görmeden silindir montajında silindire takılırlar.

Mevcut düzende millerin tezgahlardaki işlem sırası şu şekildedir: Kaynak robotunda mil ve mil başlığı birbirine kaynatılır. Daha sonra dik işleme merkezine giden miller burada işlendikten sonra temizleme ünitesinde işlemeden ve kaynaktan doğan pisliklerden temizlenir. Temizlenen miller daha sonra hidrolik prese giderek, mile kaynatılan mil başlığına burç çakma işlemi gerçekleştirilir. Buradan çıkan miller ise silindir montajına gider.

Arkalıklar için gerçekleştirilen işlemler şu şekildedir: Arkalıklar önce hidrolik prese gelir burada bu arkalıklara burç çakma işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra buradan çıkan arkalıklar silindir borusuna çatımı yapılmak üzere kaynak makinesine sevk edilir.

Silindir borularına öncelikle radyal matkapta delik açılır, daha sonra deliği açılan borular işlenmek üzere CNC tezgahına giderler. CNC’de işlenen borular temizleme ünitesinde temizlendikten sonra birinci nipel kaynağı yapılmak üzere kaynak makinesine gönderilirler. Burada birinci nipeli kaynatılan borunun, hidrolik presden gelen arkalıklar ile el kaynağında çatımı yapılır. Çatımı yapılan boru ve arkalık birbirine tutturulduktan sonra diğer kaynak makinesinde kaynatılır. Burada ki kaynak işlemi bittikten sonra diğer kaynak makinesine giderek burada ikinci nipel kaynağı

yapılır. Bu aşamadan sonra borular silindir montajı için işlemleri tamamlanmış şekilde montaja sevk edilir.

Burada dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Silindirler çeşitli olduklarından her silindirde kullanılan miller, borular ve arkalık her ne kadar benzer işlemlerden geçse de işlem süreleri aynı olmamaktadır. Ayrıca miller ilk olarak yan sanayide işlenip silindirhaneye gelirler. Montaj işleminde ise el ile montaj yapılmaktadır.

2.4. Problemin Tespiti Ve Tanımlanması

Yeni taşınan fabrika yani Beko-Loder imalat fabrikasında birbirine paralel dokuz adet imalat holü bulunmaktadır. Her bir hol ayrı harflerle isimlendirilmiştir. Bu holler sırasıyla A, B, C, D, E, F, G, H, I holleridir. “I” holü silindirhane için ayrılmış bir holdür. Yeni yerleşimde I holünde yerleşecek olan silindirhane birimi, mevcut tezgahlara yeni tezgahlarında ilave olmasıyla, yeni bir düzene kavuşturulmak istenmektedir.

Ekskavatör imalat fabrikasında yani mevcut düzende, silindirhanede üretimi gerçekleştirilen silindirler bu bölümde üretilirken, silindirhanenin bulunduğu holde tüm tezgahlar mevcut değildir. Kaynaklı işçilikleri yapılacak silindir alt parçaları kaynaklı imalat birimine taşınmakta ve işlemleri burada gerçekleştirilmektedir. Aynı şekilde talaşlı işçiliklerin bir kısmı da Talaşlı imalat biriminde işlem görmektedir. Bu düzende silindirlerin taşımaları çok fazla olmaktadır.

Görüldüğü üzere silindirhane için iki temel problem vardır. Bunlardan birisi yerleşim diğeri de taşımaların fazla olması problemidir. Bölüm 2.5 Probleme İlişkin Veriler kısmında mevcut düzende taşıma ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca bölüm 2.3 Mevcut Sistemle İlgili Veriler kısmında mevcut yerleşim düzeni de yer almaktadır.

2.5. Probleme İlişkin Veriler

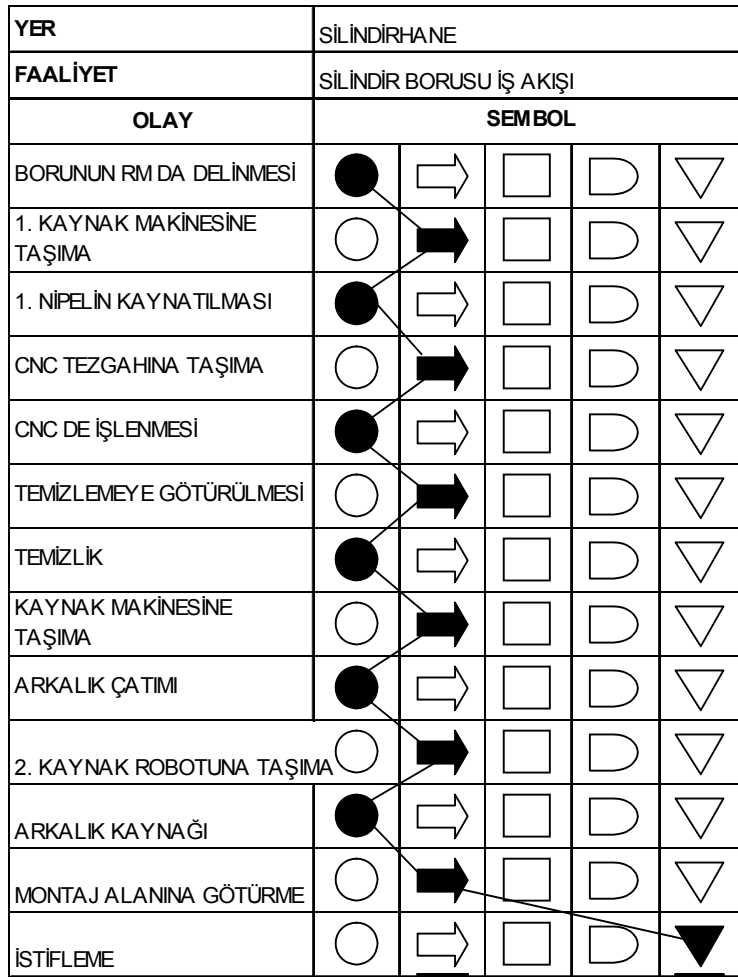
Silindirhanenin yeni tesise taşınması, burada yeterli alana sahip olması ve mevcut düzende taşımaların ilk bakışta fark edilecek kadar fazla olması üzerinde çalışılma yapılması gereken bir problem olarak karşımıza çıkmıştır. Bu probleme dair bazı veri ,bu veri sayısal ve sözel olabilir, elde edilmesi süreci gerçekleşmiştir.

İlk olarak veriler, yerinde gözlem yoluyla sözel ve mantıksal bir akış şekilde elde edilmiştir. Burada benzer prosesteki parçaların işlem sıralarına göre tek tek izlenmesi yapılmıştır. İzlemeler ve gözlemler sırasında “iş en iyi işi yapan bilir” söylemine göre parça işleniyorsa işlendiği tezgahtaki, taşınıyorsa taşıyan kişilerle de çeşitli mülakatlar olmuştur. Tüm izlemeler ve gözlemler sırasında silindirhanenin ustabaşı ve şef mühendisi sürece dahil edilmiştir. İlk gözlemler sırasında doğal parça ailelerin olabileceği izlenimi doğmuştur. İzlenen yol ise adım adım yazılı olarak dökümante edilmiştir.

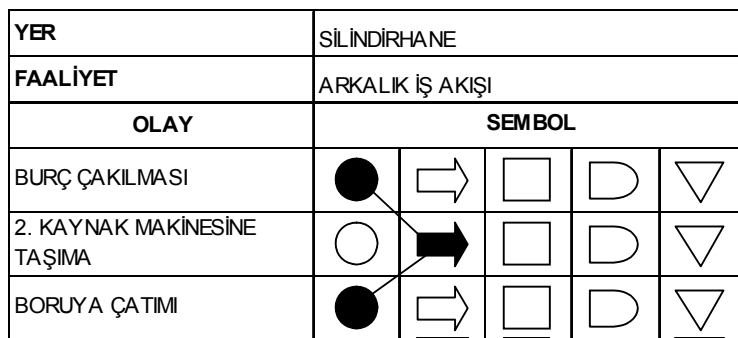
İkinci aşama rota bilgilerinin parça çıkarılması ve akış diyagramlarının hazırlanması şeklinde yapılmıştır. Burada parçaların miller borular ve silindir arkalıkları şeklinde gruplandığı belirlenmiştir. Bu sayede parça ailelerinin belirlenmesi ve hangi makinelerde hangi parçaların işleneceği bilgileri 1 ve 0 içeren matris şeklinde çıkartılmıştır. Millere, borulara ve arkalıklara ait akış diyagramları Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4’ de verilmiştir.

YER	SİLİNDİR HANE				
FAALİYET	SİLİNDİR MİLİ İŞ AKIŞI				
OLAY	SEM BÖL				
MİL VE MİL BAŞLIKLARININ KAYNATILMASI	●	→	□	D	▽
DİM TEZGAHINA TAŞIMA	○	→	□	D	▽
DİM TEZGAHI ÖNÜNE YERLEŞTİRİLMESİ	○	→	□	D	▽
DİM DE İŞLENMESİ	●	→	□	D	▽
PRES İÇİN TAŞIMA	○	→	□	D	▽
BURÇ ÇAKILMASI	●	→	□	D	▽
MOTAJ ALANINA TAŞINMASI	○	→	□	D	▽
KONTROL	○	→	■	D	▽
İSTİFLEME	○	→	□	D	▽

Şekil 2.2. Mevcut düzende silindir mili iş akış diyagramı



Şekil 2.3. Mevcut düzende silindir borusu iş akış diyagramı



Şekil 2.4. Mevcut düzende silindir arkılığı iş akış diyagramı

Üçüncü aşamada mevcut düzende yapılan taşımalar mesafe olarak önce fabrika yerleşim planı üzerinde çıkarılarak daha sonra akış diyagramlarına eklenmiştir.

En son aşama olarak zaman analizi yapılmıştır. Bu aşamadaki veri toplama çalışması sayısal verilerin toplanması şeklinde olmuştur. Hangi parçanın hangi makinene ne kadar sürede işlendiği tespit edilmiştir.

Tüm aşamalar gerçekleşirken, parçaların yıllık, aylık ve haftalık talep bilgileri, silindirlerin ürün ağaçları, kullanılan tüm malzeme listesi, silindirlerin kullanım miktarları, silindir alt mamullerinin kullanım miktarları bilgileri de elde edilmiştir. Ayrıca sisteme özel olan durumlar da tespit edilmiştir. Bunlar, ortak işlem gören parçaların olması, bazı alt mamullerin yan sanayiden işlenip gelmesi ve daha sonra diğer işlemlerinin silindirhanede yapılması gibi özel durumlardır.

Tüm analiz ve gözlemler yapılırken diğer yandan da üst yönetimin beklentileri, hedefleri, yeni yatırımları ve taşınma planına ilişkin temin süreleri gibi konular da istişare edilmiştir. Yapılacak makine yatırımları hakkında alınan bilgiler probleme ilişkin veriler olarak hesaba katılmıştır.

Probleme ilişkin veriler bölüm 3.2.1 Modelde Kullanılacak Veriler başlığı altında verilmiştir.

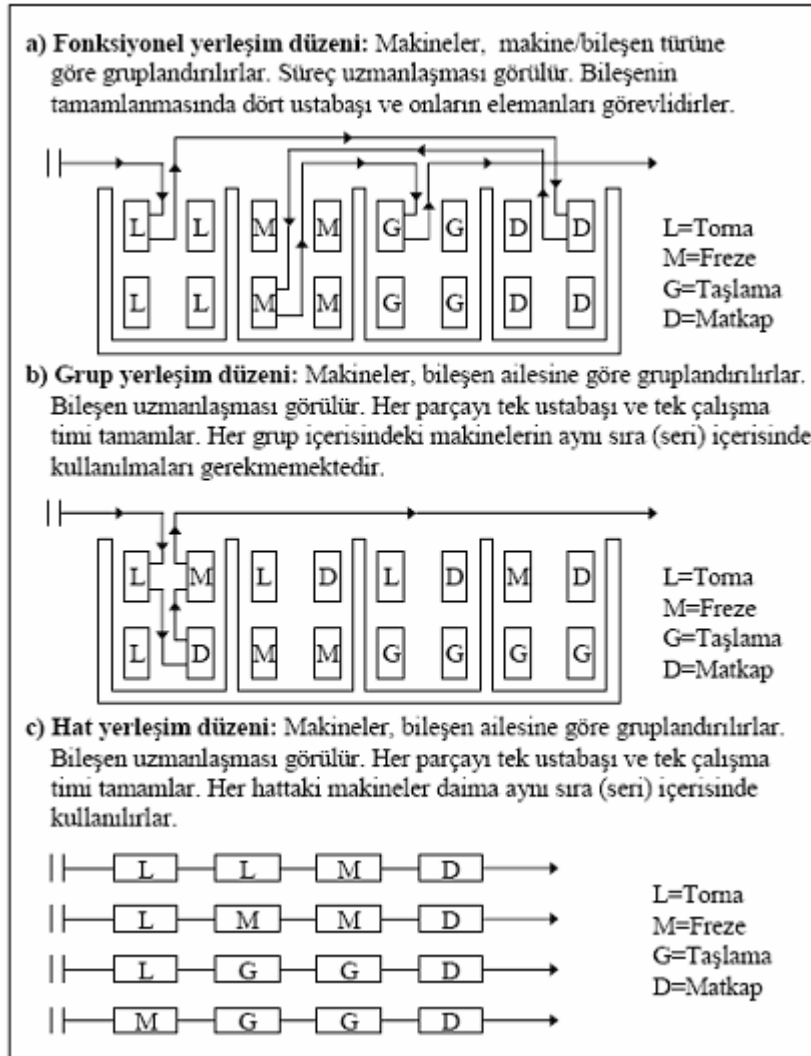
3. HÜCRESEL İMALAT

Grup Teknolojisi (GT), parti üretim sisteminde üretkenliği geliştirmek için 1940'lı yıllarda Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nde kabul görmüş bir üretim felsefesidir [Buridge, 1963]. Bu ismin verilmesi ve ilk terminolojisinin belirlenmesi Leningrad Üniversitesinde "S. P. Mitrafanov" tarafından yapılmıştır [Keimann ve Bechler, 1982]. Bundan sonra GT'nin Doğu Avrupa ülkelerinde ve sonra da Batı Avrupa ülkeleri ve A.B.D. gibi diğer ülkelerde de kullanılmaya başlanıldığı görülmüştür.

GT, sürece göre yerleşim düzeniyle benzerlik göstermektedir. İşlem görece parçaların benzer süreçlere sahip olanlarının ve benzer rota izleyenlerinin bir arada üretilmesi esasına dayanması sürece göre yerleşimin ve Grup Teknolojisinin temel ortak hedefidir. Bu nedenle bu tür sistemlerde yerleşimler, GT yerleşim düzeni ve sürece göre yerleşim düzeni iki alternatif olarak çıkar.

Bir iş atölyesi içerisinde herhangi bir parça üretilirken, bu parçanın çeşitli makine veya tezgahlarda, çeşitli aletler kullanılarak ve belirli bir işlem sırası takip edilerek üretilmesi gerekir. Böyle bir ortamda üretilen parça, üzerinde yapılması gereken ilk işlemde başlayarak örneğin, önce bir kesme makinesine, sonra bir torna tezgahına, bir matkaba, bir frezeye ve en sonunda da bir taşlama tezgahına uğrayarak yapılacak işlemler tamamlanmış olur. Bu parça böylece, üretim süreci içerisinde atölyenin bir köşesindeki işlemde başlayıp öbür köşedeki bir torna tezgahına, oradan da atölyenin değişik yerlerindeki aynı veya farklı işlemleri gören makinelerle taşınmak zorunda kalabilir. Dolayısıyla, geleneksel bir iş atölyesi ortamında bir parçanın üretilmesi için gerekli olan işlemler ve işlem sıraları karmaşık bir görünüm sergiler. İş atölyelerinde rastlanan bu karmaşıklığın başlıca nedeni fonksiyonel (sürece göre) yerleşim düzenidir.

Fonksiyonel yerleşim düzenlerinde aynı veya birbirine çok benzer olan işlemleri gören makinelerin atölyenin belirli yerlerinde toplu halde bulundukları görülür. Örneğin torna tezgahları atölyenin belirli bir yerinde, frezeler belirli bir yerde, matkaplar diğer bir yerde ve taşlama tezgahları da başka bir yerde toplu halde bulunurlar. Bu şekilde oluşturulan bir iş atölyesinde, üretilecek parçaların makineler arasındaki taşıma mesafeleri artmakta, üretimi yapan işçilerin sorumluluk sahaları birbirine karışmakta ve makine kullanım oranları azalmaktadır. İşçi, zamanının çoğunu parçanın üretimi için uygun makine ve aletleri aramakla geçirmektedir.



Şekil 3.1. Fabrika yerleşim düzeni çeşitleri

Kaynak: Burbidge, John L., The Introduction of Group Technology, William Heinemann Ltd., London, 3 (1975).

