

**HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ÇİFTE
KAYNAK KISITLARI ALTINDA SİSTEM
PERFORMANSINI İYİLEŞTİRME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Barış BEYHAN
(507011004)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 MAYIS 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 HAZİRAN 2006**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Tijen ERTAY

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Demet BAYRAKTAR (İ.T.Ü)

Prof.Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU (İ.T.Ü)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve doküman desteği sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Tijen ERTAY'a, simülasyon çalışmaları sırasında fikir ve teknik destek sağlayan Prof. Dr. M. Bülent DURMUŞOĞLU'na, Yüksek lisans ve Doktora tezlerinden yararlandığım Sn. Affan NOMAK ve Sn. Mustafa AKHUN'a, özellikle yayın taraması aşamasında sağladığı kütüphane ve bilgisayar laboratuvarı olanaklarından dolayı İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Dekanlığı'na ve çalışmam süresince bana her türlü desteği veren aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2006

Bariş BEYHAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ	3
3. YAYIN TARAMASI	8
3.1. Simülasyon Çalışmaları	8
3.2. Çifte Kaynak Kısıtlı Sistemler ve Hücresel Üretimdeki Diğer Çalışmalar	29
3.3. Varyans Düşürme Teknikleri	35
4. ÜRETİM SİSTEMİNİN TASARIM ALTERNATİFLERİ VE SİMÜLASYONU	37
4.1. Üretim Sistemi	37
4.1.1. Üretim Tesisleri	37
4.1.2. Ürün Tipleri ve Talep Yapısı	39
4.1.3. Hücresel İşleyişi ve Operasyon Rota Bilgileri	42
4.1.4. Hazırlık Süreleri	50
4.1.5. Makine Arızaları	50
4.2. Deney Tasarımı	50
4.2.1. Parti Büyüklüğü	50
4.2.2. Kuyruktan İş Seçim Stratejileri	51
4.2.2.1. İlk Gelen İlk İşlem Görür (İG)	51
4.2.2.2. Kalan İşlem Süresi Kısa Olan İlk İşlem Görür (KİS)	51
4.2.2.3. Sisteme İlk Giren İlk İşlem Görür (SİG)	51
4.2.2.4. En Kısa İşlem Süresine Sahip Olan İlk İşlem Görür (EKİS)	52
4.2.3. Hücredeki İşgören Sayısı	52
4.3. Performans Ölçütleri	53
4.3.1. İmalat Temin Süresi	53
4.3.2. İşgören Kullanım Oranı	53
4.3.3. Toplam Üretilen Parça Sayıları ve Oranları	54
4.4. Merkez Aks Kompleksi Üretim Sisteminin Simülasyon Modeli	54
4.4.1. Simülasyon Modelinin Varsayımları	54
4.4.2. Simülasyon Modelinin Parametreleri	55
4.4.3. Simülasyon Modeli	59
4.5. Simülasyon Modelinin Testi ve Geçerliliği	63

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	67
5.1. Deney Sonuçları ve Analizi.....	67
KAYNAKLAR	76
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

AÜÇ	: Ana üretim çizelgesi
ÇKK	: Çifte kaynak kısıtlı
GT	: Grup teknolojisi
İAE	: İşçi atanması ve eğitimi
İng	: İngilizcesi
Kİ	: Kalite indeksi
MİP	: Malzeme ihtiyaç planlaması
PPK	: Periyodik parti kontrolü
TZÜ	: Tam zamanında üretim

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Yayın taraması özet tablo.	25
Tablo 4.1 Uzel Makine 19 No’lu hücrede Ocak 2002- Ekim 2003 tarihleri arasında üretilen parça miktarları.	39
Tablo 4.2 ARENA 3.0 Input Analyzer gelişler arası süre dağılımı analiz sonuçları.	40
Tablo 4.3 Parça 582A Operasyon rota bilgileri.	43
Tablo 4.4 Parça 089B Operasyon rota bilgileri.	44
Tablo 4.5 Parça 625C Operasyon rota bilgileri.	45
Tablo 4.6 Makine arızaları ve tamir süreleri.	50
Tablo 4.7 Uzel Makine 19 No’lu hücrede bulunan makinelerin birbirlerine olan mesafeleri.	57
Tablo 5.1 Deney sonuçları: Üretim miktarları.	68
Tablo 5.2 Deney sonuçları: Parçaların ortalama temin süreleri.	71
Tablo 5.3 Deney sonuçları: Parçaların üretim oranları.	72
Tablo 5.4 Deney sonuçları: İşgören kullanım oranları.	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Geleneksel İmalat Sistemleri ve Grup Teknolojisi Yerleşim Düzeni (Bauer ve diğ., 1994).....	3
Şekil 2.2 Grup Teknolojisi Yerleşim Düzeni Tipleri (Bauer ve diğ., 1994).....	4
Şekil 2.3 Temin Süresi (Bauer ve diğ., 1994).....	6
Şekil 4.1 19 No'lu Hücrenin Genel Görünüşü.....	37
Şekil 4.2 Uzel Makine 19 No'lu Hücrenin Şematik Yerleşimi.....	38
Şekil 4.3 Uzel Makine 19 No'lu Hücre gelişler arası süre dağılımının ARENA Input Analyzer ile analiz sonucu.....	41
Şekil 4.4 Weibul dağılımı grafik gösterimi ($\beta = 1$ için) Alfa (α): Şekil parametresi Beta (β): Boyut parametresi	41
Şekil 4.5 İncelenen hücrenin işleyişi ve operasyon rota bilgileri.....	46
Şekil 4.6 3700582 M93S No'lu parçanın teknik resmi.....	47
Şekil 4.7 3808089 M91S No'lu parçanın teknik resmi.....	48
Şekil 4.8 897625 M94S No'lu parçanın teknik resmi.....	49
Şekil 4.9 Gelişler arası süre ve talep yapısı.....	56
Şekil 4.10 İşlem süresinin atanması.....	56
Şekil 4.11 Makineler arasındaki mesafeler.....	57
Şekil 4.12 Kaynağın arıza ve tamir durumunda kullanacağı değişkenlerin tanımlanması.....	58
Şekil 4.13 Makine arızaları arası süre.....	58
Şekil 4.14 Makine tamir süresi.....	59
Şekil 4.15 Bir makine için örnek simülasyon modeli.....	60
Şekil 4.16 Parti büyüklüğünün tanımlanması.....	60
Şekil 4.17 Kuyruktan iş seçim stratejilerinin tanımlanması.....	61
Şekil 4.18 İşgörenlerin arıza durumunda görevlendirilmesi.....	62
Şekil 4.19 582A parçasının temin süresinin korelasyon grafiği.....	65
Şekil 4.20 295'lik gruplar için kovaryans testi sonuçları.....	65
Şekil 4.21 300'lük gruplar için kovaryans testi sonuçları.....	66
Şekil 4.22 300'lük grupların standart sapmasının tekil gözlemlerin standart sapması ile karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.1 Parti büyüklüğüne göre toplam üretim miktarı.....	69
Şekil 5.2 Kuyruktan iş seçim stratejisine göre toplam üretim miktarı.....	69
Şekil 5.3 İşgören sayısına göre toplam üretim miktarı.....	70
Şekil 5.4 Parça tipine göre ortalama temin süreleri.....	70
Şekil 5.5 Kuyruktan iş seçim stratejilerine göre üretim oranlarından sapma.....	73
Şekil 5.6 İşgören kullanım oranları.....	75

HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ÇİFTE KAYNAK KISITLARI ALTINDA SİSTEM PERFORMANSINI İYİLEŞTİRME

ÖZET

Özellikle karmaşık sistemlerin analizinde simülasyon metodu çok kullanışlı ve ucuz bir araçtır. Simülasyon modelleri sayesinde farklı üretim parametreleri için performans kriterleri kolaylıkla elde edilebilir. Gerçek sistem deneylerinin maliyeti ile karşılaştırıldığında en iyi sonucu verecek üretim sistemi kriterleri çok daha ucuza belirlenebilir.

Bu çalışmada, literatür taraması sürecinde incelenen makaleler bir tabloda özetlenmiştir. Bu tabloda, makalenin amacı, makalede incelenen faktörler, incelenen hücrenin yerleşim tipi, performans kriterleri, incelenen sistemin gerçek mi, yoksa hipotetik bir sistem mi olduğu, kullanılan simülasyon dili ve çalışmanın sonuçları verilmiştir.

Çalışmada, grup teknolojisinden yararlanılarak hazırlanmış gerçek bir üretim tesisindeki hücrelerden biri incelenmiştir. Hücrede gerçekleştirilen üretim, bazı kabuller yapılarak ARENA simülasyon programına aktarılmıştır. Benzetim sırasında üç faktör incelenmiştir. Bu faktörler;

- Parti büyüklüğü,
- Kuyruktan iş seçim stratejisi,
- Hücrede çalışan işgören sayısıdır.

Sistem üç farklı parti büyüklüğü için incelenmiştir. Dört farklı kuyruktan iş seçim stratejisi simülasyon modellerinde kullanılmıştır. Kullanılan stratejiler şunlardır; ilk gelen ilk işlem görür (İG), kalan işlem süresi kısa olan ilk işlem görür (KİS), sisteme ilk giren ilk işlem görür (SİG) ve en kısa işlem süresine sahip olan ilk işlem görür (EKİS). Son olarak üç farklı işgören sayısı düzeyi sisteme uygulanmıştır. Toplam ($3 \times 4 \times 3 = 36$) otuz altı deney simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonların her birinin bilgisayarda tamamlanması üç ile on iki dakika arasında sürmektedir.

Performans kriteri olarak; her bir parça tipinin üretim miktarları, toplam üretim miktarı ve ortalama temin süreleri ve işgören kullanım oranı dikkate alınmıştır. Çalışma, iş gören kısıdının da dahil edilmesi ile bir çifte kaynak kısıdı sistemi haline gelmiştir. Ayrıca bu çalışmada literatürde çok fazla incelenmemiş olan kuyruktan iş seçim stratejileri üzerinde inceleme yapılmıştır.

Simülasyon deneylerinin sonuçlarına göre hücrede çalışan işgören sayısı sekizden altıya düşürüldüğünde toplam üretilen parça miktarında bir değişiklik olmamaktadır. Kullanılan kuyruktan iş seçim stratejisine göre üretilen üç parça tipinin oranları değişmektedir.

A SIMULATION ANALYSIS FOR PERFORMANCE IMPROVEMENT STUDIES IN A CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM WITH DUAL RESOURCECONSTRAINED

SUMMARY

Simulation is a very cheap and useful tool at the researches on the investigation of complicated systems. By the simulation, the performance criteria of the manufacturing systems could be getting for different production scenarios easily. The best alternative could be selected at a very low cost, compared with real production experiments.

In this research, the articles which were studied during the literature review are summarized in a table. In this table, the main objective of the article, investigated factors, layout, performance criteria, “Is the system hypothetical or real?”, simulation language and the results of the papers summarized.

Also in this research, one part of a real-life production system which is designed according to the cellular manufacturing was examined. Some assumptions were made during forming a simulation model in ARENA simulation program from the real production cell. In this simulation study three factors are considered. These factors are;

- Batch size,
- Work selection strategy from the queue,
- Number of workers in the cell.

For three different batch sizes the system was examined. Four work selection strategies from the queue; first come-first served (FCFS), short remaining operation time-first served (SROTFS), first in system-first served (FISFS) and shortest operation time-first served (SOTFS) were modeled at the simulation program. Lastly, three levels of worker quantities applied to the system. Thirty-six [$3 \times 4 \times 3 = 36$] experiments were realized at the computer. The simulation CPU times per experiment were changes approximately between 3 and 12 minutes.

Production quantities of each part, overall production quantity and mean flow time for each part take into consideration as performance criteria. By modeling the worker in the simulation the problem became a dual resource constrained (DRC) system. Also, in this research work selection from the queue strategies were examined which was not so much considered in the literature.

The results of the simulations show that the number of workers could be reduce from eight to six, and this reduction do not produce a difference between total production quantities. The work selection strategies from the queue affect the production rates of the three part types.

1. GİRİŞ

Günümüzde iş dünyasında globalleşme ile birlikte sınırların ortadan kalkması şirketleri çok büyük bir mücadelenin ortasında bırakmaktadır. Rakip firma sayısındaki artış, rekabet düzeyinin artmasını ve kar marjlarının azalmasını beraberinde getirmektedir. Bu rekabet ortamında ayakta kalabilmek için, firmalar sürekli gelişimi sağlayacak kararlar ve katma değer sağlamayan faaliyetleri ortadan kaldıran önlemler almaktadır.

Hücresele imalat da bu noktada özellikle taşıma sürelerinin azaltılmasında önemli fayda sağlamaktadır. Hücrelerdeki makineler parça ailelerini işlemek için birbirlerine yakın yerleştirilmiştir. Hücreler benzer makine operasyonlarına sahip parça ailelerinin işlenmesine atanmaktadır. Grup teknolojisinin geleneksel fonksiyonel yerleşimlere göre, azaltılmış proses içi stok düzeyi ve üretim zamanlarından, artan işçi tatmini ve verimliliğine kadar uzanan ekstra yararları bulunmaktadır. Grup teknolojisinin temel prensibi benzer şeylerin benzer şekilde yapılmasıdır. Bu özelliklerin etkisi ile grup teknolojisi üretim sistemi son kırk yılın popüler üretim sistemlerinden biri haline gelmiştir.

Firmalarda üretim verimini arttırmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sırasında en çok kullanılan yöntemlerden biri de simülasyon çalışmalarıdır. Simülasyon çalışmalarının en büyük avantajı bir kere doğru model oluşturulduktan sonra bu model üzerinde farklı tasarım alternatiflerinin kolaylıkla denenmesi ve hızlı sonuç alınabilmesidir.

Çalışmanın amacı, gerçek bir üretim hücresinin çifte kaynak kısıtları altındaki performansının çeşitli faktörler altında incelenmesidir.

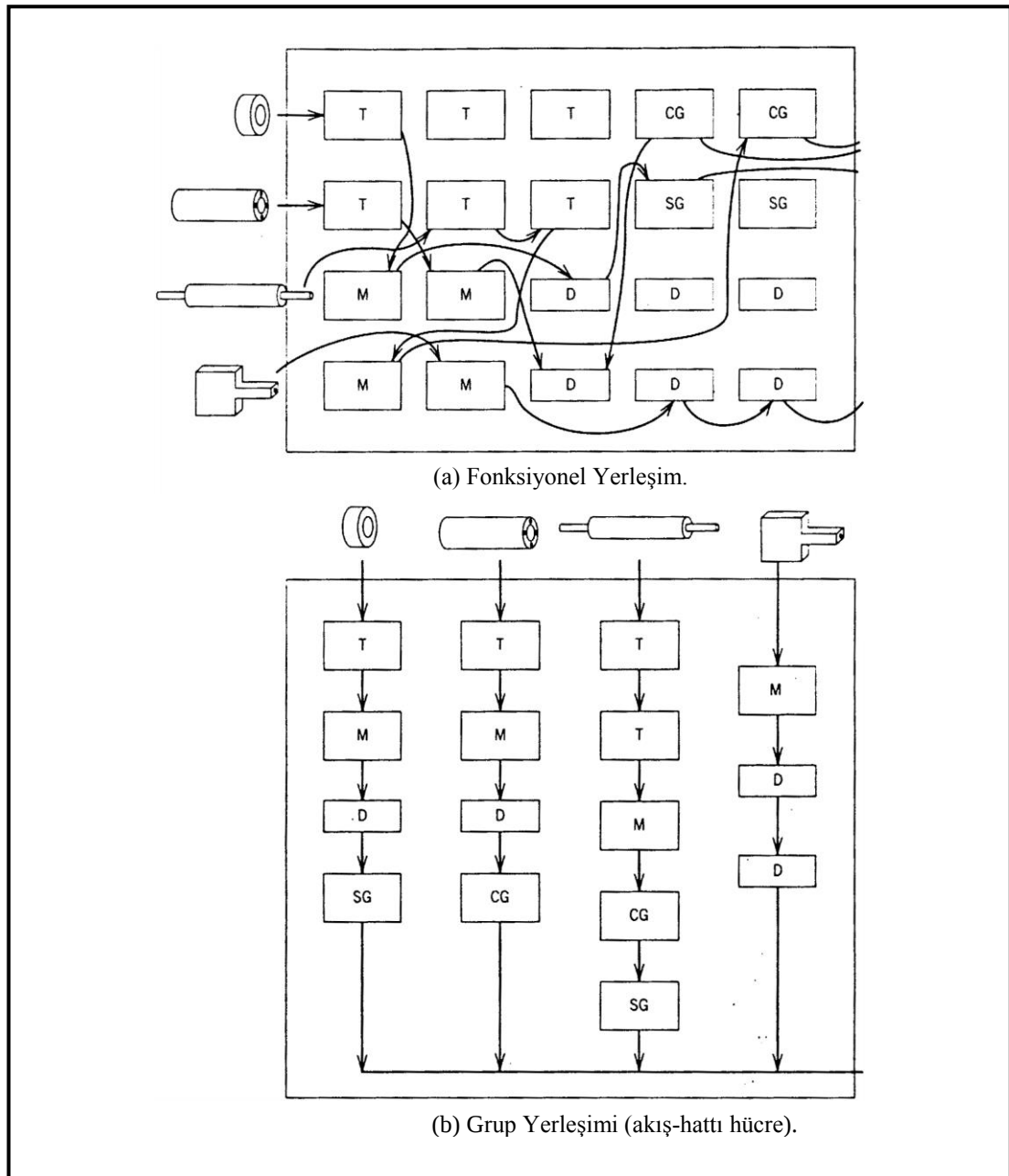
Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen konular ışığında öncelikle hücresele imalat ve grup teknolojisi hakkında kısa bir bilgi verilmektedir. Yayın taraması bölümünde, hücresele imalat konusunda yayınlanmış simülasyon çalışmalarına yer veren makalelerden bir bölümü incelenerek bir tabloda özetlenmiştir.

Üretim sisteminin tasarım alternatifleri ve simülasyonu bölümünde literatürdeki pek çok çalışmadan farklı olarak gerçek bir imalat sisteminde bulunan bir hücre incelenmiştir. Hücrenin simülasyon modeli oluşturularak parti büyüklüğü, kuyruktan iş seçim stratejileri ve çalışan işgören sayısı faktörlerinin hücre performansına etkisi incelenmiştir.

Sonuçlar ve öneriler bölümünde de çalışmadan elde edilen sonuçlar ortaya konulmuş ve bundan sonra yapılacak çalışmalar konusundaki düşünceler belirtilmiştir.

2. HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMİ

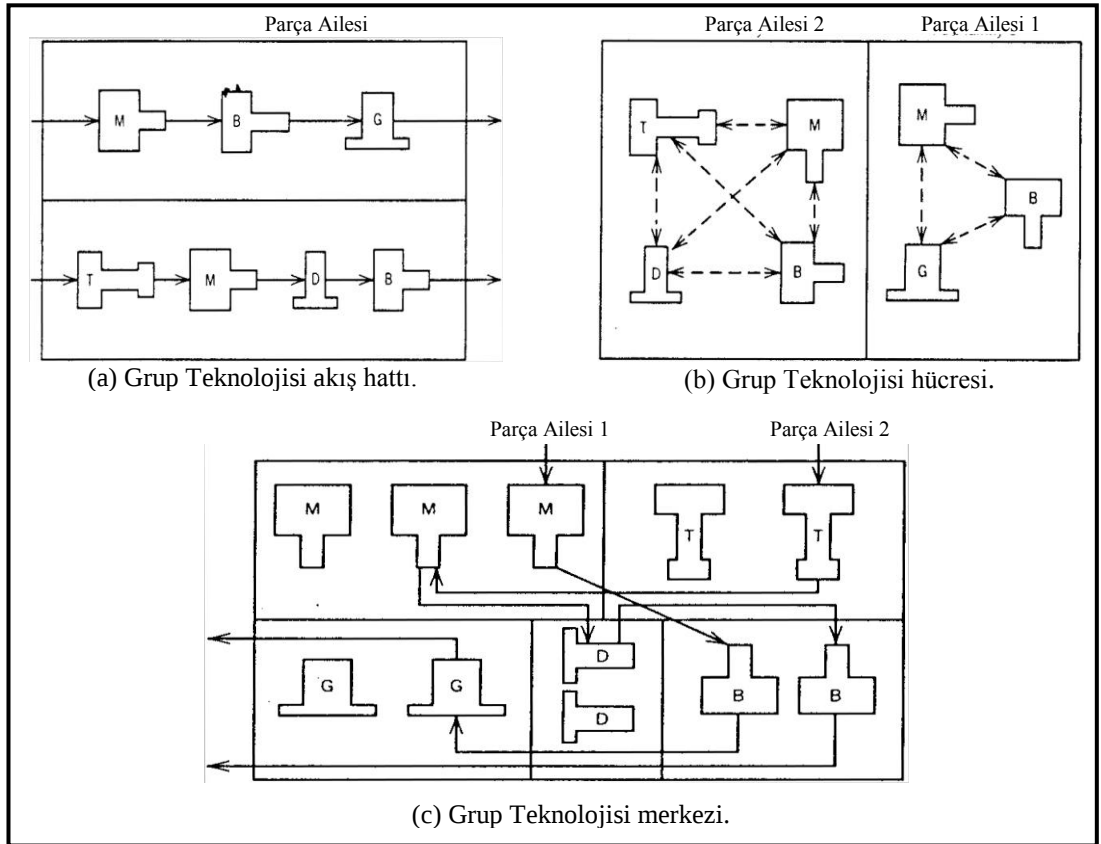
Ürün ailelerinin tanımlanması; fabrika yerleşimine dayalı olarak, ürünün geliştirilmesini araştırır. Ürün bazlı yerleşimin temeli; ortak tasarım ve imalat gereksinimleri gösteren parça ailelerinin tanımlanması ve bunların özelleştirilmiş hücrelerde imal edilebilmesidir.



Şekil 2.1 Geleneksel İmalat Sistemleri ve Grup Teknolojisi Yerleşim Düzeni (Bauer ve diğ., 1994).

Hyer ve Wemmerlov (1982) geleneksel imalat sistemlerinde yerleşim düzeninin Şekil 2.1 (a)'da görüldüğü gibi karmaşık bir akış düzenine sahip olduğunu belirtirken, Grup Teknolojisi yerleşim akış hattı hücrelerinde belirgin ve kontrol edilebilir bir yapı göze çarpmaktadır (Şekil 2.1 (b)).

Grup teknolojisi, parça ailelerinin tanımlanması ve akış bazlı imalat sistemlerinin birbiri ardı sıra gelen gelişmesine ortak bir yaklaşımdır. Parça aileleri tanımlamak için grup teknolojisinin kullanımı birçok sebepten dolayı önemlidir. İlk olarak Grup Teknolojisi, ürün tasarımında gereksiz yinelenmeleri azaltmak ve tasarım sürecine yardımcı olmak için kullanılır. İkinci olarak, iyi belirlenmiş imalat hücrelerinde üretilebilen parça ve parça ailelerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. İmalat hücreleri, bir tesiste basitleştirilmiş iş akışına imkan veren ve bir grup operatör ve onların liderine dayalı bir parça veya parça grubunun sahiplenilmesine ve sorumluluğunun alınmasına izin veren bir yapıdadır (Nomak, 2002). Grup Teknolojisi felsefesi ile üretim yapan işletmelerde mevcut yerleşim düzeni çeşitleri Şekil 2.2'de sunulmuştur.



Şekil 2.2 Grup Teknolojisi Yerleşim Düzeni Tipleri (Bauer ve diğ., 1994).

Hücresel sistem yaklaşımının esası, küçük bir sistemin etkin ve kontrol edilebilir olma özelliğini, büyük bir sisteme yansıtmak şeklindedir. Bu yansıma, büyük sistemin içinde, birbirinden olabildiğince bağımsız küçük sistemler (hücreler) oluşturma şeklinde gerçekleşir. Böylece tüm sistem karmaşıklığı yerine, oluşturulan küçük sistemlerin problemleri ile uğraşılır (Nomak, 2002).

Hücresel üretim sistemleri, sistem içinde benzer imalat karakteristiklerine sahip, belirli bir parçalar grubunun (parça ailesi), tamamen imalatı için, işlem, insan ve özellikle makine gruplarının var olduğu veya oluşturulduğu sistemlerdir. Hücredeki tüm tesis ve birimler, hücre içine giren tüm parçaları, kendi kendine yeter bir seviyede imal etmek üzere organize edilmişlerdir (Grup Yerleşimi). Yukarıda sözü edilen grup düzenlemeden başlayıp tüm üretim sistemini ve üretim - yönetim organizasyonunu saran felsefeye de Grup Teknolojisi veya Grup Teknolojisi Yaklaşımı denir (Nomak, 2002).

Grup teknolojisinin en önemli ve esas avantajı; fonksiyonel düzenlemeye nazaran iş akışını basitleştirmesidir. Bunun yanı sıra, iş akışını basitleştirirken aynı zamanda akış tipi imalata, makine zaman verimlerinde büyük dengesizlikler olmadan imkan vermesidir. Temelde diğer avantajlar da bu iş akışının basitleşmesine dayanır. Grup teknolojisi, operasyon bazında hazırlık zamanlarını da bariz bir şekilde düşürür veya ortadan kaldırır. Çünkü, hücre içindeki makineler, bu hücrede imal edilecek parça ailesi için, bir tip parçadan diğerine çok hızlı geçecek şekilde yeniden donatılmışlardır. Böylece küçük parti üretimi mümkün olabilmektedir. Genel felsefede de, mamullerin sistemin içerisinde su gibi akması istenir, hücresel imalat mantığında bu felsefeye yaklaşım vardır.

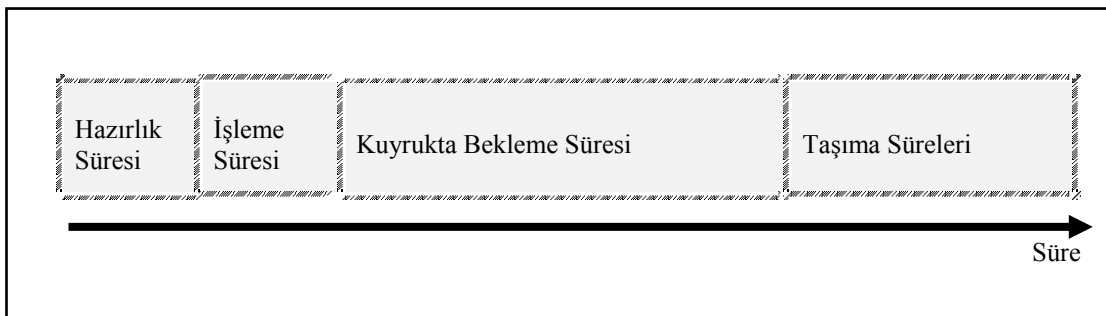
Grup teknolojisi, mamul kalitesinde de bir iyileşmeye sebep olur; çünkü küçük parti üretiminin hücre düzeninde bir işgören, bir parçayı direkt olarak diğer işgörenden alabilir. Böylece, eğer parça kusurlu ise, işlem neyin yanlış gittiğini anlamak için durdurulur. Kalite geri beslemesi derhal gerçekleştirilip yüksek kalite kolaylıkla sağlanabilir. Bundan başka, hücreye giren parçaların tüm işlemleri aynı hücre içerisinde gerçekleştiğinden, iş gören için parçanın bütünü için kalite sorumluluğu taşımak mümkün olacaktır (Nomak, 2002).

Bu avantajların yanı sıra, grup teknolojisinde parça aileleri ve makine gruplarının oluşturulması sırasında birçok problem ve zorluklar ortaya çıkabilmektedir :

- Toplam parça ve makinelerin hücrelere bölünmeleri için uygun bir yöntem bilim benimsenememesi,
- Hücre boyutunun, ekonomik ölçütlerini de göz önüne alarak tespit zorluğu,
- Miktarca az makine tiplerinin, özellikle kendi miktarından daha fazla hücrelere dağıtılması halinde, bazı makinelerin çok fazla, bazılarının çok az yüklenmeleri. Başka bir deyişle, makine zaman verimlerindeki anormal değişimler ve ekstra makine ihtiyaçları,
- Hücrelerdeki makinelerin zaman verimleri üzerine mamul-karmasının düzensiz değişimlerinin etkisi,
- Hücrelerin, mamullerin gelecekteki talep artışlarını karşılamak için esnek tasarlanmaları gereği,
- Makine arızalarının, üretimi uzun süre aksatma ihtimali.

Gerek hücresel üretim sisteminin tasarlanmasında gerekse de hücresel üretim sisteminin yönetilmesinde ortaya çıkabilecek bu tür sakıncaları ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar hem akademik alanda hem de işletmelerde devam etmektedir (Nomak, 2002).

Parti tipi imalat sistemlerinde bir parti üretimi için gerekli temin zamanı, parçanın işleme zamanının oldukça üzerinde bir sürede gerçekleştirilmektedir. Geleneksel parti tipi imalat sistemlerinde hazırlık zamanı da dahil olmak üzere, gerçek işleme zamanının toplam üretim süresi içerisindeki payı sadece yüzde (%) 5 mertebesinde kalmaktadır. Akış süresi veya temin süresi; hazırlık süresi, muayene sürelerini de içeren işleme zamanı, taşıma süresi ve bekleme sürelerini de içeren dört ana kalemden oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Temin Süresi (Bauer ve diğ., 1994).

Bauer ve diğ. (1994) ‘e göre, gerçek hayatta kuyrukta bekleme süreleri toplam temin süresinin % 80 ’ine ulaşabilmektedir. Bu anlamda verimliliği arttırmaya ve ürün teslim sürecinde değer yaratmayan faaliyetleri tespit ederek bunların ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar, uzun yıllardır hem akademik çevrelerin hem de şirket yöneticilerinin ilgi odağı olmuştur (Nomak, 2002). Bu nedenle bu çalışmada kuyruktan seçim stratejileri üzerinde özellikle durulmuş ve ilerleyen bölümlerde ayrıntıları verilecek olan dört farklı kuyruktan iş seçim stratejisi kullanılmıştır. Kullanılan stratejiler şunlardır; ilk gelen ilk işlem görür (İG), kalan işlem süresi kısa olan ilk işlem görür (KİS), sisteme ilk giren ilk işlem görür (SİG) ve en kısa işlem süresine sahip olan ilk işlem görür (EKİS).

