

*T.C.*  
*KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ*  
*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ*

*ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI*  
*YÜKSEK LİSANS TEZİ*

*ATÖLYE YÜKÜNÜN PLANLANMASINDA RFID TEMELLİ DİNAMİK BİR*  
*YAKLAŞIM VE FNSS'DE UYGULANMASI*

*OLCAY ÖZGE ERSÖZ*

*EYLÜL 2016*

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında** Olcay Özge ERSÖZ tarafından hazırlanan **ATÖLYE YÜKÜNÜN PLANLANMASINDA RFID TEMELLİ DİNAMİK BİR YAKLAŞIM VE FNSS'DE UYGULANMASI** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

Danışman

*Jüri Üyeleri*

Başkan : (Doç. Dr. Necaattin BARIŞCI) \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : (Doç. Dr. A. Kürşad TÜRKER) \_\_\_\_\_

Üye : (Doç. Dr. Süleyman ERSÖZ) \_\_\_\_\_

06/09/2016

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### ATÖLYE YÜKÜNÜN PLANLANMASINDA RFID TEMELLİ DİNAMİK BİR YAKLAŞIM VE FNSS'DE UYGULANMASI

ERSÖZ, Olcay Özge

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

Eylül 2016, 83 Sayfa

Değişimin hızlı yaşandığı günümüz şartlarında işletmeler bu devingen yapıya tüm birimleri ve modülleriyle ayak uydurmak durumundadır. Aksi durumda zaman, kalite, fiyat, imaj vb. parametrelerle ilgili piyasa şartlarına yenik düşmek zorunda kalacaktır. Bu çalışmada üretim maliyetlerinde etkin olan tezgah ve işgücü verimliliğini etkinleştirecek dinamik çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Üretim ortamında yer alan ürün siparişlerindeki değişim ve atölye ortamında var olan tezgah, enerji, işgücü vb. parametrelerin şartlarındaki hızlı değişim planlamadan sapmaları önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada bilişim teknolojilerinden faydalanılarak, eş zamanlı(anlık) dinamik verilerle siparişlerdeki değişimlerle atölye ortamındaki değişimler planlama ortamına yansıtılacaktır. Çalışmada; planlama ortamındaki eşzamanlı verilerle simülasyon senaryoları geliştirilecek ve alternatif optimum dinamik çizelgelerin üretilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda bu dinamik veriler parça maliyetlerinin hesaplanmasında, işçilik/tezgah zamanlarının netleştirilmesinde ve maliyetlendirilmesi noktasında hassasiyeti arttırmış olacaktır. Atölye şartlarının; tezgah doluluk oranı, işgücü doluluk oranı vb. parametreler ile ilgili günlük haftalık raporlar üretilmesine yönelik önemli avantajlar sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik Çizelgeleme, Atölye Tipi Üretim, RFID İle Üretim İzleme

## ABSTRACT

### AN RFID BASED DYNAMIC APPROACH FOR JOB SHOP PLANNING AND APPLICATION IN FNSS

ERSÖZ, Olcay Özge

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Doç Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

SEP 2016, 83 Pages

In today's conditions in which we are experiencing the changes very fast, companies have to keep up with this dynamic structure with their all units and modules. Otherwise, they will be defeated by the market conditions related to parameters such as time, quality, price, image, etc. In this study, the dynamic scheduling problem which will contribute to the efficiency of workbench and workload that are effective in the actual costs has been discussed. Changes in the product orders existing in the production environment and the rapid changes in the conditions of the parameters such as workbench, energy, labour force existing in the plant environment increases the diversions from the planning significantly. In this study, changes in simultaneous (instant) dynamic data, changes in the orders and changes in the plant environment will be reflected to the planning environment by using the information technologies. Alternative optimum dynamic schedules will be produced by developing simulation scenarios with the simultaneous data in the planning environment. In addition, these dynamic data will have increased sensitivity about the calculation of the costs for items as well as clarifying and assigning the costs of the labour/ workbench times. It will also bring important advantages in producing daily or weekly reports about the parameters such as plant conditions, workbench load rate and labour force rate, etc.