GT, iş atölyelerindeki bu belirtilen dezavantajları ve karmaşıklığı ortadan kaldırmak için geliştirilen bir yerleşim düzeni şeklindedir. GT ve diğer yerleşim düzenleri Şekil 2.5’ de görülmektedirler. GT’nin uygulandığı bir iş atölyesi birden fazla üretim hücrelerinden oluşmaktadır. Bir üretim hücresi birbiriyle benzer özellikler sergileyen parçaların üretildiği bir üretim ünitesi olarak faaliyet gösterir. Her üretim hücresi içerisinde, birbirinden farklı işlem yeteneğine sahip farklı cinsten makineler bulunabilir. Diğer bir deyişle, aynı işi gören ve aynı cinsten olan üretim tezgahlarının değişik hücreler içerisinde bir veya birden fazla olarak serpiştirilmeleri mümkündür. Dolayısıyla GT, içerisinde birçok farklı türden ürünün düşük hacimlerde ve küçük lotlar (partiler) halinde üretildiği parti türü bir üretim sisteminin geliştirilmesi için kullanılabilecek etkin bir yaklaşımdır. Çok sayıda çeşit içeren bu ürünlerin düşük talebe sahip oldukları da söylenebilir.

Üretim hücrelerinin oluşturulmalarındaki temel unsur benzer özelliklere sahip parçaların aynı üretim hücresi içerisinde üretilmeleridir. Birbirine benzer özelliklere sahip parçalardan oluşan ve aynı hücre içerisinde tanımlanabilen bu parça grubuna “parça ailesi” denir. Parçalar arasındaki bu benzerlik temel olarak aşağıdaki gibi dört başlık altında toplanabilir.

1. Geometrik benzerlik
2. Fonksiyonel benzerlik
3. Malzeme benzerliği
4. Süreç benzerliği

Parçalar arasında, bu benzerlik çeşitlerinden bir veya birden fazlası bulunabilir. Parça benzerliklerini daha geniş bir şekilde ele alarak değerlendirmek için bu araştırma sahasında yeni çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Parça benzerlikleri parça ailelerini oluşturmak için kullanılabilir düzeye gelmeden önce açık olarak tanımlanmalıdırlar. Parça-aileleri oluşturulurken parçaların ne tür benzer özelliklerinden faydalanılabileceği konusunda daha kapsamlı bir yaklaşım sunulmuştur [Lee-Post, 2000].

1. Tasarım Özellikleri

- a. Biçim
- b. Uzunluk/çap oranı
- c. Malzeme çeşidi
- d. Parça fonksiyonu
- e. Boyutlar
- f. Toleranslar
- g. Yüzey bitimi

2. Üretim Özellikleri

- a. Süreç
- b. İşlemler
- c. Makine
- d. İşlem sırası
- e. Yıllık üretim
- f. Gereken fiktürler
- e. Parti büyüklüğü

Parça özellikleri seçilirken makine süreçleriyle direkt olarak ilişkili olan özelliklerin seçilmelerine dikkat edilmelidir. Parçalar benzer geometrik ölçülere sahip olmasalar bile aynı üretim sürecini gerektirebilirler. Buradaki amaç birbirlerine en çok benzeyen parçaların aynı hücre içerisinde üretilmelerini sağlamaktır. Literatürdeki birçok kaynak incelendiğinde GT'nin “bilgisayar destekli tasarım”, “bilgisayar destekli üretim”, “bilgisayar destekli süreç planlaması” ve “bilgisayarla bütünleşik üretim” arasında en önemli yapı taşlarından biri olduğu görülür. GT uygulamalarından bir çoğu, bu sistemler içerisinde herhangi bir şekliyle mutlaka bulunmaktadır.

3.1. Hücresel İmalat Sistemleri İçin Kavramsal Açıklamalar

Hİ, GT’ nin bir uygulama çeşididir. Hİ “esnek üretim sistemlerinin” ve “bilgisayarla bütünleşik üretimin” teknolojik temelini oluşturmaktadır. Hİ’ ye ikinci nesil GT olarak bakılabilir. Hücresel imalat, çeşitlilik gösteren ürünleri mümkün olan en kısa sürede ve en az maliyetle üretmeye çalışan bir yaklaşımdır. Her bir hücre; iş istasyonlarının, makinelerin veya ekipmanların bir ürün veya birbirine benzer parça ailesinin üretilmesi için bir araya getirildiği, beklemleri ve taşımayı minimize eden bir yapıdadır. Hücreler, bir süreci, bir parçayı, tüm bir ürünü veya bir parça gurubunu imal etmek için tasarlanabilir [Olexa, 2002].

Bir imalat hücresi, belirlenen parça için ihtiyaç duyduğu tüm üretim kaynaklarını bir grup altında toplayarak ürün veya yarı mamul haline getirmeyi amaçlamaktadır. Hücreler sayesinde tüm üretim kaynakları birbirlerine yakın olmalarının getirdiği kolay izlenebilme ve iletişim avantajlarından faydalanmaktadır. Hücreler, değişken üretim ihtiyaçlarının en hızlı şekilde karşılanabilmesi için esnek olarak tasarlanırlar [Chaneski, 1998].

Bir parçanın üretiminde, malzemenin bu bölümler arasında, belki de defalarca gidip gelmesi gerekecektir. Üretim akışının değişkenliği sonucu malzeme akışı karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşıklık üretim programlarının hazırlanmasında güçlükler yaratmakta ve bazı istasyonlarda kuyruklar ve bunun sonucu olarak da ara stoklar oluşmaktadır [Soyuer, 1995]. Her hücre, belli bir parça ailesini üretecek şekilde tasarlanmıştır. İmalat hücrelerinin avantajı, istenilen parçayı minimum malzeme, ekipman, işgücü, zaman ve alanda üretebilmesidir. Bunların doğal sonucu olarak da üretim maliyetleri düşmektedir. Kısaca hücresel imalat sistemleri ile bekleme süreleri kısaltmakta çünkü imalat hücresi içerisinde üretim hazırlık süreleri bulunmamaktadır, işgücü hareketi azalmakta çünkü istenilen tüm parçalar hücre içerisinde hazır halde bulunmaktadır ve malzeme taşıma miktarları azalmakta çünkü departmanlar arasında her bir işlem için ayrı ayrı taşıma yapılmamakta, gerekli işlemlerin makineleri hücre

içerisinde bulunmaktadır. Ancak hücresel imalatın her ne kadar yukarıda belirtilen avantajları bulunsa da, bir parça ailesi için gerekli olan tüm operasyonların tek bir hücrede yapılması bazı durumlarda pratikte mümkün değildir.

Belirli bir hücrede üretilen tüm parçalar benzer üretim süreçlerine sahip olacakları için makinelerin hazırlık zamanlarında kısalma olur. Buna bağlı olarak üretim tedarik zamanları da kısalır. Aletler ve fişürler genelde hücre sınırları içerisinde depolanacakları için bunlara ulaşmak daha kolay olacak, sayılarında ve çeşitlerinde de azalma görülecektir. Bu da hazırlık süresinde kısaltmaya yardımcı olan diğer bir etkidir. Bütün bunların neticesinde üreticinin tüketici taleplerine cevap verme süresi kısalır.

Malzemelerin akışları Hİ sayesinde daha etkin yönetilebilir. Hücreler içerisinde üretim aşamalarından birçoğu yerine getirilebildiği için üretilen parçaların hücreler arası hareketleri minimum düzeye iner. Dolayısıyla parçalar tüm tesis boyunca daha az hareket ederler. Atölyeye yalın bir iş akışı egemen olur.

Her hücre belirli sayıda birbirine benzer parça üzerinde uzmanlaştığı için hücre içi üretilen parçaların kalite kontrolü kolaylaşır. Uzmanlaşan ve kontrolü kolaylaşan parçalar daha kaliteli üretilmeye başlanır. Dolayısıyla bütün bileşenler bir araya getirildiğinde tüm ürün kalitesinde bir artış gözlenir.

Hücreler içerisinde çalışan iş gören sayısı azalacağı ve bunlar da bir takım ruhu içerisinde çalışacağı için iş tatmini artar. Bu iş görenler beraberce çalışarak hammaddeleri bitmiş parçalara dönüştürürler. Artan iş tatmini iş görenlerin verimlilik ve motivasyonlarını artırır.

Parçaların üretim aşamalarının bir çoğunun ait oldukları hücre içerisinde bitiriliyor olması her türlü sayım ve muhasebe işlemlerini kolaylaştırır. Herhangi bir parçayı maliyet merkezine doğru izlemek kolaylaşır. Hİ ile beraber artık her makinenin başına bir işçi vermeye gerek kalmaz. Makine başına düşen işçi sayısında azalma

görülür. Bu durum direkt işçilik maliyetlerini azaltır. Makine hazırlık zamanlarının azalması nedeniyle en direkt işçilik maliyetleri de azalır. Makinelerin hazırlıklarıyla ilgilenen uzman işçi sayısında da azalma görülür.

3.2. Hücresel İmalat Sistemlerinin Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması

Hücresel imalatın güçlü ve zayıf yönleri

Hücresel üretim sisteminin sistem performansına yönelik sağladığı üstünlükler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [Singh ve Rajamani, 1986].

- Malzeme taşıma azalır: Hücresel üretim sistemi yerleşiminde, parça bir hücre içerisinde islenir. Böylece, parçanın gezinme zamanı ve uzaklık minimum olacağından malzeme taşıma da azalır.
- Üretim süresi kısalır: Hücresel üretim sisteminde akış tipi üretimin avantajından yararlanılarak parçaların üretim süresinde azalma sağlanabilir.
- Ayarlama süresi azalır: Hücresel üretim sisteminde benzer parçalar gruplandırıldığından bu parçalar için benzer biçimlendirmeler gerekmektedir, bu da ayarlama süresini azaltmaya yardımcı olur. Esnek üretim sistemlerinin gelişimi ile sağlanan otomatik takım değiştiricileri tarafından ayarlama azalma, işleme süresinde azalma, düşük maliyette yüksek kaliteli ürünler üretme gerçekleştirilebilmektedir.
- Parti büyüklüğü küçülebilir: Hücresel üretim sisteminde ayarlama süresi büyük ölçüde azaltıldığından küçük partilerin yapılması ekonomik olmaktadır.
- Sistemdeki parça sayısı azalır: Hücresel üretim sisteminde üretim süresi azalacağından sistemde bulunan parça sayısı ve süreç içi stok miktarı daha düşük olacaktır.
- Teslim zamanı doğru belirlenir: Önceden tanımlanmış miktardaki bir tip parçayı üretmek için hücrenin yeterliliği teslim zamanının daha doğru ve güvenilir olarak belirlenmesini sağlamaktadır.

- Makine kullanımı azalır: Ayarlama sürelerinin azalmasından dolayı makinenin etkili kapasitesi artmaktadır, bu da daha düşük bir kullanıma yol açmaktadır.
- Yatırımın geri dönüşü hızlıdır: Makinelerin tekrar yerleşimi ve kayıp üretimden dolayı oluşan maliyetler kolaylıkla stoktan, makinelerin etkili kullanımından, emekten, kaliteden ve malzeme kullanımından tekrar kazanılabilmektedir.
- Emek tasarrufu sağlar: Hücresel kullanım düzeyinin düşük olmasından dolayı, bir işçiyi birden fazla makineye atayarak işgücünün kullanımını daha iyi yapmak mümkündür. Kalite çalışmaları kolay yürütülür: Parçalar tek birimler yada küçük partiler halinde bir istasyondan diğerine hareket ettiğinden, parçalar küçük bir alan içinde tam olarak islenir, geri dönüş hızlıdır ve süreç hatalı giden şeyin ne olduğunu bulmak için durdurulabilmektedir.
- Alan kazanımı olur: Sistemdeki parça sayısındaki azalmadan dolayı, yeni makineler eklemek ve genişleme için önemli ölçüde kullanılabilir alan kazanılabilecektir.

Pek çok üstünlüğünün yanı sıra hücresel üretim sisteminin bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır [Taylor ve ark., 2006]. Bunlar:

- Parça ailelerinin belirlenmesindeki zorluklar: Parça ailelerinin oluşturulması ve hücrelere makinelerin atanması her zaman kolay olmayabilir. Tasarımları dikkate alınarak belirlenen parça aileleri imalat işlemleri açısından bakıldığında uygun olmayabilirler.
- Hücreler arasında iş yüklemesinin dengelenmesindeki zorluklar: Bir hücre içerisindeki iş akışının dengelenmesi bir montaj hattının dengelenmesinden daha zordur, çünkü parçalar hücre içerisinde farklı sıraları takip edebilmektedirler ve bu da farklı makineler ve işlem süreleri gerektirmektedir. Yanlış dengelenmiş hücreler çok verimsiz olabilir. Bir hücrenin çok yüklenmesi ve diğerinin boş olmaması için sistemde yer alan hücreler arasında iş yüklemesinin dengelenmesi çok önemli olmaktadır.

- Çalışanların eğitilmeleri gerekir: Farklı görevler için çalışanların eğitilmesi masraflıdır, zaman alır ve işçiler arasında bir işbirliği gerektirmektedir.
- Yeniden düzenlemenin getirdiği ek maliyetler: Hücresel üretim sisteminde çoklu küçük makineler, tek büyük makinelere tercih edilmektedir. Farklı hücreler için aynı tip makinelerden ek olarak satın alınması gerekebilmektedir. Ayrıca makinelerin taşınması dolayısıyla fabrikanın bir süre çalışamaz hale gelmesinin maliyeti de yüksek olabilmektedir.

Hücresel imalatın uygulanabileceği durumlar

Hİ diğer yerleşim düzenleri ve üretim sistemleriyle karşılaştırıldığında, iş atölyesini andıran, orta büyüklükteki ve orta hacimdeki işletmelerde kullanılmaya daha yatkındır. İşletmelerin Hİ'ın faydalarından eksiksiz yararlanabilmeleri için ürettikleri ürün ve süreçlerinin buna uygun olması gerekir. Eğer bir işletme ürüne göre yerleşim düzenini başarıyla uygulayabiliyor ve üretim hattını dengeli kılabiliyorsa Hİ'ı denemesine gerek kalmaz. Benzer şekilde, baraj, köprü, metro gibi, bitirilmeleri için birçok işlemin ürünün tüketileceği yerde tamamlanmasını gerektiren projelerde Hİ'a göre bir düzen arayışı genel olarak anlamsızdır.

Hİ'ın kuruluş aşamasındaki 20 adet üretim işletmesi üzerinde A.B.D. de yapılan bir çalışmada en yaygın görülen problemlerin üç konu üzerinde odaklandığı görülmüştür. Bunlardan ilki örgütsel değişim ve buna dayalı olarak iş gören direnişi, ikincisi parçaların sınıflandırılması, kodlanması ve planlama, üçüncüsü de üretim hücre kavramının yönetilmesidir. Hİ'a olan yapısal değişimin yerine getirilmesinde eğer bazı eksik kalan yanlar olursa elde edilecek faydalarda da eksiklikler olur. Yönetimin, ödeme sisteminin, üretim planlama ve kontrolünün ve diğer bütün sistemlerin yeni organizasyona uygun olarak değiştirilmeleri gerekir.

Hİ'ı kullanabilecek işletmelerde bu üretim sisteminin ve GT yerleşim düzeninin yaygın olmamasının sebebi bu işletmelerin şu anki mevcut yerleşim düzenleri içerisinde karlı bir şekilde çalışıyor olmalarıdır. Bu işletmelerin müdürleri Hİ'dan

gelecek yeni kar artışlarına belirsizlik gözüyle bakmakta ve yeniden bir örgütlenmeye gitme ihtiyacı hissetmemektedir. Hİ' in belirli yatırımlar gerektirmesi, iş çeşitliliğini azaltması, grupların ve ailelerin belirlenmesinin güçlüğü gibi birçok soru yöneticilerin kafalarını kurcalar. Atölye içerisinde fazla bir çaba gerektirmeden, doğal olarak bazı parça ailelerinin neler olduğu rahatlıkla anlaşılabiliriyorsa hücresel yerleşim düzeni fonksiyonel yerleşim düzenine göre üstünlük taşır. Fakat doğal parça aileleri bulunamıyorsa makine hücrelerinin tanımlanması güçleşecektir. Bu durumda fonksiyonel yerleşim düzenini kullanmak daha etkin olabilir.

“Shafer ve Meredith” tarafından 1992’de yapılan bir simülasyon çalışmasında üç Hİ işletmesinin benzetimi yapılmış ve bazı faktörler değiştirildiğinde Hİ’ tan sağlanan faydaların azalmakta veya artmakta olduğu gözlemlenmiştir. Bu faktörler şunlardır:

1. Parçaların üretilmeleri için gereksinim duyulan ortalama makine sayısı arttıkça Hİ’ in faydaları azalır, azaldıkça artar.
2. Parti büyüklüğü küçüldükçe Hİ’ in faydaları azalır, büyüdükçe artar.
3. Parça başına düşen makine işlem süreleri kısaldıkça Hİ’ in faydaları artar, uzadıkça azalır.
4. Doğal parça aileleri varsa Hİ’ in faydaları artar, yoksa azalır.
5. Uygun olmayan kapasitede üretim süreçleri varsa Hİ’ in faydaları azalır, yoksa artar.