3. YAYIN TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde literatürde yer alan hücresele üretim konusunda yapılmış yayınlardan simülasyon çalışmaları ilk bölümde yer almakta ve bu çalışmalar bir tabloda özetlenmektedir. İkinci bölümde ise çifte kaynak kısıtlı sistemler, çizelgeleme yöntemleri ile ilgili yapılmış çalışmalar ve işgören atamaları, işgörenlerin öğrenmeleri gibi konularda yapılmış çalışmalar yer almaktadır.

3.1. Simülasyon Çalışmaları

Hücresele imalat ile ilgili literatürde çok sayıda yayına ulaşmak mümkündür. Bu çalışmada bu yayınların özellikle simülasyon ile ilgili yapılmış olanları incelenerek özet bir tabloda yapılan çalışmaların amacı, çalışmada incelenen faktörler, incelenen ortam, performans ölçütleri, incelenen ortamın hipotetik veya gerçek oluşu, kullanılan simülasyon dili ve çalışmanın sonucu verilmiştir. Özet tabloda yer alan çalışmalar; Flynn ve Jacobs (1986), Morris ve Tersine (1990), Durmuşoğlu ve diğ. (1994), Steele ve diğ. (1995), Kamrani ve diğ. (1998), Albino ve Garavelli (1999), Shambu ve Suresh (2000), Jensen (2000), Huq ve diğ. (2001), Seifoddini ve Djassemi (2001), Kher ve Jensen (2002), Al-Mubarak ve diğ. (2003)'dır. Flynn ve Jacobs (1986) ve Durmuşoğlu ve diğ. (1994) çalışmaları dışında kalan diğer bütün çalışmalar hipotetik sistemler ile yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan simülasyon dilleri çeşitlilik göstermektedir. Bunlar; SLAM, SIMAN, Simple_1, SLAMII, Matlab, Simscript II.5 ve EXTEND'dir. Aşağıda kronolojik sıraya göre çalışmaların geniş özeti ve sonrasında özet tablo yer almaktadır.

Flynn ve Jacobs (1986)' un çalışmasında mevcut bir atölyenin simülasyon modeli, grup teknolojisinin geleneksel atölye imalatı ile karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Deneyde karşılaştırılan atölyeler, grup teknolojisi atölyelerinin ve geleneksel atölyelerin özelliklerini vurgulamak üzere tasarlanmış dört farklı yerleşim ve bitmiş ürün için dört talep dağılımına sahiptir. Grup teknolojisi atölyesi ortalama hareket ve ortalama hazırlık süresi açısından daha iyi performans sergilemiştir. Geleneksel atölyeler kuyrukla ilgili değişkenler (ortalama kuyruk uzunluğu, ortalama bekleme

süresi, proses içi envanter vb.) açısından daha iyi performansa sahiptir. Bunun nedeni grup teknolojisindeki makinelerle atanma özelliğidir. Kuyruk ile ilgili değişkenlerin etkileri, ortalama hareket süresi ve ortalama hazırlık süresinin etkilerinden daha ağır basmaktadır. Geleneksel atölyede, grup teknolojisi atölyelerine göre ortalama akış süresi daha kısadır.

Simülasyon çalışmasında dört yerleşim düzeni ve bitmiş ürün için dört tip talep dağılımı incelenmiştir.

Yerleşim düzenleri;

- PROCSS (ing: process layout) yerleşimi CRAFT' la oluşturulan, benzer tipte makinelerin bir bölüm olarak kabul edildiği proses yerleşimidir. Böylece on iki bölüm oluşturuluyor.
- PRODED (ing: Process layout of traditional job shops with dedication of machines of group technology) yerleşimi grup teknolojisi ve geleneksel atölye özelliklerinin bir kombinasyonu ile oluşturuluyor. Fiziksel yerleşim PROCSS yerleşimi ile aynı ancak makineler arasında değişim yapılamıyor.
- GRPTEC (ing: Uses both characteristics of group technology: group layout and machine dedication) yerleşimi, grup yerleşimi ve makine atamaları karakteristikleri dikkate alınarak oluşturuluyor. Böylece yedi hücre elde ediliyor. Artan makineler talebi yüksek olması beklenen hücrelere eklenmiştir.
- INDMCH (ing: Individual machine) yerleşimi, CRAFT kullanılarak her bir makine ayrı ayrı ele alınarak geliştirilmiştir.

Ürün talep dağılımları;

- EDI (ing: Extrusion Dies Inc.) dağılımında fabrikadaki mevcut talep, altı üründen ikisi üzerinde yoğunlaşmıştır. %23 biri, %31 diğeri olmak üzere talebin %54'ü bu iki ürün üzerinedir.
- FLT dağılımında talebin altı ürün üzerine eşit olarak dağıldığı kabul edilmiştir.
- MST (ing: Most operations) dağılımında eğilim her ürünün tamamlanması için gerekli olan ortalama operasyon sayısı en fazla olan ürüne yöneliktir.

- LST (ing: Least operations) dağılımında eğilim her ürünün tamamlanması için gerekli olan ortalama operasyon sayısı en az olan ürüne yöneliktir.

Fabrikada 12 farklı çeşitte toplam 38 makine bulunmaktadır. Altı tipte ekstrüzyon kalıbı imal edilmektedir. Ortalama her kalıp için 79,6 adet operasyon gerçekleşiyor. Her operasyon için gerekli işlem süresi yarım saat ile 22 saat arasında değişiyor.

Çalışmada incelenen performans ölçütleri; hazırlık süresi, hareket mesafesi, kuyruk uzunluğu, bekleme süresi, proses içi envanter, en uzun kuyruk, en uzun bekleme, akış süresidir.

Deneylerde ilginç ve beklenmeyen sonuçlar ortaya çıkmıştır. Grup teknolojisi atölyelerinden, geleneksel atölyelere göre daha iyi performans beklenmekteydi. Fakat ortalama hazırlık süresi ve ortalama hareket mesafesi terimleri dışında grup teknolojisi performansında ciddi sorunlar görülmektedir. Bunların hepsi de kuyruklarla ilgilidir.

Bu sorunlara neden olarak makinelerin atamaları gösterilmektedir. Aynı işlemi yapabilecek sekiz makine bulunmakta iken işlerin sadece bir makineye atanması kuyrukların uzamasına neden olmaktadır.

Peki makinelerin atanması madem bu kadar ciddi problemlere sebep oluyor, o zaman grup teknolojisi kullanıcıları neden bu kadar memnun olduklarını ifade ediyorlar?

Bunun birkaç nedeni vardır; ilki performans karşılaştırmasının ilk durumla, grup teknolojisinden sonraki durum arasında yapılmasıdır. Halbuki arada makine eklemeleri, parça karmasında değişim ve iş gücünde değişim gibi önemli koşullar değişmektedir. İkinci neden grup teknolojisinin uygulanma şeklidir. Endüstride hiçbir zaman çok uzun kuyruklara izin verilmez ve alternatif rotalar gibi bazı yöntemler kullanılarak bu sorun çözümlenir.

Bu çalışma grup teknolojisinin şu anda literatürde görüldüğü gibi her yerde deva olmadığını göstermektedir. Bütün parça rotalarının aynı olduğu, ortalama işlem süresine göre ortalama hazırlık süresinin küçük olduğu (%10'dan az), parti büyüklüğünün hazırlık süresinin bir fonksiyonu olmadığı vb. atölyelerde grup teknolojisi düzeni iyi performans verecektir. Bununla birlikte bu çalışma pek çok durumda grup teknolojisinin verimli bir geleneksel atölyeye göre daha kötü performans vereceğini ileri sürmektedir. Konuyla ilgili ileride yapılacak çalışmalar

hangi tip organizasyonun hangi durumlarda en iyi şekilde uygulanabileceğini gösteren bir taksonominin geliştirmesine eğilebilir (Flynn ve Jacobs, 1986).

Morris ve Tersine (1990)' e göre grup teknolojisi (GT), fabrika ekipmanlarının fonksiyonel yerleşimden, üretim hücreleri olarak da adlandırılan ürün-tabanlı (ing: product oriented) bir seri yerleşime, tekrar yapılandırılmasını da kapsamakta olan, parti üretimine çok yönlü bir yaklaşımdır. Hücreler benzer makine operasyonlarına sahip parça ailelerinin işlenmesine atanmaktadır. GT' nin geleneksel fonksiyonel yerleşimlere göre, azaltılmış proses içi stok düzeyi ve üretim (ing: throughput) zamanlarından, artan işçi tatmini ve verimliliğine kadar uzanan ekstra yararları bulunmaktadır.

Bu çalışmada bir işyerinin çalışma çevresinde bulunan ve hücresel yerleşimin performansında etkisi olan faktörler incelenmektedir. Hipotetik atölye verisini kullanan bir simülasyon modeli ile, ortalama üretim zamanı (ing: mean throughput time) ve ortalama proses içi stok düzeyi performans kriteri olarak alınarak, süreç yerleşimi ile hücresel yerleşimin bir karşılaştırılması yapılmıştır. İncelenen değişkenler; (1) kurulum süresi, işlem süresi oranı (ing: setup to process time ratio), (2) iş merkezleri arasında harcanan malzeme transfer zamanı, (3) talep kararlılığı (ing: demand stability), ve (4) hücreler içi iş akışıdır.

Bu değişkenlerin seviyelerinde yaşanan tekil değişimlerden hiçbirisi hücresel yerleşim için açık bir avantaj yaratmamaktadır. Ancak, bu deneylerden elde edilen sonuçlar hücresel yerleşim için ideal bir çevre öne sürülebilmesi için kullanılmıştır. Bu çevre yüksek kurulum-işlem zamanı oranı, kararlı talep, bir hücre içinde bir doğrultuda oluşan iş akışı ve işlem departmanları arasında önemli derecede malzeme hareketi zamanına sahip olarak karakterize edilebilir. Bütün bu şartların bulunması durumunda ise, her performans kriteri için hücresel yerleşim, süreç yerleşimine göre daha üstün özellikler sergilemektedir.

Kurulum zamanlarının uzun, talebin tahmin edilebilir, iş sıralamalarının periyot parti kontrolü kullanılarak yapılabildiği, iş akışının hücresel makine merkezlerinden tek yönlü gerçekleştiği ve taşıma zamanının büyük olduğu durumlarda hücresel sistemler işletme avantajı sağlamaktadır. Bu tür çevreler bir çok atölye için tipik olmak zorunda değildir. Talep genel olarak, değişken üretim hatları ve hacimleri yüzünden, operasyon çevresinin çok dinamik bir bileşenidir. Ayrıca, bir çok atölye genelde “stok için üretim” den ziyade “talep için üretime” e göre çalışmaktadır. Periyodik

parti kontrolünü işler talebe bağlı yürütülürken (ing: order driven) ve belirsizken desteklemek çok zordur. Her iki tipte üretim sistemlerine, uygun çevrelerinin taksonomisini açmak için daha fazla hassaslık analizlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Parti büyüklüğü, iş gücü kısıtlamaları, makine bozulmaları ve sistem geneline yayılan kuyruklar gibi faktörler her iki sistemin göreceli performansı üzerinde etkili olabilir (Morris ve Tersine, 1990).

Durmuşoğlu ve diğ. (1994) Çeşitli yayınlarda rapor edildiği gibi Tam Zamanında Üretim (TZÜ), çeşitli üretim sektörlerinde başarıyla uygulanmaktadır. Bu makalede TZÜ ile yeni tanışan bir kesici takım üretim sisteminde, söz konusu üretime geçiş faaliyetlerinden bahsedilmektedir. Üretim sisteminin prosese yönelik yapısı nedeniyle bu faaliyetlerden özellikle hücresel üretim ve hazırlık sürelerinin düşürülmesi çalışmaları üzerinde geniş olarak durulmuştur. Önce mevcut üretim sistemi ürüne yönelik olarak yeniden organize edilmiş, yüksek proses içi stok maliyetlerine neden olan matkap ucu imalat sistemi başlangıçta toplam dokuz hücre halinde tasarlanmıştır. Merkezi üretim kontrolü yerine periyodik parti kontrolü tesis edilmiştir. Buna göre tasarlanan hücrelerin sistem performansı üzerine etkileri simülasyon yardımıyla çeşitli faktör seviyeleri altında denenmiştir. Deneyler sonucunda bulunan en iyi tasarım ve işletim şartları, yönetim tarafından da tatmin edici bulunarak uygulanmasına karar verilmiştir. Çalışmada ayrıca, gerçekleştirilen faaliyetlerin tüm çalışanlar tarafından benimsenmesi, faaliyetleri iyileştirme yönünde katılımlarının sağlanması ve uygulamaya konulması için verilen eğitim programı üzerinde de durulmuştur.

Simülasyon çalışmalarında odaklanılan konular şunlardır: üretim hattı dengesini sağlayabilmek için her bir hücrede bulunması gereken tezgah sayılarının ve gerekiyorsa tezgah yatırımlarının belirlenmesi, periyodik parti kontrolünün sistem üzerindeki etkisinin incelenmesi, hazırlık sürelerinde gerçekleştirilecek kısaltmaların sistem üzerindeki etkisinin incelenmesi, GT yerleşim düzenlemesinin ve üretim kontrolünün, verilen talep yapısını karşılamada gösterdiği performansın incelenmesi, imalat parti miktarı (hücreler arasında hareket eden parti miktarı) ile hücre içinde taşınan transfer partisi (hücre içinde hareket eden parti miktarı) büyüklüğünün sistem performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi ve hücre sayısının tespiti.

Çalışmada incelen faktörler şunlardır; imalat partisi (PPK' da kullanılacak periyodun belirlenmesi), transfer partisi, ilave tezgah stratejisi, hazırlık süreleri, hücre sayısı ve

ısıt ışıem sũresi. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan performans kriterleri ise imalat temin sũreleri, proses içi stok dũzeyi ve toplam tamamlanma sũresidir. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Hadde matkabı ısıt ışıem öncesi hũcrelerinde yer alan pim taşlama ışılemi ve ısıt ışıem sonrası 2.0 – 5.0 mm çap grubu imalatında yer alan son taşlama ile u bileme ışılemleri için ikişer adet tezgah kullanılmalıdır.
- Temin sũresinin kısalmasında transfer partisi miktarının azaltılması bũyũk rol oynamaktadır. Transfer partisi ne kadar kũũk tutulabilirse temin sũresi orantılı olarak kısalmaktadır.
- Söz konusu dinamik sistem şartları altında haftalık talep hacmine eşit imalat parti miktarları u gũnlũk miktarlara göre daha iyi performans göstermektedir.
- Hadde matkabı ısıt ışıem öncesi için u hũcre oluşturulması, beklendiği gibi ũretilimin hızlanmasını sağlamaktadır. ısıt ışıem öncesi ne kadar hızlandırılırsa hızlandırılırsın ısıt ışıem sonrası aynı kalması bizi bu sonuca gtũrmektedir.
- Simũlasyon deneylerinde karşılaşılan en ilginç sonuç hazırlık sũrelerinden sağlanacak %50'lik bir tasarrufun kısa dönemde (1 ay) nemli kazanç sağlamasına karşın uzun dönemde pek bir etkisinin olmayışıdır. Bunun en önemli sebebi periyodik parti kontrolũdũr. Bir hafta olarak belirlenen kontrol periyodu, haftalık ũretim hedeflerinin gerçekleştirilmesi için uzun gelmekte, bu nedenle de sistem iki periyot arasında bir sũre atıl kalmaktadır. Buna göre, oluşturulan yeni ũretim sistemi kolaylıkla hedeflere ulaşılmasını sağlamakta, dahası hedeflerin oldukça ũzerine çıkmayı da garantilemektedir.
- Bir nceki madde açıklanan sonuçlar ısıt ışıem sũresi için de geçerlidir. ısıt ışıem grubu sũresinde sağlanacak kısaltmalar daha kısa imalat temin sũrelerine ulaşmayı sağlayacaktır.
- Hũcreyel ũretim ile yarı mamul stok maliyetlerinde en azından %50 tasarruf sağlanabilecektir.

Hũcreyel ũretime geçmekle ihtiyaç duyulacak ekstra tezgahlar, iki adet puntasız taşlama tezgahı ve bir adet u bileme tezgahıdır (Durmuşoğlu ve diğ., 1994).

Steele ve diğ. (1995), bu araştırmada malzeme ihtiyaç planlaması, kanban ve periyodik parti kontrolũnũ (PPK) akış hũcreleri ve montajı içeren çok hũcreli

imalatın planlama ve kontrolü için alternatif yaklaşımlar olarak kıyaslamaktadır. Daha önce bu sistemlerin hücresel imalattaki performansları ile ilgili yapılan çalışmalar büyük ölçüde kavramsal olduğu için, burada raporlanan deneyler bu sistemlerin performanslarının karşılaştırılması için yeni bilgiler sağlayacaktır.

Elde edilen sonuçlara göre, sistem seçiminde en önemli faktör üretim ortamıdır. Üç çalışma faktörü (Ana üretim çizelgesi (AÜÇ-MPS, ing: Master Production Schedule), Ana üretim çizelgesi karma varyansı ve hazırlık süresi/parti büyüklüğü) sistem seçimini açıkça etkilemektedir. Tam zamanında üretim (TZÜ-JIT, ing: Just-in-time) koşulları altında bütün sistemler iyi performans vermektedir ve Kaban'a göre bir avantajı yoktur. Yüksek AÜÇ varyansı ve küçük hazırlık süresi/parti büyüklüğü oranı karma koşulları altında PPK, Kaban'a ve malzeme ihtiyaç planlamasına (MİP-MRP, ing: Material requirements planning) göre daha iyi bir performans ortaya koymaktadır. TZÜ' e uygun olmayan koşullar altında MİP daha etkili görülmektedir. Sonuçlar, ihtiyaçlara göre şartların çok küçük parti büyüklüklerine izin verdiği durumlar için, AÜÇ varyansı yüksek olduğunda bile kanbanın en iyi sonucu verebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı; bir malzeme planlama ve kontrol sisteminin (MRP-Malzeme ihtiyaç planlaması, Kanban, PBC-Periyodik parti kontrolü) hangi koşullarda diğerlerine göre tercih edilmesi gerektiğinin karmaşık akışlı hücresel imalat ortamında araştırılmasıdır.

Bu çalışmada incelenen faktörler aşağıda sıralanmıştır;

AÜÇ (Ana üretim çizelgesi) hacim (ing: volume) varyansı; Ürün aile miktarındaki periyottan periyoda değişim katsayısı.

AÜÇ karma (ing: mix) varyansı; Bir ürün için karışım oranının periyottan periyoda değişim katsayısı.

Hazırlık süresi; Parti büyüklüğü hazırlık maliyeti ile bağlantılıdır (büyük parti büyüklükleri yüksek hazırlık maliyetlerinden kaynaklanmaktadır).

Parça yaygınlığı (ing: parts commonality); Bir parça bütün ürünlerde aynı miktarda görülüyorsa o parça yaygındır. Ürün yapıları grubundaki bütün farklı parçaların oranı

Oran benzerliği (ing: rate similarity); Makine oranlarındaki üründen ürüne meydana gelen değişimin katsayı ortalaması. Her bir makinenin bütün parçaları için yüklenme

saatlerindeki değişimin katsayısı bütün makinelerin ortalamasına göre hesaplanmıştır.

Parça dağılımı (ing: parts range); Her bir envanter kontrol noktasındaki ortalama parça sayısı. Buradaki deneylerde hücreler envanter kontrol noktalarıdır.

Tasarım alternatiflerinin karşılaştırılmasında kullanılan performans ölçütleri aşağıda tanımlanmıştır;

Gecikme (ing: Tardiness); Müşteri siparişlerinin geciktiği ortalama gün sayısı. Son birimin müşteriye yollandığı zaman esas alınarak hesaplanmıştır. Erken teslim edilen siparişler sıfır gecikme olarak değerlendiriliyor. Bütün müşteri siparişleri için toplam gecikilen gün sayısı, toplam müşteri siparişi sayısına bölünerek bulunmaktadır.

Ortalama Envanter (ing: Average Inventory); Proses içi envanter, parça ve alt montaj rafları envanteri, bitmiş mal envanteri dahildir. Her bir parça için, ortalama envanter biriminin ortalama günlük kullanımına bölünmesi ile bulunur. Genel için, bütün parçalar için toplam envanter günleri toplanır ve parça sayısına bölünür.

Birikimli Temin Süresi (ing: Accumulative Lead Time); Sondan sona planlanan temin süresi. Kritik yol üzerindeki planlanan temin süreleri toplamı (Steele ve diğ., 1995).

Kamrani ve diğ. (1998) bu çalışmada, imalat hücrelerinin oluşturulmasında tasarım ve imalat niteliklerinin birlikte kullanıldığı benzetim tabanlı bir metodoloji sunmaktadır. Bu metodoloji üç aşamada uygulanmaktadır. Birinci aşamada parçalar, tasarım ve imalat farklılıklarına göre parça aileleri şeklinde gruplandırılır. İkinci aşamada makineler, işletme maliyetlerine dayalı olarak imalat hücreleri şeklinde gruplanır ve bir optimizasyon tekniği kullanılarak çeşitli hücreler, parça ailelerine atanır. Aşama I ve II, tam sayılı ve karma tam sayılı matematiksel modellere dayanmaktadır. Son olarak aşama III' de önerilen sistemin bir simülasyon modeli kurulmakta ve doğrulanmaktadır. Model çalıştırılarak önerilen sistemden veriler toplanmakta ve değerlendirilmektedir. Matematiksel model ve simülasyon modeli örnek bir üretim problemini çözmek için kullanılmıştır. Bu modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve nihai tasarımın düzenlenmesi için kullanılmıştır. Bu modelleme araçlarını kullanımı ile hücresel imalat sistemleri tasarlanabilir, analiz edilebilir, optimize edilebilir ve doğrulanabilir.

Çalışmada modellenen sistem üç esnek imalat hücresinden oluşmaktadır. Üç hücre 13 farklı makineden oluşmaktadır. Bu hücreler 15 farklı parça tipi ve dört parça

ailesinin üretimini gerçekleştirmektedir. Parçalar ilk gelen ilk servis görür prensibine göre işlenmektedir.

Çalışmada simülasyon modeli ile matematiksel modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Hücre I için matematiksel model ve simülasyon modeli tarafından geliştirilen optimum hücre konfigürasyonu birbirinin aynısıdır. Fakat kopyalanması gereken tahmini CNC makine sayısı simülasyon modelinde matematiksel modelin yaklaşık üç katıdır. Bu farkın nedeni simülasyon modelinin hurda parça ve yeniden işlenmesi gereken parça kriterlerini dikkate almasıdır. Ayrıca simülasyon modeli makine bozulmalarını da göz önüne almaktadır.

Matematiksel model hücre performansı için daha iyimser sonuçlar verirken, simülasyon modeli daha gerçekçi yaklaşımlarla kötümser sonuçlar vermektedir. Bunun yanında simülasyon modeli, makinelerin işleme oranı, makine güvenilirliğindeki yükselme ya da düşüş ve parça tipi karmasındaki değişiklikleri, yapılacak modifikasyonlarla kolayca yansıtabilmektedir (Kamrani ve diğ., 1998).

Albino ve Garavelli (1999)' ye göre hücresel imalat sistemleri belirsizliklerden önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Bu çalışmada, talep değişkenliği ve kaynak güvenilirliğinin (ing: dependability) hücresel imalat sisteminin performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Sistem performansını optimize edecek hücresel imalat sistemi konfigürasyonları araştırılırken rota esnekliğinin kullanımı da göz önünde bulundurulmuştur. Sınırlı esneklik konseptine atfen, hücresel imalat sistemindeki rota esnekliğinin maliyetini ve faydalarını analiz etmek için bir benzetim modeli önerilmiştir. Üç problem verilmiş ve maliyet ve sistem performansı açısından bazı sonuçlar örneklerle desteklenmiştir.

Bu çalışmada hücresel imalat sistemindeki, talep değişkenliğinin ve kaynak güvenilirliğinin sistem performansı üzerindeki etkilerini kayıp satışlar ve yararlanma açısından analiz etmek için benzetim modeli oluşturulmuştur. Çalışmada rota esnekliğinin etkisi de göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmada incelen faktörler; talep değişkenliği, kaynak güvenilirliği ve rota esnekliğidir. Performans ölçütü olarak kayıp satışlar (ing: lost sales) ve yararlanma oranı (ing: utilization) kullanılmıştır.

Simülasyonlar sistem belirsizliğinin arttığı durumlarda rota esnekliğinin verimlilik arttırmada etkili olarak kullanılabileceğini, bu da bir çok durum için sınırlı esneklik

konfigürasyonunu özellikle avantajlı göstermektedir. Bununla birlikte rota esnekliği maliyeti ve çevre değişkenliğinin, sınırlı esneklik konfigürasyonun değişik derecelerinde rota esnekliği uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak simülasyon göstermektedir ki; ekonomik faktörlere dayalı olarak, talep değişkenliği ve kaynak bağımlılığının sistem performansı üzerindeki etkisi en uygun hücresel imalat sistemi konfigürasyonunun sınırlı esnek olan alternatiften farklı olmasına yol açabilir. Aslında, hücresel imalat sisteminin özel karakteristiklerine bağlı olarak uygun rota esnekliği konfigürasyonu, sadece kayıp satışların maliyeti ve uygulanacak ek rotaların maliyeti göz önünde bulundurularak belirlenebilir (Albino ve Garavelli, 1999).

Shambu ve Suresh (2000) bu çalışmada, karma hücresel imalat sistemlerinin performansı, çeşitli atölye çalışma koşulları altında parça aile çizelgeleme kuralları kadar iyi geleneksel atölye prosedürlerinin kullanıldığı fonksiyonel yerleşimin performansı ile karşılaştırmaktadır. Geçmişte grup teknolojisi ile ilgili yapılan bir çok araştırmadan farklı olarak bu çalışmada içinde hücreler bulunan, geri kalan kısmı da fonksiyonel olarak düzenlenmiş üretim alanının tamamı inceleniyor. Deneysel faktörler olarak, sistem (iki fonksiyonel yerleşim ve beş karma sistem, Grup Teknolojisi (GT)' nin uygulanma düzeyini belirleyen faktördür), hazırlık faktörü (parça aile benzerlik derecesi için bir temsil, hazırlık sürelerinin düşürülme derecesini ifade eder), çizelgeleme kuralı (parça aile-tabanlı ve atölye tabanlı kuralları kapsayan, kullanılan iş sıralama kuralını belirtir; ilk gelen ilk çıkar, kısa işlem süresi önce, tekrarlı partiler) ve parti büyüklüğü incelenmiştir. Performans ölçütü olarak, akış süresi, proses içi envanter, makine yararlanma ve akış oranı kullanılmıştır (Hücresel yerleşimin akış süresinin en yüksek performans seviyesindeki fonksiyonel yerleşimin, akış süresine oranı olarak tanımlanabilir. Akış oranı, hücresel sistemin etkin çalışan fonksiyonel yerleşim sistemine kıyasla gösterdiği performans olarak nitelendirilebilir. Akış oranı boyutsuz olması nedeniyle hücrelerdeki performans ile fonksiyonel yerleşimin performansını karşılaştırma imkanı sağlamaktadır). Literatüre kullanılabilir katkılar sağlayacak bulgular elde edilmiştir. Parça ailesi tabanlı çizelgeleme kuralları atölye kurallarını önemli ölçüde kullanım dışı bırakmasına karşın arada küçük bir fark olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, havuz sinerjisindeki kayıp nedeniyle, arta kalan atölye performansının, dönüşümün artmasıyla kötüleştiğini göstermektedir.

Çalışmada incelenen ortam, karma imalat sistemidir (hücresele ve fonksiyonel yerleşim). İmalat alanı 12 makine tipini barındırmaktadır. Bir makine türü fonksiyonel olarak birbirine eşdeğer makineler grubudur. Toplam 63 makine bulunmaktadır. Her makine türü başına ortalama 3-4 makine düşmektedir.

İmalat alanı, altı ürün ailesine ait 75 parça türünü üretmektedir ve her parça ortalama 2-7 makine tarafından işlenmektedir. Altı ürün ailesinden ilk beşi önemli benzerlikler taşıdıklarından hücresele imalatın uygulanmasına olanak sunarlar. Buna karşın altıncı ürün ailesi birbirine benzemeyen veya çok az benzerlik taşıyan çok sayıda parçadan oluşmaktadır. Bu aileye ait parçalar yalnızca fonksiyonel alanda işlenebilmektedir.

Araştırmada imalat alanının sadece makine kısmının bulunduğu kabul edilmiştir.

Çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Ürün ailesi odaklı iş sıralama kurallarının uygulandığı fonksiyonel sistem, klasik iş sıralama kurallarının uygulandığı fonksiyonel sistemden daha iyi performans sergilemiştir. Ürün odaklı iş sıralama kurallarının uygulandığı sistemlerin performansları arasında önemli farklılıklar görülmemiştir. Yüksek hücreleşme oranlarının söz konusu olduğu karma sistemlerde, hücresele sistemin performansı yükselmekte ancak fonksiyonel alanın performansı düşmektedir.
- Simülasyon modelleri gerçek dünyayı tam olarak yansıtamaz.
- Taşımaların basitleşmesi ve işlemlerde görselliğin artması hücrelerin yönetiminde önemli faydalar sağlar.
- Fonksiyonel yerleşimlerde bulunan işe yatkınlık (öğrenme) etkisi hücrelerde kaybedilebilir.