**Key Words:** Dynamic Scheduling, Plant Type Production, Monitoring the Production Through RFID

## TEŐEKKÖRLER

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine sunan, tez yöneticisi hocam Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÖRKER'e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda ve tez yazım sürecinde yardımını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Süleyman ERSÖZ'e, yine desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Burak BİRGÖREN'e, Yrd. Doç. Dr. Adnan AKTEPE'ye ayrıca Lisans, Çift Anadal ve Yüksek Lisans eğitimim süresince üzerimde emek ve katkıları olan Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölüm hocalarıma ve Kırıkkale Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölüm hocalarıma sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca en son olmakla birlikte en az olmayarak, büyük fedakarlıklarla bana destek olan babam Süleyman ERSÖZ, annem Sema ERSÖZ'e kardeşlerim Sevim Sena, Ayşe Eda'ya, ayrıca tüm aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜRLER .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİL DİZİNİ .....	viii
TABLO DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. SİMÜLASYON .....	5
3.1. Simülasyonun Tanımı ve Simülasyon Kavramı .....	5
3.2. Simülasyon Türleri .....	7
3.2.1. Kesikli Olay Simülasyonu .....	7
3.2.2. Statik ve Dinamik Modeller .....	7
3.2.3. Açık Döngü ve Kapalı Döngü Modelleri.....	8
3.2.4. Sürekli Simülasyon .....	8
3.2.5. Karma Simülasyon .....	8
3.3. Simülasyonun Avantajları .....	8
3.4. Simülasyonun Dezavantajları.....	10
3.5. Simülasyon Sürecinin Aşamaları .....	11
3.5.1. Problem Tanımlama ve Hedeflerin Durumu.....	12
3.5.2. Verilerin Toplanması ve Analizi.....	13
3.5.3. Model Geliştirme .....	14
3.5.4. Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Araştırılması.....	15
3.5.5. Senaryoların Oluşturulması.....	17
3.5.6. Sonuçların Analizi.....	17
4. ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL .....	18

4.1. Üretim Kavramı ve Üretimin Tanımı .....	18
4.2. Üretim Tipleri.....	19
4.3. Üretim Tiplerine göre Planlama ve Kontrol Faaliyetlerinin Farklılıkları ...	20
5. ÜRETİM PLANLAMANIN EŞ ZAMANLI GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	24
5.1. Sistem Analizi .....	24
5.2. Öngörülen Modelin Tasarımı .....	25
5.3. Modelin Simülasyon Uygulamasının Yapılması.....	28
5.4. Tasarlanan Modelin Bütünleşik Uygulamasının Yapılması.....	54
5.5. Uygulamanın Hayata Geçirilmesi .....	62
5.6. Uygulamanın Kontrolü ve Aksaklıkların Giderilmesi .....	64
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKÇA.....	70

## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1. Simülasyon Sürecinin Aşamaları (Aydın vd., 2007).....	12
Şekil 4.1. Üretim Süreci (Ersöz ve Ersöz, 2015) .....	18
Şekil 5.1. Temsili Yerleşim Planı .....	31
Şekil 5.2. Sipariş Oluşturma.....	35
Şekil 5.3. “Assign” Modülünün Tanımlanması .....	35
Şekil 5.4. “ Submodel-1” .....	36
Şekil 5.5. “ Submodel-2” .....	37
Şekil 5.6. “Assign” Modülünün Tanımlanması .....	38
Şekil 5.7. Sipariş Üretme Döngüsü .....	39
Şekil 5.8. Sipariş Süreci İle İlgili Değişken Tanımlama ve Rapor Oluşturma.....	39
Şekil 5.9. Açılan Siparişlerde Parça İle İlgili Bilgilerin Atanması.....	40
Şekil 5.10. Siparişlerin Yönlendirilmesi.....	41
Şekil 5.11. Parçaların ilk rotalarına yönlendirilmesi .....	41
Şekil 5.12. Hold Modülünün Tanımlanması.....	42
Şekil 5.13. İstasyon Tanımlamaları.....	43
Şekil 5.14. “Attribute” Veri Seti .....	43
Şekil 5.15. “Resource” Veri Seti.....	44
Şekil 5.16. “Sequence” Veri Seti.....	44
Şekil 5.17. Animasyon Ekranı .....	45
Şekil 5.18. Siparişin İş Emri Havuzuna Düşmesi.....	55
Şekil 5.19. Tasarlanan Modelin Akış Şeması .....	57
Şekil 5.20. Parça Kartı.....	58