Böylece denilebilir ki, Hİ’ ı sınırlayıcı iki temel konu vardır. Birincisi, diğer üretim sistemleri ve yerleşim düzenlerini kullanmak daha uygun olduğunda Hİ’ ta ısrar edilmemesidir. İkincisi ise, Hİ’ in uygun olması durumunda onu kurarken ve kurduktan sonra yaşanan sorunlardır. Hİ’ ı kurmak için fabrika yeniden düzenlenirken

sadece teknik mühendisliğin baskın olduğu problemlerle değil, aynı zamanda insan unsurunun baskın olduğu problemlerle de ilgilenilmelidir.

Hücresel imalat sistemi kurma aşamaları

Matris yapısı, elemanları ve oluşturulması

Hücresel İmalat sistemlerinin yapısı genel olarak hangi parçanın hangi makinede işlendiği bilgisine dayalıdır. Burada bu yapıyı ifade etmek için iki boyutlu matrisler ifade edilmektedir. Bunlara literatürde parça-makine matrisleri denilmektedir. Bu matris de parçalar ve makineler satırları ve sütunları oluşturur. Genel gösterim Şekil 2.6’ daki gibidir.

		MAKİNELER					
PARÇALAR		1	2	3	4	5	6
	1		1			1	
	2						
	3	1		1	1		1
	4		1	1		1	
	5		1		1		1
	6	1	1		1		1
	7	1		1		1	
	8				1		
	9	1	1		1		
	10		1	1	1		1
	11		1		1	1	
	12	1					1
	13			1		1	
	14		1	1	1		

Şekil 3.2. Parça makine matrisi

Şekil 2.6’ da 14 adet değişik parça ve 6 adet değişik makine bulunmaktadır. Eğer herhangi bir parça, herhangi bir makinede işlem görüyorsa o parça ve o makinenin matriste kesiştiği yerde “1” bulunur. Söz konusu parça o makinede işlem görmüyorsa

matristeki kesişim yerlerinde “0” veya boşluk bulunur. Örneğin 1. parça, makine 2 ve 3 de işlem gördürülerek üretilir. 7. parçanın üretilmesi için ise makine 1, 3 ve 5 de işlem görmesi gerekir.

Bu çeşit bir matris sadece parçaların gereksinim duydukları makineleri göstermekte, fakat parçaların hangi makineye önce, hangilerine de sonra uğrayacağını belirten işlem sıralarını göstermemektedir. Ayrıca buradaki varsayımlardan bir diğeri de üretilen her parçanın eşit hacimli olduklarıdır.

Parça-makine görünüm matrisinde satırlar m ve sütunlar n ile gösterilirse $m \times n$ boyutlu bir matris oluşmaktadır. Matrisin satır permütasyonları $m!$ kadar, sütun permütasyonları da $n!$ kadar olur. Herhangi bir satır veya sütunun yeri değiştirilerek alternatif yeni bir matris oluşturulabilir. Bu şekilde satır ve sütunların permütasyonlarına göre oluşturulabilecek alternatif matris sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$A_{m \times n} = m! \times n! \quad (3.1)$$

Şekil 2.6’daki parça-makine görünüm matrisinde parçaların (sütunların) ve makinelerin (satırların) sıraları değiştirilerek matris içerisindeki “1” ile gösterilen değerlerin belirli sayıda oluşacak gruplar içerisinde toplu halde bulunmaları sağlanabilir. Bunun sağlandığı bir oluşum Şekil 2.7’deki matriste gösterilmektedir.

Şekil 2.7’de matrisin sol üst köşesinden sağ alt köşesine doğru uzanan iki tane grup bloğu oluşmaktadır. Bu şekilde oluşan matris “blok-köşegen matris” adını alır. Makinelerin ve parçaların oluşturdukları hücreler Çizelge 2.6’daki gibi özetlenebilir.

		MAKİNELER					
		1	2	3	4	5	6
PARÇALAR	1		1			1	
	2	1		1			
	3	1	1	1			1
	4		1	1			
	5	1	1	1			
	6	1	1				
	7	1				1	
	8				1	1	1
	9				1	1	1
	10				1		1
	11				1	1	1
	12						1
	13				1	1	
	14		1		1		1

Şekil 3.3. Parça makine matrisinin gruplandırılmış gösterimi

Çizelge 3.1. Oluşan hücrelerin özet gösterimi

Hücre No	Makine	Parça
1	1,2,3	1,2,3,4,5,6
2	4,5,6	7,8,9,10,11,12,13,14

Makine-gruplarının ve parça-ailelerinin belirlendiği bu şekildeki problemlere literatürde “makine-hücre oluşturma” veya “makine-bileşen gruplandırma” gibi değişik isimler verilebilmektedir [Mahdavi ve, Iraj, 2000]. Verilen bu örnekte, hücrelerin oluşturulması problemi, matristeki satır ve sütunların yerleri değiştirilerek deneme yanılma yöntemi ile çabucak çözülebilmektedir. Bu örnek, bir “blok-köşegen” yapının kolayca oluşabildiği ve başlangıç için konunun anlaşılmasında kolaylık olması amacıyla seçilmiş bir örnektir. Matrisin içerisindeki bu üç tane hücrenin dışarısında kalan herhangi bir “1” bulunmadığı için, hücreleri oluşturan “blok-köşegen” yapı net bir şekilde oluşmaktadır. Blok-köşegen yapının dışında kalan herhangi bir “1” girdisi olduğunda buna “istisnai eleman” denir. Gerçek hayatta yukarıdaki gibi “blok-köşegen” yapının “istisnai eleman” olmadan oluştuğu ve kolayca çözülebilen bir örneğe rastlamak oldukça güçtür. Fakat hemen şunu

belirtmekte fayda vardır ki, ulaşılması istenen hedef mümkün olduğunca bu pürüzsüz “blok-köşegen” yapının oluşturulmasıdır. Blok köşegen yapının dışarısında kalan istisnai elemanlar “darboğaz (bottleneck) parçalar” ve “darboğaz makineler” olmak üzere iki çeşittir.

Darboğaz parçalar kısaca, blok-köşegen yapının dışarısında kalan “1” değerlerinin karşısında bulunan parçalar olarak ve aynı şekilde darboğaz makineler de yine, blok-köşegen yapının dışarısında kalan “1” değerlerinin karşısında bulunan makineler olarak tanımlanabilir. Darboğaz bir parçanın üretiminin tamamlanabilmesi için tek bir hücre yetmemekte, diğer hücre veya hücrelerden de yararlanmak gerekmektedir. Darboğaz bir makine ise, birden fazla parça ailesine ait olan parçaların üretiminde kullanılan bir makinedir.

Şekil 2.7’de blok-köşegen yapıya makineler ve parçalar için eş zamanlı olarak ulaşıldığından, blok-köşegen yapı dışındaki bir “1” girdisi hem darboğaz parçayı hem de bunun karşılığı olan darboğaz makineyi temsil etmektedir. Örneğin Şekil 2.7’de 2 nolu parça dar boğaz parça ve 5 nolu makine darboğaz makinedir.

İş atölyesindeki mevcut makineler blok-köşegen yapıyla oluşan hücrelerden hangisine aitse onun içerisindeki parçaların üretimine odaklanmaktadırlar. Dolayısıyla, blok-köşegen yapı dışında kalan darboğaz parçalarının üretilmeleri bu parçaların hücreler arasında taşınmalarına neden olmaktadır. Bu da, her hücrenin kendi içerisindeki üretim akışında aksaklıklara neden olmaktadır. Eğer darboğaz parçalarının mevcut blok-köşegen yapı dışında ayrı bir hücre veya hücreler oluşturularak üretilmeleri istenirse, bunun için ek yatırım gerekir. Mevcut blok-köşegen yapı dışında oluşturulan her yeni hücre için darboğaz makinelerinden birer tane daha almak gerekir. Buna literatürde makine duplikasyonu denir. Ayrıca iş atölyesinin mevcut yüzölçümü kapasitesi de yeni bir hücreyi barındırmak için yeterli olmayabilir. Bu da, ek arsa ve bina yatırımı gerektirir.

Hücre performans ölçütleri

Hücre oluşturmanın amacı, içerdiği parça makine sayısı bakımından küçük olan bağımsız hücreler elde etmektir. Bu hücreleri kontrol etmek kolaydır. Hücredeki boşluklar ve istisnai elemanlar hücre büyüklüğü ve hücre etkileşimi ile ilişkilidir. Bir başka açıdan bakıldığında, hücre oluşturmanın amacı, boşluklar ve istisnai elemanların ağırlıklı toplamının enazlanmasıdır.

Amaç bu olduğunda, hücre büyüklüğü (parça ve makinelerin sayısı) ve dışta kalan parçaların sayısı (hücreler arası etkileşim) arasındaki ödünleşme göz önünde bulundurulmalıdır. Büyük hücrelerde üretimi planlama, çizelgeleme ve genel olarak kontrol yapmak zordur. Diğer taraftan küçük hücreler ise daha fazla sayıda dışta kalan parçaya neden olabilir ve bu yüzden hücreler arasında daha fazla koordinasyona gereksinim duyulur. Boşluklar ve istisnai elemanlar hücre içinde ve hücreler arasında malzemenin taşınması ile ilgili bilgileri açıklayabilir.

Herhangi bir iş atölyesinin tamamı tek bir hücre olarak düşünülürse, sistemi tek bir matris şeklinde göstermek mümkündür. Oluşturulabilecek enaz hücre sayısı birdir. Dolayısıyla, iş atölyesinin tamamı olan bu tek hücre dışarısında kalan hiçbir istisnai eleman bulunmayacaktır. Böylece denilebilir ki, oluşturulmak istenen hücre sayısı arttıkça istisnai eleman sayısında artma eğilimi görülür ve hücre sayısı azaldıkça da istisnai eleman sayısı azalır. Parça-makine görünüm matrisindeki “0” ve “1” girdilerinin hepsi dahil olmak üzere toplam eleman sayısı $m \times n$ kadardır. Diğer bir anlatımla, satır sayısı ile sütun sayısının çarpımı toplam eleman sayısını verir. Şekil 2.6 ile gösterilen örnekteki toplam eleman sayısı $14 \times 6 = 84$ dür. Eğer her parça, her makinede işleme tabi tutuluyor olsaydı, atölyedeki toplam işlem sayısı 84 olacaktı. Ancak, her parça yalnızca belirli makinelerde işleme tabi tutulduğu için, toplam işlem sayısını bulurken yalnızca “1” girdilerinin sayılması gerekir. Örnekteki toplam işlem sayısı 34 dür. Bu verilenler Eş. 2.2’ye konulursa atölye işlem yoğunluğu bulunur.

$$A = \frac{I}{E} \quad (3.2)$$

Eşitlikte

A = Atölye işlem yoğunluğu,

I = Atölyedeki toplam işlem sayısı (“1” girdilerinin sayısı),

E = Atölyedeki toplam eleman sayısı (“1” ve “0” girdilerinin sayısı) dır.

Oluşturulmak istenen hücre sayısı önceden belirlenir ve her hücreye düşen işlem yoğunluk düzeyinin de eşit olduğu varsayılırsa, hücre başına düşen ortalama işlem yoğunluk düzeyi şöyle hesaplanabilir:

$$Y = \frac{I \times Q}{P \times M} \quad (3.3)$$

Burada;

Y = Hücre başına ortalama işlem yoğunluğu,

Q = Hücre sayısı,

P = Parça sayısı,

M = Makine sayısıdır.

Hücre başına düşen işlem yoğunluğunu blok-köşegen yapı oluşturulduktan sonra hesaplamak daha mantıklıdır. Blok-köşegen yapı oluşturulduktan sonra hücre başına düşen işlem yoğunluğu aynen atölye işlem yoğunluğunda olduğu gibi hesaplanır. Her hücre başlı başına bir atölyeymiş gibi düşünülür.

$$H = \frac{X}{W} \quad (3.4)$$

Burada;

H = Hücre işlem yoğunluğu,

X = Hücredeki toplam işlem sayısı,

W = Hücredeki toplam eleman sayısıdır.

Literatürde değişik performans ölçütlerine rastlanır. Chandrasekharan ve Rajagopalan “gruplama verimliliği” adını verdikleri, gruplar (hücreler) arası işlem hareketlerinin miktarını gösteren bir performans ölçütü geliştirmişlerdir [Chandrasekharan ve Rajagopalan, 1986].

Miltenburg ve Zhang , Chandrasekharan ve Rajagopalan tarafından sunulan “gruplama verimliliğini” geliştirerek, “gruplama ölçütü” adını verdikleri bir performans ölçütü sunmaktadırlar. Miltenburg ve Zhang diğer bir performans ölçütü olarak “kümeleme ölçütünü” sunmaktadırlar. Buradaki amaçsa, blok-köşegen matristeki tüm “1” girdilerinin, matrisin köşegenine olan geometrik uzaklıklarının bulunmasıdır [Miltenburg ve Zhang, 1991].

3.3. Literatür İncelemesi

Üretim hücrelerinin tasarımı gerçekleştirilirken göz önünde bulundurulması gereken faktörler vardır. Hİ kümeleme algoritmaları, “arzulanan bir çözüm üretip üretmemesi”, “algoritma uygulanırken kullanıcı müdahalesi gerektirip gerektirmemesi” ve “başlangıç değerler veya parametreler gerektirip gerektirmemesi” olmak üzere üç açıdan incelemiştir. Aşağıda sıralanan amaçların bu algoritmalarda bulunup bulunmadığını karşılaştırılmıştır [Cheng ve Ark., 1995]:

- Darboğaz parçaları yüzünden hücreler arası hareket sayısının enazlanması.
- Darboğaz parçaları yüzünden hücreler arası hareketlerin maliyetinin enazlanması.
- Darboğaz parçaların üretim maliyetinin enazlanması.

- Tüm parçaların üretim maliyetlerinin enazlanması.
- Malzeme taşıma maliyetinin enazlanması.
- Süreçteki iş maliyetinin enazlanması.
- Herhangi iki parça arasındaki uzaklık toplamalarının enazlanması.
- Makineler ve parçalar arasındaki uyumun enbüyüklenmesi.
- Ortalama hücre kullanımının enbüyüklenmesi.
- Hücre içi iş yükü dengesizliklerinin enazlanması.
- Hücreler arası iş yükü dengesizliklerinin enazlanması.
- Bir makine hücresindeki parçaların sayısının enbüyüklenmesi.
- Makinelerin maliyetinin enazlanması.
- Hazırlık maliyetinin enazlanması.

Bunlara benzer başka çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür. Yapılan bu çalışmalarda bile, tüm faktörlerin ele alınıp alınmadığı tartışılabilir. Bütün faktörlerin sadece tek bir yöntem içerisinde toplu halde kullanılıp uygun bir hücre tasarımının ve uygun hücre miktarlarının belirlenmesi pratik olarak olanaksızdır. Dolayısıyla Hİ sisteminin ilk ortaya çıktığı günden bu yana hücre tasarım kararlarının tek tek veya gruplar halinde ele alındıkları çok sayıda algoritma geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Miltenburg ve Zhang (1991) GT hücre oluşturma problemlerini çözmede aşağıdaki dokuz algoritmayı karşılaştırmışlardır:

1. Sıralama düzeni kümeleme (ROC)
2. Benzerlik katsayısı (BK)
3. Benzerlik katsayısı ve sıralama düzeni kümeleme
4. Birinci algoritmanın modifiye edilmiş şekli
5. İkinci algoritmanın modifiye edilmiş şekli
6. Üçüncü algoritmanın modifiye edilmiş şekli
7. İdeal çekirdek kümeleme

8. Benzerlik katsayısı ve ideal çekirdek kümeleme

9. Bağ enerji (BE)

Rajagopalan ve Batra (1975) hücrelerin oluşturulmasında “Çizge kuramsal (ÇK)” yöntemini de uygulamış ve böylece burada genel olarak ele alınacak yedi yöntemden söz etmiştir:

1. Sıralama düzeni kümeleme (ROC)
2. Bağ enerji (BE)
3. Satır ve sütun maskeleme (SSM)
4. Benzerlik katsayısı (BK)
5. K-ortalamları (KO)
6. Matematiksel programlama (MP)
7. Çizge kuramsal (ÇK)

Rajamani ve ark. (1992), parça ve makinelerin seçimiyle ilgili sonuç içeren bir matematiksel model geliştirdiler. Model, hücrelerde üretilecek optimal parça çeşidine ve talep miktarına karar vermede yardım sağlamıştır.

Adil ve Rajamani (1993), yaptıkları çalışmada, atamalar ile aynı zamanda hücresel imalat sisteminin tasarımı esnasında araştırma ve operasyon maliyetini içeren karışık tamsayılı programlama modeli geliştirdiler.