Bu araştırmadaki deneyler, deney faktörlerinin farklı değerleri için yinelenebilir. Araştırma, çifte kaynak kısıtlı durumlar (iş gören ve makine kısıdı) için genişletilebilir. Karma imalat sistemi uygulayan şirketler için de bir saha analizi yapılması faydalı olacaktır (Shambu ve Suresh, 2000).

Jensen (2000)' e göre atölye ortamı kontrol araştırmacıları, kaynak esnekliğinin değişen formlarının atölye performansı avantajlarını karşılaştırmaya başladılar. Literatür kaynak esnekliğinin farklı formlarının atölye performansına farklı yollardan katkı sağladığını belgelemektedirken, atölye ortamı kontrol araştırmalarının iki ana

akımı (çifte kaynak kısıtlı (ÇKK-DRC) atölye çizelgeleme ve grup teknolojisi) aynı noktaya yönelmektedir. Örneğin, ÇKK literatürü, çapraz-eğitim şeklinde küçük miktarda bir iş gören esnekliğinin daha iyi bir atölye performansı için gerekli olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte GT literatürü, makinelerin ayrı parça ailelerini işleminin sınırlandırılmasının genel atölye etkinliğini düşüreceğini göstermektedir. Bunun yanında, kaynak esnekliğinin çok farklı formları farklı yollardan atölye performansını değiştirmek için kullanılabilir. Makine ve iş gücü esnekliğini birlikte araştıran çalışmalar çok farklı sonuçlar üretmişlerdir.

Bu çalışmada, kapsamlı ve gerçekçi bir takım kabuller ve atölye ortamı kararları ele alınarak, makine ve iş gücünün performans avantajları incelenmiştir. Atölye ortamı kontrolü, üç farklı atölye konfigürasyonu ve dört farklı düzeyde personel kullanımı ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, makine ve iş gücü esnekliği arasındaki seçim hakkında yapılmış çalışmaların sonuçlarının bu çalışmaya göre iş gücü ataması kurallarına duyarsız, talep değişkenliğine biraz duyarlı ve personel kullanım düzeyine çok duyarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışma, bir takım şartlar altında makine esnekliğinin dışında iş gücü esnekliğini geliştirerek mükemmel performans sağlanacağını göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı bir iş görenin yapabileceği işlerin sayısı olarak tanımlanan iş gücü esnekliği ve bir makinenin işleyebileceği parça sayısı olarak tanımlanan makine esnekliği arasındaki performans kayıp-kazançlarının netleştirilmesine yardımcı olmaktır.

Çalışmada incelenen faktörler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Faktör 1: Atölye Yerleşimi

Seviye 1: *Bölmeler* (bütün makineler ve iş görenler bir fonksiyonel bölüme atanıyor – düşük iş gücü esnekliği ve yüksek makine esnekliği)

Seviye 2: *Karma Hücreler* (bütün makineler ve iş görenler bir karma hücreye atanıyor – orta seviyede iş gücü ve makine esnekliği)

Seviye 3: *Tam Hücreler* (*ing: Strict Cells*) (bütün makineler ve işgörenler bir parça tabanlı hücreye atanıyor – yüksek iş gücü esnekliği ve düşük makine esnekliği)

Faktör 2: Bölüm Başına Çalışan Sayısı

Seviye 1: Bir (4 iş gören kullanılıyor)

Seviye 2: İki (8 iş gören kullanılıyor)

Seviye 3: Üç (12 iş gören kullanılıyor)

Seviye 4: Dört (16 iş gören kullanılıyor)

Faktör 3: Merkezileştirilmiş İş Gücü Ataması/ İş Gücü Transfer Kuralı

Seviye 1: En uzun kuyruğun olduğu makineye transfer

Seviye 2: En erken teslim edilecek işin olduğu makineye transfer

Seviye 3: Sabit siparişli makineler arasında çevrim

Faktör 4: İş Yüğü Dengesi

Seviye 1: Dengeli (İş 16 parça ailesi arasında düzgünce dengelenmiş)

Seviye 2: Küçük Dengesizlik (1-8 no'lu aileler için %55'ini, 9-16 no'lu aileler için %45'ini teşkil ediyor)

Seviye 3: Büyük Dengesizlik (1-8 no'lu aileler için %60'ını, 9-16 no'lu aileler için %40'ını teşkil ediyor)

Hazırlık Süresi Azaltma Faktörü; 1.0, 0.75, 0.50, 0.25

Bu makalede incelen ortamla ilgili bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Atölye: Her birinden dörder adet bulunan dört farklı makine, her biri beş parça tipi içeren on altı parça ailesi üretmektedir.

Malzeme Akışı: Parçalar genel olarak ortalama 3.2 makineye uğramaktadır.

Temel Makine Hazırlıkları: Bölümlerde parça aileleri arasındaki değişim ortalama olarak işlem süresinin %50'sini, karma hücrelerde %25'ini ve tam hücrelerde %12.5'ini teşkil ediyor.

Ek Makine Hazırlıkları: Aile içinde parçalar arası değişim temel hazırlığın %20'si kadar sürüyor.

Ortalama akış süresi, ortalama gecikme ve gecikme RMS (ing: root mean square) değeri, bu çalışmada incelenen performans ölçütleridir.

Sonuç olarak, iş gücü kısıtlı hücreyel yerleşimde iş gücü transferinin potansiyel önemi bu çalışmada ispatlanmıştır. Örneklerde görüldüğü gibi teslim tarihi yaklaşan işlere iş gücü ataması yapılması akış süresini ve gecikme performansını iyileştirmektedir.

İkinci olarak bu çalışma personel düzeyi ile atölye yerleşimi arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermiştir. Tam hücreyel atölye, sadece orta düzeyde hazırlık tasarrufu, orta ve düşük düzeyde iş gücü kullanımı için daha iyi akış süresi ve gecikme performansı sağlamaktadır (Jensen, 2000).

Huq ve diğ. (2001)' nin çalışması hazırlık süresi azaltma faktörünün ve parti büyüklüğünün akış süresi ve çıktı (ing: through-put) üzerindeki etkisine göre fonksiyonel yerleşimi ve hücreyel yerleşimi karşılaştırmaktadır. Fonksiyonel analiz için yapısal çevre; tek yönlü akışın olduğu ve geri dönüşün olmadığı (ing: backtracking), dört makine merkezinin aşamalı dizisinden oluşan (ing: staged sequence) randımanlı bir fonksiyonel sistemdir. Hücreyel analiz için yapısal çevre, tek yönlü akışın olduğu ve geri dönüşün olmadığı, her dört makine tipinden bir adet bulunan bölmeli bir hücredir. Çalışmada incelen faktörler şu şekilde sıralanabilir; değişken faktörler; *parti büyüklüğü ve hazırlık süresi azaltma faktörü*. Sabit faktörler; *benzer tipte makine sayısı ve proses süresi*. Simülasyon modelleri, sekiz parti büyüklüğü düzeyi ve sekiz (bir fonksiyonel model ve yedi hücreyel model) hazırlık süresi azaltma düzeyi için dayanıklı (ing: robust) sonuçlar üretmektedir. Çalışmada incelenen performans ölçütleri, çıktı ve akış süresidir. Sonuçlar iki imalat yaklaşımının etkinliğini farklı girdi koşulları altında karşılaştırmaktadır. Buna göre fonksiyonel ve hücreyel yapı arasındaki seçim parti büyüklüğünün 55'e kadar aldığı değerler için çıktıyı önemli biçimde etkilemekteyken, parti büyüklüğünün 60 ve üzerinde aldığı değerler için önemli bir etki görülmemektedir. Çalışma ayrıca imalat yapısı seçiminin akış süresi üzerindeki etkisi konusunda daha önce elde edilmiş sonuçları doğrulamaktadır.

Bu simülasyon modeli her bir imalat yapısı için kullanılarak hazırlık süresi azaltma faktörü ve parti büyüklüğü karakteristiklerinin hangi yapı için diğerine göre daha üstün sonuç verdiğini saptamayı amaçlamaktadır. Çalışmada incelenen ortam, fonksiyonel ve hücreyel yerleşimdir. Her birinden üçer adet bulunan dört tip makineden oluşan bir imalat sistemi incelenmektedir.

Bu çalışma daha önceki çalışmalarda ileri sürülen, “Verilen bir parti büyüklüğü için, yetersiz hazırlık süresi azaltılması, hücresel sistemin performansını özdeş fonksiyonel sisteme göre daha düşük kılacaktır.” savını doğrulamaktadır. İş merkezlerinin bölünmesi akış karakteristikleri üzerinde olumsuz etki yapmakta ve performansını kötüleştirmektedir.

Bu çalışma imalatla hücresel yerleşimin uygulanmasından fayda sağlayabilmek için hazırlık süresinin minimum seviyeye azaltılması gerektiğini göstermektedir. Bu yüzden firmalar mevcut atölye veya fonksiyonel yapıdan hücresel yerleşime geçerken hazırlık sürelerinde en azından %60-70'lere varan bir azaltma yapmalıdırlar. Ancak hazırlık süreleri kısaltıldığı zaman küçük parti büyüklükleri ile çalışılabilir. Küçülen parti büyüklükleri, daha az israf yani daha az hurda, daha az proses içi stok ve pazar ihtiyaçlarına daha hızlı tepki, operasyonlarda daha düşük çevrim süreleri anlamına gelmektedir. Hücresel imalat sistemi, iş varış çeşitliliğinin düşmesini ve tam zamanında (JIT) tarzında işlemlerin uygulanmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın bir uzantısı olarak değişken iş varışlarının akış süresine ve çıktıya etkileri incelenebilir (Huq ve diğ., 2001).

Kalite indeksi (Kİ) hücresel üretim sistemlerinin geliştirilmesinde makine-parça matrisleri için belirleyici mekanizma olarak öne sürülmüştür. Seifoddini ve Djassemi (2001)'nin bu makalesinde Kİ'nin uygulanmasında güvenilirlik yaklaşımının etkisi (ing: reliability consideration) ve atölye ile hücresel üretim sistemlerinin güvenilirlik değişimlerine karşı göreceli hassaslığının simülasyon modellemesi yapılmıştır. Ortalama akış zamanı ve proses içi envanter gibi performans ölçütleri atölye ve hücresel üretimin kıyaslanmasında kullanılmıştır.

Atölye tipi ve hücresel üretim altındaki bir üretim sisteminin göreceli performansı değişik Kİ değerlerinde, değişik sayıda makine güvenilirlik seviyelerinde hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçları her ne kadar yüksek Kİ değerlerinde hücresel üretim yönteminin atölye tipi üretim sistemine göre baskın geldiğini gösterse de, sonuçların makine güvenilirlik seviyelerine yüksek oranda bağımlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak makine güvenilirliği bozuldukça hücresel üretim yönteminin üstünlüğü çok çabuk bir şekilde ortadan kaybolmaktadır. Sonuçlar, hücresel imalat sistemlerinin güvenilirlik değişikliklerine karşı atölye tipi sistemlerin performansına göre daha hassas olduğu tezini desteklemektedir (Seifoddini ve Djassemi, 2001).

Kher ve Jensen (2002) bu makalede, hücresele imalatın parti tipi üretime atölyede farklı seviyelerde uygulanmasından doğan performans kazanç ve kayıpları incelemiştir. Literatür, tamamen bölümlendirilmiş atölye ile tam hücresele atölye arasında bir süreç (ing: continuum) olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte hücresele imalatla ilgili araştırmaların çok büyük bir bölümü bu sürecin uç noktalarında bulunmaktadır. Burada, hücresele imalat uygulamasının farklı aşamalarında bulunan atölyelerin karşılaştırılmasıyla performanslarının incelenmesi planlanmaktadır. Bu çalışmada özellikle, hücresele imalat literatüründe bulunan, bağımsız hücreler oluşturan hipotetik olarak bölümlendirilmiş bir atölye ile başlanmıştır. Her aşamada akış süresi ve gecikme performansı kaydedilmiştir. Modelleme sonuçları, atölye şartları ve yönetsel amaçlara göre en iyi performansı gösteren atölyenin değiştiğini göstermektedir. Aslında, belirli koşullar altında kısmen hücresele oluşturulmuş atölyeler tam hücresele atölyelere göre daha iyi performans göstermektedirler. Ayrıca sonuçlara göre mükemmel performans elde etmek için yöneticilerin spesifik yerleşimler üzerine yaptıkları araştırmalarda, özellikle makine gruplarının hücrelere bölündüğü durumlarda, makine yararlanmadaki değişikliklere özel dikkat göstermelidirler.

Çalışmanın amacı, hücresele imalatın uygulanması ile ilgili performans kayıp ve kazançlarının, hücresele imalatın uygulanması sürecinde uygun performans ölçütlerinin kullanılmasının önemini ve hücresele imalatla kısmi hücrelerin rolünün anlaşılmasıdır.

Çalışmada, atölye yerleşimi (20 farklı atölye yerleşim) ve proses süresi tasarrufları (%5, 7.5, 10, 12.5, 15 ve 17.5) incelenmiştir (Kher ve Jensen, 2002).

Al-Mubarak ve diğ. (2003) bu çalışmada odaklanmış (ing: focused) hücresele imalat üzerinde durmuştur. Odaklanmış hücresele imalat bu çalışmada, her parçayı çıktılara göre gruplayan ve çıktıları üretmek ve birleştirmek amacıyla hücreler oluşturan bir yerleşim planı olarak tanımlanmıştır. Hücresele imalat yerleşimi olarak sınıflandırılmamasının sebebi ise bu yöntemin işlem benzerliklerinin avantajlarını almaya çalışmamasıdır. Bunun yanında tekil operasyonlara adanmış makineler olmadığından ve makineler bir seri halinde düzenlenmediğinden dolayı da “ing: flow shop” olarak sınıflandırılmamıştır. Sonuçlar, odaklanmış hücresele imalat planının gruplama avantajı olduğunu göstermektedir (örneğin montaj öncesi bileşenleri gruplamak için daha az zaman beklemektedir). Bu atölye tipi yerleşim planında

yararlanılan dengelenmiş makine kullanımına (ing: utilization) göre daha baskın gelmekte ve daha avantajlıdır. Atölye tipi yerleşim sadece küçük parti büyüklükleri ya da büyük hazırlık zamanı mertebelerinde gruplama avantajından daha iyi özellikler sergilemektedir.

Sonuçlarda iki ana faktör elde edilmiştir. Bunlardan ilki, iki yerleşim yöntemi (ing: layout scheme) arasında oluşan parti gecikmeleri farklarına dayanmaktadır. Odaklanmış hücresel üretim yerleşiminde, bir çıktının her bir parçası bir hücre içinde aynı anda işlenmesinden dolayı daha kısa montaj bekleme süresinde tamamlanmaktadır. Atölye yerleşiminde ise bir çıktının her bir parçası ayrı hücrelerde işlendiğinden dolayı montaj bekleme süresi uzamaktadır.

İkinci faktör ise atölyenin esnekliğinden kaynaklanmaktadır. Atölyede benzer makineler aynı hücre içinde gruplanmaktadır. Bu hücre içinde parçalar, makinelere en az yük getirecek şekilde yönlendirilmektedir. Atölye hücreleri herhangi bir parçayı yönlendirmek için daha çok benzer makineye sahip olduğundan makine kullanım oranları arasında daha kolay denge sağlanmaktadır. Küçük partilere sahip işlemler için gerçekleştirilen deneylerde bu avantaj odaklanmış hücresel yerleşimin parti bekletme avantajına göre daha baskın gelmektedir.

Bu makale odaklanmış hücresel imalat çalışması için gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarını sunmaktadır. Sonuçlar göstermektedir ki odaklanmış hücresel imalat yerleşim yöntemlerinin en büyük avantajı, montaj öncesi yaşanan parti gecikmelerinde bir iyileşme sağlamasıdır. Atölye yönteminin en önemli avantajı makine kullanımında daha fazla denge sağlayan parça yönlendirilmesine esneklik getirmesidir. Parti bekletme avantajı, parti büyüklerinin küçük ya da kurulum zaman mertebelerinin büyük olduğu durumlar hariç her durumda esneklik avantajının önüne geçmektedir.

Odaklanmış hücresel imalat yerleşim davranışları hakkında daha fazla araştırma yapılması gereklidir. Bu tür çalışmaların hedeflediği son nokta uygun çevrelerde kullanılmak amacıyla gerekli talimatnamelerin geliştirilmesi ve bunu en iyi nasıl yönetileceğinin bulunmasıdır. Örneğin, bu çalışmada her hücre başına sadece bir adet son ürüne izin verilmiştir. Bu durum bazı endüstriyel ortamlarda uygun olmayabilir. Gelecek çalışmalar bu yöntemi her hücreye birden fazla son ürün atanması durumlarında da incelemelidir. Bu tür bir çalışma çok sayıda üretim kuruluşu için çok uygun ve gerekli olacaktır (Al-Mubarak ve diğ., 2003).

Tablo 3.1 Yayın taraması özet tablo.

Yazar/ Yazarlar	Çalışmanın Amacı	İncelenen Faktörler	İncelenen Ortam	Performans Ölçütleri	Hipotezik - Gerçek	Simülasyon Dili	Sonuçlar
Flynn ve Jacobs (1986)	Mevcut bir atölyenin simülasyon modeli kullanılarak geleneksel atölye ile grup teknolojisi atölyesinin karşılaştırılmasıdır.	Dört yerleşim düzeni ve bitmiş ürün için dört tip talep dağılımı incelenmiştir.	Geleneksel ve hücreli yerleşim	Hazırlık süresi, hareket mesafesi, kuyruk uzunluğu, bekleme süresi, proses içi envanter, en uzun kuyruk, en uzun bekleme, akış süresi.	Gerçek	SLAM	Bu çalışma grup teknolojisinin şu anda literatürde görüldüğü gibi her derde deva olmadığını göstermektedir.
Morris ve Tersine (1990)	Bir işyerinin çalışma çevresinde bulunan ve hücreli yerleşimin performansında etkisi olan faktörler incelenmektedir.	Kurulum süresi-işlem süresi oranı, iş merkezleri arasında harcanan malzeme transfer zamanı, talep kararlılığı ve hücreler içi iş akışı	Hücreli yerleşim	Ortalama üretim zamanı ve ortalama proses içi stok düzeyi	Hipotezik	SIMAN	Kurulum zamanlarının uzun, talebin tahmin edilebilir, iş sıralamalarının periyot parti kontrolü kullanılarak yapılabildiği, iş akışının hücreli makine merkezlerinden tek yönlü gerçekleştirdiği ve taşıma zamanının büyük olduğu durumlarda hücreli sistemler işletme avantajı sağlamaktadır.
Durmuşoğlu ve diğ. (1994)	Tasarlanan hücrelerin sistem performansını üzerine etkileri simülasyon yardımıyla çeşitli faktör seviyeleri altında denetlenmiştir.	İmalat partisi, transfer partisi, ilave tezgah stratejisi, hazırlık süreleri, hücre sayısı, ısı işlem süresi.	Hücreli imalata dönüşüm	İmalat temin süreleri, proses içi stok düzeyi, toplam tamamlama süresi.	Gerçek	SIMAN	TZÜ için kurulmuş olan hücrelerin PPK yaklaşımına göre çalışması, kısa imalat temin sürelerine ulaşılması açısından oldukça başarılı simülasyon sonuçları vermiştir.

Tablo 3.1 Yayın taraması özet tablo (Devam ...).

Yazar/ Yazarlar	Çalışmanın Amacı	İncelenen Faktörler	İncelenen Ortam	Performans Ölçütleri	Hipotetik - Gerçek	Simülasyon Dili	Sonuçlar
Steele ve diğ. (1995)	Bir malzeme planlama ve kontrol sisteminin (MRP, Kanban, PBC) hangi koşullarda diğerlerine göre tercih edilmesi gerektiğinin karmaşık akışlı hücreselel imalat ortamında araştırılmasıdır.	Ana üretim çizelgesi (AÜÇ) hacim varyansı, AÜÇ karma varyansı, hazırlık süresi, ortak olan parçalar, oran benzerliği, parça dağılımı	Hücreselel yerleşim	Gecikme, ortalama envanter, birikimli temin süresi	Hipotetik	Simple_1	Hazırlık sürelerinin (parti büyüklüklerinin) ve AÜÇ varyansının, hücreselel imalat için malzeme planlama ve kontrol sistemlerinin seçimindeki önemi gösterilmiştir.
Kamrani ve diğ. (1998)	Hücreselel imalata dönüştürme için gerekli kaynak ihtiyacının belirlenmesi.	Makine yatırım maliyeti, fiştir/yerleşime yatırım maliyeti, makine üretim maliyeti, kontrol maliyeti, hazırlık maliyeti ve hücre içi malzeme temin maliyeti.	Hücreselel yerleşime dönüştürme	Üretim oranı (Sistemin çıktı düzeyi ile orantılı bir değer), kopyalanan makine sayısı.	Hipotetik	SLAM II	Matematiksel model hücre performansı için daha iyimser sonuçlar verirken, simülasyon modeli daha gerçekçi yaklaşımlarla kötümser sonuçlar vermektedir.
Albino ve Garavelli (1999)	Hücreselel imalat sistemindeki, talep değışkenliğinin ve kaynak bağımlılığının sistem performansını üzerindeki etkilerini kayıp satışlar ve yararlanma açısından analiz etmek .	Talep değışkenliği, kaynak bağımlılığı ve rota esnekliği	Hücreselel yerleşim	Kayıp satışlar ve yararlanma	Hipotetik	Matlab	Hücreselel imalat sisteminin özel karakteristیکlerine bağılı olarak uygun rota esnekliği konfigürasyonu, sadece kayıp satışların maliyeti ve uygulanacak ek rotaların maliyeti göz önünde bulundurularak belirlenebilir.

Tablo 3.1 Yayın taraması özet tablo (Devam ...)

Yazar/ Yazarlar	Çalışmanın Amacı	İncelenen Faktörler	İncelenen Ortam	Performans Ölçütleri	Hipotezik - Gerçek	Simülasyon Dili	Sonuçlar
Shambu ve Suresh (2000)	Karma hücreli imalat sistemlerinin performansı, çeşitli atölye çalışma koşulları altında parça aile çözeltileme kuralları kadar iyi geleneksel atölye prosedürlerinin kullanıldığı fonksiyonel yerleşimin performansı ile karşılaştırılmaktadır.	Sistem, hazırlık faktörü, çözeltileme kuralı (İlk gelen ilk çıkar, kısa işlem süresi önce, tekrarlı partiler), parti büyüklüğü	Karma imalat sistemi	Akış süresi, proses içi stok, makine yararlanma, akış oranı	Hipotezik	Simscript II.5	Ürün ailesi odaklı iş sıralama kurallarının uygulandığı fonksiyonel sistem, klasik iş sıralama kurallarının uygulandığı fonksiyonel sistemden daha iyi performans sergilemiştir. Yüksek hücreleşme oranlarının söz konusu olduğu karma sistemlerde, hücreli sistemin performansı yükselmekte ancak fonksiyonel alanın performansı düşmektedir.
Jensen (2000)	Bir işgörenin yapabileceği işlerin sayısı olarak tanımlanan iş gücü esnekliği ve bir makinenin işleyebileceği parça sayısı olarak tanımlanan makine esnekliği arasındaki performans kayıp-kazançlarının netleştirilmesine yardımcı olmaktadır.	Atölye yerleşimi, bölüm başına çalışan sayısı, merkezleştirilmiş iş gücü ataması/ iş gücü transfer kuralı, iş yükü dengesi, hazırlık süresi azaltma faktörü	Fonksiyonel, karma ve hücreli yerleşim.	Ortalama akış süresi, ortalama gecikme, gecikme RMS değeri	Hipotezik	SLAM II	İş gücü kısıtlı hücreli yerleşimde iş gücü transferinin potansiyel önemi bu çalışmada ıspatlanmıştır. Ayrıca personel düzeyi ile atölye yerleşimi arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermektedir.
Huq ve diğ. (2001)	Her bir imalat yapısı için kullanılarak, hazırlık süresi azaltma faktörü ve parti büyüklüğü karakteristiklerinin hangi yapı için diğerine göre daha üstün sonuç verdiğini saptamayı amaçlamaktadır.	Parti büyüklüğü, hazırlık süresi azaltma faktörü	Fonksiyonel ve hücreli yerleşim	Çıktı miktarı ve akış süresi	Hipotezik	-	İmalatta hücreli yerleşimin uygulanmasından fayda sağlayabilmek için hazırlık süresinin minimum seviyeye azaltılması gerekmektedir. Böylece küçük parti büyüklükleri ile çalışılabilir ve daha az israf yani daha az hurda, daha az proses içi stok ve pazar ihtiyaçlarına daha hızlı tepki, operasyonlarda daha düşük çevrim süreleri elde edilebilir.

Tablo 3.1 Yayın taraması özet tablo (Devam ...)

Yazar/ Yazarlar	Çalışmanın Amacı	İncelenen Faktörler	İncelenen Ortam	Performans Ölçütleri	Hipotetik - Gerçek	Simülasyon Dili	Sonuçlar
Seifoddini ve Djassemi (2001)	Kalite indeksinin uygulanmasında güvenilirlik yaklaşımının etkisi ve atölye ile hücresele üretim sistemlerinin güvenilirlik değişimlerine karşı göreceli hassaslığının simülasyonla modellenmesi ve incelenmesi.	Makine güvenilirlik düzeyi	Atölye ve hücresele üretim	Ortalama akış süresi ve proses içi envanter	Hipotetik	SIMAN	Sonuçlar, hücresele imalat sistemlerinin güvenilirlik değişimlerine karşı, atölye tipi sistemlerin performansına göre, daha hassas olduğu tezini desteklemektedir
Kher ve Jensen (2002)	Hücresele imalatın uygulanması ile ilgili performans kayıp ve kazançlarının, hücresele imalatın uygulanması sürecinde uygun performans ölçütlerinin kullanılmasının öneminin ve hücresele imalatla kısmi hücrelerin rolünün anlaşılmasıdır.	Atölye yerleşimi, proses süresi tasarrufları	Atölye ve hücresele üretim	Ortalama akış süresi, ortalama gecikme	Hipotetik	SLAM II	Mükemmel performans elde etmek için yöneticilerin spesifik yerleşimler üzerine yaptıkları araştırmalarda, özellikle makine gruplarının hücrelere bölündüğü durumlarda, makine yararlanmadaki değişikliklere özel dikkat göstermeleri gerekmektedir.
Al-Mubarak ve diğ. (2003)	Bu makalede odaklanmış hücresele imalatın avantajlarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılması amaçlanmıştır.	Atölye yerleşimi, talep dağılımı, parti büyüklüğü, hazırlık süresi, ürün yapısı, önce sevk etme kuralı	Atölye ve hücresele üretim	Ortalama parça akış süresi, ortalama son ürün tamamlanma süresi, ortalama proses içi envanter	Hipotetik	EXTEND	Odaklanmış hücresele imalat planının gruplama avantajı olduğu görülmektedir. Bu atölye tipi yerleşim planında yararlanılan dengelenmiş makine kullanımına göre daha baskın gelmekte ve daha avantajlıdır.

3.2. Çifte Kaynak Kısıtlı Sistemler ve Hücresel Üretimdeki Diğer Çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde konu ile ilgili yayınlanmış diğer çalışmalardan bazılarının özetleri yer almaktadır. Bu çalışmalar içinde; Trevelen (1989)'in çalışması yayınlandığı tarihe kadar literatürde bulunan çifte kaynak kısıtlı sistemlerin ayrıntılı incelemesini sunan çok değerli bir çalışma olarak göze batmaktadır. Ayrıca Seifoddini (1992)'nin darboğaz makinelerin hücre verimliliğine etkisini incelediği çalışması, Askin ve Iyer (1993)'in işçileri işlere atamak ve işlerin işleyişini hücresel üretim sistemi ile takip etmeye dair üç yaklaşımı karşılaştırdığı çalışması, Chen (1995)'nin ve Solimanpur ve diğ.(2004)'nin grup teknolojisi hücrelerinde operatör çizelgeleme problemlerini incelediği çalışmaları, Allahverdi ve diğ. (1999)'nin kurulum sürelerini (maliyetlerini) içeren çizelgeleme problemleri ile literatürün karşılaştırmalı özetini sunduğu çalışması, Askin ve Huang (2001)'nin, iş gören atamalarına kılavuzluk etmek, teknik ve yönetsel yetenekler için hücre gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde yüksek takım içi sinerjisine ve bireysel iş yapabilme becerisine sahip iş gören yetiştirmek için eğitim sistemleri formüle ettiği karma tamsayılı hedef programlama modelinin bulunduğu çalışması, Ertay ve Ruan (2005)'nin en verimli operatör sayısını ve hücresel üretim sisteminde işgücü atamalarının etkin ölçütünü belirlemek için veri zarflama analizine dayalı karar verme yaklaşımını sundukları çalışmaları ve son olarak. Zamiska ve diğ. (2005)'nin çifte kaynak kısıtlı sistem ortamında işgörenlerin öğrenme ve unutma oluşumlarını inceledikleri çalışmaları kronolojik sıraya göre aşağıda sunulmaktadır.

Trevelen 1989'nin çalışmasında mevcut çifte kaynak kısıtlı (ÇKK) (ing: DRC - Dual resource constrained) sistem literatürünün bir incelemesidir. ÇKK araştırmaları, tam zamanında (JIT - Just in time) sistemi savunucuları tarafından çapraz-eğitimin (ing: cross-training) vurgulanması ile yeni bir önem kazanmıştır. Çapraz-eğitim iş gücü esnekliği için anahtardır. ÇKK sistemin araştırmasında çapraz-eğitim anahtar konulardan biridir.

Trevelen (1989)'in bu çalışması ÇKK sistemi ile ilgili yirmi beşin üzerinde makaleyi kapsamaktadır. ÇKK sistemi araştırmaları ve sonuçları (tasarım ve operasyon kararları şeklinde kategorize edilmiş) özetlenmiş ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Bir tablo oluşturularak ÇKK sistemlerinin karakteristikleri modellenmiş, karar kuralları incelenmiş, istatistiksel analiz metotları kullanılmış ve

her çalışmada kullanılan performans kriterleri incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda kullanılan birçok modeldeki yaygın karakteristikleri vurgulamak için çalışmanın sonuna bir ek konulmuştur.

Çalışmada incelenen makalelerin aşağıdaki karakteristikleri ele alınmıştır;

(1) *Atölye*; atölyedeki operatör sayısı, makine sayısı, iş merkezi sayısı, bölüm sayısı, iş gücü yararlanma, hipotetik-gerçek ayrımı. (2) *Operatörler*; transfer gecikme süresi, çapraz-eğitim. (3) *İşler*; ortalama modeli, iş bitiş tarihi ataması. (4) *Kurallar*; sevk etme, iş gücü nerede atandı, iş gücü ne zaman atandı. (5) *Performans kriteri*, (6) *İstatistiksel analiz* ve (7) *Simülasyon dili* (Trevelen, 1989).

Seifoddini (1992)' ye göre hücresele üretim sistemlerinde, darboğaz makinelerle bağı olarak oluşan hücreler arası hareketler, daha yüksek verimlilik kazanlarına ulaşılmasını engelleyen başlıca etmenlerden bir tanesidir. Darboğaz makinelerinden meydana gelen ayrı hücrelerin oluşturulması (hibrit hücreler) bu problemin çözümlerinden birisidir. Hibrit hücrelerin oluşturulması, darboğaz makinelerin tek bir hücrede toplanması ile istisnai parçalar tarafından daha kolay ulaşılabilmesine ve bu sayede de akışın basitleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu makale, söz konusu prensibi doğrulamak amacıyla hibrit hücre performansını hesaplamak için geliştirilmiş bir yöntemi sunmaktadır. Bu yöntem hücrelerarası ve hücre içi malzeme işlenmesi harcamalarının toplamını performans ölçütü olarak kullanmaktadır.

Hibrit hücre oluşumu darboğaz makine problemine bir çözüm olarak sunulmuştur. Ek kaynaklara olan minimum gereksiniminden dolayı çekici bir çözüm yolu olarak gözükse de hücresele üretim sistemi performansı üzerine ters etkileri de olabilir. Bu çalışmadaki sonuçlar göstermektedir ki hibrit hücrelerin oluşturulması bir çok durumda daha maliyetli bir hücresele üretim sisteminin meydana gelmesine neden olmaktadır (Seifoddini, 1992).

Askin ve Iyer (1993), bu çalışmada işçileri işlere atamak ve işlerin işleyişini hücresele üretim sistemi ile takip etmeye dair üç yaklaşım birbirleri ile kıyaslanmıştır. Amaç, parça grupları için akış zamanını minimize etmektir. Yöntemler şu şekilde sıralanabilirler, (1) Her makinenin, ilk gelen ilk servis görür temeline dayanarak yüklenmesi, (2) hücre atanması yöntemi, ki her hücrenin o an tek bir parti tipine atanmasını gerektirir ve (3) iş verimliliştirme prensibi, ki her parti tek ve her iş için eğitilmiş bir operatöre yönlendirilir. Yöntemler, çok değişik şartlarda, sıralama

tahminleri (ing: queueing approximations) ve simülasyonlar ile kıyaslanmıştır. Atanmış hücreler (ing: dedicated cell) büyük boyutlu, iş yükleri dengelenmiş ve parti yükleri büyük olduğunda en iyi performansı göstermektedir. Partilerin çapraz eğitilmiş işçilere atanması, (özellikle de makinelerin çok yüksek oranda kullanılmadığı durumlarda) geleneksel parti temin tekniklerine (ing: handling techniques) kıyasla, üretim zamanını da kötü bir şekilde etkilemeden, kalite ve moral yönünden avantaj sağlayabilir.

Bir imalat hücrecini çizelgelemek için seçilen stratejik yaklaşım akış süresi üzerinde önemli etki yapabilir. Tek makineli hücreler için bu seçim önemli değildir. Fakat büyük hücreler için en iyi yöntemin belirlenmesi servis süresi dağılımına, makine yararlanma ve parti büyüklüğüne şiddetle bağlıdır.

Çoğu durumda hücreyi çoklu ürün montaj sistemi (ing: DCL-Dedicated cell loading; atanmış hücre yükleme yaklaşımı) olarak işletmek en iyi seçimdir. Akış rasgeleleştikçe, MBL (ing: Machine-based batch loading; makine tabanlı parti yükleme) işlemine göre genelde hala tercih edilebilir olsa da, atanmış hat yöntemi bir takım özelliklerini kaybetmektedir. Parti büyüklüğü arttıkça, hücreyi tek bir partiye atamak daha uygun olmaktadır. Önemli oran; hazırlık süresi/transfer parti işleme süresi (ing: transfer batch processing time) olabilir. Birim işleme zamanına bağlı olarak hazırlık süresi arttıkça, DCL yaklaşımı avantajını kaybetmektedir. Şaşırtıcı olmakla birlikte, işleme zamanının dağılımı yöntem seçimini etkilememektedir. Eğer mümkünse, hücre parça aileleri parti işleme zamanındaki değişimi azaltacak şekilde oluşturulmalıdır. Ancak yöntemlerin bağlı sıralaması değişmeyecektir. Kullanım ihlallerine (ing: utilization violations) bağlı olarak atanmış hücrelerin başarısız olması ise bir istisnadır. Mesela, % 90 kullanım oranlı beş makinelik bir hücrede, belirlenebilir ve dengelenmiş bir hat için bekleme süresi işleme süresinden daha az olacaktır. Ancak, makine işlem zamanları üstsel değişiyorsa, hücre yükleme prosedürü isteği karşılayamayacaktır.

Makine kullanımı çok yüksek değilse, bütün üretim yetkilerinin çapraz eğitilmiş hücre işçilerine verilmesi iyi bir seçim olacaktır. Birkaç iş için her işçiye sorumluluk yüklemek, işçilerin birbirini bloke etmemesi açısından verimlidir. Bu sonuçlar çok yüksek oranda makine kullanımı ve servis zamanı değişkenlikleri dışında tutarlıdır. Seri veya rasgele rotalamanın WBA (ing: Worker-batch assignment; işgören-parti ataması) üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Bütün makinelerin insanlı

olması durumunda DCL yaklaşımı iyi performans vermektedir. Ancak, hücre kullanımı için tamamen insanlı makinelerin gerekli olmaması durumunda WBA yöntemine göre kötüdür. Bu durum, işçilerin kısmen insanlı hücrelerde birden çok operasyon için sorumluluk almasının daha yararlı olacağı sonucunun öne çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışma göstermiştir ki, operasyon hücrelerine stratejik yaklaşımlarının geliştirilmesi için daha çok çalışmaya gerek duyulmaktadır. İlk olarak, WBA yaklaşımının uygun olduğu sonuçlar için, daha değişik hücre ortamlarının deneysel olarak incelenmesi gerekmektedir. Optimum çapraz eğitim ve proses içi stok seviyeleri de belirlenmelidir. Bu çalışmada çapraz eğitilmiş işçilerin her operasyonu gerçekleştirebileceği kabul edilmiştir. Bir hücreyi alt hücrelere bölmek ve işçileri bu alt hücrelerde birden çok, (ama hepsine değil) makineye atamak da önerilebilir (Askin ve Iyer, 1993).

Chen (1995)' nin çalışmasında grup teknolojisi hücrelerinde operatör çizelgeleme problemlerini incelemektedir. Mevcut TZÜ metodolojisi ile esnek çizelgeleme yaklaşımının atölye ortamında kullanılması kritik bir hal almıştır. Buradaki yaklaşımla operatörlerin mevcut üretim durumu oldukça iyi şekilde izlenebilmekte ve planları (çizelgeleri) değiştirebilmekte, böylece en uygun görülen yönlendirme yapılabilir. Simülasyon deneylerinde buradaki yaklaşım çok kullanılan birkaç çizelgeleme metodunu kullanmaktadır.

Bu çalışmada sezgisel yaklaşım adamlı grup teknolojisi hücrelerindeki operatör çizelgeleri için tasarlanmıştır. Sezgisel yaklaşım, “ing: Cycle Switching Rules” (CSR- uzun vadeli kararları kapsayan üretim çevresi ile ilgili) ve Dinamik Çizelgeleme Kurallarını (kısa vadeli kararları kapsayan üretim çevresi ile ilgili) içermektedir. Bu yaklaşımlar bilgi gereksinimleri ve karar ufukları açısından birbirlerinden ayrılırlar. Simülasyon deneylerinde, sonuç çizelgesinin kalitesi ile kullanılan sezgiselin bilgi içeriği arasında tahmin edilebilir bir alışveriş olduğu gösterilmektedir.

Çalışmanın amacı; deterministik ve stokastik ortamlar için optimum operatör yürüme yörüngesi, çevrim değiştirme kuralları ve tek iş gören-dinamik çizelgeleme kurallarının analizidir. Performans ölçütü olarak üretim miktarı seçilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, deterministik ortamlarda optimum çevrim yörüngesi, diğer çalışma şartlarında, çevrim değiştirme kuralları ve dinamik çizelgeleme kuralları iyi performans göstermiştir (Chen, 1995).

Allahverdi ve diğ. (1999), çizelgeleme araştırmalarının büyük bölümü kurulumu önemsiz veya işlem süresinin bir parçası olarak kabul eder. Bu kabul ile analiz basitleşir ve kesin uygulamaları yansıtır. Öte yandan bu kabul kurulumun ayrı olarak incelenmesini gerektiren birçok uygulamada çözüm kalitesini olumsuz yönde etkiler. Zamana dayalı rekabet ve grup teknolojisi gibi üretim gerçekleşmesinin aciliyetine bağlı bazı uygulamalarda kurulumun göz önünde bulundurulmasının çizelgeleme problemleri ile yoğun ilişkisi bulunmaktadır. Bu çalışma kurulum sürelerini (maliyetlerini) içeren çizelgeleme problemleri ile literatürün karşılaştırmalı özetini sunmaktadır. Çizelgeleme problemlerini, parti var – parti yok, sıralama bağımlı kurulum – sıralama bağımsız kurulum şeklinde sınıflandırmakta ve literatürü tek makine, paralel makineler, akış tipi ve jobshop şeklinde atölye ortamını göre kategorize etmektedir. Önerilen sınıflandırma şeması, kurulumu göz önünde bulunduran çizelgeleme literatürünü düzenlemekte, farklı problem tipleri için mevcut araştırma sonuçlarını özetlemekte ve son olarak ileriki çalışmalar için yol göstermektedir.

Askin ve Huang (2001)' a göre, çevrim zamanını azaltmak, üretkenliği arttırmak ve ürün kalitesini geliştirmek için hücrel üretim yöntemi bir ölçü olarak kullanılmak üzere adapte edilmiştir. Hücrel üretim hakkında gerçekleştirilen eski çalışmalar makine gruplarının, parça ailelerinin ve işlem rotalarının belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Mevcut işçilerin hücrelere yeniden yerleştirilmesi ve takım bazlı hücrel imalat ortamı için eğitilmeleri ise genelde ihmal edilmiştir. Bu çalışmada, karma tamsayılı hedef programlama modeli, iş gören atamalarına kılavuzluk etmek, teknik ve yönetsel yetenekler için hücre gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde yüksek takım içi sinerjisine ve bireysel iş yapabilme becerisine sahip iş gören yetiştirmek için eğitim sistemleri formüle edilmiştir. Geliştirilen model psikolojik, yönetsel ve teknik faktörleri birleştirmektedir. Hırslı sezgisel, filtrelenmiş ışın taraması ve “simulated annealing” tekniklerini de kapsayan çözümleme yöntemleri geliştirilmiş ve denenmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki ışın taraması gibi sezgiseller makul hesaplama eforuyla güzel sonuçlar elde edilebilmesini sağlayabilir.

Hücresel üretimde, işçi takımlarının oluşturulması için detaylı bir İşçi Atanması ve Eğitimi (İAE) modeli bu çalışmada formüle edilmiştir. Prosedürler, mevcut fonksiyonel bir organizasyonun, takım sinerjisini ve işçi yetenekleri/içgüdüleri ile iş gereksinimleri dengesini en üst düzeye yaklaştırırken, eğitim masraflarını azaltacak şekilde hücrelere çevrilmesine olanak sağlamaktadır. Model, uyum sağlayan ve birlikte çalışılabilen bir ortam ve tekil iş tatmini sağlarken, dış talep tarafından yaratılan operasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde imalat hücrelerinin tasarlanmasını desteklemektedir. Model çıktı olarak işçileri hücrelere yerleştirmekte ve her biri için yapacakları işi detaylandırmaktadır.

İAE modelinin kompleksliği yüzünden, büyük problemler için modelin en uygun çözümünün elde edilmesi tam olarak olanaklı değildir. Burada hırslı sezgisel ve hırslı sezgisele dayalı bir filtrelenmiş ışın taraması algoritması geliştirilmiştir. Algoritmalar bir çok parametre kombinasyonları için denenmiştir. Belirli bir takım zor şartlar için “simulated annealing” ile ek denemeler de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, klasik optimizasyon ya da hesaplama zamanı ve bilgisayar hafızasının kısıtlı olduğu durumlarda filtrelenmiş ışın taraması verimli bir çözüm yaklaşımı olabilir.

Bu çalışma üretim müdürlerinin işçileri ve işleri hücrelere yerleştirmesi ve insan kaynakları müdürlerinin de eğitim giderlerinden elde edecekleri verimin artırılması konusunda kullanılabilecek faydalı bir metodoloji ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalar sinerji dışında takım performansını güvenilir bir şekilde ortaya koyabilecek ek parametrelerin belirlenmesi ve bu model içine yerleştirilmesi üzerinde olacaktır (Askin ve Huang, 2001).

Solimanpur ve diğ.(2004)’e göre hücresel imalatta çizelgeleme problemleri, parça ailesindeki bütün parçaların aynı hücre içinde işlem gördüğü ve hücreler arası transfere ihtiyaç duyulmayan grup çizelgeleme problemleri şeklinde davranır. Tipik bir hücresel imalat sisteminde diğer hücrelerdeki makinelerde işlem görmesi gereken bazı istisnai parçalar olmaktadır. Bu gerçek grup çizelgeleme yaklaşımlarının uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Bu makale parçaların farklı hücreleri ziyaret etmek durumunda olduğu imalat hücreleri çizelgelemelerine hitap etmektedir. Bu problemi çözmek için SVS-algoritması (Solimanpur, Vrat, Shankar) olarak adlandırılan iki aşamalı sezgisel önerilmektedir. Aşamalar, hücre içi çizelgeleme ve hücreler arası çizelgeleme olarak isimlendirilmiştir. Hücre içi çizelgeleme ile imalat

hücresi içindeki parçaların sıralaması belirlenmektedir. Bununla birlikte hücreler arası çizelgelemede hücrelerin sıralaması geçerli olmaktadır. Önerilen SVS-algoritmasının performansı literatürden seçilen 15 problem ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar ortalama “ing: makespan”e göre seçilen bütün problemlerde SVS-algoritmasının LN-PT (Logndran, Nudtasomboon ve Petrov) metodundan daha iyi olduğunu göstermektedir.

Ertay ve Ruan (2005) çalışmalarında, en verimli operatör sayısını ve hücresel üretim sisteminde işgücü atamalarının etkin ölçütünü belirlemek için veri zarflama analizine dayalı karar verme yaklaşımını sunmaktadır. Veri zarflama analizi yaklaşımı, ortalama temin süresi ve ortalama operatör kullanım oranını çıktı değişkenleri; operatör sayısını, transfer parti büyüklüğünü ve talep düzeyini girdi değişkenleri olarak kullanarak gerçekleştirilmiştir. Girdiler ve çıktılar hücresel imalat sisteminin simülasyonu ile elde edilmiştir. Çalışmanın amacı hücresel imalat sisteminde işgücü atamalarını belirlemektir.

Zamiska ve diğ. (2005) bu çalışmalarında çifte kaynak kısıtlı sistem ortamında işgörenlerin öğrenme ve unutma oluşumlarını incelemiştir. İki ve üç aşamalı çifte kaynak kısıtlı sistemlerde işgörenlerin öğrenme ve unutmaları çift fazlı öğrenme ve unutma modeline göre modellenmiştir. Bu model, bir görevin birbirinden ayrı biliş ve harekete geçirici gereksinimlere sahip olduğu yönündeki teoriye dayanmaktadır. Sonuçlara göre görev tipi, çifte kaynak kısıtlı sistemlerinde, eğitim ve plana göre yerleştirme politikalarının performansını etkilemektedir.

3.3. Varyans Düşürme Teknikleri

Varyans düşürme tekniklerinin kullanımı simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır.

Dört varyans düşürme tekniği iki ana grupta incelenebilir. Birinci grup simülasyon modelini kuran kişinin ön bilgisine bağlı olarak ortalama cevabı kestirimi sonucunda varyans düşürmenin sağlanmasıdır. İkinci gruptaki tekniklerde simülasyonun her koşulunda rastsal sayılar kullanılarak koşumların ortalama cevapları arasında pozitif veya negatif korelasyon oluşturulmaktadır. Bu korelasyon ile koşumların genel ortalama cevabının varyansında düşüş sağlanmaktadır. Ancak diğer yandan da koşumların birbirinden bağımsızlığı ortadan kalkmaktadır.

Ön bilgiye dayalı yöntemler:

Bu yöntemlerin uygulanabilirliği modellenen sisteme bağlıdır.

Dolaylı Ölçütler: Sistemde kullanılan bazı dolaylı parametrelerin beklenen değerleri girilerek sistemdeki bazı belirsizlikler ortadan kaldırılarak sonuçların varyansının düşürülmesi sağlanabilmektedir. Rastsal elemanların, sabit değer ile tanımlanması nedeniyle dolaylı ölçütlerin değişkenliği azalmaktadır. Örneğin; istasyonda bilet alma süresi, kuyrukta bekleme süresi ve bileti gişeden alma işlemi sürelerinin toplamından oluşmaktadır. Burada kuyrukta bekleme süresi sabit olarak tanımlandığında istasyonda bilet alma süresinin değişkenliği azalacaktır.

Kontrollü Değişim: Bu metot ikincil değişkenlerin kullanımına dayanmaktadır. Kontrol edilmek istenen temel değişken ile bağlantılı ikincil değişken kontrol edilerek varyansın düşürülmesi amaçlanmaktadır. Uygun değişken seçilerek bu değişkenin varyansının kontrol altına alınması ile kontrol edilmek istenen sonuç değişkeninin de varyansı kontrol altına alınmış olur.

Zorlanmış korelasyon:

Ortak Rastsal Sayılar: Bu yöntem sadece iki veya daha fazla sistemin birbiri ile kıyaslanması durumunda kullanılmaktadır. İki sistemin aynı rastsal sayılar ile çalışması için iki sistemin koşumları eşleştirilmektedir. Böylece rastsal sayıların farklı olması dolayısıyla ortaya çıkan varyans ortadan kalkmaktadır.

Karşıt Değişim: Bu yöntemde simülasyon için gerçekleştirilen koşumların birbirine karşıt rastsal sayılar ile gerçekleştirilerek bu koşumların birbirleri ile eşlenmesi ile korelasyon ortaya çıkarılmakta ve varyansın düşmesi sağlanmaktadır (Pegden ve diğ., 1995).

4. ÜRETİM SİSTEMİNİN TASARIM ALTERNATİFLERİ VE SİMÜLASYONU

Uzel Holding bünyesinde faaliyet gösteren Uzel Makine A.Ş. Sac atölyesindeki 19 No'lu hücre gerçek bir imalat sisteminin simülasyonunun yapılması amacıyla seçilmiştir. Bu hücrede traktörler için merkez aks kompleksi üretilmektedir. Üretim hücresinin genel görünüşü Şekil 4.1'de verilmiştir.

4.1. Üretim Sistemi

4.1.1. Üretim Tesisleri



Şekil 4.1 19 No'lu Hücresinin Genel Görünüşü.

Sac atölyesi 19 No'lu hücre ve Hazırlık hücresindeki tezgah parkı aşağıda görülmektedir:

19 No'lu Hücre:

S149: Punta Kaynak	S145150: Gaz Altı Kaynak
S92: Özel Delik İşleme	S18: Hidrolik Pres
S83: Punta Kaynak	S2246: Boy Kaynak
S89: Çok Milli Matkap	S52: Radyal Matkap
S54: Radyal Matkap	S32: Elektrik Ark Kaynağı
S64: Radyal Matkap	

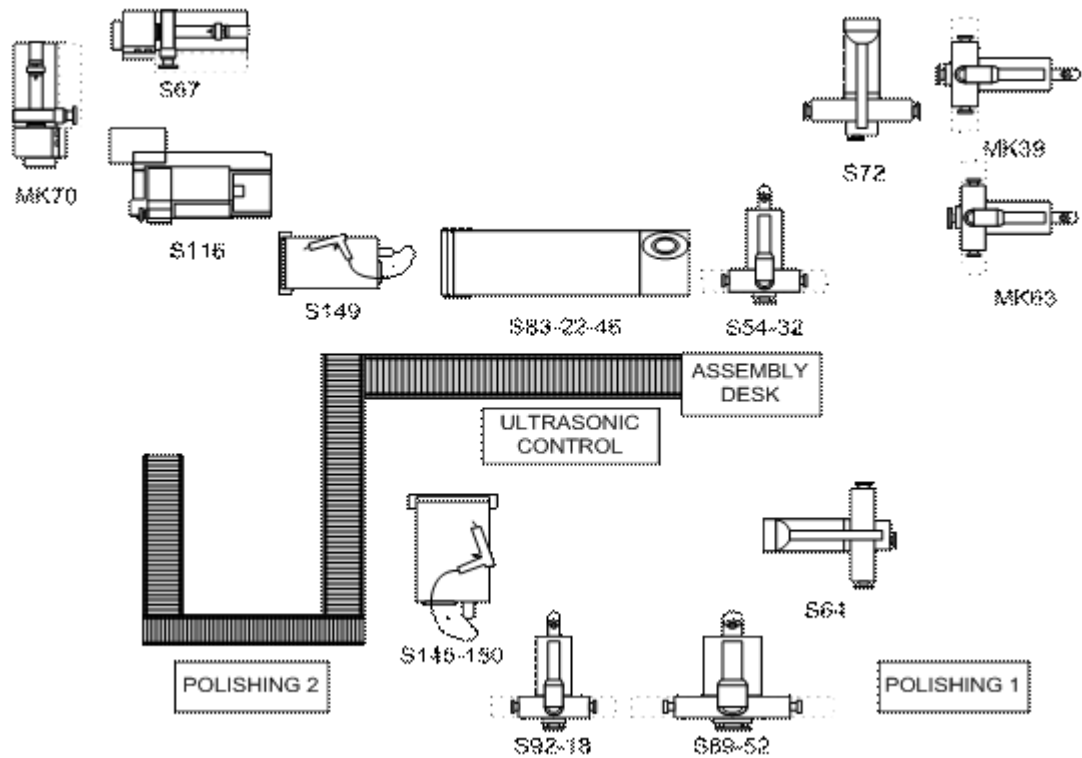
Hazırlık Hücresi:

S67: Torna	MK70: Radyal Matkap	S116: CNC Torna
-------------------	----------------------------	------------------------

Dış Hücre

S72: Freze	MK39: Sütunlu Matkap	MK63: Radyal Matkap
-------------------	-----------------------------	----------------------------

Tezgahların hücre içindeki yerleşimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Uzel Makine 19 No'lu Hücresinin Şematik Yerleşimi.

4.1.2. Ürün Tipleri ve Talep Yapısı

19 No’lu hücrede Ocak 2002 – Ekim 2003 tarihleri arasında üretilen parçalar ve aylık toplam üretim miktarları Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1 Uzel Makine 19 No’lu hücrede Ocak 2002- Ekim 2003 tarihleri arasında üretilen parça miktarları.

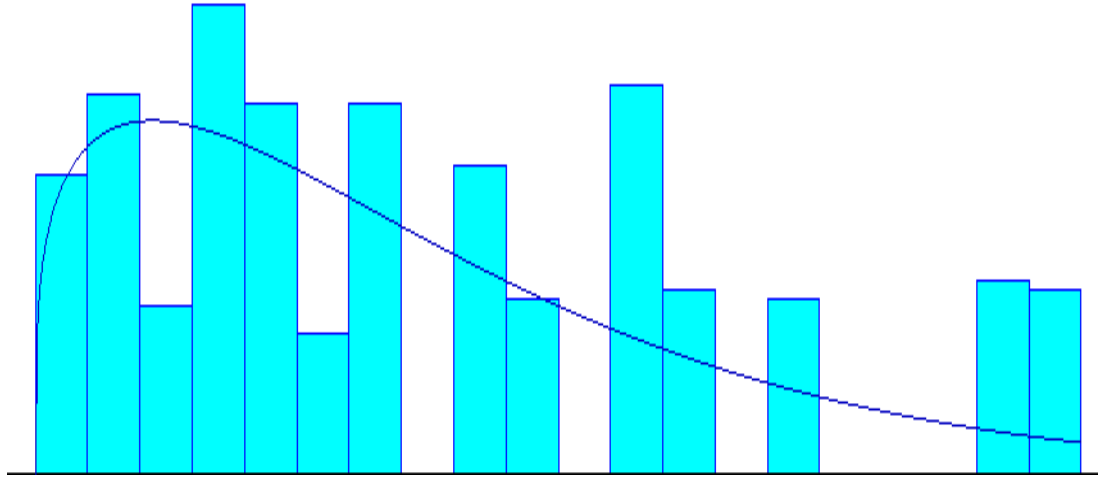
Ay - Yıl	3700582M93S	3808089M91S	897625M94S
Ocak 02	391	158	79
Şubat 02	578	128	274
Mart 02	189	186	133
Nisan 02	46	52	213
Mayıs 02	364	193	401
Haziran 02	15	192	703
Temmuz 02	0	68	245
Ağustos 02	0	85	549
Eylül 02	1	64	385
Ekim 02	34	14	187
Kasım 02	250	59	39
Aralık 02	455	175	298
Ocak 03	176	86	118
Şubat 03	0	153	112
Mart 03	172	68	216
Nisan 03	353	35	208
Mayıs 03	472	0	98
Haziran 03	155	0	115
Temmuz 03	141	98	85
Ağustos 03	167	0	20
Eylül 03	140	96	64
Ekim 03	92	12	113

Tabloda verilen üretim miktarlarına göre hücreye yükleme yapıldığında hücrenin kapasitesinin çok altında üretim yaptığı görülmüştür. Kapasitesinin çok altında üretim yapan bir üretim sisteminin benzetimde farklı tasarım alternatifleri için verdiği sonuçlar karşılaştırma için elle tutulur farklılıklar oluşturmamaktadır. Sistemde darboğaz oluşumu vb. sıkıntılar ortaya çıkmamaktadır. Bu nedenle hücreye normal üretim rakamlarına göre %50 oranında fazla yükleme yapılarak benzetim yapılmıştır. %50 fazla yükleme yapıldığında elde edilen talep yapısı ARENA 3.0 programının “Input Analyzer” aracı kullanılarak analiz edildiğinde talep yapısına en uygun gelişler arası süre dağılımının 5 + WEIB(12, 1.25) şeklindeki Weibull dağılımının olduğu görülmektedir. (Tablo 4.2 ve Şekil 4.3)

Tablo 4.2 ARENA 3.0 Input Analyzer gelişler arası süre dağılımı analiz sonuçları.

Distribution Summary	
Distribution:	Weibull
Expression:	5 + WEIB(12, 1.25)
Square Error:	0.022222
Chi Square Test	
Number of intervals	= 16
Degrees of freedom	= 13
Test Statistic	= 186
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0994
Corresponding p-value	< 0.01
Data Summary	
Number of Data Points	= 432
Min Data Value	= 5.26
Max Data Value	= 34.7
Sample Mean	= 16.2
Sample Std Dev	= 8.35
Histogram Summary	
Histogram Range	= 5 to 35
Number of Intervals	= 20
=====	
Fit All Summary	
Function	Sq Error

Weibull	0.0222
Gamma	0.0224
Erlang	0.0253
Exponential	0.0253
Beta	0.0254
Lognormal	0.0273
Triangular	0.0289
Normal	0.0311
Uniform	0.0319



Şekil 4.3 Uzel Makine 19 No'lu Hücre gelişler arası süre dağılımının ARENA Input Analyzer ile analiz sonucu.

Gelişler arası süre dağılımının uyduğu dağılım olan Weibull dağılımı hakkında kısa bir bilgi verilmektedir.

Weibull (Beta, Alfa)

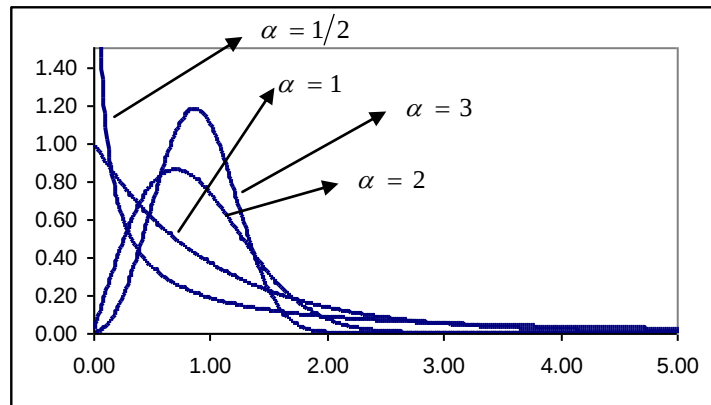
$$f(x) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad x > 0 \quad (4.1)$$

Ortalama:

$$\frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \quad (4.2)$$

Varyans:

$$\frac{\beta^2}{\alpha} \left\{ 2\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \left[\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\} \quad (4.3)$$



Şekil 4.4 Weibull dağılımı grafik gösterimi ($\beta=1$ için) Alfa (α): Şekil parametresi Beta (β): Boyut parametresi

Uygulamaları: Weibull dağılımı, bir işi tamamlama süresi veya bir ekipman parçasının bozulma süresini temsil etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca bu dağılım sola dayalı negatif olmayan iş sürelerinin temsili için kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan 19 No'lu hücrede Uzel Makine'de üretilen traktörler için montaj parçası ve yedek parça olarak çeşitli modeller için üç farklı merkez aks kompleksi üretilmektedir. Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de üretilen parçaların teknik resimleri verilmiştir.