Chen ve Cheng (1995) ise hücresel imalattaki hücre formasyonuna dayalı ağ şebekesi üzerinde durmuştur. Adaptive Resonance Theory (ART) ağ şebekesi, grup teknolojisinde hücre formasyon problemleri için iyi bir metottur. Diğer geleneksel metotlara göre ART’ı kullanmanın avantajları; büyük ölçekli endüstriyel problemlerde hızlı hesaplanabilirlik ve üstün kullanılabilirliğe sahip olmaktır. Bu yaklaşımın bir zayıf yanı, darboğaz parça ve makinelerin var olması gruplama

çözümü kalitesi büyük olasılıkla makine parçalarından meydana gelen matraste başlangıç yerleştirmeye bağlıdır.

Berardi ve Zhang (1998), hücresel imalat tasarımında başlangıç, alternatif makine kümeleri oluşturularak harici elemanları enazlamayı etmeyi amaçlamışlardır.

Taboun (1998), maliyet etkili parça ailesi veya makine hücresi formasyonu için iki düzeyli bir prosedür önermiştir. Birincisi, problem karışık tamsayılı matematiksel model olarak aynı anda makine grupları ve parça aileleri ataması için formüle edilir. Bu model tek düzen model olarak gösterilir. Söz konusu model hücre düzenlemenin fırsat maliyetlerini, makine, taşeron, hücre hareketlerini, total yatırım ve real hayat planını yansıtan her şeyi dikkate alır. Tek aşamalı modelin hesaplanmış yükünü araştırmak için iki aşamaya bölünür. Birinci aşamada makine hücreleri ve parça aileleri için sezgisel bir yaklaşım kullanılır. İkinci aşamada ise matematiksel modellenmiş çeşitli maliyetleri eniyileyecek sezgisel bir yaklaşım kullanılır.

Mahdavi ve ark. (2001), grup teknolojisindeki hücre formasyon problemleri için grafik-ağ şebekesi üretim yaklaşımını hazırlamıştır. Mevcut metotlardan daha güvenilir bir algoritma geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu araştırma, büyük ölçekli endüstriyel problemleri için herhangi bir parametreye ihtiyaç duymadan, en az makine ve parça darboğaz unsuruna gerek kalmadan kullanılabilirliğe sahiptir.

Durmuşoğlu (2003), Hücresel İmalatın Türkiye'deki durumunu değerlendiren ve diğer ülkelerdeki (özellikle ABD) uygulamalarla karşılaştırmasını yapan, saha analizine dayalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Saha analizi çalışmasında, uluslararası standartlara sahip, kendi sektörlerinde Türkiye'de önde gelen 44 firma ve bu firmalara ait olan toplam 207 hücre incelemiştir. Analiz çalışması, Hİ proje öncesi, Hİ proje organizasyonu, Hİ tasarım süreci ve Hİ uygulama sonuçları ile ilgili dönemlere ait verilerin toplanmasını, istatistiksel analizini ve bu analizlerin yorumlanmasını içermiştir. Ayrıca Hİ sistemlerine sahip firmaların, Hİ uygulaması ile ilgili tatminini etkileyen faktörler ve etkileme dereceleri saptanmıştır.

Wang (2003), hücresel imalat sistemlerinin dizaynı için makine-hücre ve parça-aile formasyonu için doğrusal atama algoritması önermiştir. Mevcut yaklaşım parçalar ve makineler arasında benzer katsayıların karşılaştırılması ve en az benzer parçalar veya makineler kümesinin bulunması anlamında parça-aile veya makine-hücre tiplerinin tayini ile başlar. Grup tiplerini veya birleşik benzer katsayıları kullanarak bir doğrusal atama modeli ile, kalan parçaları veya makineleri ayırarak problemi çözmek ve benzerlik indeksini yükseltmek için formüle edilir. Formüle edilmiş lineer atama modeli üzerinde bir grup atama algoritması geliştirilmiştir. Çoklu performans kriteri ve çok sayıda mevcut veri kümelerini temel alarak bir karşılaştırmalı çalışmanın sonuçları, özellikle büyük boyuttaki problemlerde var olan yaklaşımın çok etkin ve etkili olduğunu göstermiştir.

Kizil ve Özbayrak (2004), proses planı seçiminde ve hücre formasyonu alanında birbirinden farklı amaçların faydalarını (kazancını) belirlemek için fırsat maliyeti araştırmasına yönelik bir algoritma geliştirmiştir. Hücresel imalatla hücre-malzeme hareketlerinin enazlanması önemlidir, fakat kendi kendine toplam iş miktarını enazlamak için bir sistem üretmeye yetkin değildir. Proses planı seçimi ve bütün alternatif proses planları için hücre formasyon probleminin çözümü zaman tüketimi taslağına sahiptir ve bu yüzden ekonomik kullanıma sahip değildir.

Albadawi ve ark. (2004), hücre formasyonu üzerine matematiksel model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen model iki aşamalıdır. Birinci aşamada benzerlik katsayısı yöntemi ile makine hücreleri oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise parçaların atanması işlemi için, tamsayılı matematiksel programlama tekniği kullanılmıştır. Gerçek problemlere uygulanan bu modelin benzerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [Albadawi ve ark, 2004].

Arıkan ve Güngör (2004), yaptıkları çalışmada bulanık tamsayılı çok amaçlı doğrusal programlama tekniği geliştirmişlerdir. Birden çok bulanık amaç için kurulan modelde, hücrelere alınacak makine sayısının enazlanması, hücre kullanımının enbüyüklenmesi, fason imalat maliyetinin enazlanması amaçlanmıştır.

Slomp ve ark. (2005), asıl hücresele üretim sistemi ve doğru zamanda bu hücrelerin dizaynı için çoklu-amaç tasarım prosedürlerini önermiştir. Asıl hücreler, haftada bir veya ayda bir talep değişimlerine uyumlu olarak planlama periyodu boyunca periyodik oluşturulurlar. Prosedür parça-makine gruplarına ek olarak işçi gruplarını da içerir. Bu prosedür inter aktif programlama metoduna dayanır. Kapasite sınırlaması, hücre boyutu kısıtlaması, yük dengesizliğini azaltma çabası, parçaların hareketini minenazlamak, esneklik şartı gibi faktörler göz önüne alınır. İşçi gruplarında fonksiyonel özel işçi havuzları bölümlere ayrılır ve asıl hücreler içinde tekrar gruplanır. Çalışanlar için iş yükü dengeleme güvencesi, işçilerin hareketlerinin enazlanması, işçi esnekliğini yeterli seviyede sağlamak gibi etkenler pragmatik yolda dikkate alınır.

Albadavi (2005) üretim hücrelerini şekillendirmek için yeni bir matematiksel model yaklaşımı hazırlamıştır. Hazırlanmış yaklaşım iki safhadan oluşur. Birinci safhada makine hücreleri benzer katsayıdaki matrislerin analiz uygulamalarına göre tanımlanır. İkinci evrede tanımlanmış makine hücrelerine parçaların atanması için tamsayılı programlama modeli kullanılır.

Defersha ve Chen (2006), parçaların malzeme ihtiyacı ve makinelerin kullanılabilirlikleri üzerine temellendirilmiş hücresele imalat tasarımı için geniş kapsamlı bir matematiksel model önermişlerdir. Model dinamik hücre düzenini, alternatif yolları, makine paylarını, operasyon sırasını, benzer makinelerin biden çok mamülünü, makine kapasitesini, hücreler arası iş yükü ayarını, operasyon maliyetini, taşıron maliyetini, araç-gereç kullanım maliyetini, kurma maliyetini, hücre genişlik limitini ve makine sınırlarını içermektedir.

Tavakkoli-Moghaddam ve ark. (2007) hücresele üretim sistemi içinde yer alan tesis yerleşim problemlerinin çözümü için yeni bir matematiksel model kurmuştur. Bu modelin amacı, giriş ve çıkış hücre toplam maliyetlerini makine ve hücre yerleşimi problemlerinde eş zamanlı olarak enazlamaktır.

Angra ve Sehgal (2007), işlerin işlem zamanlarını baz alan kümeleme yöntemi geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada hücrelere atanan işlerin, hücrelerdeki iş yükü skorları karşılaştırılarak literatürde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Mahdavi ve ark. (2007), hücreyel imalat sistemi içinde hücre fayda kavramı üzerine temellendirilmiş, hücre formasyonu için yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelin amacı; beklenen harici eleman sayısını ve hücre içindeki boşluk sayısını enazlayarak hücre kullanım performansını yüksek tutmaktır. Yapılan çalışmada büyük boyutlu problemler için daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

3.4. Problemin Çözümünde Kullanılacak Yöntemin Seçilmesi

Bu çalışmada silindirhane yerleşiminin düzenlenmesi için hücreyel imalat tasarımı incelenmiştir. Hücreyel imalat tasarımı için kullanılan yöntemler incelendiğinde, genel olarak bu yöntemlerin sezgisel yöntemler ve en iyi çözümü veren yöntemler olarak ikiye ayrıldığı görülmektedir. Bu bağlamda, özellikle hücreyel imalata göre tasarlanacak sistemlerde yapılan çalışmalar ve uygulamalar incelenmiştir. Bu çalışmalar içinde genel olarak matematiksel programlama tekniğinin kullanıldığı çalışmalar baz alınmıştır.

Hücreyel imalat tasarımını için matematiksel model yaklaşımı ve çeşitleri

Kuisak ve ark. (1986), Karesel Atama modelini geliştirmişlerdir. Kuisak ve Chow (1988), yaptıkları çalışmada parça-makine matrisinin aslında bir grafik olarak gösterilebilmesinden yola çıkarak, Graph Theoretic modellerini önermişlerdir. Bu modeller başlangıç matrisinin sunumuna göre üç şekilde geliştirilmiştir.

Kuisak (1987), yaptığı çalışmada başlangıç çözümünde parça ailelerinin belirlenmesi için P-Median modelini önermiştir. Bu çalışma, parça ailelerinin belirlenmesinde, matematiksel model programlamada kullanılan ilk yaklaşımdır.

Hücresele imalat tasarımında kullanılan çoğu yaklaşım sezgisel algoritmalara dayalıdır. Fakat bu sezgisellilerin çoğu başlangıç yöntemlerine göre farklı sonuçlar verdiğinden daha iyi yöntemler geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçtan dolayı optimal sonuç veren matematiksel modeller geliştirilmiştir. Ancak sezgiseller bir eniyileme algoritmasının başlangıç çözümünün elde edilmesinde kullanılabilmektedir [Wei ve Gaither, 1990].

Srinivasan ve ark. (1990), parça ailelerinin ve makine gruplarının belirlenmesi için bir atama modeli önermiştir. Bu önerilen model makine gruplarının ve parça ailelerinin aynı anda belirlenmesi ve atanması problemine çözüm getirmiştir. Burada kurulan modelin amacı benzerliklerin enbüyüklenmesidir.

Burbidge (1993), parça ailelerinin ve makine gruplarının belirlenmesinde hücre içinde kalan boşlukların ve harici elemanların enazlanmasını dikkate almışlardır. Bir üretim sisteminde farklı parça makine kombinasyonları için harici elemanların ve hücre içinde kalan boşlukların maliyetleri aynı olmadığından, bunların enazlanmasını sağlayan Doğrusal Olmayan modellerden yararlanılmıştır.

Adil ve ark. (1993), parça ailelerini ve makine gruplarını belirlemede kullanılacak ve atamaları aynı anda yapacak doğrusal olmayan matematiksel modeli geliştirmiştir. Bu geliştirilen modelde amaç, harici elemanların ve hücre içi boşlukların ağırlığının enazlanmasıdır. Bu modelde ayrıca harici parçalar ve harici makineler tanımlanmıştır.

Yapılan bu çalışmalar dikkate alındığında literatürde geçen ve hücresele imalat tasarımında kullanılan matematiksel model yaklaşımları şu şekilde sıralanabilir:

- P-Median Modeli
- Doğrusal Atama Modeli
- Karesel Atama Modeli
- Graf Teorisi Modelleri
- Doğrusal Olmayan Atama Modeli
- Doğrusal Olmayan Üstel Atama Modeli

Bu çalışmada Silindirhane atelyesinde hücresel imalat tasarımını uygulayabilmek için “**Doğrusal Olmayan Matematiksel Model**” yaklaşımı kullanılacaktır. Doğrusal Olmayan Matematiksel Modelin genel gösterimi şu şekildedir.

$$\text{Min} \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^M r_{ij} * x_{ik} * (1 - y_{jk}) \quad (3.5)$$

$$\text{Min} \sum_{k=1}^C \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^M (1 - r_{ij}) * x_{ik} * y_{jk} \quad (3.6)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^C x_{ik} = 1 \quad (3.7)$$

$$\sum_{k=1}^C y_{jk} = 1 \quad (3.8)$$

Notasyon:

i : Parça indisi i = 1, 2, P

j : Makine indisi j = 1, 2, M

k : Hücre indisi k = 1, 2, C

r_{ij} : Eğer i parçası j makinesinde işlem görüyorsa 1, değilse 0

x_{ik} : Eğer i parçası k hücresine atanmışsa 1, değilse 0

y_{jk} : Eğer j makinesi k hücresine atanmışsa 1, değilse 0

Burbidge (1993), parça ailelerinin ve makine gruplarının belirlenmesinde hücre içinde kalan boşlukların ve harici elemanların enazlanmasını sağlayabilmek için yukarıda verilen doğrusal olmayan matematiksel modeli geliştirmiştir. Bu model önceki modellerden farklı olarak parçaların ve makinelerin hücrelere atanmasını eş zamanlı olarak yapmaktadır.

Birinci amaç fonksiyonu olan Eş. 2.5, hücre dışında kalan harici eleman sayısını sayısının enazlanmasını gerçekleştiriyor. Eş. 2.6, hücre içinde kalan boşlukların enazlanmasını sağlıyor. Eş. 2.7' de verilen kısıt, her bir parçanın yalnızca bir hücreye atanmasını, Eş. 2.8' de verilen kısıt ise her bir makinenin yalnızca bir hücreye atanmasını garanti ediyor.

Geliştirilen bu model temel olarak iki amaç için kullanılmaktadır. Literatürde ise yapılan çalışmalarda bu modelin, karşılaşılan probleme göre farklı amaçları da enazlamak yada enbüyüklemek için revize edildiği görülmüştür. Aynı şekilde literatürdeki çalışmalarda yine bu modelin temel alınarak, problemin çözümüne göre farklı kısıtları içine alan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Arıkan ve Güngör (2004) yaptıkları çalışmada bu modele dayalı olarak, çok amaçlı bulanık doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde birbiriyle çelişen birden çok amaç verilmiş ve probleme özel kısıtlar geliştirilmiştir.

Bu çalışmada doğrusal olmayan matematiksel model, Hidromek silindirhane atölyesinde uygulanacaktır. Ancak, problem çok amaçlı olarak dikkate alındığından dolayı, çözümünde çok amaçlı karar verme tekniği kullanılacaktır.

3.5. Çok Amaçlı Programlama

Çok Amaçlı Programlama (ÇAP), bir matematiksel programlama içinde birden çok amacın aynı zamanda eniyilenmesidir. ÇAP son yıllarda yöneylem araştırmasında hızla gelişen alanlardan birisidir.

Tek amaçlı modellerin çözümünde, dikkate alınan amaç eniyilenir. Çözüm noktasında, eğer amaç enbüyüklenme ise alabileceği enbüyük değeri alır. Ancak çok amaçlı problemlerde genellikle bir amaç eniyi değerini alırken diğer amaç ya da amaçlar eniyi değerine ulaşmaz.

Çok amaçlı programlama çözüm teknikleri

Genel olarak çok amaçlı programlama probleminin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Maks } [f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)]$$

Kısıtlar

$$G_k(X) \leq 0 \quad k=1, 2, \dots, p$$

$$X \geq 0$$

X : n boyutlu karar değişkeni vektörü,

p : kısıtlayıcı sayısı,

$f_i(X)$: i . amaç $i= 1, 2, \dots, m$

$G_k(X)$: k . kısıtlayıcı,

Verilen çok amaçlı modelim uygun çözüm kümesi;

$$X = \{x \in g_k(X) \leq 0 \ k=1,2, \dots p\} \text{ dir.}$$

Çok amaçlı programlama çözüm teknikleriyle ulaşılan çözüm genellikle baskın çözümdür.

Baskın çözüm;

$$i. x \in X, f_i(x) \geq f_i(x^*), i=1,2, \dots l$$

$$ii. f_j(x) \geq f_j(x^*) \text{ en az bir } j \text{ için,}$$

kısıtlamaları sağlayan $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots x_n^*)$ çözümdür.

Bu nedenle çok amaçlı karar modellerinde en iyi çözüme ulaşmak yerine baskın çözüm kümesi elde edilir. Tüm amaçları eniyileyen bir çözüm bulmak çok amaçlı karar modellerinde mümkün değildir [Taha, 2000]. Baskın çözüm, amaçlardan herhangi birinin erişim düzeyini azaltmaksızın, başka bir amacın erişim düzeyinin artırılmadığı çözümdür. Karar vericinin tercihleri olmadan baskın bir çözümü belirlemek olanaksızdır [Hwang ve Masud, 1979].

Çok amaçlı programlama problemlerinin çözümüne yönelik tekniklerin çoğunlukla iki şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir [Evans, 1984]. Bunlardan birincisi; uygun seçenekler kümesi X üzerindeki varsayımlara göre yapılmaktadır. Buna göre çözüm teknikleri; X kümesinin **(a)** sonlu sayıda seçenekten oluştuğunun varsayıldığı teknikler ve **(b)** sonsuz sayıda seçenekten oluştuğunun varsayıldığı teknikler olarak iki gruba ayrılır. İkincisi ise; karar vericini tercih bilgisini temel alan sınıflandırmadır. Hemen belirtmek gerekir ki, çok amaçlı programlama çözüm tekniklerinin çoğu karar vericinin tercih bilgisi temel alan tekniklerdir. Bu nedenle ikinci sınıflandırma şekli daha çok kullanılmaktadır. Ancak birinci sınıflandırma, ikincisini kapsar niteliktedir.

a. Çözüm kümesinin sonlu sayıda seçenekten oluştuğunun varsayıldığı teknikler (daha çok özel problemlerde uygulamaları olan) aşağıda verilmiştir.

- i. Zions-Wallenius Tekniği
- ii. Elektre Tekniği
- iii. Sirinivasan ve Shacher Tekniği
- iv. Değer Fonksiyonu Belirleme Tekniği

b. Çözüm kümesinin sonsuz sayıda seçenekten oluştuğunun varsayıldığı teknikler(birinci gruba göre daha kapsamlı ve daha yaygın uygulaması görülen) aşağıdadır.

- i. Karar vericiden tercihlere ilişkin bilginin etkileşimli olarak istenildiği teknikler
- ii. Karar vericiden tercihlere ilişkin bilginin karar sürecinden sonra istenildiği teknikler
- iii. Karar vericiden tercihlere ilişkin bilginin karar sürecinden önce istenildiği teknikler

Görüldüğü gibi ikinci grupta, çözüm teknikleri tercih bilgisinin zamanına göre kaydedilmiştir. Şimdi bunları kısaca açıklayalım.

i. Karar vericiden tercihlere ilişkin bilginin etkileşimli olarak istenildiği teknikler

Bu tekniklerde hesaplama ve görüşme aşamaları dönüşümlü olarak yer alır.. Bu tekniklere örnek olarak: Etkileşimli Hedef Programlama, Yedek Değer İkame Tekniği, ve İdeal Değiştirme Tekniği verilebilir. Bu tür çözümlerde karar verici çözüm sürecinin içindedir. Öncelikle problemin bir baskın çözümü bulunur. Sonra, karar vericinin bu çözüme ilişkin tercihleri alınarak, problemde gerekli düzenlemeler yapılır. Bu işlem, karar vericiyi doyuran baskın çözüm bulununcaya kadar sürdürülür. Karar verici, kullanılan çözüm tekniğinin tüm iterasyonlarında analizciye ek tercihlerini bildirmelidir. Karar vericinin ek tercihleri bir sonraki iterasyonda

modele eklenir. Karar verici çözüm sürecinin herhangi bir aşamasında, süreci durdurabilir

Etkileşimli çözüm tekniklerinin, karar vericiyle sürekli bilgi alışverişi, amaca uygun çözümler üretilmesinde büyük yarar sağlamakla birlikte başarısı da karar vericiye bağlıdır. Çok amaçlı karar problemlerinin çözümünü veren modeller büyük boyutlu olduğundan karar vericinin ekinliği, baskın çözüme ulaşmayı doğrudan etkilemektedir. Eğer karar verici yeterli bilgi birikimine ve zamana sahipse bu bir ölçüde mümkün olmaktadır.

ii. Karar vericiden tercihlere ilişkin bilginin karar sürecinden sonra istenildiği teknikler

Tercih bilgisinin çözüm sürecinden sonra istenildiği teknikler bir probleme yönelik tüm etkin çözümleri bulmakla ilgilenir. Bu teknikler çözüm sürecinde baskın çözümler kümesi X' in elde edilemediği durumlarda söz konusudur. Elde edilen tüm olası baskın olmayan çözüm seçenekleri, karar vericiye sunulur ve karar vericinin tercihi istenir. Alınan tercihler yardımıyla baskın çözümler araştırılır [Goicoechea, 1992]. Bu gruba giren tekniklerin avantajı, tüm olası çözümleri karar vericinin önüne koyması ve çözüm öncesi bir değer fonksiyonuna ihtiyaç duymamasıdır. Bununla birlikte kullanılan çözüm tekniklerinin karmaşıklığı, sınırlandırılmamış problemin büyüklüğü dezavantajı olarak görülmektedir.

iii. Karar vericiden tercihlere ilişkin bilginin karar sürecinden önce istenildiği teknikler

Bu teknikler amaçlara ilişkin tercihlerini, başlangıçta karar vericinin analizciye verdiği tekniklerdir. Çok amaçlı karar problemlerinin çözümüne ilişkin modelinin çözümü öncesinde, karar vericinin tercihlerinin belirlenmesi gerekli olmayan ayrıntıların göz ardı edilmesi ile hesaplama yükünü büyük ölçüde azaltmaktadır. Tercihlerin belirlenmesinde, amaçlara ağırlık verme, çok kriterli fayda işlevi ya da

amaçlara ilişkin hedef ve öncelik düzeyleri gibi araçlardan yararlanılır. Bu tür çözümler de karar verici, çoğunlukla karar probleminden bağımsız olarak tercihlerini belirler. Tercihlerin önceden belirlenmesine dayalı tekniklerin kullanımında yük büyük ölçüde yine karar vericinin üstündedir. Bu tür önsel yaklaşımların en büyük dezavantajı karar vericinin tercihini belirlemede güçlük yaşamasıdır. Çünkü, karar vericinin, çözümden önce bir bilgi boşluğu içinde tercih yapmaya zorlandığını düşünmekteyiz. Bu grup da yer alan çözüm tekniklerinin diğer gruplardaki tekniklere göre daha uygulanabilir olduğu görülmektedir. Bu grup da yer alan tekniklere örnek olarak:

- Sayısal bilgi gereken teknikler

1. Değer Fonksiyonu
2. Sınırlanmış Amaçlar

- Sayısal ve sözel bilgi gereken teknikler

3. Ardışık Sıralama
4. Hedefe Erişim
5. Hedef Programlama

Hedef programlama (HP)

Hedef programlama çoklu karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan tekniklerden biri olup, en çok bilinenidir. Hedef programlamada, karar verici erişmek istediği her bir hedef için sayısal bir değer belirler. Çözüm sonucunda hedef değerlerden sapmaları en küçükleyen çözüm “tercih edilen çözüm” olarak kabul edilir [Charnes ve Cooper, 1977]. Çoklu hedefler derecelendirme veya önceliklendirme ile sıralanabilir. Hedef programlama modelinin çözümünde öncelikle en üst öncelikteki hedefe ulaşılmaya çalışılır.

Hedef programlama (HP), ordinal ve kardinal bilgi gerektiren bir çok amaçlı karar verme metodudur. HP’ de amaçlara verilen sapma değişkenleri minimize edilmeye çalışılır. Çok amaçlı karar verme tekniklerinden en çok tercih edileni Hedef Programlamadır. Ignizio (1988), HP’ nin tercih edilme nedenlerini şu şekilde sıralamıştır:

- HP’ de modelin geliştirilmesi kolay ve açıktır.
- Modelin üzerinde yapılacak küçük değişiklikler alternatif yaklaşımların uygulanmasını mümkün kılar.
- Çözüm metotları oldukça basittir.
- Model ve modelin varsayımları, gerçek yaşam problemlerini ifade etmede uygundur.

Hedef programlama modelinin kurulması

HP modelinde amaç fonsiyonunun arzu edilen seviyede olması gerekmektedir. Bu nedenle amaç fonsiyonlarına verilen pozitif ve negatif sapmalar aynı anda enazlamak istenir.

Çizelge 3.2. Hedef Programlama formülasyonları [Ignizio, 1982]

Hedef Tipi	HP Formu	Minimize edilecek Sapma değişkeni
$f_i(x) \leq b_i$	$f_i(x) - d_{i(+)} + d_{i(-)} = b_i$	$d_{i(+)}$
$f_i(x) \geq b_i$	$f_i(x) - d_{i(+)} + d_{i(-)} = b_i$	$d_{i(-)}$
$f_i(x) = b_i$	$f_i(x) - d_{i(+)} + d_{i(-)} = b_i$	$d_{i(-)} - d_{i(+)}$

Çizelge 2.7’ deki formülasyonlara göre, amaç fonsiyonlar için belirlenen hedef değerlere göre model kurulur. Burada amaç fonsiyonu yazılırken şu yaklaşımlar kullanılır:

- Öncelikli enazlama: Karar verici amaçların önceliklerini belirleyebiliyorsa bu amaçları öncelikli olarak yazabilir.
- Ağırlıklandırma: Amaçlar birbirleri cinsinden ifade edilebiliyor ve karar verici bu amaçlara ağırlık verebiliyorsa bu yöntemi kullanabilir.
- Ağırlıklandırma-Önceliklendirme: Yukarıdaki iki duruma birden rastlandığında kullanılabilir.

Bu durumda hedef programlama modelinin genel gösterimi şu şekildedir:

$$\text{Min } Z \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) \quad (3.9)$$

Kısıtlar

$$G_k(x) \leq 0 \quad (3.10)$$

$$f_i(x) - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (3.11)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (3.12)$$

Hedef programlama modellerin çözümünde: grafik, ardışık sayısal ve değiştirilmiş simpleks çözüm tekniği gibi teknikler kullanılmaktadır. Grafik çözüm tekniğinde en fazla üç karar değişkeni ile çözüm yapılabilmektedir. Ardışık sayısal çözüm tekniği ise uzun ve ardışık işlemlerden oluşmaktadır. Ardışık sayısal çözüm tekniğinin uygulanması zor olup, hata yapma olasılığı da yüksektir. Değiştirilmiş simpleks tekniği tüm bu sakıncaları ortadan kaldıran etkin kullanımlı bir tekniktir.

4. HİDROMEK FABRİKASI SİLİNDİR ATÖLYESİNDE UYGULAMA

4.1. Uygulamanın Amacı Ve Önemi

Hidromek firması hem tesisleşme hem de ekonomik anlamda büyümekte olan bir firmadır. Tesisleşme anlamındaki büyümesi yeni tesislerin kurulması ve yeni teçhizatların alınması şeklindedir. Bu kapsamda yeni Beko-Loder imalat fabrikasının kurulması bir çok yeni çalışmaya imkan sağlamıştır. Bu çalışmaların başında yeni tesiste imalat birimlerinin yerleştirilmesi konusundaki çalışmalar gelmektedir. Bu imalat birimlerinden biri olan silindirhane, yapılan işlemler ve yaptığı ürünler bakımından üzerinde çalışılması gerekli olan bir birimdir.

Silindirhane için ayrılan hol mevcut yerleşim düzenine göre bir avantaj sağladığından tezgahların yerleşiminin ve iş akışının ne şekilde olacağını belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için hücresel imalat tasarımı yapılmak istenmektedir. Hücresel tasarım ile hücre dışında gerçekleşen hareketlerin enazlanması ve taşımaların azaltılması hedeflenmektedir. Ayrıca ilk işlemini dışarıda gören millerin firma içerisinde yapılması için alınacak tezgahların da buradaki yerleşimine karar vermek gerekmektedir. Hücresel imalat tasarımı ile tüm bu amaçların gerçekleştirilebilmesinin mümkün olması ve sistemin buna izin vermesi sayesinde bu uygulamanın hayata geçirilmesi amaçlanmıştır.

Yurt içinde ve yurt dışında yaşanan piyasadaki darlık, ekonomik bunalım, siyasi konjektör ve bunlara bağlı olarak satışların düşmesiyle üretimde yaşanan durgunluk nedeniyle taşınma işleminin bu dönemde yapılması ve bunun da sistematik bir şekilde gerçekleşmesi için çalışmanın önemi artmaktadır.

4.2. Silindir Atölyesi İçin Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

İkinci bölümde hücresele imalat tasarımında kullanılan yöntemlerden bahsedildi. Bu yöntemlerden biri olan Matematiksel Programlama, hücresele imalat tasarımında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Eniyi çözümü vermesi ve modelde kullanılan verilerin sayısal veriler olması bakımından, matematiksel programlama yöntemi bu çalışmada kullanılacak yöntem olarak seçilmiştir. Ayrıca yine ikinci bölümde incelenen ve Çok Amaçlı Karar Verme tekniklerinden biri olan Hedef Programlama tekniği ile kurulacak modelin çok amaçlı çözülmesine karar verilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, hücresele imalat tasarımında, Matematiksel Programlama yönteminin değişik şekillerde uygulandığı görülmüştür. Temel bir model üzerinde değişen amaçlar ve değişen kısıtlar için yapılan çalışmalardan esinlenerek, bu çalışmada kullanılmak üzere “çok amaçlı, doğrusal olmayan matematiksel model” geliştirilmiştir. Ayrıca bu model de “iki makineye bir operatörün” baktığı durumu dikkate alan yeni bir kısıt eklenmiştir.

Çok amaçlı çözülecek bu modelin, aşağıda verilen çatışan iki amacı vardır:

1. Hücre içine atanmayan işlem sayısını enazlamak
2. Hücre içi kapasite kullanımını enbüyüklemek

Birinci amaç, işlem sürelerini ve yıllık parça taleplerini baz alarak, işlem yoğunluğu yüksek olan parçaların ve bu parçaların işlem gördüğü makinelerin aynı hücrelere toplanmasını esas almaktadır. Bir başka deyişle, oluşacak hücrelerdeki işlem hacmini (işlem zamanı X yıllık talep) enbüyüklenmesi amacıdır.

İkinci amaç, hücre içine atanmayan işlem sayısını enazlamaktadır. Literatürde “hücre içi boşluk” (void) enazlanması olarak geçen bu amaç, sadece parça-makine matrisindeki ilişkileri dikkate alarak, parçaların ve makinelerin hücrelere atanmasında, hücre içi boşlukların enazlanması amacıdır.

Modelde kullanılacak veriler

Modelde parçalar ve makineler için, ifade ve yazım kolaylığı için Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de verilen kodlamalar kullanılmıştır. Parçalar için “P” indisi, makineler için “M” indisi verilmiştir.

Çizelge 4.1. Parça kodları

Model İndisi	Firma No	Parça Adı
P1	200/42319	SİL.MİLİ , 50x1123,5mm
P2	206/01710	SİLİNDİR BORUSU Ø80xØ95 1038mm
P3	204/09557	ARKALIK, 80'LIK Ø50x Ø80x63x103
P4	204/09558	ARKALIK, 80'LIK Ø50x Ø80x63x103
P5	200/42668	MİL, KROMLU, 60x1070,5mm
P6	206/05100	SİLİNDİR BORUSU Ø90xØ105 1008mm
P7	204/09600	ARKALIK, 90
P8	200/42222	MİL, KROMLU, 50x923,5mm
P9	206/05010	SİLİNDİR BORUSU Ø90xØ105 870mm
P10	204/09611	ARKALIK, Ø70xØ90x60x127mm
P11	200/42820	MİL, KROMLU, Ø65x1228.5mm
P12	206/07550	SİLİNDİR BORUSU Ø115xØ130 1176mm
P13	204/80085	ARKALIK, 115 FRENLİ (103mm)
P14	200/42051	MİL, KROMLU, 40x1420mm
P15	206/20550	SİLİNDİR BORUSU Ø70xØ85 1372mm
P16	204/01001	ARKALIK, 42x70x80x80mm 80
P17	200/42667	SİLİNDİR MİLİ 60x1084,5-FRENLEME BİLEZİKLİ
P18	206/05700	SİLİNDİR BORUSU Ø100xØ120 1036mm
P19	204/80065	ARKALIK, 100 FRENLİ

Çizelge 4.2. Makine kodları

Model İndisi	Makine Adı
M1	FRIKSİYON KAYNAĞI
M2	KAYNAK ROBOTU
M3	CNC TORNA 1
M4	CNC TORNA 2
M5	CNC TORNA 3
M6	DİM
M7	RADYAL MATKAP
M8	1. KAYNAK MAKİNESİ
M9	2. KAYNAK MAKİNESİ
M10	EL KAYNAĞI
M11	HİDROLİK PRES
M12	TEMİZLEME ÜNİTESİ

Hücreyel imalat tasarımıında kullanılan bütün yöntemlerin, bütün modellerin ana girdisi olan parça makine matrisi Çizelge 3.3’ de verilmiştir. Çizelgedeki “1” değerleri ilgili parçanın ilgili makinede işlem gördüğünü, diğer durumlarda ise işlem görmediğini ifade etmektedir.