4.1.3. Hücresinin İşleyişi ve Operasyon Rota Bilgileri

İncelenen hücresinin işleyişi ve operasyon rota bilgilerinin bir özeti Şekil 4.5'de verilmiştir. Bundan sonra kısaca 582A olarak ifade edilecek olan 3700582M93S no'lu parçanın elemanları dört ayrı koldan hücreye girmektedir. Parçanın elemanlarından ilki 1 numaralı kolda Montaj masasında kapak düzeltme, S832246 numaralı istasyonda gövdeye kapak punta kaynak-boy kaynak işlemleri ve Ultrasonik kontrol istasyonunda boy kaynak kontrol işlemini gördükten sonra kaynak ile montaj için S149 istasyonuna gider. Parçanın ikinci elemanı olan burç, 2 numaralı kolda S116 istasyonunda boy tornalama, S72 istasyonunda frezede açılı yatak açma ve MK39 no'lu istasyonda delik delme ve diş çekme işlemlerini gördükten sonra kaynak ile montaj için S149 istasyonuna gider. Parçanın üç numaralı elemanı olan support braket MK63 istasyonunda delik delme ve havşa açma, S72 istasyonunda support alt destek ve üst braketlerinin frezelenmesi, S149 istasyonunda support braket, alt braket ve üst braket punta kaynak, S145150 istasyonunda support braket komple boy kaynak işlemlerini gördükten sonra Ultrasonik Kontrol istasyonunda boy kaynak kontrolü yapılarak kaynak ile montaj için S149 istasyonuna gider. Son parça olan bayraklar S72 istasyonunda frezelenerek diğer üç parça gibi kaynak ile montaj için S149 istasyonuna gider. S149 istasyonunda birbirine punta kaynak ile bağlanan parçalara S145150 istasyonunda boy kaynak yapılır. S9218 istasyonunda burç yatağının işlenmesi, burç çakma ve raybalama işlemlerini gördükten sonra S64 istasyonunda support braket işlenerek komple çapak alma ve polisaj işlemi için Polisaj 2 istasyonuna gider. Son olarak Ultrasonik kontrol istasyonunda bayrak kaynağının kontrolü yapılarak gresörlük takılmak üzere Polisaj 1 istasyonuna gider ve hücreyi terk eder. (Tablo 4.3)

Tablo 4.3 Parça 582A Operasyon rota bilgileri.

Parça Adı	İşlem No	İşlem	İstasyon	Ortalama İşlem Süresi (dk.)
3700582M93S	1	Kapak düzeltme	Montaj Masası	0,8
	2	Gövdeye kapak punta, boy kaynağı	S 83_22_46	4,4
	3	Boy kaynak ultrasonik kontrol	Ultrasonik Kontrol	1,2
	4	Burç boy tornalama	S 116	2,0
	5	Burca frezede açılı yatak açma	S 72	5,4
	6	Burca delik delme, diş çekme	MK 39	0,9
	7	Sup. braketine delik delme, havşa açma	MK 63	3,2
	8	Sup. alt ve üst destek braketi freze	S 72	0,5
	9	Sup. braket, alt braket, üst braket punta	S 149	1,4
	10	Sup. braketi komple kaynak yapma	S 145_150	1,7
	11	Sup. braket kay. ultrasonik kon.	Ultrasonik Kontrol	1,6
	12	Bayrak frezeleme	S 72	0,5
	13	Gövdeye sup., burç, bayrak ve takoz punta	S 149	5,1
	14	Gövdeye sup., burç, bayrak ve takoz kaynak	S 145_150	23,0
	15	Sup. braketini işleme	S 64	20,0
	16	Burç yatağını işleme, burç çakma, raybalama	S 18_92	8,9
	17	Komple çapak alma, polisaj	POLİSAJ 1	4,7
	18	Bayrak kaynağı ultrasonik kontrol	Ultrasonik Kontrol	2,0
	19	Gresörlük takma	POLİSAJ 1	0,3

Bundan sonra kısaca 089B olarak ifade edilecek olan 3808089M91S no'lu parçanın elemanları üç ayrı koldan hücreye girmektedir. Parçanın elemanlarından ilki 1 numaralı kolda Montaj masasında kapak düzeltme, S832246 numaralı istasyonda gövdeye kapak punta kaynak-boy kaynak işlemleri gördükten sonra kaynak ile montaj için S149 istasyonuna gider. Parçanın ikinci elemanı olan pivot, 2 numaralı kolda S67 istasyonunda ilk iç boşaltma, MK70 istasyonunda ikinci iç boşaltma ve havşalama ve S116 istasyonunda iç çap tornalama ve delik işlemleri yapılarak üçüncü koldan gelen parça ile birleştirilmek üzere S149 istasyonuna gider. Parçanın

üç numaralı elemanı olan küçük pivot S116 CNC torna tezgahında iç ve boy tornalama, S9218 istasyonunda burç çakma işlemlerini gördükten S149 istasyonunda büyük pivot ile kaynak ile birleştirilerek Ultrasonik Kontrol istasyonunda boy kaynak kontrolü yapılır. Daha sonra parça diğer parça olan gövdeye punta kaynak ile montaj için S149 istasyonuna gider. S149 istasyonunda birbirine punta kaynak ile bağlanan parçalara S145150 istasyonunda boy kaynak yapılır. Polisaj 2 istasyonunda komple çapak alma ve polisaj işlemi yapılarak hücreyi terk eder. (Tablo 4.4)

Tablo 4.4 Parça 089B Operasyon rota bilgileri.

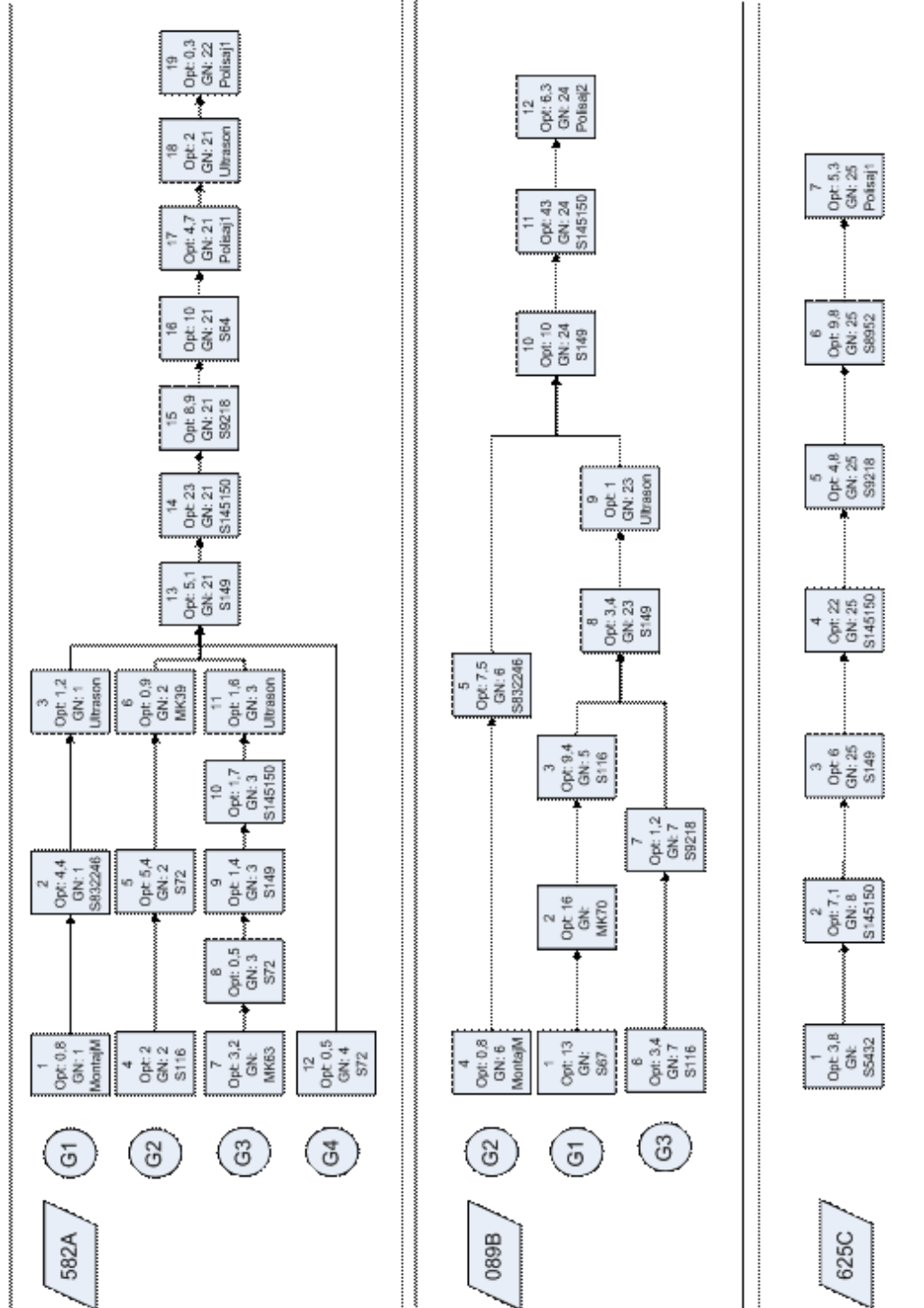
Parça Adı	İşlem No	İşlem	İstasyon	Ortalama İşlem Süresi (dk.)
3808089M91S	1	Pivot iç boşaltma - 1	S 67	13,0
	2	İç boşaltma, havşalama	MK 70	16,0
	3	Pivot iç ve boy tornalama	S116	9,4
	4	Kapak düzeltme	Montaj Masası	0,8
	5	Gövdeye kapak punta boy kaynağı	S 83_22_46	7,5
	6	Küçük pivot iç ve boy tornalama	S 116	3,4
	7	Küçük pivota preste burç çakma	S 18_92	1,2
	8	Küçük pivotu büyük pivota kaynak yapma	S 149	3,4
	9	Komple kaynak ultrasonik kontrol	Ultrasonik Kontrol	1,0
	10	Komple A, B, H, K, J, E, F parçalarını punta	S 149	10,0
	11	Kaynak tamamlama	S 145_150	43,0
	12	Komple çapak alma, polisaj yapma	POLİSAJ 2	6,3

19 no'lu hücrede işlem gören üçüncü parça bundan sonra kısaca 625C olarak ifade edilecek olan 897625M94S no'lu parça S5432 istasyonunda gövde deliğini büyütme ve iç takviye punta işlemlerini iç takviyelerin gövdeye kaynatılması ve dış takviye düzeltme işlemleri için S145150 istasyonuna gider. S149 istasyonunda gövdeye kapak, burç ve kaburga puntalama işlemleri yapılır. Parça daha sonra S145150 istasyonuna gider, burada komple burç, kaburga ve yağ borusu boy kaynağı yapılır. S9218 istasyonunda burç deliği işleme ve sarı burç çakma işlemleri yapıldıktan sonra S8952 istasyonunda aks kolu bağlantı deliği delme ve diş çekme operasyonları

gerçekleştirilir ve parça son istasyon olan Polisaj 1 istasyonuna giderek çapak alma ve polisaj işlemlerini görerek hücreyi terk eder. (Tablo 4.5)

Tablo 4.5 Parça 625C Operasyon rota bilgileri.

Parça Adı	İşlem No	İşlem	İstasyon	Ortalama İşlem Süresi (dk.)
897625M94S	1	Gövdenin deliğini büyütme, iç takviye punta	S 54_32	3,8
	2	İç takviye gövdeye kaynak, dış takviye düzelt.	S 145_150	7,1
	3	Gövdeye kapak, burç ve kaburga punta	S 149	6,0
	4	Komple burç, kaburga, yağ borusu, boy kaynak	S 145_150	22,0
	5	Burç deliği işleme, sarı burç çakma	S 92_18	4,8
	6	Aks kolu bağlantı deliği delme, dış çekme	S 89_52	9,8
	7	Çapak alma, polisaj yapma	POLİSAJ 1	5,3



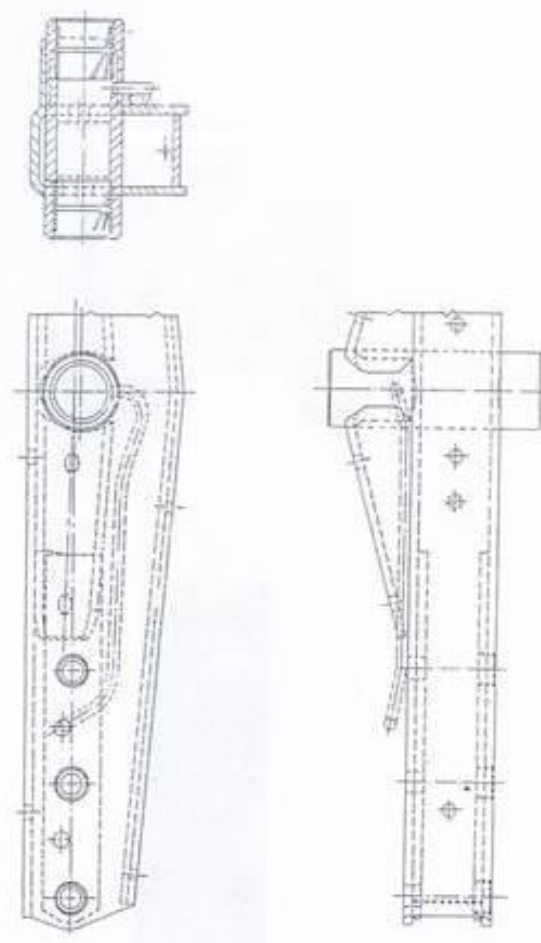
Şekil 4.5 İncelenen hücrenin işleyişi ve operasyon rota bilgileri

KOMPLE NO	3700582 M915
KOMPLE ADI	MERKEZ AKS
OP. NO	280
SAYFA	1
OPERASYONUN İZAHI MERKEZ AKS KOVANA GRESÖRLÜK TAKILIR.	
MONTAJ TEZGAHI	BOYA ALT. TAKILIYOR.
KONT. SIKLIĞI	% 100
OP. SÜRESİ	
HAZIRLAYAN Naci Kula ONAY Naci Özgüç TARİH 25-12-1996	
SAC İŞLERİ ATELYESİ	

MERKEZ AKS - 3700582 M 915
GRESÖRLÜK - 1441858 X 110

Şekil 4.6 3700582 M93S No'lu parçanın teknik resmi.

KOMPLE NO	897 625 M94S
KOMPLE ADI	MERKEZ AKS
OP. NO	270
SAYFA	1
OPERASYONUN İZAH POLİSAJ EDİLİR.	
MONTAJ TEZGAHI	POLİSAJ TEZGAHI
KONT. SIKLIĞI	% 100
OP. SÜRESİ	
HAZIRLAYAN Nodir Kula <i>Nodir Kula</i> ONAY Nabil Özsoç <i>Nabil Özsoç</i> TARİH 17-12-1996	
 SAC İŞLERİ ATELYESİ	



MERKEZ AKS KOMPLEKSİ - 897 625 M94S

Şekil 4.8 897625 M94S No'lu parçanın teknik resmi.

4.1.4. Hazırlık Süreleri

Hazırlık süresi gerektiren makinelerde işlem süresinin %15'i hazırlık süresi olarak kullanılmaktadır. Hücrede sadece S832246, S116 ve S9218 makinelerinde parça değiştiğinde hazırlık süresine gerek olmaktadır.

4.1.5. Makine Arızaları

Makine arızaları çoğu düşünsel simülasyon çalışmasında dikkate alınmayan bir parametredir. Fakat makine arızaları gerçek ortam koşullarında kaçınılmaz olarak meydana gelen ve yığılmalara, darboğazlara neden olan önemli bir faktördür. Makine arızalarının ve tamir sürelerinin sisteme katılmadığı simülasyon modelleri hatalı sonuçlar verecektir (Akhun, 1999). Bu çalışmada makine arıza oranları ve arızaların giderilme süreleri için gerçek sistemden alınan veriler ve literatürde kullanılan dağılımlar esas alınmıştır (Tablo 4.6). Sistemden toplanan verilere göre S832246, S5432, S116, MK70, S67, S8952, S64 tezgahları dışındaki tezgahların arızaları ihmal edilebilir düzeydedir.

Tablo 4.6 Makine arızaları ve tamir süreleri.

Arızalar Arası Süre Dağılımı	Arızalar Arası Süre Ortalaması (dk.)	Tamir Süresi Dağılımı	Tamir Süresi (dk.) (μ, σ)
ÜSTEL	32000	NORMAL	(318, 3.18)

4.2. Deney Tasarımı

Deney tasarımı yapılırken üç faktörün kombinasyonu göz önüne alınmıştır. Üç farklı parti büyüklüğü (5, 10, 15), dört farklı kuyruktan iş seçim stratejisi (ilk gelen ilk işlem görür, kalan işlem süresi kısa olan ilk işlem görür, sisteme ilk giren ilk işlem görür ve en kısa işlem süresine sahip olan ilk işlem görür) ve üç farklı işgören düzeyi (6, 7 ve 8 işgören) kullanılmıştır. Bu faktörlerin kombinasyonu ile oluşan toplam otuz altı (3x4x3) farklı deney tasarlanmıştır.

4.2.1. Parti Büyüklüğü

Farklı parti büyüklüklerinin sonuca etkisini görmek amacıyla üç farklı parti büyüklüğü için deney tasarımı yapılmıştır. Parti büyüklükleri olarak firmada en çok kullanılan parti büyüklüğü olan 5'lik partiler ve daha büyük partiler halinde

çalışılması halinde sonuçlarda oluşacak değişikliği görmek için 10'luk ve 15'lik parti büyüklükleri kullanılmıştır.

4.2.2. Kuyruktan İş Seçim Stratejileri

Kuyrukta bekleme süreleri toplam temin süresinin % 80 'ine ulaşabilmektedir. Bu anlamda verimliliği arttırmaya ve ürün teslim sürecinde değer yaratmayan faaliyetleri tespit ederek bunların ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar, uzun yıllardır hem akademik çevrelerin hem de şirket yöneticilerinin ilgi odağı olmuştur (Nomak, 2002). Bu gerçekten hareketle bu çalışmada dört farklı kuyruktan iş seçim stratejisi kullanılmıştır.

İlk Gelen İlk İşlem Görür (İG)

İlk gelen ilk işlem görür stratejisinde iş istasyonu önündeki kuyruğa geliş sırasına göre parçalar işlem görür. ARENA programında İG stratejisi için ilk giren ilk çıkar kuyruk kuralı kullanılmıştır. Bu stratejinin kullanılması ile parçaların iş istasyonu kuyruğundaki bekledikleri sürelerin dengeli olmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Kalan İşlem Süresi Kısa Olan İlk İşlem Görür (KİS)

Kalan işlem süresi kısa olan ilk işlem görür stratejisinde iş istasyonu önündeki kuyrukta bekleyen parçalar içinde kalan işlem süreleri toplamı en kısa olan parça öncelik kazanır. ARENA programında KİS stratejisi için düşük değerli önce işlem görür kuralı kullanılmıştır. Bu kuralın işlemlerini sağlayabilmek için parçalara kalan işlem süresini gösteren bir özellik atanmıştır. Bu stratejinin kullanılması ile iş istasyonu kuyruğunda bekleyen parçalardan sistemden çıkışı en yakın olan parçaya öncelik verilmesi amaçlanmıştır.

Sisteme İlk Giren İlk İşlem Görür (SİG)

Sisteme ilk giren ilk işlem görür stratejisinde iş istasyonu önündeki kuyrukta bekleyen parçalar içinde sisteme ilk girmiş olan parça öncelik kazanır. ARENA programında SİG stratejisi için düşük değerli önce işlem görür kuralı kullanılmıştır. Bu kuralın işlemlerini sağlayabilmek için sisteme girişlerinde parçalara atanan “mark time” özelliğinden yararlanılmıştır. Parçanın sisteme giriş zamanını gösteren “mark time” değeri en küçük olan parça, önce işlem görme hakkını kazanmıştır. Bu stratejinin kullanılması ile bir parçanın sistemde çok uzun süreler kalmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

En Kısa İşlem Süresine Sahip Olan İlk İşlem Görür (EKİS)

En kısa işlem süresine sahip olan ilk işlem görür stratejisinde iş istasyonu önündeki kuyrukta bekleyen parçalar içinde o istasyonda en kısa işlem süresine sahip olan parça öncelik kazanır. ARENA programında EKİS stratejisi için düşük değerli önce işlem görür kuralı kullanılmıştır. Parçalara o istasyon için atanan işlem süresi değeri en küçük olan parça , önce işlem görme hakkını kazanmaktadır. Bu stratejinin kullanılması ile istasyon önündeki kuyrukların uzamasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

4.2.3. Hücredeki İşgören Sayısı

Hücredeki işgören sayısı sekiz ile altı arasında değiştirilmiştir. Bu üç farklı işgören seviyesinde de dörder işgören sabit olarak S145150 (İşgören 2 ve İşgören 3), S149 (İşgören 4) ve S9218 (İşgören 6) makinelerinde çalışmaktadır. Bunun nedeni bu makinelerde gerçekleştirilen işlemlerin sürekli olarak bir operatöre ihtiyaç duyulan kaynak ve delik işleme işlemleri olmasıdır. Bu dört işgörenin gerçekleştirdiği operasyonlar dışında kalan operasyonlar üç farklı işgören düzeyi için sırasıyla dört, üç ve iki işgören arasında paylaştırılmıştır. Aşağıda bu üç işgören düzeyinde sabit olmayan işgörenlerin baktıkları makineler belirtilmiştir.

Sekiz işgörenin kullanıldığı tasarım;

İşgören 1: Montaj Masası, S832246, Ultrasonik Kontrol, S5432

İşgören 5: S64, S8952

İşgören 7: Polisaj 1, Polisaj 2

İşgören 8: S116, S67, MK70

Yedi işgörenin kullanıldığı tasarım;

İşgören 1: Montaj Masası, S832246, Ultrasonik Kontrol, S5432

İşgören 5: S64, S8952, S116, S67, MK70

İşgören 7: Polisaj 1, Polisaj 2

Altı işgörenin kullanıldığı tasarım;

İşgören 1: Montaj Masası, S832246, Ultrasonik Kontrol, S5432, S116, S67, MK70

İşgören 5: S64, S8952, Polisaj 1, Polisaj 2

4.3. Performans Ölçütleri

Kurulan simülasyon modelinin tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi için seçilen performans ölçütleri imalat temin süresi, işgören kullanım oranı ve toplam üretilen toplam parça sayılarıdır.

4.3.1. İmalat Temin Süresi

İmalat temin süresi parçanın sisteme girişi ile çıkışı arasında geçen süredir. Bu çalışmada imalat temin süresi temel performans ölçütlerinden biri olarak belirlenmiştir. Performans ölçütünün matematiksel ifadesi eşitlik 4.4’de görülmektedir.

$$T = t_{\phi} - t_g \quad (4.4)$$

T : Parça imalat temin süresi.

t_g : Parçanın sisteme giriş zamanı.

t_{ϕ} : Parçanın sistemden çıkış zamanı.

4.3.2. İşgören Kullanım Oranı

İşgörenin tezgaha gitme, tezgahı ayarlama, yükleme ve boşaltma işlemleri ile geçirdiği zamanın ağırlıklı ortalamasıdır. Performans ölçütünün matematiksel ifadesi eşitlik 4.5’de görülmektedir.

$$İKO = \frac{\sum_{i=1}^n X_{w_{\Delta t_i}} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad (4.5)$$

$İKO$: İşgören kullanım oranı.

$X_{w_{\Delta t_i}}$: Δt_i boyunca işgören statüsünü gösteren 0-1 tamsayı değişken.

İşgören dolu iken,

$$X_w = 1$$

Diğer durumlarda,

$$X_w = 0$$

Δt_i : İşgören statüsünün değiştiği iki nokta arasındaki en küçük zaman dilimi (zaman birimi).

4.3.3. Toplam Üretilen Parça Sayıları ve Oranları

Simülasyon süresi boyunca üç parça tipinin her birinden üretilen toplam parça sayıları ve her bir tipte üretilen parça sayısının toplam üretilen parça sayısına oranıdır. Performans ölçütünün matematiksel ifadesi eşitlik 4.6’de görülmektedir.

$$TPSO_i = \frac{\sum_{t=0}^n X_i}{TPS_A + TPS_B + TPS_C} \quad (4.6)$$

$TPSO_i$: Simülasyon süresi boyunca i tipindeki parçanın toplam üretilen parça sayısına oranı ($i = A, B, C$).

X_i : Simülasyon süresi boyunca i tipindeki parçadan toplam üretilen adet.

4.4. Merkez Aks Kompleksi Üretim Sisteminin Simülasyon Modeli

Simülasyon çalışmasında ARENA 3.0 modelleme yazılımı kullanılmıştır (Pegden, C.D. ve diğ., 1995). ARENA, yazılımı SIMAN modelleme dilini kullanan görsel öğelerle desteklenmiş, girdi ve çıktı analizi araçlarına sahip bir yazılımdır.

Çalışmanın bu bölümünde simülasyon modelinin kurulması sırasında yapılan varsayımlar, simülasyon modelinin parametreleri, modeldeki kaynaklar, taşıyıcılar, simülasyon modeline ait pilot koşullar, nihai simülasyon koşullarının uzunluğu ve modelin oluşturulmasının ayrıntılı açıklaması verilecektir.

4.4.1. Simülasyon Modelinin Varsayımları

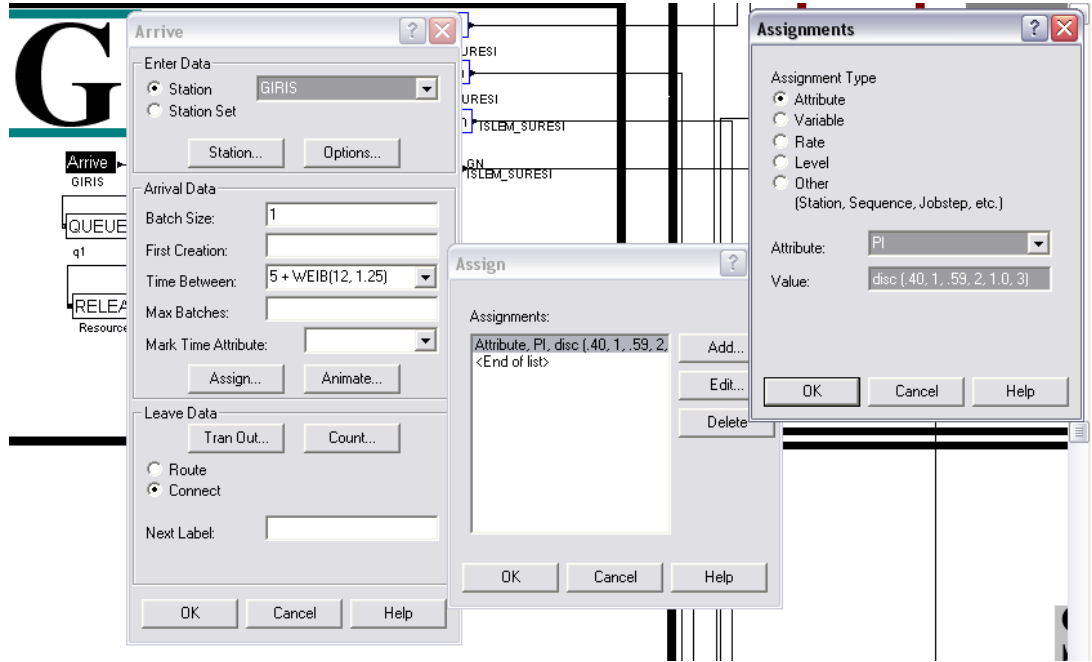
Gerçek bir üretim sisteminin bir bölümünün bir simülasyon modeline aktarılması sırasında karşılaşılan en önemli problem modellenen bölümün diğer bölümlerle olan etkileşiminin yansıtılmasıdır. Bunun yanı sıra modelin karmaşıklığını azaltmak (basitleştirmek), bazı istisnai durumları ortadan kaldırmak ve bazı kabuller yapmak sistemin modellenebilirliğinin sağlanması için gereklidir. Bu problemleri aşmak için bazı kabuller yapılmaktadır.

- Üretim sisteminde modellenen hücrenin dışında bulunan ancak hücrede işlem gören parçaların operasyon rotaları içinde bulunan istasyonlar modelde gösterilmiş, ancak işgören atamalarına dahil edilmemiştir (S72, MK39, MK63).

- Firmadan alınan talep miktarlarının hücrenin kapasitesinin çok altında kalması ve analiz için yeterli veri vermemesi nedeniyle talep miktarları %50 oranında arttırılarak gelişler arası süre azaltılmıştır.
- Sistemden üretilcek parçalar için gerekli montaj parçaları yeterli miktarda gerekli yerlerde mevcuttur.
- Üretim sisteminde çalışan işgören sayısı zamana göre değişkenlik göstermez ve işgörenler sürekli aynı verimlilikte çalışır.
- Operasyonlarda yeniden işleme veya hurda oluşumu meydana gelmez.
- Sistemdeki parçaların gelişleri arasındaki süreler, operasyon süreleri, hazırlık süreleri, tezgah yükleme ve boşaltma süreleri, makine arızaları arasındaki süreler ve arıza tamir süreleri bilinen matematiksel fonksiyonlar ile ifade edilebilen teorik rastsal dağılımlar ile temsil edilebilir niteliktedir.

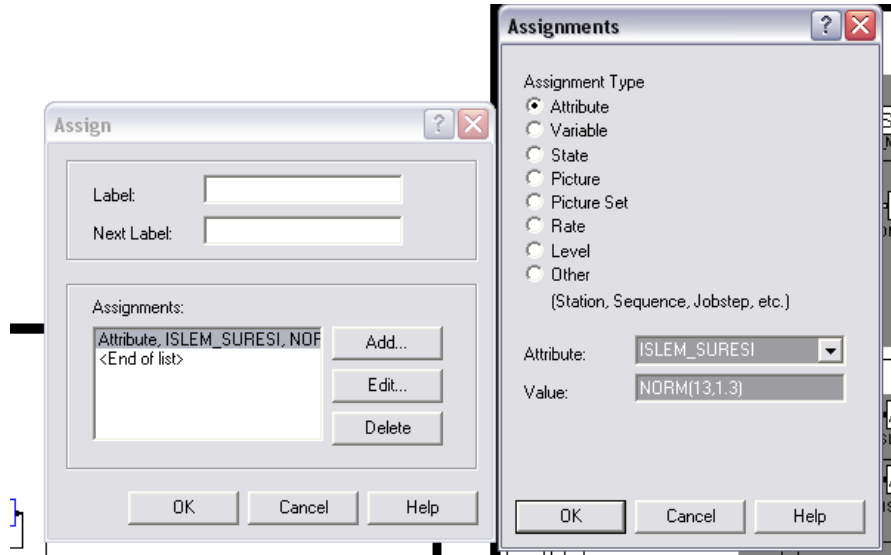
4.4.2. Simülasyon Modelinin Parametreleri

Parçaların sisteme gelişleri arasındaki süre: Parçaların sisteme girişleri arasındaki sürenin bulunması için daha önce verilen Tablo 4.1’ de gösterilen Ocak 2002 – Ekim 2003 tarihleri arasında üretilen parçalar ve aylık toplam üretim miktarlarından yola çıkılmış ve toplam üretilen parça sayısı %50 oranında arttırılarak hücrenin kapasitesini tam anlamıyla kullanması sağlanmıştır. Gelişler arası sürenin dağılımı parça cinsinden bağımsız olarak ARENA Girdi Analiz Aracından elde edilmiştir. Buna göre talep yapısına en uygun gelişler arası süre dağılımının $5 + WEIB(12, 1.25)$ şeklindeki Weibull dağılımının olduğu görülmektedir (Tablo 4.2 ve Şekil 4.3). Gelişler arası süre Şekil 4.9’da görüldüğü gibi “Support” panelinden seçilmiş olan “Arrive” modülünde bulunan “Time Between” seçeneğine girilmektedir. Yine Tablo 4.1’ de verilen üretim rakamlarında yola çıkılarak üretilcek parçaların %40 oranında 582A, %19 oranında 089B, ve %41 oranında 625C parçası olarak tanımlanması sağlanmıştır. Bu gezen birimlere atanan “PI” özelliğinin “Disc (.40, 1, .59, 2, 1.0, 3)” fonksiyonu ile tanımlanması ile sağlanmıştır (Şekil 4.9).



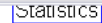
Şekil 4.9 Gelişler arası süre ve talep yapısı.

Operasyon süreleri: Parçaların ortalama operasyon süreleri daha önceki bölümlerde verilen Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de verilmiştir. Firmadan elde edilen bilgiler ışında operasyon sürelerinin ortalama operasyon süresinin %10’luk standart sapmasına sahip bir normal dağılıma uyduğu kabulü yapılmıştır. “Support” panelinden seçilen “Assign” modülünde tanımlanan “ISLEM_SURESI” özelliğine o işlem öncesinde gerekli atama yapılmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 İşlem süresinin atanması.

Makinelerin birbirlerine olan mesafeleri: 19 no’lu hücredeki makinelerin birbirlerine olan mesafeleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu tabloya göre “Elements” panelinden seçilen “Distances” modülünde her bir işgören için ayrı birer “Identifier” tanımlanır



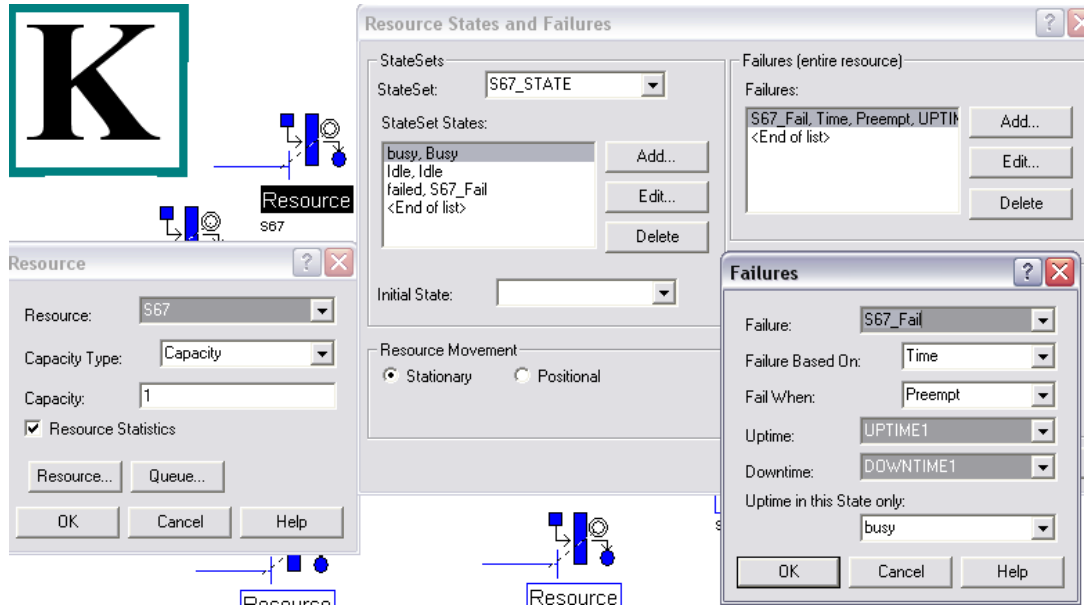
Expressions

UPTIME1
DOWNTIME1

ST S61
ST MONTAJ_MASASI
ST S83 22 46
ST ULTRASONIK_KONTROL
ST S64
ST POLISAJ1
ST POLISAJ2

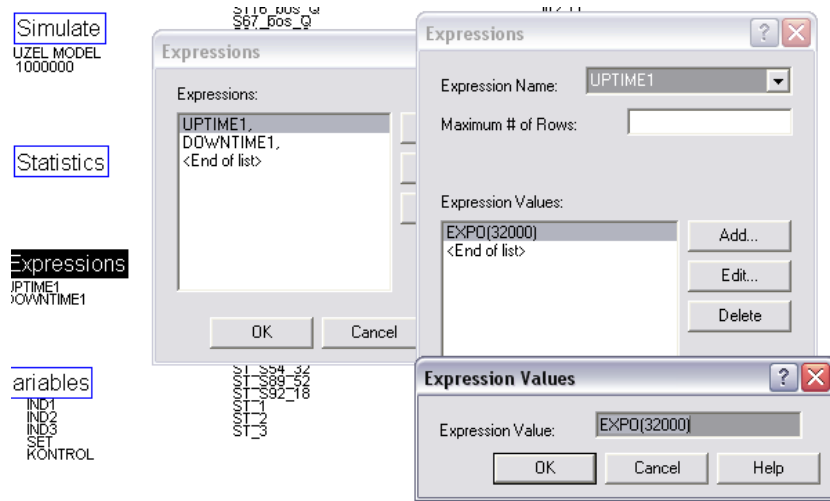
MAKİNELER	S 67	MK 70	S 116	S 64	POLİSAJ 1	POLİSAJ 2	MONTAJ MASASI	S 832246	ULTRASONİK KONTROL	S 5432
MK 70	2									
S 116	4	2								
S 64	20	18	16							
POLİSAJ 1	22	20	18	2						
POLİSAJ 2	14	12	10	12	13					
MONTAJ M.	12	10	8	4	6	10				
S 832246	10	8	6	6	8	12	2			
ULTRASONİK	10	8	6	3	6	8	2	4		
S 5432	14	12	10	5	7	13	2	3	4	
S 8952	18	16	14	2	3	9	6	9	5	8

57

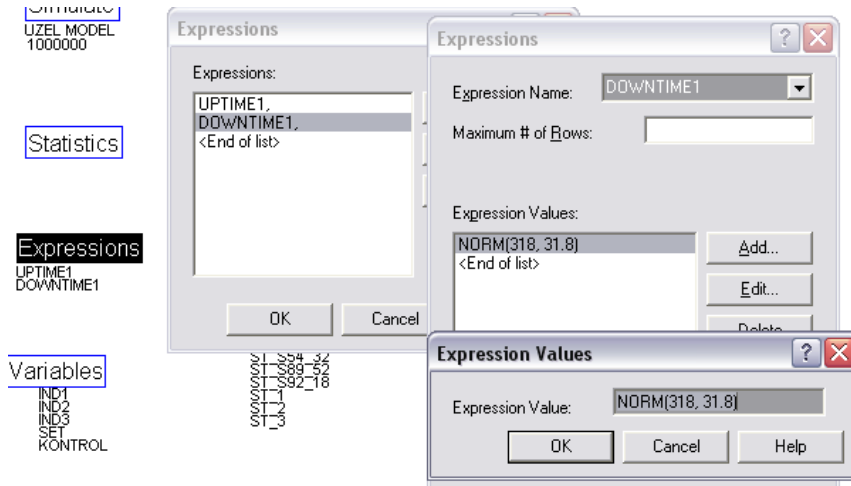


Şekil 4.12 Kaynağın arıza ve tamir durumda kullanacağı değişkenlerin tanımlanması.

“Expressions”ın tanımlanması için “Common” panelinden “Expressions” modülü seçilir, burada arıza ve tamir süreleri için eşitlikler tanımlanır ve eşitlik ifadeleri girilir (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).



Şekil 4.13 Makine arızaları arası süre.

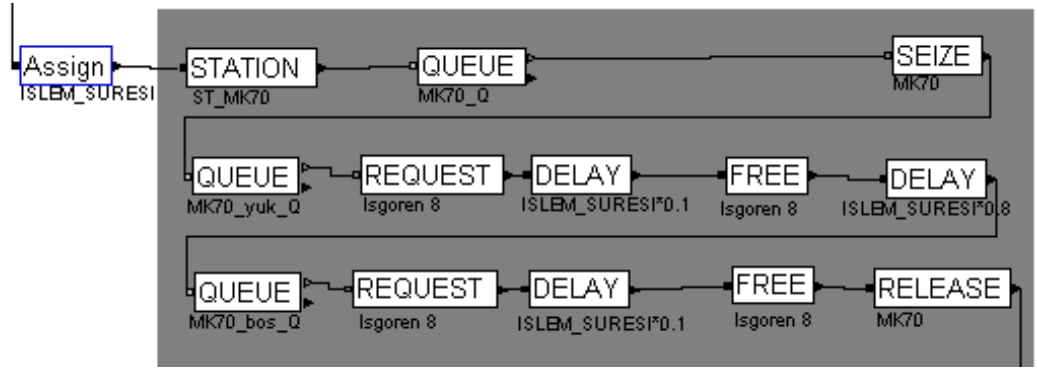


Şekil 4.14 Makine tamir süresi.

4.4.3. Simülasyon Modeli

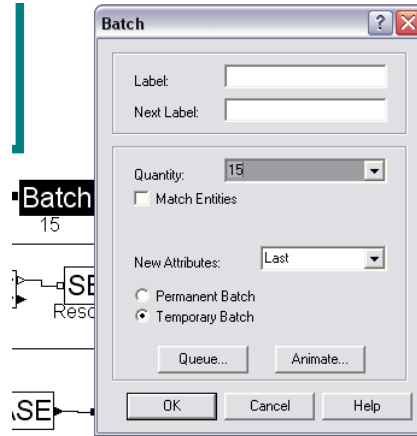
Simülasyon modeli kurulurken bütün makineler hemen hemen birbirine benzer şekilde oluşturulmuştur. Bir parça kuyruğa geldiğinde ilgili işgörenin çağırılması, parçanın makineye yüklenmesi, işgören serbest bırakılması, parçanın işlenmesi, parçanın makineden çıkarılması için işgörenin çağırılması, parçanın makineden çıkarılması aşamaları Şekil 4.15'deki örnek üzerinde açıklanacaktır. Bu örnekte kullanılan “Station, queue, seize, request, delay, free ve release” modüllerinin hepsi “Blocks” panelinden alınmaktadır.

Öncelikle “station” modülünde istasyonun (makinenin) ismi tanımlanır. “Queue” modülünde kuyruk tanımlanır. Daha sonra anlatılacak olan kuyruktan iş seçim stratejileri için kullanılacak kural belirtilirken bu tanımlamadaki isimden faydalanılacaktır. “Seize” modülü ile makine parça tarafından tutulur ve aynı anda başka parçanın işleme girmesi engellenir. İkinci “queue” modülünde parça makineye yüklenmek için bekler. “Request” modülü ile ilgili işgören makineye çağırılır. “Delay” modülü ile parçanın işlem süresinin 0,1 kadar bir zamanda makineye yüklenmesi sağlanır. Yükleme tamamlanınca işgören “free” modülü ile serbest bırakılır. İkinci “delay” modülü ile işlem süresinin 0,8’ini oluşturan makinenin işleme süresi boyunca parça geciktirilir. Üçüncü “queue” modülde parça makineyi boşaltması için işgöreni bekler. İkinci “request” modülü ile işgören makineyi boşaltması için çağırılır. Üçüncü “delay” modülü ile parçanın işlem süresinin 0,1 kadar bir zamanda makineden indirilmesi sağlanır ve ikinci “free” komutu ile işgören serbest bırakılır. “Release” modülü ile makinenin işlemi tamamlaması ile serbest kalması sağlanır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Bir makine için örnek simülasyon modeli.

Parti büyüklüğü: İstenilen büyüklükte partilerin oluşturulması için “support” panelinden seçilen “batch” modülü kullanılmaktadır. Şekil 4.16’da görülen “batch” modülünün “quantity” seçeneğine istenilen parti büyüklüğü yazılır.



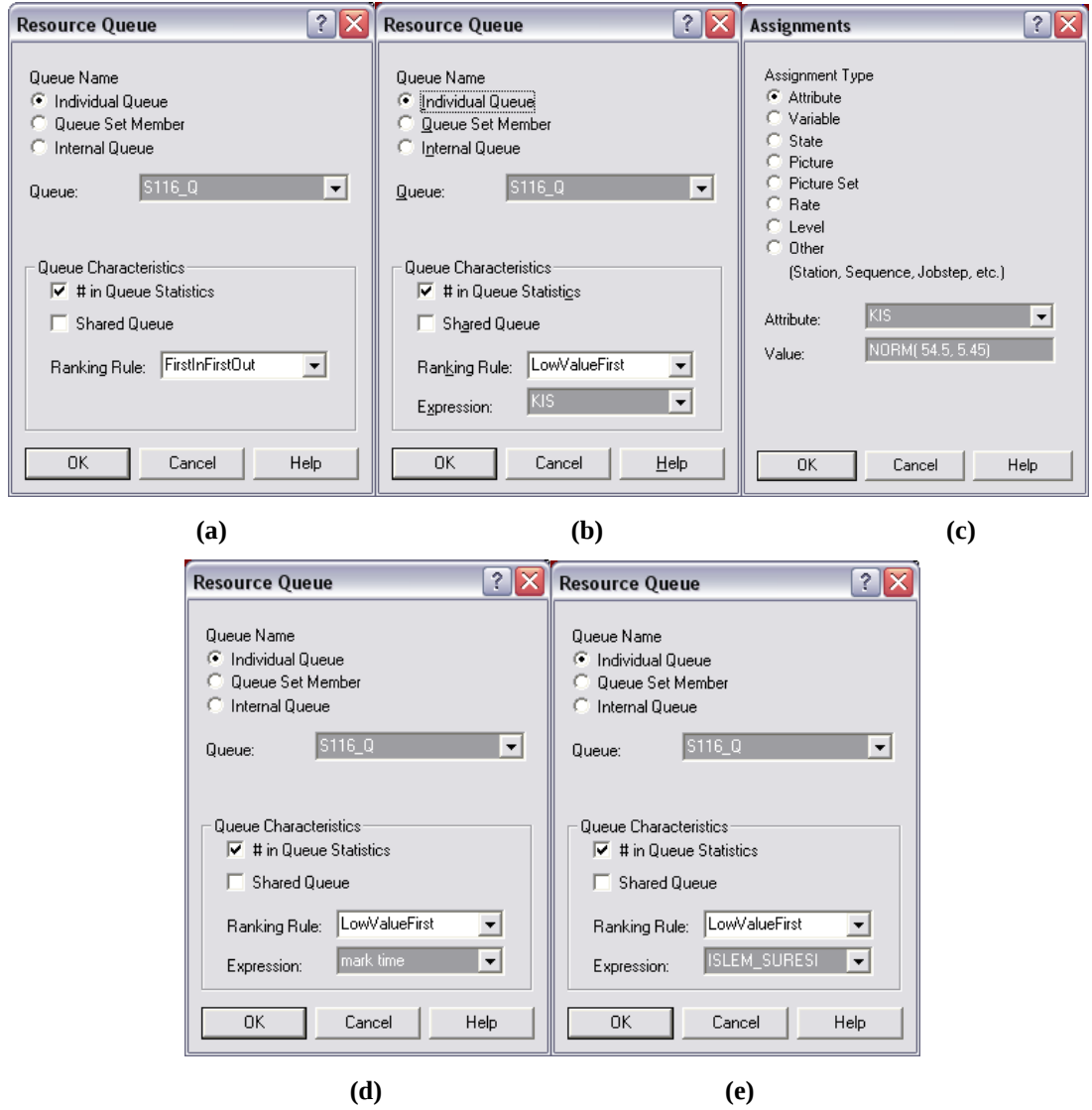
Şekil 4.16 Parti büyüklüğünün tanımlanması.

Kuyruktan iş seçim stratejisi: Bu çalışmada kullanılan kuyruktan iş seçim stratejilerinden ilki olan ilk gelen ilk işlem görür stratejisinin uygulanması için ilgili makine kaynağı için “common” panelinden seçilen “resource” modülünün “queue” özelliği açılarak kuyruk seçim kuralı ilk giren ilk çıkar (ing: FirstInFirstOut) olarak seçilmiştir (Şekil 4.17-a).

Kalan işlem süresi en kısa olan ilk işlem görür stratejisi için aynı özellik kullanılarak kuyruktan seçim kuralı olarak düşük değerli önce işlem görür (ing: LowValueFirst) kuralı seçilir (Şekil 4.17-b). Bu kuralın işleyebilmesi için “Expression” seçeneğine daha önce gezen birime atanmış olan “KIS” özelliği girilir. “KIS” özelliği her makine öncesinde (Şekil 4.17-c)’de olduğu gibi tekrar atanmalıdır. Buradaki ifade parçanın bu makineden sonra göreceği işlemlerin toplam süresini ifade etmektedir.

Sisteme ilk giren ilk işlem görür stratejisini uygulamak için sıralama kuralı olarak yine düşük değerli önce işlem görür (ing: LowValueFirst) kuralı seçilir (Şekil 4.17-d). Bu kuralın işleyebilmesi için “Expression” seçeneğine sistemdeki bütün gezen birimlere sisteme girişlerinde otomatik olarak program tarafından atanan “mark time” ifadesi girilir. Bu ifade parçanın sisteme girdiği zamanı tutan bir özelliktir.

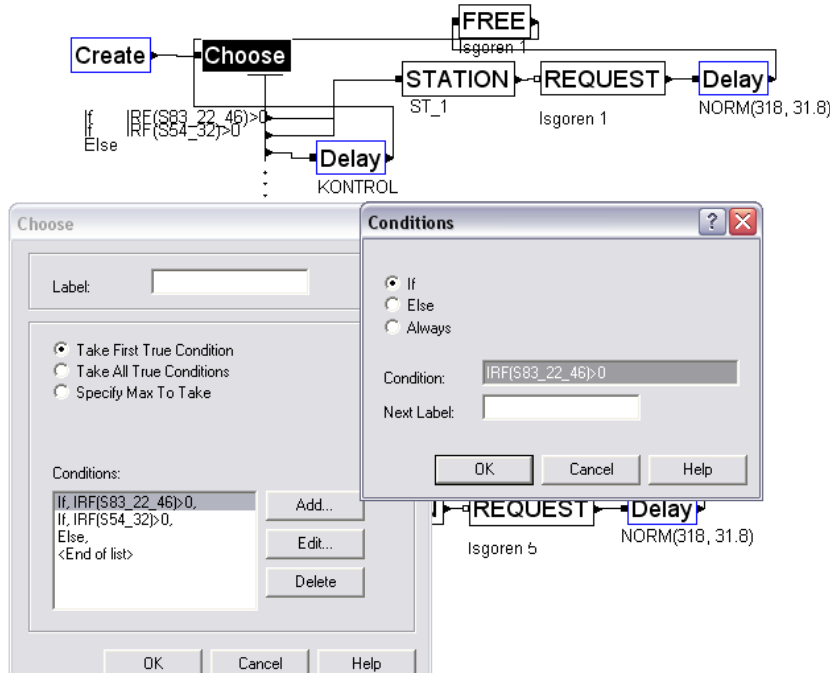
En kısa işlem süresine sahip parça ilk işlem görür stratejisini uygulamak için de sıralama kuralı olarak yine düşük değerli önce işlem görür (ing: LowValueFirst) kuralı seçilir (Şekil 4.17-e). Bu kuralın işleyebilmesi için “Expression” seçeneğine “ISLEM_SURESI” ifadesi girilir. Bu ifade daha önce de belirtildiği gibi her parça tipine her makine öncesi atanan, o makinede göreceği işlemin süresini belirleyen özelliktir.



Şekil 4.17 Kuyruktan iş seçim stratejilerinin tanımlanması.

İşgören sayıları: İşgören sayılarını değiştirmek için daha önce Şekil 4.11’de anlatılan makineler arasındaki mesafelerin her işgören için sorumlu olduğu makineler göre yeniden tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca bir makine için örnek simülasyon modelinde anlatılan (Şekil 4.15) makineye “request” modülü ile çağırılan işgörenlerin de yeni sorumluluk düzenine göre değiştirilmesi gerekmektedir.

İşgörenlerin kendi sorumluluklarındaki makinede arıza olması durumunda arıza ile ilgilenmeleri durumunu modellemek için simülasyon modeline her işgören için Şekil 4.18’de verilen döngü kurulmuştur. Bu döngüye göre her işgören döngüsü için sistem haricinde üretilen bir gezen birim sürekli olarak o işgörenin sorumluluğundaki makinelerin arızada olup olmadığını “IRF” tanımlayıcısı ile kontrol eder. “Support” panelinden seçilmiş olan “choose” modülü yardımı ile ilgili makine arızada ise “IRF” değeri sıfırdan büyük olacaktır. Bu durumda işgören arıza süresince tutulacaktır. Aksi takdirde herhangi bir işlem gerçekleşmeyecektir.



Şekil 4.18 İşgörenlerin arıza durumunda görevlendirilmesi.

Simülasyonda kullanılan deneylerden Deney 01 modeli EK A’da, sonuçları EK B’de, Deney 01 ve diğer bütün deneylerin model ve sonuçları EK C’de verilmiştir.

4.5. Simülasyon Modelinin Testi ve Geçerliliği

Bu bölümde kurulan simülasyon modelinin gerçek bir sistem olarak çalışıp çalışmayacağını kontrolü ve simülasyonun verdiği sonuçların gerçekçi sonuçlar olup olmadığı araştırması yapılacaktır.

Simülasyon modelinin testi, oluşturulan modelin gerçekten kurulmak istenen düşünsel model olup olmadığının, düşünsel model gibi çalışıp çalışmadığının araştırılmasıdır (Pegden ve diğ., 1975). Bu aşamada sistemdeki işlem sırasının doğruluğu, kuyruk seçim stratejilerinin işleyişi, proseslerin çalışma prensipleri vb. için oluşturulan mantık ile simülasyon modelinin çalışması adım adım karşılaştırılarak test edilir. Bu karşılaştırmada ARENA 3.0 programının animasyon özelliğinden yararlanılmıştır. Animasyon özelliği sayesinde gezen birim izlenerek düşünsel mantık ile modelin işleyişi karşılaştırılmıştır.

Simülasyon modelinin geçerliliği kurulan ve test edilen simülasyon modelinin gerçek hayat sistemi sonuçları ile karşılaştırılmasıdır (Pegden ve diğ., 1975). Modelin geçerliliğinin araştırılması, öncelikle modelleme sırasında yapılan varsayımların gerçeklikten uzaklaştırıcı etkisinin ihmal edilebilir olup olmadığını görmek için yapılır (Akhun M., 1999). Bu tezde modellenen hücrenin üretim kapasitesi talep azlığı nedeniyle modellenen kapasitenin çok altında bulunmaktadır. Bu yüzden kurulan model ile gerçek hayat sistemi arasında bire bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak, sistemden elde edilen sonuçlar ile gerçek hayat sisteminden elde edilen sonuçlar oranlandığında modelin verdiği sonuçlar ile gerçek hayat sisteminin verdiği sonuçların örtüştüğü görülmüştür.

Başlangıç yanlılığını düşürmek: Başlangıç yanlılığını ortadan kaldırmanın bir yolu simülasyona kararlı durumu temsil eden bir konumda, sistemi dolu olarak başlatmaktır. Kararlı durum için en iyi tahmini yaparak simülasyonu bu konumdan başlatmak geçiş sürecini önemli ölçüde kısaltacaktır. Diğer yöntem ise geçiş sürecindeki gözlemleri sistemden çıkartmaktır. Bunun için bir kesme noktası tespit etmek gerekmektedir. Bunun en basit ve pratik yolu görsel tespit yöntemidir. Akış sürelerinin zamana göre grafiğinin farklı gözlem sayıları için hareketli ortalamalar eğrisini çizerek en uygun kesme noktası tespit edilebilir.

Başlangıç yanlılığını ortadan kaldırmanın bir diğer yöntemi de çok uzun koşumlar yaptırmaktır. Uzun koşumlar yapılması durumunda geçiş dönemindeki verilerin

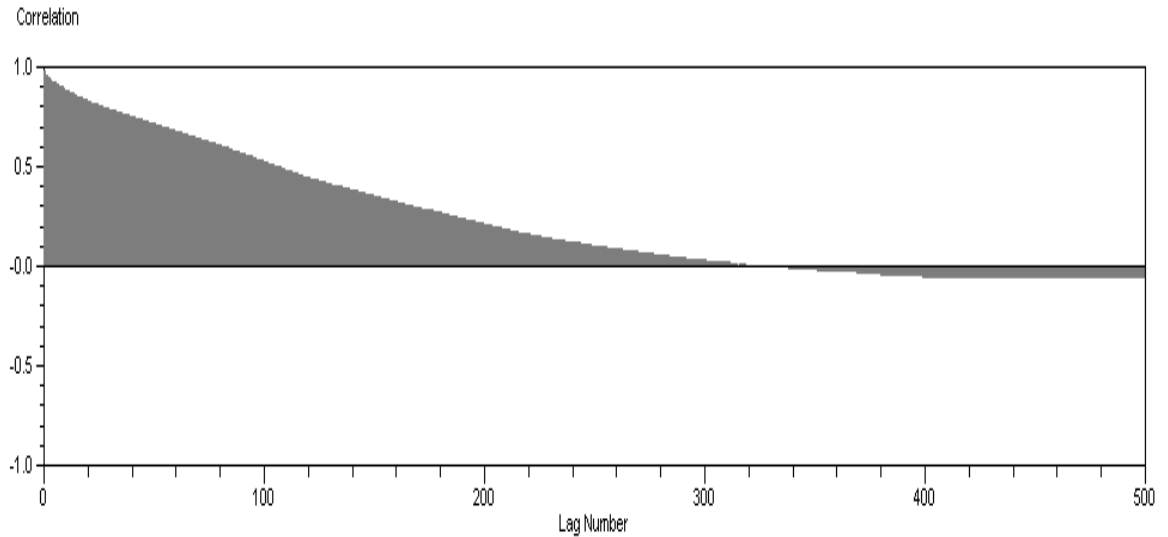
bütün veriler içindeki oranı çok azalacak ve etkinliği kaybolacaktır. Kararlı durumdaki gözlem sayısının çokluğu dominant etki yaparak başlangıç yanlılığını elimine etmektedir.

Özetle, başlangıç durumu sürekli (ing: non-terminating) sistemlerde kararlı durumun performansını tahmin etmek için potansiyel bir problemdir (Pegden ve diğ., 1995). Bu çalışmada başlangıç yanlılığı ortadan kaldırmak için çok uzun koşumlar yapılmıştır.

Ortalamanın varyansının kestirimi: Bu bölümde ortalamanın varyansının kestiriminin üç farklı yolundan bahsedilecektir. Bu yöntemler; tekrar koşum (ing: replication), kovaryans toplamı ve gözlemlerin gruplanmasıdır.

Özellikle başlangıç yanlılığının düşük olduğu durumlarda tekrar koşum yönteminin uygulanması uygun olacaktır. Bu yöntemde tekrar koşum sayısının seçimi önem taşımaktadır. Az sayıda koşum yapılması durumunda t-istatistiğinin serbestlik derecesi küçük olacaktır. Bunun sonucunda t-istatistiğinin değeri ve güvenilirlik aralığının genişlik değeri yüksek olacaktır. Koşum sayısının 10'dan fazla ve 20'den az olması istatistiksel açıdan uygun olmaktadır. Başlangıç durumunun önemli etkisinin olduğu durumlarda 10 adet uzun koşum, 20 adet kısa koşuma tercih edilmelidir (Pegden ve diğ., 1995).