Modelde kullanılmak üzere 19 adet parça ve 12 adet makine olduğundan, parça-makine matrisi, 19x12 ölçülerindedir. Parça-makine matrisi Çizelge 3.4’ de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Silindirhane için parça-makine matrisi

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
P1	1			1		1					1	
P2		1	1	1			1	1	1	1		1
P3										1	1	
P4										1	1	
P5	1				1	1					1	
P6		1	1	1			1	1	1	1		1
P7										1	1	
P8	1			1		1					1	
P9		1	1		1		1	1	1	1		1
P10										1	1	
P11	1				1	1					1	
P12		1	1	1			1	1	1	1		1
P13										1	1	
P14	1			1		1					1	
P15		1	1		1		1	1	1	1		1
P16										1	1	
P17	1				1	1					1	
P18		1	1		1		1	1	1	1		1
P19										1	1	

Kurulan çok amaçlı modelin, amaçlarından biri olan “Hücre İçi İşlem Yoğunluğunun Enbüyüklenmesi” için, parçaların makinelerdeki işlem zamanlarına ve yıllık talep miktarlarına ihtiyaç olacağından, işlem zamanları Çizelge 3.4’ de, yıllık talep miktarları Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.4’ e bakıldığı zaman, birinci parçanın (P1) birinci makinedeki (M1) işlem zamanı 162 saniyedir.

Çizelge 4.4. Silindir alt parçaları için işlem süreleri (saniye)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
P1	162			627		89					20	
P2		150	289	720			68	70	80	40		60
P3										40	20	
P4										40	20	
P5	162				438	126					20	
P6		150	324	720			68	70	80	40		60
P7										40	20	
P8	126			695		89					20	
P9		150	300		720		68	70	80	40		60
P10										40	20	
P11	180				1300	159					20	
P12		150	384	720			68	70	80	40		60
P13										40	20	
P14	56			306		110					14	
P15		105	197		504		47	49	56	28		42
P16										28	14	
P17	162				396	126					20	
P18		150	399		720		68	70	80	40		60
P19										40	20	

İşlem süreleri matrisi aynı zamanda parça-makine matrisinin eş matrisidir. Tek fark, parça makine matrisinde “1” değerleri bulunurken, işlem zamanı matrisinde bu değerlerin yerini işlem süreleri almıştır.

Çizelge 4.5. Silindir alt parçaları yıllık işlem hacmi

Model İndisi	Yıllık Talep (adet)
P1	6000
P2	6000
P3	3000
P4	3000
P5	3000
P6	3000
P7	3000
P8	6000
P9	6000
P10	6000
P11	3000
P12	3000
P13	3000
P14	2100
P15	2100
P16	2100
P17	3000
P18	3000
P19	3000

Modelin amaçları ve kısıtları

Hidromek silindirhane atölyesinde hücresel imalat tasarımı için geliştirilen model, “çok amaçlı, doğrusal olmayan matematiksel” olarak programlanmıştır. Ayrıca bu model “iki makineye bir operatör” gereken durumlar için yeni bir kısıtla revize edilmiştir. Modelin matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

Notasyonlar:

- i : Parça indisi
j : Makine indisi
k : Hücre indisi

- Z_{ik} : Eğer i parçası k hücresine atanmışsa 1, diğer durumlarda 0
 Y_{jk} : Eğer j makinesi k hücresine atanmışsa 1, diğer durumlarda 0
 P_{ij} : i parçasının j makinesindeki işlem süresi
 r_{ij} : Eğer i parçası j makinesinde işlem görüyorsa 1, diğer durumlarda 0
 D_i : i parçasının periyodik talebi
 U_{mk} : k hücresine atanacak makine sayısının üst sınırı
 L_{mk} : k hücresine atanacak makine sayısının alt sınırı
 L_{pk} : k hücresine atanacak parça sayısının alt sınırı
 N : Aynı hücrede bulunması gereken ikili makineler kümesi
 J_f, J_h : Aynı hücrede bulunması gereken tek operatör ile çalıştırılan f ve h makineleri

Modelin amaç fonsiyonları Eş. 3.1 ve Eş. 3.2' de verilmiştir.

$$\min \sum_i \sum_j \sum_k Z_{ik} * Y_{jk} * (1 - r_{ij}) \quad (4.1)$$

$$\max \sum_i \sum_j P_{ij} * D_i - \sum_i \sum_j \sum_k (1 - Z_{ik}) * Y_{jk} * P_{ij} * D_i \quad (4.2)$$

Modelin kısıtları şu şekilde gösterilmiştir:

$$\sum_k Y_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (4.3)$$

$$\sum_k Z_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (4.4)$$

$$\sum_j Y_{jk} \geq L_{mk} \quad \forall k \quad (4.5)$$

$$\sum_j Y_{jk} \leq U_{mk} \quad \forall k \quad (4.6)$$

$$\sum_i Z_{ik} \geq Lp_k \quad \forall k \quad (4.7)$$

$$\sum_k \prod_{j \in N} Y_{jk} = 1 \quad \forall j \in N \quad N = \{j_f; j_h\} \quad (4.8)$$

$$Z_{ik}, Y_{jk} = 0 - 1 \quad (4.9)$$

Birinci amaç fonksiyonu Eş. 3.1, hücre içindeki boşlukları enazlamaktadır. İkinci amaç fonksiyonu Eş. 3.2, hücre faydalı makine kapasite kullanımı enbüyükleme. Eş. 3.3' deki kısıt, bir makinenin yalnızca bir hücreye atanmasını, Eş. 3.4' deki kısıt bir parçanın yalnızca bir hücreye atanmasını garanti eder. Eş. 3.5' deki kısıt k hücreye atanacak enbüyük makine sayısını, Eş. 3.6' daki kısıt k hücreye atanacak enaz makine sayısını belirtir. Eş. 3.7' deki kısıt k hücrede işlem görece enbüyük parça sayısını belirler. Eş. 3.8' deki kısıt bu çalışmaya özel olarak geliştirilmiş olup, aynı hücrede yer alması gereken makineleri aynı hücreye atamayı garantiler. Eş. 3.9' daki kısıtta her bir karar değişkeninin 0-1 tamsayı olması garantilenir.

Modelin kurulması

Kurulan matematiksel modelde kullanılacak değerler şu şekildedir:

$$i = 1, 2, 3, \dots, 19$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, 12$$

$$k = 1, 2, 3$$

Umk = Her bir hücreye atanacak makine sayısının üst sınırı; 6

Lmk = Her bir hücreye atanacak makine sayısının altt sınırı; 2

Lpk = Her bir hücreye atanacak minimum parça sayısı; 4

$N = \{j=7;j=9\}$ 7 ve 9 nolu makineler (Radyal matkap ve 2. kaynak makinesi) tek operatör tarafından kullanılacaktır

Bu sayısal değerlere göre matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$\min \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 Z_{ik} * Y_{jk} * (1 - r_{ij})$$

$$\max \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} P_{ij} * D_i - \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 (1 - Z_{ik}) * Y_{jk} * P_{ij} * D_i$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^3 Y_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{k=1}^3 Z_{ik} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \geq 2 \quad \forall k$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \leq 6 \quad \forall k$$

$$\sum_{i=1}^{19} Z_{ik} \geq 4 \quad \forall k$$

$$\sum_{k=1}^3 \prod_{j \in N} Y_{jk} = 1 \quad \forall j \in N \quad N = \{j_f; j_h\}$$

$$Z_{ik}, Y_{jk} = 0 - 1$$

Yukarıda verilen matematiksel model çok amaçlı olduğundan, Hedef programlama tekniği ile çözülecektir. Bu durumda modeli revize etmek gerekir. Burada modelin HP formatında gösteriminde kolaylık sağlaması bakımından birinci amaç $f_1(x)$, ikinci amaç $f_2(x)$ ve tüm kısıtlarda $G_i(x)$ olarak gösterilecektir.

Birinci amacın HP formatında gösterimi şu şekildedir:

$$f_1(x) - d_{11} + d_{12} = b_1 \quad (4.10)$$

Bu denklemde aslında $d_{11} = d_1^+$ ve $d_{12} = d_1^-$ dir. Bu durumda d_{11} “hedefi aşmayı”, d_{12} ise “hedefe erişememeyi” göstermektedir. Benzer şekilde ikinci amacın gösterimi:

$$F_2(x) - d_{21} + d_{22} = b_2 \quad (4.11)$$

Birinci amacın sapmalarında olduğu gibi burada da $d_{21} = d_2^+$ ve $d_{22} = d_2^-$ dir. Yine d_{11} “hedefi aşmayı”, d_{12} ise “hedefe erişememeyi” göstermektedir. Bu durumda modelin HP gösterimi şu şekildedir:

$$\min d_{11} + d_{12} + d_{21} + d_{22}$$

Kısıtlar

$$G_i(x) \leq a_i \quad (\text{Her bir } i \text{ kısıtı için})$$

$$f_1(x) - d_{11} + d_{12} = b_1$$

$$f_2(x) - d_{21} + d_{22} = b_2$$

$$d_{11} * d_{12} = 0$$

$$d_{21} * d_{22} = 0$$

$$d_{11}, d_{12}, d_{21}, d_{22} \geq 0$$

Ignizio' nun Çizelge 2.7' de verilen HP formülasyonuna göre birinci amaç enazlama olduğu için “hedefi aşma” yani $d_{11} = d_1^+$ minimize edilecektir. İkinci amaç foksiyonu enbüyüklenme olduğu için, yine aynı formülasyona göre “hedefe erişememe” yani $d_{22} = d_2^-$ minimize edilecektir.

Hedef Programlama modelinin sıralı çözümü yapılacaktır. Sıralı çözüm yönteminde, çok amaçlı modelin 2 amacı olduğundan 2! tane alternatif çözümü vardır. 2! tane alternatif çözümünün olmasının nedeni, sıralı çözümde her iki amacında önceliklerinin yer değiştirilerek çözülmesidir. Bu duruma göre geliştirilen çok amaçlı matematiksel modelin HP ile çözümünü elde edebilmek için her bir amacın öncelikli çözümü ile oluşacak alternatifler aşağıda verilmiştir.

1. Alternatif

$$\min d_{11}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 Z_{ik} * Y_{jk} * (1 - r_{ij}) - d_{11} + d_{12} = 0$$

$$\sum_{k=1}^3 Y_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{k=1}^3 Z_{ik} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \geq Lm_k \quad \forall k$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \leq Um_k \quad \forall k$$

$$\sum_{i=1}^{19} Z_{ik} \geq Lp_k \quad \forall k$$

$$\sum_{k=1}^3 \prod_{j \in N} Y_{jk} = 1 \quad \forall j \in N \quad N = \{j_f, j_h\}$$

$$d_{11} * d_{12} = 0$$

$$d_{11}, d_{12} \geq 0$$

$$Z_{ik}, Y_{jk} = 0 - 1$$

$$\min d_{22}$$

Kısıtlar

$$d_{11} = d_{11}^*$$

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 Z_{ik} * Y_{jk} * (1 - r_{ij}) - d_{11} + d_{12} = 0$$

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} P_{ij} * D_i - \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 (1 - Z_{ik}) * Y_{jk} * P_{ij} * D_i - d_{21} + d_{22} = 15730$$

$$\sum_{k=1}^3 Y_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{k=1}^3 Z_{ik} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \geq Lm_k \quad \forall k$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \leq Um_k \quad \forall k$$

$$\sum_{i=1}^{19} Z_{ik} \geq Lp_k \quad \forall k$$

$$\sum_{k=1}^3 \prod_{j \in N} Y_{jk} = 1 \quad \forall j \in N \quad N = \{j_f, j_h\}$$

$$d_{11} * d_{12} = 0$$

$$d_{21} * d_{22} = 0$$

$$d_{11}, d_{12}, d_{21}, d_{22} \geq 0$$

$$Z_{ik}, Y_{jk} = 0 - 1$$

2. Alternatif

$$\min d_{22}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} P_{ij} * D_i - \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 (1 - Z_{ik}) * Y_{jk} * P_{ij} * D_i - d_{21} + d_{22} = 15730$$

$$\sum_{k=1}^3 Y_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{k=1}^3 Z_{ik} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \geq Lm_k \quad \forall k$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \leq Um_k \quad \forall k$$

$$\sum_{i=1}^{19} Z_{ik} \geq Lp_k \quad \forall k$$

$$\sum_{k=1}^3 \prod_{j \in N} Y_{jk} = 1 \quad \forall j \in N \quad N = \{j_f, j_h\}$$

$$d_{21} * d_{22} = 0$$

$$d_{21}, d_{22} \geq 0$$

$$Z_{ik}, Y_{jk} = 0 - 1$$

$$\min d_{11}$$

Kısıtlar

$$d_{22} = d_{22}^*$$

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} P_{ij} * D_i - \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 (1 - Z_{ik}) * Y_{jk} * P_{ij} * D_i - d_{21} + d_{22} = 15730$$

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^3 Z_{ik} * Y_{jk} * (1 - r_{ij}) - d_{11} + d_{12} = 0$$

$$\sum_{k=1}^3 Y_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{k=1}^3 Z_{ik} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \geq Lm_k \quad \forall k$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{jk} \leq Um_k \quad \forall k$$

$$\sum_{i=1}^{19} Z_{ik} \geq Lp_k \quad \forall k$$

$$\sum_{k=1}^3 \prod_{j \in N} Y_{jk} = 1 \quad \forall j \in N \quad N = \{j_f, j_h\}$$

$$d_{11} * d_{12} = 0$$

$$d_{21} * d_{22} = 0$$

$$d_{11}, d_{12}, d_{21}, d_{22} \geq 0$$

$$Z_{ik}, Y_{jk} = 0 - 1$$

1. alternatifte hücre içi boşlukların enazlandığı amacın sapması enazlanmaktadır. Daha sonra buradan elde edilen çözüm, ikinci amacın yani enbüyükleme olan amacın çözümüne kısıt olarak eklenmektedir. Aynı şekilde ikinci amacın sapmaları enazlanmaktadır. Bu şekilde çözüm elde edilmektedir. 2. alternatif için ise öncelikle enbüyükleme olan amaç için çözüm elde edilir ve aynı prosedür 1. alternatifte olduğu gibi uygulanır.

Yukarıda verilen HP modellerinde b_1 ve b_2 değerleri, sırasıyla her bir amaç için karar vericiden istenen hedef değerlerdir. Hücre içi boşlukların enazlandığı amaç için istenen, hücrelere işlerin tam olarak atanmasıdır. Bu durumda bu amaç için ulaşılabilir hedef değer, 0 olmalıdır. Hücre içi kullanımının enbüyüklendiği amaç için hedeflenen, tüm işlemlerin hücreler içinde gerçekleşmesidir. Dolayısıyla burada enbüyüklenecek amacın ulaşabileceği değer toplam yıllık işlem hacmi olması gerekmektedir.

Toplam yıllık işlem hacmi (TYİH):

$$TYİH = \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{12} P_{ij} * D_i \quad (4.12)$$

Silindirhane için toplam işlem hacmi Eş 3.12' ye göre hesaplanırsa;

TYİH = 943.760 dakika = 15.730 saat olmaktadır. Dolayısıyla ikinci amaç için hedef değer, 15.730 saattir.

4.3. Modelin Çıktıları

Her iki amaç içinde öncelikli olarak kurulan modeller LINGO paket programının “Super LINGO 3.1” sürümü ile çözülmüştür. Bu program 1000 kısıt, 500 tamsayı değişken ve 200 nonlinear değişken için modeli çözebilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, kurulan modeldeki değişken sayısı (tamsayı ve nonlinear) 100' ü geçmediği için modelin bu program ile çözümü sıkıntı yaratmamaktadır.

Kurulan çok amaçlı matematiksel model HP ile LINGO paket programında çözüldü. Model 3 hücreli hücresel imalat tasarımı olacak şekilde tasarlandı. Çözüm sonucunda, her bir alternatif için hücelere yapılan atamalar Çizelge 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. HP modeli sonucu alternatiflere göre hücelere yapılan atamalar

	1.Alternatif		2. Alternatif	
	Atanan Parçalar	Atanan Makineler	Atanan Parçalar	Atanan Makineler
1. Hücre	2, 6, 9, 12, 15, 18	2, 3, 7, 8, 9, 12	3, 4, 7, 10, 13, 16, 19	10, 11
2. Hücre	3, 4, 7, 10, 13, 16, 19	10, 11	1, 2, 6, 8, 10, 12, 14	1, 2, 3, 4, 7, 9
3. Hücre	1, 5, 8, 11, 14, 17	1, 4, 5, 6	5, 9, 11, 15, 17, 18	5, 6, 8, 12

Bu atamalar sonucunda parça makine matrisi yeniden düzenlendiğinde, her bir alternatif için oluşan kümeler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’ de verilmiştir

	M2	M3	M7	M8	M9	M12	M10	M11	M1	M4	M5	M6
P2	1	1	1	1	1	1	1			1		
P6	1	1	1	1	1	1	1			1		
P9	1	1	1	1	1	1	1				1	
P12	1	1	1	1	1	1	1			1		
P15	1	1	1	1	1	1	1				1	
P18	1	1	1	1	1	1	1				1	
P3							1	1				
P4							1	1				
P7							1	1				
P10							1	1				
P13							1	1				
P16							1	1				
P19							1	1				
P1									1	1		1
P5									1	1	1	1
P8									1	1		1
P11									1	1	1	1
P14									1	1		1
P17									1	1	1	1

Şekil 4.1. 1.Alternatif için parça-makine matrisinin düzenlenmiş şekli

	M10	M11	M1	M2	M3	M4	M7	M9	M5	M6	M8	M12
P3	1	1										
P4	1	1										
P7	1	1										
P10	1	1										
P13	1	1										
P16	1	1										
P19	1	1										
P1		1	1			1				1		
P2	1			1	1	1	1	1			1	1
P6	1			1	1	1	1	1			1	1
P8		1	1			1				1		
P12	1			1	1	1	1	1			1	1
P14		1	1			1				1		
P5		1	1						1	1		
P9	1			1	1		1	1			1	1
P11		1	1						1	1		
P15	1			1	1		1	1			1	1
P17		1	1						1	1		
P18	1			1	1		1	1			1	1

Şekil 4.2. 2. Alternatif için parça-makine matrisinin düzenlenmiş şekli

Her iki alternatif için de hücre sayısını 3 olarak belirlememize rağmen, atamaların birbirinden farklı olduğu dikkati çekmektedir. İki amacı olan modelimizde, çözüm sırası değiştiğinde, hücrelere atanan parça ve makine kümeleri değişir. Bunun nedeni iki amacın birbirinden farklı ölçütleri eniyilemeye çalışmasıdır.