Ortalamanın varyansının kestiriminde diğer bir yöntem kovaryansların toplanmasıdır. Tek koşumluk sürekli simülasyonlarda yapılan gözlemler arasında korelasyon bulunmaktadır. Örneğin, j inci iş uzun süre bekliyorsa, j+1 inci işte uzun süre bekleyecektir. Böylece birbirini takip eden bu iki işin bekleme süreleri arasında korelasyon meydana gelecektir. Arasında korelasyon olan gözlemlerin bulunması durumunda ortalamanın varyansının kestirimi güçtür. Aşağıdaki grafiklerde bu çalışmada DENEY01 için birbiri ile korelasyonun düştüğü iki gözlem arasındaki gözlem sayısını bulmak için ARENA 3.0 Çıktı Analizi Programının “Correlogram” grafiği özelliği kullanılmıştır (Şekil 4.19). Pozitif korelasyona sahip gözlemler, bağımsız gözlemlere göre güvenilirlik aralığını daraltmada daha az anlamlıdır (Pegden ve diğ., 1995)



Şekil 4.19 582A parçasının temin süresinin korelasyon grafiği.

Gözlemlerin gruplanması, sürekli (ing: non-terminating) sistemlerin çıktılarının yorumlanması için en kolay ve en pratik yöntemdir. Bu yöntemde gözlemler, n adet birbirine eşit her biri m adet gözlemden oluşan gruplar haline dönüştürülmüş olur. Gruplar yeterince büyük seçilmiş ise önceki grubun son gözlemi ile sonraki grubun ilk gözlemi arasında korelasyon olsa dahi birbirini takip eden iki grubun ortalamaları birbirinden bağımsız olur (Pegden ve diğ., 1995). ARENA 3.0 programının “Batch/Truncate” özelliği kullanılarak simülasyon sonucunda elde edilen veriler gruplanmıştır. Bu gruplama yapılırken Şekil 4.19’da görülen “correllogram”dan faydalanılmıştır. “Batch/Truncate” özelliği aynı zamanda sekiz veya daha fazla grup için 0,05 anlamlılık düzeyinde bağımsızlık hipotezinin reddedilmesi durumunda uyarı mesajı vermektedir. 295 adet gözlemden oluşan gruplamada bu uyarı mesajını verirken 300 adet gözlemden oluşan gruplama için hipotez reddedilmemiştir (Şekil 4.20-21).

```

Batch/Truncate Summary
Batch295

Batched observations stored in file : 2batch.flr

Initial Observations Truncated :      0
Number of Batches :              84
Number of Observations Per Batch : 295
Number of Trailing Obs'ns Truncated : 119
Estimate of Covariance Between Batches : 0.1848

Covariance equal to 0 rejected in favor of Covariance > 0 at 0.05 level.

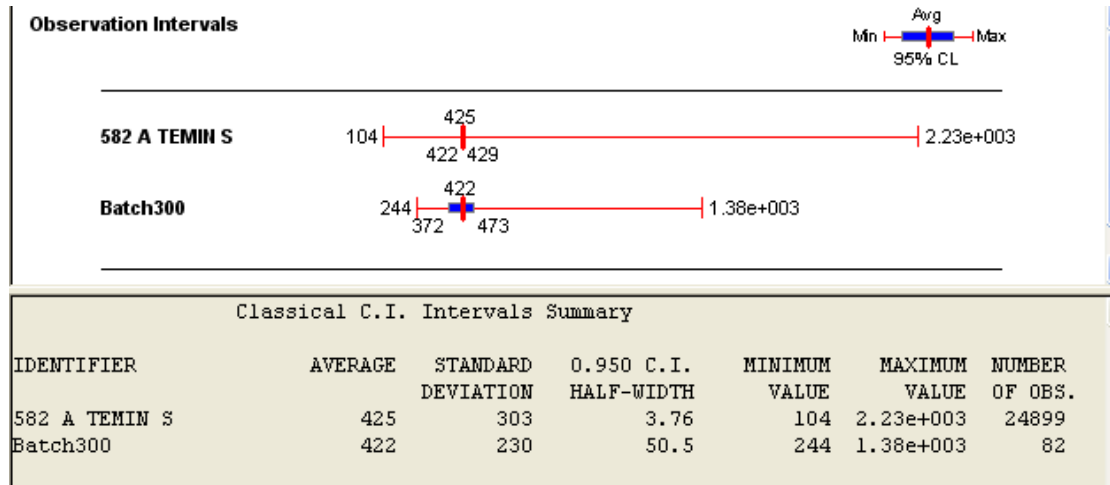
```

Şekil 4.20 295'lik gruplar için kovaryans testi sonuçları.

Batch/Truncate Summary	
Batch300	
Batched observations stored in file : 2batch.flt	
Initial Observations Truncated :	0
Number of Batches :	82
Number of Observations Per Batch :	300
Number of Trailing Obs'ns Truncated :	299
Estimate of Covariance Between Batches :	0.1542

Şekil 4.21 300'lük gruplar için kovaryans testi sonuçları.

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi simülasyon sonuçlarının standart sapması 303 iken, 300 gözlemden oluşan grupların standart sapması 230’a düşmektedir. Ancak 0,95 güven aralığında genişlik 3,76’dan 50,5’e çıkmaktadır.



Şekil 4.22 300'lük grupların standart sapmasının tekil gözlemlerin standart sapması ile karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışmanın son bölümünde, çalışma sürecinde karşılaşılan zorluklar, bundan sonra yapılacak çalışmalar konusunda görüşler ve en önemlisi simülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar ayrıntılı tablolar halinde verilmektedir. Ayrıca bu sonuçlar ışığında yapılan analizler grafikler yardımı ile sunulmaktadır.

Bu çalışmada hücresel üretim mantığına göre kurulmuş bir gerçek üretim sisteminin bir hücresi ele alınarak bu hücrenin çifte kaynak kısıdı altındaki performansı simülasyon modeli yardımı ile incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda hücrenin işgören sayısı azaltılarak daha az çalışan ile aynı üretimi yapabileceği ortaya çıkmıştır.

Ayrıca kullanılan dört farklı kuyruktan iş seçim stratejisinin hücrenin performansına olan etkisi incelenerek farklı iş seçim stratejilerinin parça tipi üretim dağılımına etkisi ortaya konmuştur.

Çalışma sırasında karşılaşılan en büyük zorluk gerçek hayat modelinin simülasyon modeline uyarlanması aşaması olmuştur. Bu zorluk, literatürde ağırlıklı olarak hipotetik hücreler ile çalışılmasının nedenini açık olarak ortaya koymaktadır. Gerçek hayat sistemlerinin karmaşıklığı modelin kurulumunu yapılan bir çok kabule karşın çok zorlaştırmaktadır. Bu karmaşıklığın getirdiği bir diğer zorluk, incelenen kriterlerin tasarımıdaki karmaşıklıktan etkilenmesi sonucu analizinin zorlaşmasıdır.

Literatürde son dönemde yoğun olarak işgörenlerin öğrenmeleri konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmanın devamında da bu konu üzerinde çalışılarak işgören öğrenmelerinin sistem performansına olan etkisi üzerinde araştırmalara yapılabilir.

5.1. Deney Sonuçları ve Analizi

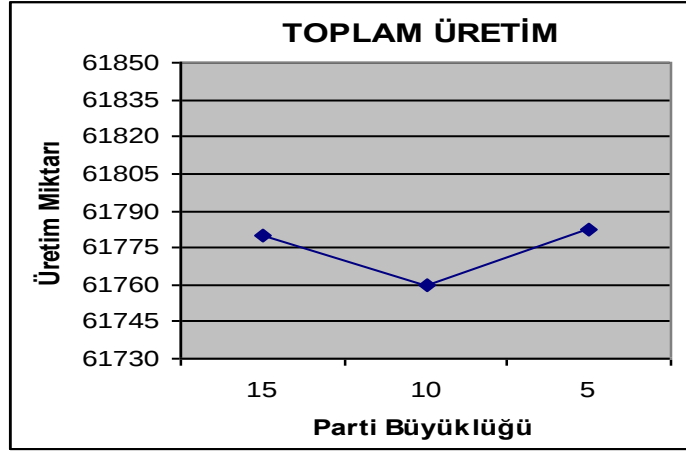
Aşağıdaki tablolarda (Tablo 5.1, Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4,) simülasyon deneylerinin sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5.1’de her üç tip parçanın ayrı ayrı ve toplam üretim rakamları verilmiştir. Bu rakamlara göre 19 no’lu deney sonucunda 62095’lik en yüksek üretim rakamına

ulaşılmıştır. Bu deneyde kullanılan parti büyüklüğünün 10, kuyruktan iş seçim stratejisi kuralının “sisteme ilk giren ilk işlem görür” ve işgören sayısının 7 olduğu görülmektedir.

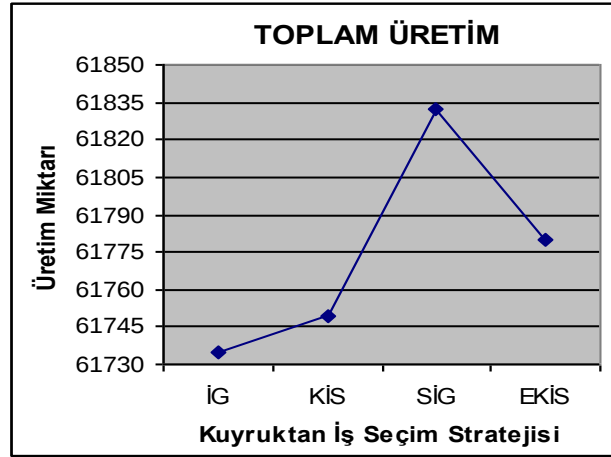
Tablo 5.1 Deney sonuçları: Üretim miktarları.

Deney No	Parti Büyüklüğü	İş Seçim Stratejisi	İşgören Sayısı	ÜRETİM MİKTARI (adet)			
				582A	089B	625C	TOPLAM
1	15	İG	8	24899	11586	25366	61851
2	15	KİS	8	24899	11809	25305	62013
3	15	SİG	8	24743	11718	25333	61794
4	15	EKİS	8	24724	11589	25416	61729
5	15	İG	7	24804	11597	25391	61792
6	15	KİS	7	24811	11882	25138	61831
7	15	SİG	7	24671	11694	25251	61616
8	15	EKİS	7	24479	11691	25412	61582
9	15	İG	6	24592	11642	25438	61672
10	15	KİS	6	24580	11776	25296	61652
11	15	SİG	6	24843	11832	25263	61938
12	15	EKİS	6	24938	11730	25231	61899
13	10	İG	8	24745	11635	25523	61903
14	10	KİS	8	24850	11659	25101	61610
15	10	SİG	8	24756	11604	25222	61582
16	10	EKİS	8	24532	11859	25415	61806
17	10	İG	7	24744	11591	25413	61748
18	10	KİS	7	24657	11769	25196	61622
19	10	SİG	7	24869	11878	25348	62095
20	10	EKİS	7	24664	11670	25462	61796
21	10	İG	6	24661	11562	25435	61658
22	10	KİS	6	24898	11710	25061	61669
23	10	SİG	6	24780	11692	25505	61977
24	10	EKİS	6	24695	11711	25250	61656
25	5	İG	8	24622	11745	25120	61487
26	5	KİS	8	24687	11817	25432	61936
27	5	SİG	8	24935	11757	25231	61923
28	5	EKİS	8	24632	11818	25445	61895
29	5	İG	7	24798	11681	25485	61964
30	5	KİS	7	24506	11709	25395	61610
31	5	SİG	7	24750	11767	25225	61742
32	5	EKİS	7	24707	11621	25419	61747
33	5	İG	6	24435	11686	25420	61541
34	5	KİS	6	24653	11738	25413	61804
35	5	SİG	6	24670	11892	25266	61828
36	5	EKİS	6	24922	11685	25304	61911



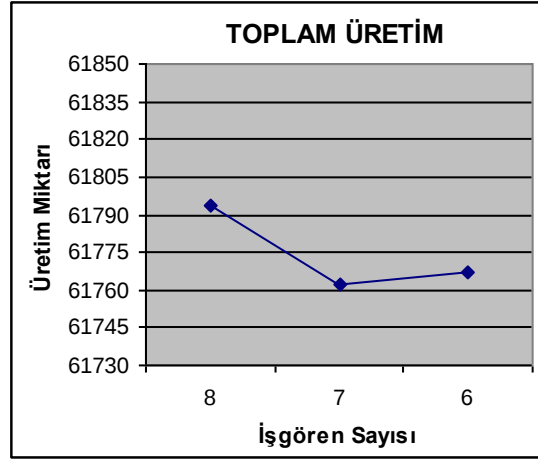
Şekil 5.1 Parti büyüklüğüne göre toplam üretim miktarı

Deneyler sonucunda sadece parti büyüklüğü faktörü göz önünde bulundurularak toplam üretim miktarları ortalaması alındığında parti büyüklüğünün bu sistemde üretilen parça miktarına etkisinin çok az olduğu görülmektedir (Şekil 5.1). Bunun nedeni hazırlık sürelerinin işlem süreleri ile kıyaslandığında çok kısa olmasıdır.



Şekil 5.2 Kuyruktan iş seçim stratejisine göre toplam üretim miktarı.

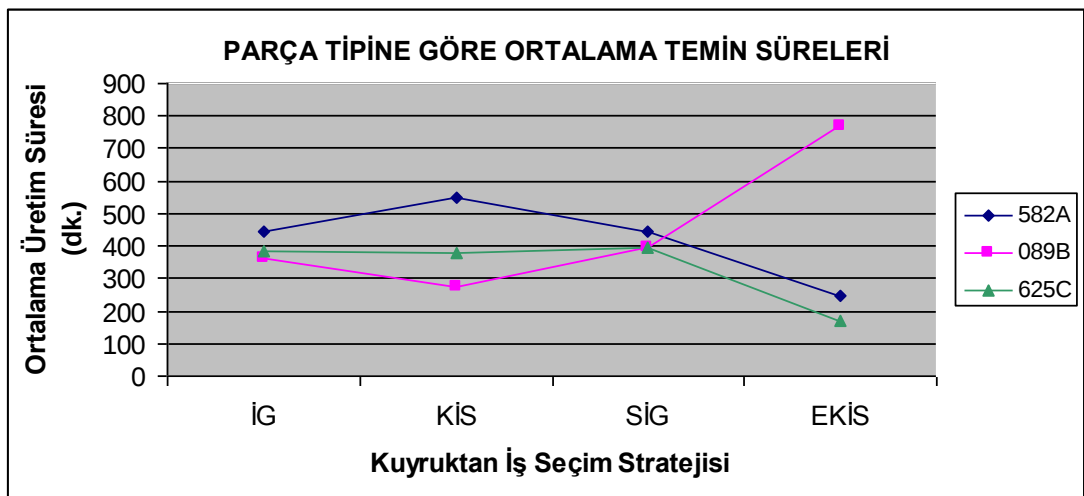
Kuyruktan iş seçim stratejileri faktörü göz önüne alındığına ise toplam üretilen parça miktarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir (Şekil 5.2). Sonuçlara göre parçaların sisteme ilk giriş zamanları dikkate alınarak kuyrukta öncelik kazanmaları toplam üretilen parça miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Buna karşın parçaların kuyruğa ilk giriş zamanları dikkate alınarak işlem önceliği kazanmaları durumunda toplam üretim miktarının bundan olumsuz etkilendiği görülmektedir.



Şekil 5.3 İşgören sayısına göre toplam üretim miktarı.

Parti büyüklüğü faktöründe olduğu gibi işgören sayısı faktöründeki değişiminde toplam üretilen parça miktarını etkilemediği görülmektedir (Şekil 5.3). Bunun sebebi daha sonraki tablo ve şekillerde görüleceği üzere işgören kullanım oranlarının her üç düzeyde de darboğaz yaratacak düzeyde olmayışdır.

İncelenen üç faktör içinde ortalama temin süresine etki eden en önemli faktör kuyruktan iş seçim stratejileri olmaktadır (Tablo 5.2). Parçaların (582A, 089B, 625C) sistemdeki darboğaz makine olan S 145150'deki işlem süreleri sırasıyla 23 dk., 43 dk. ve 22 dk.'dır. Özellikle EKİS stratejisinde, darboğaz makinede en kısa işlem süresine sahip olan 625C ve 582A parçaları öncelik kazanmakta ve bu durum kuyrukta 089B parçalarının uzun süre beklemesine neden olmakta ve bu parçanın temin süresi uzamaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Parça tipine göre ortalama temin süreleri.

Tablo 5.2 Deney sonuçları: Parçaların ortalama temin süreleri.

Deney No	Parti Büyüklüğü	İş Seçim Stratejisi	İşgören Sayısı	ORTALAMA ÜRETİM SÜRESİ (dk.)		
				582A	089B	625C
1	15	İG	8	425,35	324,67	356,75
2	15	KİS	8	499,95	270,49	346,84
3	15	SİG	8	390,45	332,18	336,99
4	15	EKİS	8	274,13	681,21	194,55
5	15	İG	7	459,46	354,86	402,90
6	15	KİS	7	583,14	286,71	402,35
7	15	SİG	7	478,69	412,87	424,87
8	15	EKİS	7	274,40	664,51	195,85
9	15	İG	6	731,22	626,43	625,44
10	15	KİS	6	880,40	457,87	625,05
11	15	SİG	6	633,71	576,88	557,23
12	15	EKİS	6	360,00	1276,2	234,09
13	10	İG	8	340,17	264,96	296,73
14	10	KİS	8	426,35	215,86	281,09
15	10	SİG	8	341,88	297,31	300,86
16	10	EKİS	8	219,25	511,63	151,57
17	10	İG	7	376,66	289,13	336,21
18	10	KİS	7	536,88	236,07	355,47
19	10	SİG	7	410,63	360,88	378,40
20	10	EKİS	7	238,09	706,47	168,06
21	10	İG	6	586,31	523,07	493,56
22	10	KİS	6	706,29	349,61	492,18
23	10	SİG	6	604,77	554,62	538,43
24	10	EKİS	6	296,34	1019,2	191,93
25	5	İG	8	308,32	237,16	274,05
26	5	KİS	8	321,32	165,56	216,45
27	5	SİG	8	259,62	236,09	230,69
28	5	EKİS	8	172,07	591,89	128,96
29	5	İG	7	314,19	244,13	278,27
30	5	KİS	7	398,76	186,67	278,79
31	5	SİG	7	292,67	265,26	266,09
32	5	EKİS	7	162,95	483,62	122,41
33	5	İG	6	453,05	400,88	399,48
34	5	KİS	6	606,84	301,36	421,75
35	5	SİG	6	564,96	516,59	506,58
36	5	EKİS	6	234,29	969,18	158,67

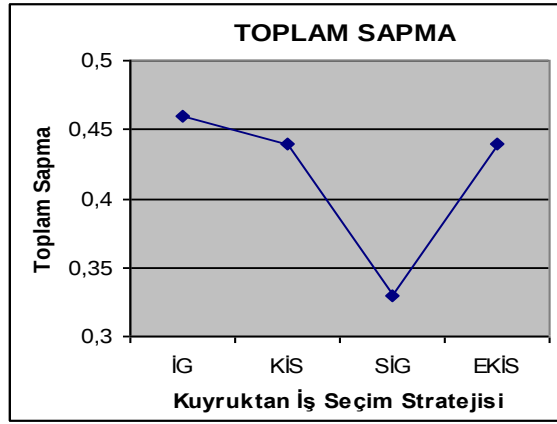
Tablo 5.3’de her bir parça tipinden üretilen miktarların toplam üretim içindeki yüzdesi verilmektedir. Ayrıca bu parçalar için üretilmesi beklenen yüzde değerlerinden toplam sapmalar belirtilmiştir. Toplam sapmaların hesaplanmasında kullanılan eşitlik 5.1’de verilmiştir.

$$\text{Toplam Sapma} = |\text{TPSO}_A - 0,40| + |\text{TPSO}_B - 0,19| + |\text{TPSO}_C - 0,41| \quad (5.1)$$

TPSO_i : Simülasyon süresi boyunca i tipindeki parçanın toplam üretilen parça sayısına oranı ($i = A, B, C$).

Tablo 5.3 Deney sonuçları: Parçaların üretim oranları.

Deney No	Parti Büyüklüğü	İş Seçim Stratejisi	İşgören Sayısı	ÜRETİM YÜZDESİ (%)			TOPLAM SAPMA
				582A	089B	625C	
1	15	İG	8	40,26	18,73	41,01	0,54
2	15	KİS	8	40,15	19,04	40,81	0,39
3	15	SİG	8	40,04	18,96	41,00	0,08
4	15	EKİS	8	40,05	18,77	41,17	0,45
5	15	İG	7	40,14	18,77	41,09	0,46
6	15	KİS	7	40,13	19,22	40,66	0,69
7	15	SİG	7	40,04	18,98	40,98	0,08
8	15	EKİS	7	39,75	18,98	41,27	0,53
9	15	İG	6	39,88	18,88	41,25	0,49
10	15	KİS	6	39,87	19,10	41,03	0,26
11	15	SİG	6	40,11	19,10	40,79	0,42
12	15	EKİS	6	40,29	18,95	40,76	0,58
13	10	İG	8	39,97	18,80	41,23	0,46
14	10	KİS	8	40,33	18,92	40,74	0,67
15	10	SİG	8	40,20	18,84	40,96	0,40
16	10	EKİS	8	39,69	19,19	41,12	0,62
17	10	İG	7	40,07	18,77	41,16	0,46
18	10	KİS	7	40,01	19,10	40,89	0,22
19	10	SİG	7	40,05	19,13	40,82	0,36
20	10	EKİS	7	39,91	18,88	41,20	0,41
21	10	İG	6	40,00	18,75	41,25	0,50
22	10	KİS	6	40,37	18,99	40,64	0,75
23	10	SİG	6	39,98	18,87	41,15	0,30
24	10	EKİS	6	40,05	18,99	40,95	0,11
25	5	İG	8	40,04	19,10	40,85	0,29
26	5	KİS	8	39,86	19,08	41,06	0,28
27	5	SİG	8	40,27	18,99	40,75	0,54
28	5	EKİS	8	39,80	19,09	41,11	0,41
29	5	İG	7	40,02	18,85	41,13	0,30
30	5	KİS	7	39,78	19,01	41,22	0,45
31	5	SİG	7	40,09	19,06	40,86	0,29
32	5	EKİS	7	40,01	18,82	41,17	0,36
33	5	İG	6	39,71	18,99	41,31	0,61
34	5	KİS	6	39,89	18,99	41,12	0,24
35	5	SİG	6	39,90	19,23	40,86	0,47
36	5	EKİS	6	40,25	18,87	40,87	0,51



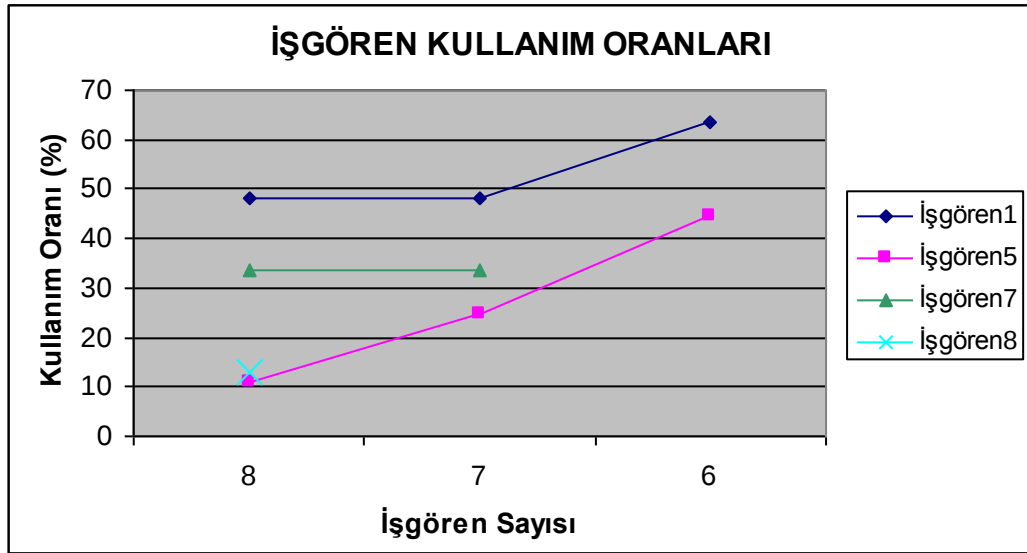
Şekil 5.5 Kuyruktan iş seçim stratejilerine göre üretim oranlarından sapma.

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi üretim oranlarından en büyük sapma ilk giren ilk işlem görür stratejisinde görülmektedir. En iyi sonuç ise 0,33’lük sapma değeri ile sisteme ilk giren ilk işlem görür stratejisi ile elde edilmektedir.

Tablo 5.4 ve Şekil 5.6’da görüldüğü hücredeki işgören sayısı sekizden altıya düşürülürken İşgören1 kullanım oranı %48’den %63’lere İşgören5 kullanım oranı %10’dan %45’lere yükselmiştir.

Tablo 5.4 Deney sonuçları: İşgören kullanım oranları.

Deney No	Parti Büyüklüğü	İş Seçim Stratejisi	İşgören Sayısı	İŞGÖREN KULLANIM ORANI (%)			
				1	5	7	8
1	15	İG	8	48,5%	11,1%	33,4%	12,7%
2	15	KİS	8	48,3%	10,6%	33,6%	12,5%
3	15	SİG	8	48,0%	10,6%	33,4%	12,9%
4	15	EKİS	8	48,2%	10,6%	33,3%	11,8%
5	15	İG	7	48,5%	24,7%	33,3%	
6	15	KİS	7	48,6%	24,5%	33,4%	
7	15	SİG	7	48,4%	24,5%	33,3%	
8	15	EKİS	7	48,1%	23,2%	33,2%	
9	15	İG	6	63,3%	44,9%		
10	15	KİS	6	64,1%	44,5%		
11	15	SİG	6	64,1%	44,3%		
12	15	EKİS	6	63,4%	44,9%		
13	10	İG	8	48,0%	11,0%	33,4%	13,1%
14	10	KİS	8	48,0%	10,8%	33,3%	12,8%
15	10	SİG	8	47,9%	10,8%	33,2%	13,0%
16	10	EKİS	8	47,9%	10,8%	33,4%	12,8%
17	10	İG	7	48,0%	24,8%	33,3%	
18	10	KİS	7	48,2%	24,9%	33,3%	
19	10	SİG	7	48,5%	25,1%	33,5%	
20	10	EKİS	7	48,2%	24,1%	33,4%	
21	10	İG	6	63,6%	44,4%		
22	10	KİS	6	63,3%	44,6%		
23	10	SİG	6	63,3%	44,6%		
24	10	EKİS	6	62,8%	44,6%		
25	5	İG	8	47,9%	10,7%	33,3%	13,3%
26	5	KİS	8	47,7%	11,0%	33,5%	13,1%
27	5	SİG	8	48,0%	10,6%	33,5%	13,3%
28	5	EKİS	8	48,3%	10,8%	33,5%	12,5%
29	5	İG	7	48,0%	25,7%	33,5%	
30	5	KİS	7	48,0%	24,8%	33,3%	
31	5	SİG	7	48,0%	25,4%	33,4%	
32	5	EKİS	7	47,8%	24,9%	33,4%	
33	5	İG	6	62,2%	44,5%		
34	5	KİS	6	62,7%	44,7%		
35	5	SİG	6	64,6%	45,0%		
36	5	EKİS	6	63,0%	44,7%		



Şekil 5.6 İşgören kullanım oranları.

Yapılan incelemeler parti büyüklüğünün hazırlık sürelerinin kısa olması sayesinde sistem performansı önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir. Benzer şekilde işgören sayısındaki azalma da sistemde olumsuz bir etki göstermemektedir. Bu sonuçlara göre hücrede bulunan iki personelin diğer hücrelere kaydırılması veya bu işgörelere ek işler verilmesi sağlanabilir.

Sonuçlara göre bu sistemde performansı etkileyen en önemli etken kuyruktan iş seçim stratejisi olmaktadır. Bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Çalışmanın başında da belirtildiği gibi kuyrukta bekleme süreleri yaklaşık olarak parçanın sistemde geçirdiği sürenin %80'ini oluşturmaktadır. Bu çalışmada da ortaya çıktığı gibi bu sürenin kısaltılmasını sağlayacak en önemli etken kuyruktan iş seçim stratejisidir. Bu sürenin kısaltılması da sistem performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

KAYNAKLAR

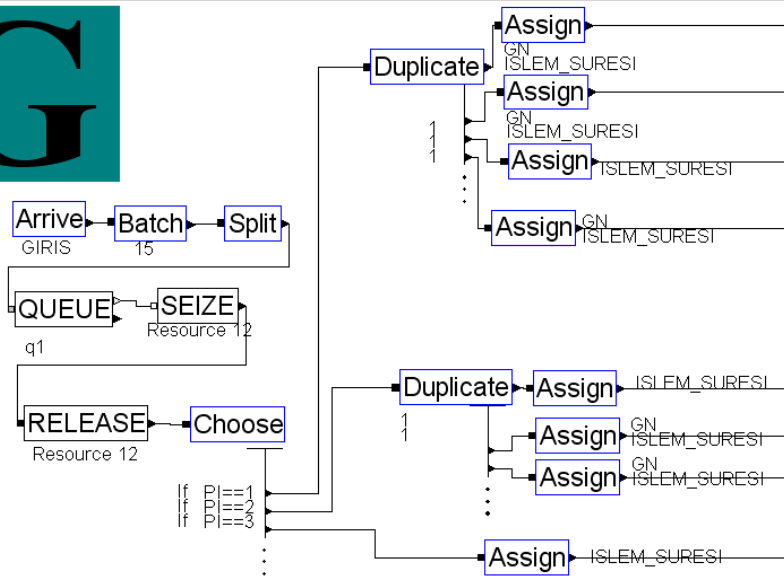
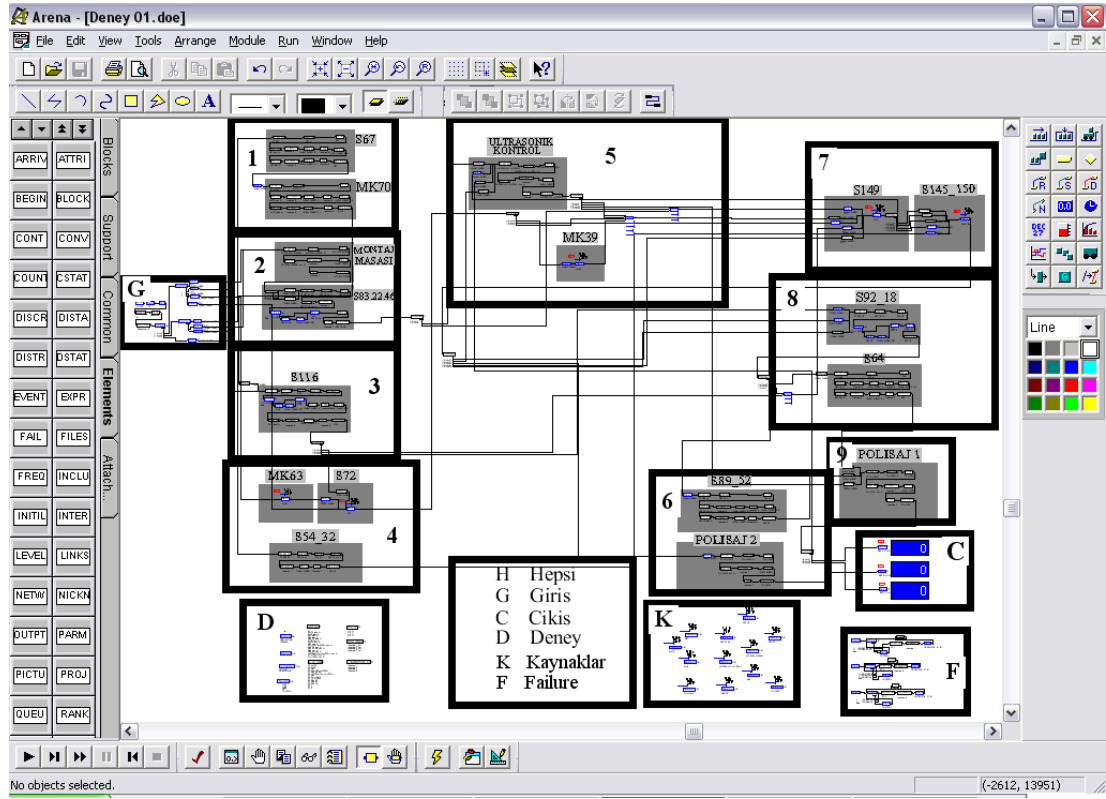
- Akhun, M.** 1992. Hücresel imalat sistemlerinin tasarımı ve kontrolü için benzetim amaçlı bir üreteç, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akhun, M.** 1999. Çifte kaynak kısıtlı grup teknolojisi üretim sistemlerinin bozucu faktörlere dayanıklı tasarımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Albino, V. and Garavelli A.C.** 1998. Some effects of flexibility and dependability on cellular manufacturing system performance, *Computers & Industrial Engineering*, **35**, No.3-4, 491-494.
- Albino, V. and Garavelli, A.C.** 1999. Limited flexibility in cellular manufacturing systems: A simulation study, *International Journal of Production Economics*, **60-61**, 447-455
- Allahverdi, A., Gupta, J.N.D. and Aldowaisan, T.** 1999. A review of scheduling research involving setup considerations, *Omega International Journal of Management Science*, **27**, 219-239.
- Al-Mubarak, F., Canel, C. and Khumawala, B.M.** 2003. A simulation study of focused cellular manufacturing as an alternative batch-processing layout, *International Journal of Production Economics*, **83**, 123-138.
- Askin, R.G. and Huang, Y.** 2001. Forming effective worker teams for cellular manufacturing, *International Journal of Production Research*, **39**, No. 11, 2431-2451.
- Askin, R.G. and Iyer, A.** 1993. A comparison of scheduling philosophies for manufacturing cells, *European Journal of Operational Research*, **69**, 438-449.
- Bauer, A., Bowden, R., Brown, J., Duggan, J., Lyons, G.** 1994. Shop Floor Control Systems: From Design to Implementation, Ipswich Book Company, Suffolk.
- Chen, H.G.** 1995. Heuristics for operator scheduling in group technology cells. *Computers and Operations Research*, **22**, Issue 3, 261-276.
- Durmuşoğlu, M.B., Altuntemir, B. ve Akhun, M.** 1994. Bir kesici takım üretim sisteminde tam zamanında üretime geçiş, *Mühendis ve Makine Dergisi*, **35**, Sayı 409-410, syf. 20-28.
- Ertay, T. and Ruan, D.** 2005. Data envelopment analysis based decision model for optimal operator allocation in CMS, *European Journal of Operational Research*, **164**, 800-810.
- Flynn, B.B., Jacobs, F.R.** 1986. A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing, *International Journal of Production Research*, **24**, No. 5, 1171-1192.

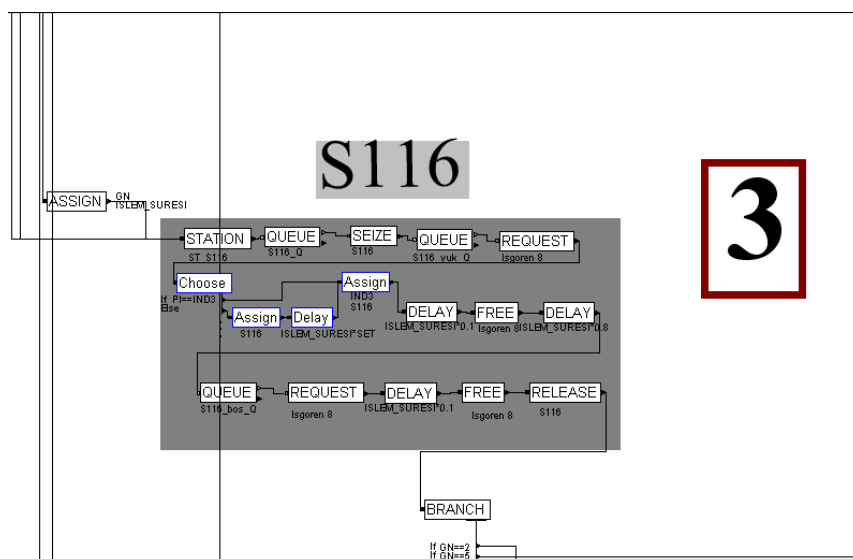
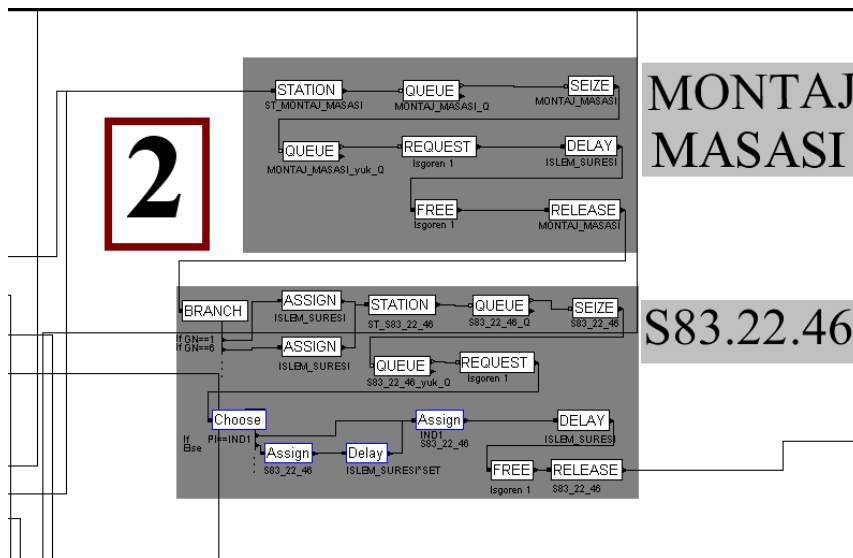
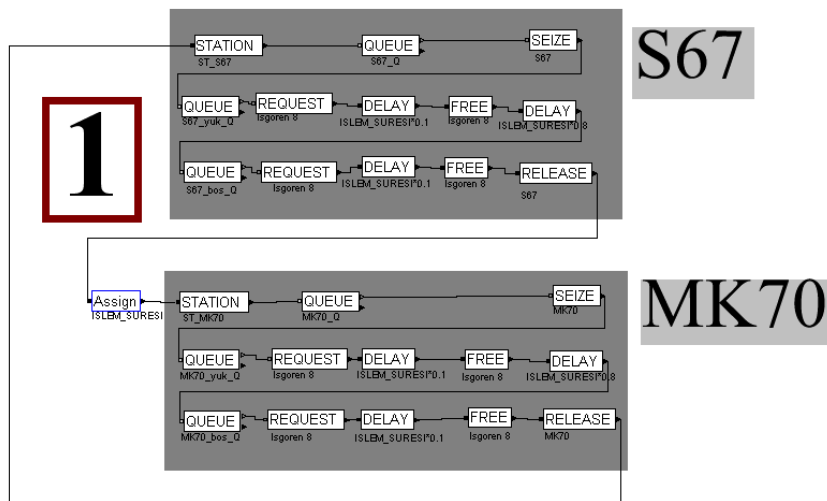
- Harrel, C.R., Tumay, K.** 1995. Simulation Made Easy “A Manager’s Guide”, Industrial Engineering and Management Press: Institute of Industrial Engineers.
- Huq F., Hensler D.A., Mohamed Z.M.** 2001. A simulation analysis of factors influencing the flow time and through-put performance of functional and cellular layouts, *Integrated Manufacturing Systems*, **12**, No. 4, 285-295.
- Jensen, J.B.** 2000. The impact of resource flexibility and staffing decisions on cellular and departmental shop performance, *European Journal of Operational Research*, **127**, 279-296.
- Kamrani, A.K., Hubbard K., Parsaei H.R. and Leep H.R.** 1998. Simulation-based methodology for machine cell design, *Computers & Industrial Engineering*, **34**, No.1, 173-188.
- Kelton, D.W. and Law, A.M.** 1991. Simulation Modelling and Analysis. McGraw-Hill, New York, 2nd edition.
- Kelton, D.W., Sadowski, R.P. and Sadowski, D.A.** 1998. Simulation with ARENA, McGraw-Hill, Inc., Boston.
- Kher, V.H. and Jensen, J.B.** 2002. Shop performance implications of using cells, partial cells, and remainder cells, *Decisions Sciences*, **33**, No. 2, 161-190.
- Morris, J.S. and Tersine, R.J.** 1990. A simulation analysis of factors influencing the attractiveness of group technology cellular layouts, *Management Science*, **36**, No. 12, 1567-1578.
- Nomak, A.** 2002. Benzetim yardımıyla üretim planlama ve kontrol sistemlerinin analizi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nyman, L.R.** 1992. Making Manufacturing Cells Work, McGraw-Hill, Inc., Michigan.
- Pegden, C.D., Shannon, R.E., Sadowski, R.P.** 1995. Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill, Inc., OH.
- Seifoddini, H.** 1992, Performance evaluation of hybrid cells, *IIE Transactions*, **24**, No. 1, 84-88.
- Seifoddini, H. and Djassemi, M.** 2001. The effect of reliability consideration on the application of quality index, *Computers & Industrial Engineering*, **40**, 65-77
- Shambu, G. and Suresh, N.C.** 2000. Performance of hybrid cellular manufacturing systems: A computer simulation investigation, *European Journal of Operational Research*, **120**, Issue 2, 436-458.
- Solimanpur, M., Vrat, P. and Shankar, R.** 2004. A heuristic to minimize make span of cell scheduling problem, *International Journal of Production Economics*, **88**, 231-241.
- Steele, D.C., Berry, W.L. and Chapman, S.N.** 1995. Planning and control in multi-cell manufacturing, *Decisions Sciences*, **26**, No. 1, 1-34.

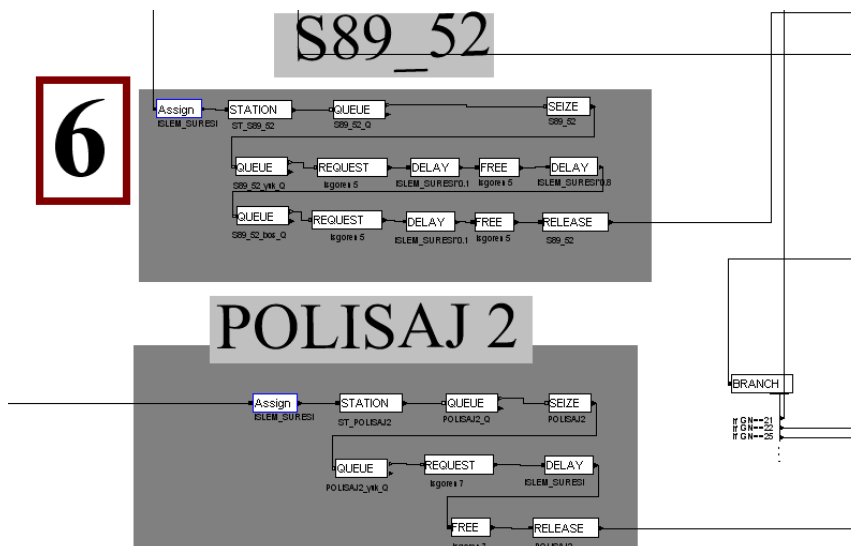
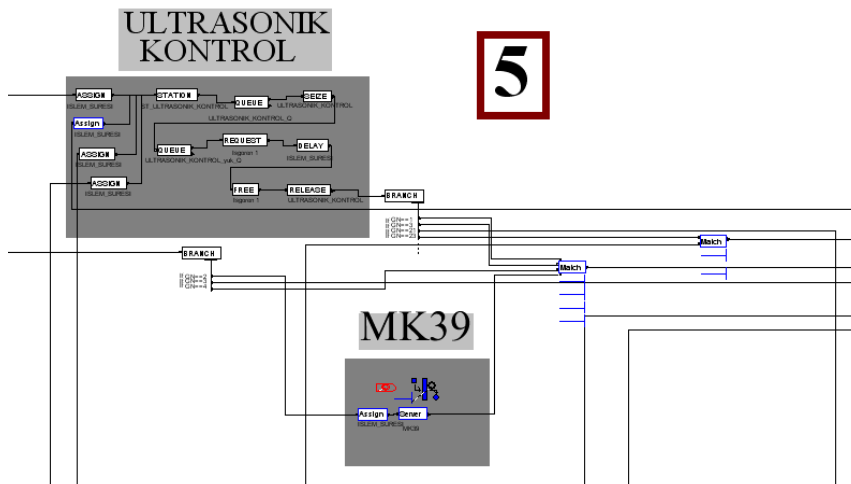
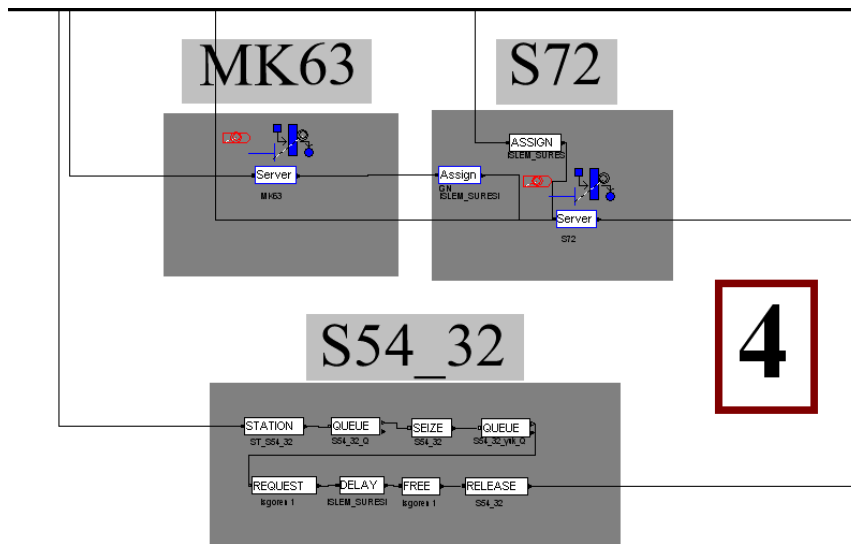
- Systems Modeling Corporation**, 1994. ARENA User's Guide, Systems Modeling Corporation, PA.
- Trevelen, M.** 1989. A review of the dual resource constrained system research, *IIE Transactions*, **21**, No. 3, 279-287
- Zamiska, J.R., Jaber, M.Y. and Kher, H.V.** 2005. Worker deployment in dual resource constrained systems with a task-type factor, *European Journal of Operational Research*, **Article in Press**.

EK A

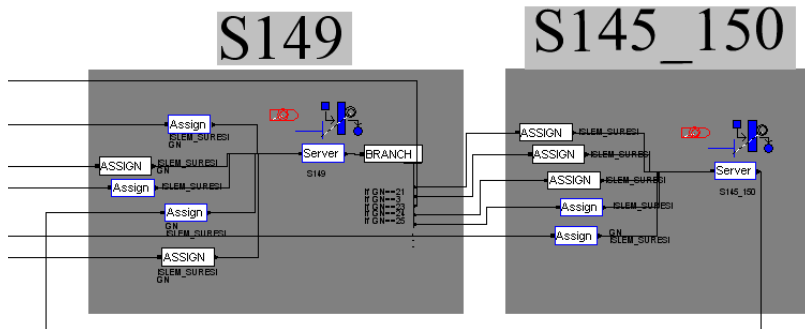
DENEY 01 SİMÜLASYON MODELİ



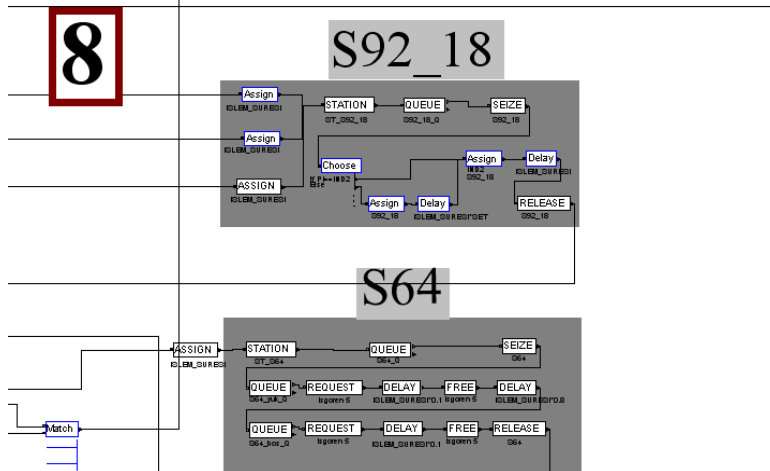




7

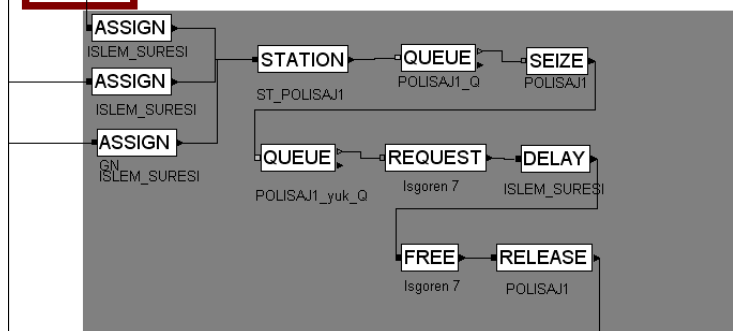


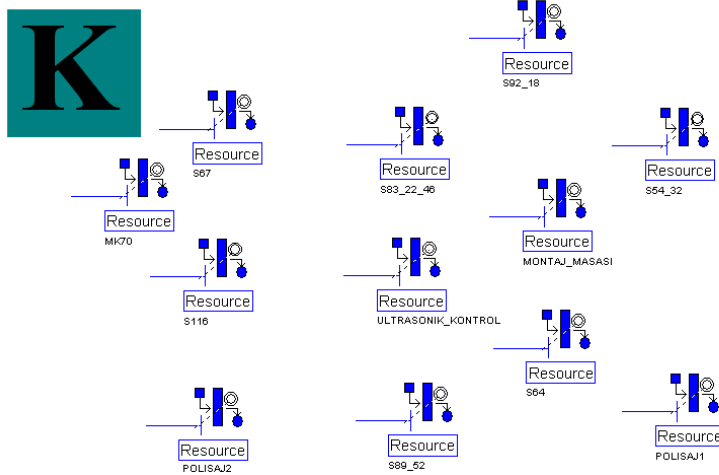
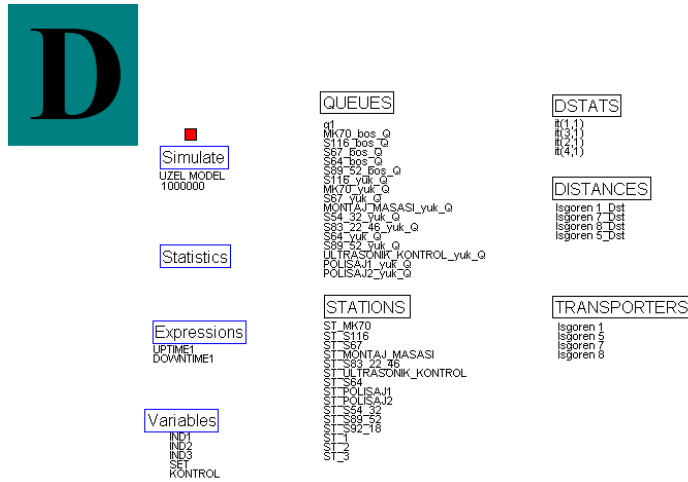
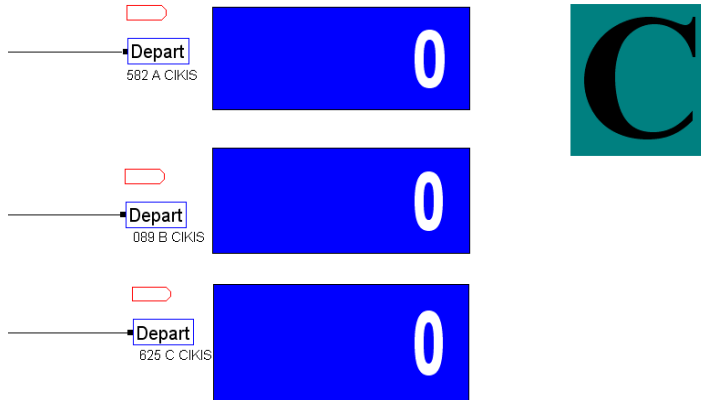
8

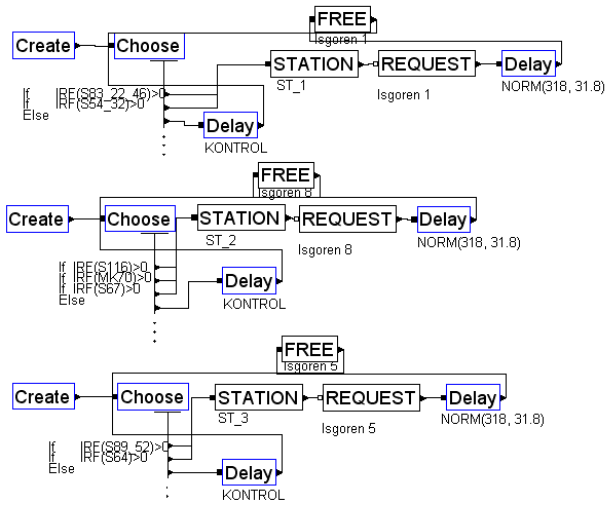


9

POLISAJ 1







EK B

DENEY 01 SONUÇLAR

ARENA Simulation Results
a - License #6666666

Summary for Replication 1 of 1

Project: UZEL MODEL Run execution date : 5/26/2004
Analyst: BB Model revision date: 5/26/2004

Replication ended at time : 1e+006.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
089 B TEMIN S	324.67	33.305	128.26	1481.4	11586
MK39_R_Q Queue Time	.00000	.00000	.00000	.00000	24923
S145_150_R_Q Queue Tim	111.81	27.569	.00000	951.00	112148
582 A TEMIN S	425.35	(Corr)	103.89	2234.4	24899
625 C TEMIN S	356.75	55.311	53.925	1694.5	25366
S72_R_Q Queue Time	6.5512	.36118	.00000	390.01	74769
MK63_R_Q Queue Time	9.2322	.23431	.00000	347.59	24923
S149_R_Q Queue Time	15.026	.64463	.00000	505.74	98393

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in POLISAJ2_Q	.00387	3.3982E-04	.00000	1.0000	.00000
# in S67_Q	.24560	.02137	.00000	14.000	.00000
# in POLISAJ1_Q	.02576	.00567	.00000	10.000	.00000
# in MK70_Q	.03370	.00305	.00000	3.0000	.00000
# in S64_Q	.09053	.03931	.00000	21.000	.00000
# in S116_Q	.52355	.04339	.00000	30.000	.00000
# in ULTRASONIK_KONTRO	3.3842	.29280	.00000	95.000	.00000
# in S92_18_Q	.15073	.04844	.00000	29.000	.00000
# in S72_R_Q	.48983	.02647	.00000	35.000	.00000
# in MK39_R_Q	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in S54_32_Q	1.3313	.07417	.00000	28.000	.00000
isgoren_8_kullanim	.12693	.00415	.00000	1.0000	.00000
isgoren_7_kullanim	.33371	.00139	.00000	1.0000	.00000
isgoren_5_kullanim	.11052	.00500	.00000	1.0000	1.0000
# in S145_150_R_Q	12.542	(Corr)	.00000	89.000	28.000
isgoren_1_kullanim	.48495	.00579	.00000	1.0000	.00000
# in S89_52_Q	.12036	.05084	.00000	27.000	.00000
# in S83_22_46_Q	19260	.00406	.00000	3.0000	.00000
# in MK63_R_Q	.23009	.00755	.00000	13.000	.00000
# in S149_R_Q	1.4784	.06638	.00000	45.000	.00000
# in MONTAJ_MASASI_Q	.94322	.06576	.00000	38.000	.00000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
582 A URETIM MIK	24899	Infinite
625 C URETIM MIK	25366	Infinite
089 B URETIM MIK	11586	Infinite

FREQUENCIES

Identifier	Category	--Occurrences-- Number	AvgTime	Standard Percent	Restricted Percent
STATE(POLISAJ1)	busy	68043	3.9504	26.88	26.88
	Idle	68044	10.746	73.12	73.12
STATE(POLISAJ2)	busy	10415	7.3739	7.68	7.68
	Idle	10416	88.632	92.32	92.32
STATE(MONTAJ_MASASI)	busy	4078	55.777	22.75	22.75
	Idle	4079	189.39	77.25	77.25
STATE(S116)	busy	29966	7.5078	22.50	22.50
	Idle	13322	57.320	76.36	76.36
	failed	4	306.58	0.12	0.12
	SETUP	19267	.52787	1.02	1.02
STATE(S83_22_46)	busy	19864	13.160	26.14	26.14
	Idle	4079	176.83	72.13	72.13
	failed	10	317.75	0.32	0.32
	SETUP	15778	.89289	1.41	1.41
STATE(S145_150_R)	busy	3928	241.01	94.67	94.67
	Idle	3911	12.203	4.77	4.77
	failed	18	308.33	0.56	0.56
STATE(S89_52)	busy	19314	13.238	25.57	25.57
	Idle	19307	38.349	74.04	74.04
	failed	12	325.04	0.39	0.39
STATE(MK70)	busy	5711	34.838	19.90	19.90
	Idle	5707	139.99	79.89	79.89
	failed	7	299.82	0.21	0.21
STATE(MK39_R)	busy	24923	.90068	2.24	2.24
	Idle	24924	39.221	97.76	97.76
STATE(S92_18)	busy	52642	6.7942	35.77	35.77
	Idle	44526	13.861	61.72	61.72
	failed	13	313.38	0.41	0.41
	SETUP	25452	.82730	2.11	2.11
STATE(S149_R)	busy	32258	14.549	46.93	46.93
	Idle	32244	16.306	52.58	52.58
	failed	16	305.86	0.49	0.49

STATE(S54_32)	busy	4066	89.368	36.34	36.34
	Idle	4052	155.92	63.18	63.18
	failed	15	321.77	0.48	0.48
STATE(S64)	busy	18617	13.784	25.66	25.66
	Idle	18608	39.802	74.06	74.06
	failed	9	302.89	0.27	0.27
STATE(S72_R)	busy	10694	14.914	15.95	15.95
	Idle	10692	78.486	83.92	83.92
	failed	4	333.74	0.13	0.13
STATE(ULTRASONIK_KONTR	busy	22822	19.081	43.55	43.55
	Idle	22802	24.449	55.75	55.75
	failed	22	318.91	0.70	0.70
STATE(S67)	busy	3916	44.367	17.37	17.37
	Idle	3912	210.79	82.46	82.46
	failed	5	327.71	0.16	0.16
STATE(MK63_R)	busy	4122	19.335	7.97	7.97
	Idle	4120	223.15	91.94	91.94
	failed	3	305.42	0.09	0.09

Simulation run time: 4.67 minutes.
Simulation run complete.

EK C

SİMÜLASYON MODELLERİ VE DENEY SONUÇLARI

Simülasyon deneylerinin modelleri ve deney sonuçları tezin arka kapağında bulunan CD’de verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Barış BEYHAN, 1978 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de sırasıyla Sarıkamış İlkokulu, Bornova Anadolu Lisesi ve İzmir Fen Lisesi’nde tamamladı. 1996-1997 öğretim yılında İTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu’nda İngilizce eğitimi aldıktan sonra, 1997-2001 tarihleri arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde öğrenim gördü ve Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı’ndan mezun oldu.