Hatırlanacağı üzere 1. alternatifte, “Hücre İçi Boşlukların Enazlanması” öncelikli çözülmüştü. Bu çözümde ilk olarak bu amacın sapması enazlandı. Bir enazlama amacı olduğundan hedefi aşma sapması yani d_{11} (d_{11}^+) enazlandı. Daha sonra bu çözüm modele kısıt olarak eklenerek “Hücre İçi Kullanımın Enbüyüklenmesi” amacının sapması enazlandı edildi. Bu amaç da bir enbüyüklenme olduğundan hedefe erişememe sapması, yani d_{22} (d_{22}^-) enazlandı. Aynı şekilde 2. alternatif için çözüm sırası değiştirilerek öncelikle enbüyüklenerek istenen amacın sapması enazlandı daha sonra buradan elde edilen çözüm modele kısıt olarak eklenerek, enazlanmak istenen

amacın sapmasını enazlamak için model çözüldü. Bu çözümler sonucunda her iki amacın sapmasının gösterildiği Pay-Off tablosu Çizelge 3.7’ de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Amaçların sapmaları için Pay-Off tablosu

	d_{11}	d_{22}
d_{11}	6	30
d_{22}	4868	3402

Modelin amaçları çatışan amaçlar olduğundan, her iki alternatif içinde sapmalar birinde en iyilenirken diğesinde bozulmuştur. 1. alternatifte d_{11} için amaçtan sapma miktarı 6’ dır. Yani 1. alternatifte hücre içi toplam boşluk sayısı 6’ dır. Yine 1. alternatif için bakıldığında enbüyüklenen amacın sapması 4868’ dir. Bu değer, bir yıllık talepler göz önüne alındığında, hücreler dışında gerçekleşen işlem yoğunluğunu ifade etmektedir. Yani 1. alternatifte hücreler dışında bir yıllık süreçte yaşanacak işlem yoğunluğu 4868 saat’ tir.

2. alternatifte öncelikli olarak enbüyüklenmek istenen amacın sapması enazlandığından, sapma miktarı 1. alternatifte göre daha fazla enazlanarak 3402 saat olarak gerçekleşmiştir. enazlanacak amacın sapması ise 1. alternatifte oranla bozularak 30’ a çıkmıştır.

4.4. Alternatiflerin Karşılaştırılması Ve Uygun Alternatifin Seçilmesi

Çözüm sırasının değiştirilmesi ile oluşan 2 alternatiften hangisinin seçileceğine karar vermek için bu alternatifleri bazı performans ölçütlerine ve amaçların aldığı değerlere göre karşılaştırmak gerekmektedir.

Modelde kullanılan amaçlar için gerçekleşen değerler ve bunların dışında hücre dışında yapılması gereken işlem sayısını ifade eden “Harici Eleman” sayıları, her iki alternatif için de Çizelge 3.8’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Alternatifler için gerçekleşen harici eleman sayısı, hücre içi boşluk sayısı ve hücre içi kullanım değerleri

	1. Alternatif	2. Alternatif
Harici Eleman Sayısı	18	36
Hücre İçi Boşluk Sayısı	6	24
Hücre İçi Kapasite Kullanımı (saat)	10862	12328

Harici eleman sayısı ve hücre içi boşluk sayısı literatürde en çok karşılan ve enazlamaya çalışılan amaçlardır. Hücre içi kapasite kullanımı bu çalışma için geliştirilen modelin amaçlarından biridir. Literatürde buna benzer amaçların kullanıldığı modeller de mevcuttur.

Elde edilen 2 farklı çözümünün karşılaştırılmasında en çok kullanılan performans ölçütlerinden biri de hücrelerin doluluk oranıdır. Bir başka deyişle hücre yoğunluğu olarak da bilinir (Bkz. Eş. 2.3). hücre doluluk oranı hücrelerde gerçekleşen “İşlem Sayısını” baz alır. Buna göre her iki alternatif için hücrelerin doluluk oranı Çizelge 3.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Alternatifler için hücre doluluk oranları

	1. Hücre	2. Hücre	3. Hücre
1. Alternatif	%100,00	%100,00	%75,00
2. Alternatif	%100,00	%58,33	%62,50

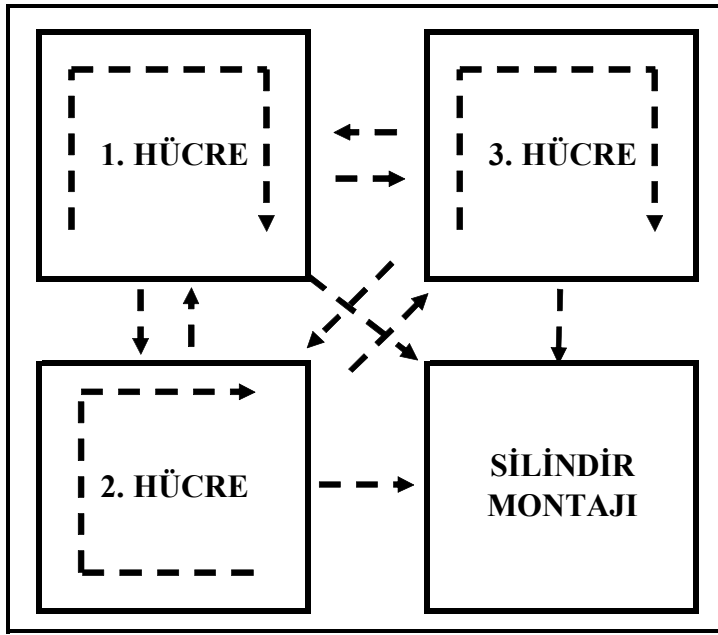
Hücresel imalat tasarımında yapılan atamalar sonucunda, her zaman darboğaz makine ve darboğaz parça sayısının minimum olması amaçlanır. Yani harici eleman sayısının enazlanması temel amaçlardan biridir. Aynı şekilde hücre içi boşluk sayısının enazlanması da eş zamanlı atamaların yapıldığı çözümlerde, yani parçaların ve makinelerin aynı zamanlı olarak hücrelere atanmasını sağlayan çözümlerde, amaçlanmaktadır. Bu çalışma için kullanılan 2. amaç olan hücre içi kullanımı enbüyüklenmesinin de diğer amaçla birlikte en iyilenmesi istenmektedir. Ancak amaçlar çatıştığından aynı anda iki amaç için de en iyi çözüm elde edilemediğinden karar vermek için Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’ da verilen ölçütlere bakmak gerekmektedir. Her iki alternatif için de bu tablolara bakıldığında, her bir kriter ve amaç için yapılan değerlendirme Çizelge 3.10’ da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Dört kriter için alternatiflerin değerlendirilmesi

	1. Alternatif	2. Alternatif
Harici Eleman Sayısı		
Hücre İçi Boşluk Sayısı		
Hücre İçi Kapasite Kullanımı (saat)		
Hücre Yoğunlukları		

Çizelge 3.10’ a bakıldığında, “Hücre İçi Kapasite Kullanımının” 2. alternatif için 1. alternatiften daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bununla beraber “Harici Eleman Sayısının” ve “Hücre İçi Boşluk Sayısının” 1. alternatifte daha iyi sonuç verdiği ve 2. alternatife göre aradaki farkın fazla olduğu söylenebilir. Aynı şekilde oluşturulan 3 hücre için, hücrelerin yoğunluklarına bakıldığında 1. alternatifin açık bir şekilde 2. alternatiften daha iyi çözüm verdiği görülebilir. Dört kriterin üçünde 1. alternatifin uygulanması daha iyi olacaktır.

1. alternatifte oluşan hücreler Şekil 3.1’ de görüldüğü gibidir. Burada 2. hücrede kullanılan “El kaynağı (M10)” makinesinin 1. hücre ile, “Hidrolik pres (M11)” makinesinin 3. hücre ile ilişkide olduğu ayrıca 1. ve 3. hücrelerde M4 ve M5 nolu CNC tezgahlarının ortak işlemleri olduğu görülmektedir. Yapılacak tasarımda 1. ve 3. hücrelerin komşu hücreler olması, 1. hücrede işlem gören Silindir Borlularının 3. hücredeki CNC tezgahlarına taşımaların enazlanması bakımından önerilmektedir. Ayrıca 2. hücrede kullanılan el kaynağının (M10), 1. hücrede işlem gören borular içinde kullanımı söz konusu olduğundan 1. ve 2. hücrelerin komşu hücreler olması önerilmektedir. Bu önerilen durum için oluşan hücrelerin gösterimi Şekil 3.3’ de verilmiştir.



Şekil 4.3. Önerilen durum için hücrelerin yerleşimi

Bu yerleşim, ile taşımalar sadece hücre içinde olacaktır. Ancak harici elemanlar olduğundan hücreler arasında taşınması gereken parçalarda olacaktır. EK-1’ de verilen eski yerleşim düzeninde ise parçaların taşımaları oldukça fazladır. Miller, borular ve arkalıklar için eski yerleşim düzeninde yapılan çalışmalar EK-2, EK-3 ve EK-4’ de verilmiştir.

Yapılan hücresel tasarım sonucunda önerilen yerleşim planı (Bkz. EK-5) ve yeni yerleşim planında taşıma mesafeleri EK-6, EK-7 ve EK-8’ de verilmiştir. Eski ve yeni yerleşimde taşıma mesafelerinin karşılaştırmalı tablosu Çizelge 3.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Karşılaştırmalı taşıma mesafeleri tablosu

	Eski Yerleşim	Yeni Yerleşim	Kazanım
Miller	360 M	76 M	284 M
Borular	714 M	126 M	588 M
Arkalıklar	190 M	24 M	166 M

Yukarıdaki tabloya göre yeni yerleşimde, hücresel tasarımın felsefesine uygun olarak, taşımaların azaldığı görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus millerin, boruların ve arkalıkların paletler ile taşınmasıdır. Her bir palete düşen parça sayısı ve yıllık taşınacak palet sayısı Çizelge 3.12’ de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Yıllık taşınan palet sayısı

PARÇA	YILLIK TALEP (adet)	PALET BAŞINA DÜŞEN MİKTAR (adet)	YILLIK TAŞINAN PALET SAYISI (adet)
SİLİNDİR MİLİ	23100	25	924
SİLİNDİR BORUSU	23100	25	924
SİLİNDİR ARKALIĞI	23100	50	462

Taşınan palet sayısına göre eski yerleşim düzeninde taşıma maliyeti, forkliftin bir paleti bir metre taşıma maliyeti üzerinden hesaplanmaktadır. Bu maliyetlerin hesaplandığı tablo Çizelge 3.13’ de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Taşıma maliyet tablosu

FORKLİFT AMORTİSMAN	2,35 YTL/SAAT
ÇALIŞAN MALİYETİ	9,73 YTL/SAAT
YAKIT MALİYETİ	9 YTL / SAAT
BAKIM MALİYETİ	1,18 YTL/SAAT
TOPLAM İŞLETME MALİYETİ	2,26 YTL/SAAT
FORKLİFT HIZI	5000 M/SAAT
TAŞIMA MALİYETİ	0,0044 YTL/M

Yukarıdaki maliyet hesabına göre eski yerleşim düzeninde yapılan taşımaların yıllık maliyeti Çizelge 3.14’ de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Parçaların eski yerleşimde yıllık taşıma maliyeti

PARÇA	BİRİM TAŞIMA MALİYETİ (YTL / M)	TAŞIMA MESAFESİ (M)	YILLIK TAŞINAN PALET SAYISI (adet)	TOPLAM YILLIK TAŞIMA MALİYETİ (YTL)
SİLİNDİR MİLİ	0,0044	360	924	1464
SİLİNDİR BORUSU	0,0044	714	924	2903
SİLİNDİR ARKALIĞI	0,0044	190	462	386

Önerilen hücresel tasarımda bütün taşımaların forklift ile yapılacağı düşünülürse, yapılan taşımaların yıllık maliyeti Çizelge 3.15’ de görülmektedir.

Çizelge 4.15. Parçaların önerilen yerleşimde yıllık taşıma maliyeti

PARÇA	BİRİM TAŞIMA MALİYETİ (YTL / M)	TAŞIMA MESAFESİ (M)	YILLIK TAŞINAN PALET SAYISI (adet)	TOPLAM YILLIK TAŞIMA MALİYETİ (YTL)
SİLİNDİR MİLİ	0,0044	76	924	309
SİLİNDİR BORUSU	0,0044	126	924	512
SİLİNDİR ARKALIĞI	0,0044	24	462	49

Eski yerleşim düzeni ve önerilen yerleşim düzeninde taşıma maliyetlerinin karşılaştırmalı tablosu Çizelge 3.16’ da sunulmuştur.

Çizelge 4.16. Önerilen yerleşim ile eski yerleşim karşılaştırmalı maliyet tablosu

PARÇA	ESKİ YERLEŞİM YILLIK TAŞIMA MALİYETİ (YTL)	ÖNERİLEN YERLEŞİM YILLIK TAŞIMA MALİYETİ (YTL)	KAZANIM
SİLİNDİR MİLİ	1464	309	1155
SİLİNDİR BORUSU	2903	512	2391
SİLİNDİR ARKALIĞI	386	49	337
TOPLAM			3883

Eski yerleşim düzeninde makineler işlevlerine göre farklı birimlerde bulunduğundan her makinede bir işçi çalışmaktadır. Ancak talaşlı imalat biriminde bulunan “Radyal Matkap” ile “Kaynak Makinesi-2” Tek bir operatör tarafından kullanılabilir. Bu durum, kurulan matematiksel modelde “iki makineye tek operatör” kısıtı ile bu iki makinenin bir hücreye atanması ile sağlanmıştır. Bu durumda yapılan hücresel tasarım ile bir operatör kazanç sağlanmıştır. Bir operatörün aylık çalışma maliyeti 1800 YTL olarak göz önüne alındığında sağlanan kazanç Eş. 3.13’ de verilmiştir.

$$\text{Kazanç (yıllık)} = 1.800 \text{ YTL} / \text{ay} \times 12 \text{ ay} = 21.600 \text{ YTL} \quad (4.13)$$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Çok Amaçlı Hücresel İmalat Tasarımı ve Hidromek Silindir Üretim Tesisinde Bir Uygulama” isimli bu çalışmada Hidromek Fabrikasının Silindir üretimi yapan bölümünde, silindir üretiminde kullanılan parçaların ve makinelerin iş akışlarına ve işlem sürelerine göre hücresel tasarım yapılması amaçlandı. Bu gruplamayı yapabilmek için literatürde incelenen yöntemlerden, çok amaçlı matematiksel model yöntemi kullanıldı.

Çalışmanın ikinci bölümünde yapılan sistemin genel analizinde mühendislikte sistem analizi ve problem çözme tekniğine uygun olarak her bir aşamada yapılması gerekenler ve yapılanlar anlatıldı. Öncelikle Hidromek’ de üretim sisteminin genel akışı, daha sonra da bu genel akış içerisinde Silindirhane Atölyesinin yeri ve öneminden bahsedildi. Mevcut sisteme ilişkin ortaya konulan veriler hem sistemin analizinde hem de problemin çözümünde kullanılacak olmasından dolayı, detaylı bir şekilde incelendi. Probleme ilişkin veriler analiz edildiğinde çalışmanın yapılacağı bölüm olan silindirhane atölyesinde önemli sonuçlara ulaşıldı. Bunlardan birincisi “taşımaların fazla” olduğu, ikincisi “yerleşimin rasgele yapıldığıdır.” Bu iki sonuç ve silindirhanenin taşınacak olması bir bütün olarak düşünüldü ve yeni bir yerleşim ve sistem tasarımı yapıldı.

Problemin çözümü için kullanılacak yöntemlere ve bu konuda yapılmış çalışmalara bakıldığında “sezgisel” ve “optimum sonuç veren” teknikler olduğu gözlemlendi. En iyi sonuç veren tekniklerden, Matematik Programlama yöntemi hem en iyi sonuçlar vermesi hem de hücresel imalat tasarımında sık kullanılan ve geçerli sonuçlar veren bir teknik olmasından dolayı daha detaylı bir şekilde incelendi. Yapılan incelemelerde ve araştırmalarda görüldü ki hücresel imalat tasarımları için yapılan matematiksel modeller amaçlara ve problemin yapısına göre değişmekte.

Bu çalışmada hücresel imalat tasarımı için matematiksel programlama tekniği kullanıldı. Parçaların ve makinelerin hücrelere eş zamanlı atanmasını sağlamak için

non-lineer atama modeli kullanıldı ve hücreleri oluştururken iki farklı amaç belirlendi. Hücre içi boşlukların enazlanması ve hücre kapasite kullanımı enbüyüklenmesi olmak üzere iki amaçlı model kuruldu ve çok amaçlı problem çözme tekniklerinden yaygın olarak kullanılan Hedef Programlama tekniği ile kurulan modelin çözümü yapıldı. Ayrıca bu çalışmada problemin çözümünde kullanılacak kısıtlardan biri olan “İki makineye tek operatör” kısıtı, çok amaçlı matematiksel model için bu çalışmada sunuldu.

İki farklı amaç için Hedef Programlama tekniği ile modelin çözümünde “sıralama” yöntemi kullanıldı. Her bir amaç öncelikli olarak çözülerek elde edilen iki farklı sonuç (alternatif sonuçlar) karşılaştırıldı. Alternatif seçimi için dört ana kriter karşılaştırıldı. Bunlar:

- Harici eleman sayısı
- Hücre içi boşluk sayısı
- Hücre içi kapasite kullanımı (saat)
- Hücre yoğunluğu

Bu dört kritere göre, çözüm sırasının değiştirilmesinden dolayı oluşan alternatifler karşılaştırıldı ve 1. alternatif 2. alternatife oranla baskın çözüm olarak seçildi.

Öncelikli olarak “Hücre İçi Boşlukların Enazlanması” amacı çözüldüğünde hücre içi kapasite kullanımı hariç diğer kriterlerde 1. alternatif daha iyi sonuçlar verdi. Seçilen alternatif için hücre dışında işlem gören parça sayısı 18 adet ve hücre içinde kalan boşluk sayısı 6 adet olarak minimize edildi. Seçilen alternatifte ortalama hücre yoğunluğu % 91,7 olarak gerçekleşti.

Çalışmanın başarı faktörleri çalışmanın başında belirlendi. Bu faktörlerden biri olan fabrika içi taşımaların enazlanmasına uygun olarak silindir millerinde taşımalar % 78, silindir borularında taşımalar % 82 ve silindir arkalıklarında taşımalar % 87

oranında azaltıldı. Aynı şekilde taşımalara bağlı olarak, taşıma maliyetlerindeki iyileştirmelerin de olduğu üçüncü bölümde ispatlandı.

Hidromek silindirhane atölyesinde yapılan bu çalışmada, çok amaçlı matematiksel programlama tekniği ile yapılan hücresele tasarım 3 hücreli bir imalat sistemi olarak önerildi. Seçilen alternatifte millerin, boruların ve arkalıkların 3 farklı hücrede yerleştiği görüldü. Çalışmanın başında belirtilen hücresele imalatın uygulanabileceği durumlardan biri olan “proseslerin ve işlem sıralarının benzerliğinin”, silindirhane atölyesinde olduğu savunulmuş ve bu sistemin hücresele imalat tasarımına uygun olduğu tezi ortaya atılmıştı. Çözüm sonucunda sonuçlara ve elde edilen kazanımlara bakıldığından silindir üretiminin yapıldığı tesislerde hücresele imalat tasarımının uygun olduğu görüldü. Yapılan hücresele tasarım, eski düzene göre, silindir üretiminde avantajlar sağladı.

Tabi ki bu çalışmada yapılan düzenleme sadece silindir atölyesini kapsamaktadır. Burada yapılacak düzenlemeler ve iyileştirmeler sadece bu bölümle sınırlıdır. Ancak büyük bir sistem içerisinde, silindir üretim tesisi önemi ve önceliği yüksek bir bölüm olduğundan yapılacak düzenleme tüm sistem içinde sıkıntılara yol açmamaktadır. Çünkü yapılan imalat bütün bölümler için yıllık aynı üretim miktarına göre düzenlenmiştir. Burada önemli olan nokta, silindir üretiminde makinelerin tiplerine ve bölümlerine göre değil de bu makinelerde işlem gören benzer parça ailelerine göre gruplandırılmasının daha uygun olacağıdır.

KAYNAKLAR

- Adil, G.K., Rajamani, D., Strong, D.A., “Mathematical model for cell formation considering investment and operational costs”, *European Journal of Operational Research*, 69 (3): 330-341 (1993).
- Albadawi, Z., Bashir, H.A., Chen, M., “A mathematical approach for the formation of manufacturing cells”, *Computers and Industrial Engineering*, 48 (1): 3–21 (2005).
- Angra S., Sehgal, R., Noori, Z.S., “Cellular manufacturing – A time based analysis to the layout problem”, *International Journal of Production Economics*, 104: 287-299 (2007).
- Arıkan, F., Güngör Z., “Çok amaçlı hücresel tasarım için bulanık doğrusal programlama yaklaşımı”, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği – XXIV Ulusal Kongresi*, Gaziantep – Adana, 28-31 (2004).
- Aşkın, R.G., Zhou, M., “Formation of Independent Flow-Line Cells Based on Operation Requirement and Machine Capabilities”, *IIE Transactions*, 30: 319-329 (1998).
- Berardi, V.L., Zhang, G., Offodile, F., “A mathematical programming approach to evaluating alternative machine clusters in cellular manufacturing”, *International Journal of Production Economics*, 58: 253-264 (1998).
- Buridge, L., “Production flow analysis”, *Production Engineer*, 42: 472 (1963).
- Burbidge, J.L., “Comments on clustering methods for finding GT groups and families”, *Journal of Manufacturing Systems*, 12 (5): 428-429 (1993).
- Chandrasekharan, M.P., Rajagopalan, R., “An Ideal Seed Non-Hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing”, *International Journal of Production Research*, 24 (2): 456- 457 (1986).
- Chaneski, W.S., “Cellular Manufacturing Can Help You”, *Modern Machine Shop*, 71: 52-53 (1998).
- Charnes, A., Cooper, W.W., “Management Models and Industrial Applications of Linear Programming”, *John Wiley & Sons, Inc.*, USA, 1: 45-49 (1961).
- Chen, S.J., Cheng, C.S., “A neural network-based cell formation algorithm in cellular manufacturing”, *International Journal of Production Research*, 33 (2): 293-318 (1995).

Cheng, C.H., Kumar, A., Motwani, J., “A Comparative Examination of selected Cellular Manufacturing Algorithms”, *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (12): 86-97 (1995).

Defersha, F.M., Chen, M.A., “Comprehensive mathematical model for the design of cellular manufacturing systems”, *International Journal of Production Economics*, 103 (2): 767-783 (2006).

Demir, M. H., Gümüsoğlu, Ş., “Üretim / İşlemler Planlaması ve Kontrolü”, Üretim Yönetimi İşlemler Yönetimi, 6. Baskı, *Beta Basım Yayım Dağıtım A. S.*, İstanbul, 277 (2003).

Durmuşoğlu, M.B., Kulak, O., Balci, H.B., “Türkiye’ de hücreli imalat uygulamalarının analizi ve değerlendirilmesi”, *Endüstri Mühendisliği*, 17-20 (2003).

Evans, G.W., “An overview of techniques for solving multiobjective mathematical programs”, *Management Science*, 30 (11): 126-131 (1984).

Goicoechea, A., Duckstein, L., Zionts, S., “Multiple Criteria Decision Making”, Proceedings of The Ninth International Conference, *Business, Industry and Government, Springer- Verlag*, New York, 124-127 (1992).

Heragu, S.S., “Group technology and cellular manufacturing”, *IEEE Transactions on Systems*, 24(2): 203-215 (1994).

Hwang, C.L., Masud A.S., “Multiple Objective Decision Making Methods and Applications”, *State of The Art Survey, Springer Verlag*, Berlin, 156-161 (1979).

Kaimann, R.A., Bechler, B.A., “Emerging Concepts In Production: Group Technology, Manufacturing Cells, and Robotics”, *Industrial Management*, 24 (6): 2 (1982).

Kizil, M., Ozbayrak, M., “A Trade-off analysis between process plan selection and cell formation in cellular manufacturing systems”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 23 (7-8): 501-506 (2004).

Kuisak, A., “The generalized group technology concept”, *International Journal of Production Research*, 25 (4): 457-471 (1987).

Kuisak, A., Chow, W.S., “Decomposition of manufacturing systems systems”, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 4 (5): 457-471 (1988).

Kuisak, A., Vanelli, A., Kumar, K.R., “Clustering Analysis: model and algorithms”, *Control and Cybernetics*, 15 (2): 139-154 (1986).

Lee-Post, A., "Part Family Identification Using a Simple Genetic Algorithm", *International Journal of Production Research*, 38 (4): 793-810 (2000).

Mahdavi, I., Kaushal, O.P., Chandra, M., "Graph-neural network approach in cellular manufacturing on the basis of a binary system", *International Journal of Production Research*, 39 (13): 2913-2922 (2001).

Mahdavi, I., Javadi, B., Fallah-Alipour, K., Slomp, J., "Desingning a new mathematical model for manufacturing system based on cell utilization", *Applied Mathematics and Computation*, 190: 662-670 (2007).

Miltenburg, J., Zhang, W., "A Comparative Evaluation of Nine Well-Known Algorithms for Solving the Cell Formation Problem in Group Technology", *Journal of Operations Management, Special Issue on Group technology and Cellular Manufacturing*, 10 (1): 44-72 (1991).

Olexa, R., "When Cells Makes Sense", *Manufacturing Engineering*, 128: 45-51 (2002).

Öztürk, Ö., "Tasarlanan hücresel üretimin mevcut üretim sistemi ile karşılaştırılması: Ford Otosan fabrikasında bir uygulama", Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir, 15-17 (2007).

Rajagopalan, R., Batra, J.L., "Design of Cellular Production Systems: A Graph Theoretic Approach", *International Journal of Production Research*, 13 (6): 567-579 (1975).

Rajamani, D., Singh, N., Aneja, Y.P., "Selection of parts and machines for cellularization: a mathematical programming approach", *European Journal of Operational Research* 62: 47-54 (1992).

Shafer, S.M., Meredith, J.R., "An Empirically-Based Simulation Study of Functional versus Cellular Layouts With Operations Overlapping", *International Journal of Operations & Production Management*, 13 (2): 47-62 (1993).

Singh, N., Rajamani, D., "Cellular Manufacturing Systems", Design, Planning and Control, *Chapman & Hall*, London, 4-7 (1986).

Slomp, J., Chowdary, B.V., Suresh, N.C., "Design of virtual manufacturing cells: a mathematical programming approach", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21 (3): 273-288 (2005).

Soyuer, H., "Hücresel İmalat Sistemlerinde Makine – Parça Grup Analizi ve Bir Uygulama", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, 255 (1995).

Süer, G.A., “Minimizing the number of trade jobs in multi-period cell loading problems”, *Computers and Industrial Engineering*, 33 (3): 721-724 (1997).

Taboun, S.M., Merchawi, N.S., Ulger, T., “A two-stage model for cost effective part family and machine cell formation”, *Computers and Industrial Engineering*, 34 (4): 759-776 (1998).

Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadian, N., Javadi, B., Safaei, N., “Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands”, *Applied Mathematics and Computation*, 184 (2): 721-728 (2007).

Taylor III, B.W., Roberta S.R., “Operations Management Quality and Competitiveness in a Global Environment”, *John Wiley and Sons, Inc.*, U.S.A., 426-431 (2006).

Wang, J., “Formation of machine cells and part families in cellular manufacturing systems using a linear assignment algorithm”, *Automatica*, 39 (9): 1607-1615 (2003).

Wei, J.C., Gaither, N., “An optimal model for cell formation decisions”, *Decision Sciences*, 21 (2): 416-433 (1990).

Wemmerlöv, U., Johnson, D.J., “Cellular manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and performance improvements”, *International Journal of Production Research*, 35(1): 29-49 (1997).

Womack, J.P., Jones, D.T., “Lean thinking”, *Banish waste and create wealth in your corporation*, Simon & Schuster, New York, 124-128 (1996).

EKLER



EK-2 Eski yerleşim düzeninde millerin taşındığı mesafeler

						TOPLAM MESAFE
YER	SİLİNDİRHANE					360 m
FAALİYET	SİLİNDİR MİLİ İŞ AKIŞI					
OLAY	SEMBOL					UZAKLIK
MİL VE MİL BAŞLIKLARININ KAYNATILMASI						
DİM TEZGAHINA TAŞIMA						120
DİM TEZGAHI ÖNÜNE YERLEŞTİRİLMESİ						
DİM DE İŞLENMESİ						
PRES İÇİN TAŞIMA						216
BURÇ ÇAKILMASI						
MOTAJ ALANINA TAŞINMASI						24
KONTROL						
İSTİFLEME						

EK-3 Eski yerleşim düzeninde boruların taşındığı mesafeler

						TOPLAM MESAFE
YER	SİLİNDİRHANE					714 m
FAALİYET	SİLİNDİR BORUSU İŞ AKIŞI					
OLAY	SEMBOL					UZAKLIK
BORUNUN RM DA DELİNMESİ						
1. KAYNAK MAKİNESİNE TAŞIMA						60
1. NİPELİN KAYNATILMASI						
CNC TEZGAHINA TAŞIMA						68
CNC DE İŞLENMESİ						
TEMİZLEMeye GÖTÜRÜLMESİ						190
TEMİZLİK						
KAYNAK MAKİNESİNE TAŞIMA						16
ARKALIK ÇATIMI						
2. KAYNAK ROBOTUNA TAŞIMA						190
ARKALIK KAYNAĞI						
MONTAJ ALANINA GÖTÜRME						190
İSTİFLEME						

EK - 5 Silindirhane önerilen yeni yerleşim planı



EK - 6 Önerilen yerleşimde millerin taşınma mesafeleri

YER	SİLİNDİR HANE					TOPLAM MESAFE
FAALİYET	SİLİNDİR MİLİ İŞ AKIŞI					76 m
OLAY	SEMBOL					UZAKLIK (M)
MİL İŞLEME						
MİLİ FRIKSIYON KAYNAĞINA TAŞIMA						8
MİL VE MİL BAŞLIKLARININ KAYNATILMASI						
DİM TEZGAHINA TAŞIMA						16
DİM TEZGAHI ÖNÜNE YERLEŞTİRİLMESİ						
DİM DE İŞLENMESİ						
PRES İÇİN TAŞIMA						16
BURÇ ÇAKILMASI						
MOTAJ ALANINA TAŞINMASI						36
KONTROL						
İSTİFLEME						

EK - 7 Önerilen yerleşimde boruların taşınma mesafeleri

YER	SİLİNDİR HANE					TOPLAM MESAFE
FAALİYET	SİLİNDİR BORUSU İŞ AKIŞI					126 m
OLAY	SEMBOL					UZAKLIK (M)
BORU İŞLEME	●	→	□	◐	▽	
BORUYU RM YE TAŞIMA	○	→	□	◐	▽	24
BORUNUN RM DA DELİNMESİ	●	→	□	◐	▽	
1. KAYNAK MAKİNESİNE TAŞIMA	○	→	□	◐	▽	16
1. NİPELİN KAYNATILMASI	●	→	□	◐	▽	
CNC TEZGAHINA TAŞIMA	○	→	□	◐	▽	32
CNC DE İŞLENMESİ	●	→	□	◐	▽	
TEMİZLEMeye GÖTÜRÜLMESİ	○	→	□	◐	▽	12
TEMİZLİK	●	→	□	◐	▽	
KAYNAK MAKİNESİNE TAŞIMA	○	→	□	◐	▽	16
ARKALIK ÇATIMI	●	→	□	◐	▽	
KAYNAK ROBOTUNA TAŞIMA	○	→	□	◐	▽	8
ARKALIK KAYNAĞI	●	→	□	◐	▽	
MONTAJ ALANINA GÖTÜRME	○	→	□	◐	▽	18
İSTİFLEME	○	→	□	◐	▼	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BABACAN, Hasan Çağatay
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.07.1983 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon-1 : 0 (312) 256 37 22
e-mail : cagataybabacan83@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Ö. Yavuz Sultan Fen Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	Hidromek Ltd. Şti.	Üretim Planlama ve Tedarik Zinciri Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Go-Kard, Bowling, Yüzme, Futbol, Avcılık.