## TABLO DİZİNİ

<i>Tablo 5.1 Parçaların rotaları, iş merkezlerindeki birim operasyon süreleri, olası parti hacimleri ve açılan siparişe girme olasılığı.....</i>	<i>32</i>
<i>Tablo 5.2 İş merkezlerindeki tezgâh sayıları .....</i>	<i>33</i>
<i>Tablo 5.3. Simülasyon Sonuçları .....</i>	<i>47</i>
<i>Tablo 5.4. Kural Seti.....</i>	<i>56</i>



## 1. GİRİŞ

Günümüzde işletmeler için rekabetin kıyasıya artması nedeniyle kaynakların etkin ve verimli kullanımının yanı sıra müşteri istek ve ihtiyaçlarına zamanında ve doğru bir şekilde cevap verilmesi de büyük önem kazanmıştır. İşletmeler rekabet ortamında ayakta kalabilmek için çeşitli ürün ve süreç iyileştirmelerine ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmanın amacı, üretim portföyünde çok fazla ürün çeşitliliği bulunan ve siparişe dayalı üretim gerçekleştiren işletmelerde herhangi bir anda atölyede işlemek üzere bekleyen siparişlerin ve aynı anda atölye içerisinde üretimde bulunan birçok siparişin dinamik çizelgelemesinin yapılmasıdır. Bilindiği üzere siparişe dayalı üretim, ürün çeşitliliğinin pazar koşullarından daha çok müşterinin isteğine bağlı olarak değiştiği, çok fazla sayıda ürün çeşidinin bulunduğu, müşteri odaklı yapılan üretimden ve müşteri isteklerinin sık sık değişmesinden dolayı esnek işgücü, tezgah ve materyal kullanımını zorunlu kılan, üretim tahminlerinin müşteri taleplerine dayanılarak yapıldığı, uzun dönemli üretim planlarının yapılamadığı, fiyatın ve teslim süresinin müşteri ile birlikte belirlendiği üretim tipidir (Gümüsoğlu vd., 2013).

Bu tip üretimi benimseyen firmalara gelen terminli siparişler nedeniyle herhangi bir anda atölyede işlemek üzere birçok sipariş beklemekte ve aynı anda da atölye içerisinde üretimde birçok sipariş yer almaktadır. Bu dinamik yapı; çizelgeleme ve tezgâh yükleme problemlerinin karmaşık bir hal almasına neden olmakta ve üretim planlama ve kontrol proseslerinin etkin yönetilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yapılacak bir yanlış çizelgeleme veya atama sevkiyatlarda gecikmelerin yaşanmasına ve makinelerin atıl kalmasına sebep olmaktadır. Buna ek olarak işletmede çok sayıda hammadde, yarı mamul ve ürün stokunun bulunması yüksek stok maliyetlerine, elde bulundurmama maliyetlerine ve stok yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilememesine neden olmaktadır. Tüm bu problemlerin önüne geçebilmek için çalışmamızda; sistem analizi yapılarak ürün rotaları ve işlem sürelerinin belirlenmesi, gelen siparişler içerisinde atölyenin şartlarını da dikkate alarak doğru siparişin seçilmesi, sonrasında atölyenin durumuna göre tezgâhlara doğru parçaların atanması için sistemin simüle edilmesi ve çeşitli senaryolar oluşturularak firma için uygun atama stratejisinin belirlenmesi ile dinamik çizelgelemenin uygulanması hedeflenmektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dinamik, olasılıklı üretim sistemlerinde; arızalar, beklenmeyen acil işler, kalite problemleri, malzeme sıkıntısı, üretim süreci boyunca meydana gelebilir. Bu tür olaylar, en etkili çizelgeleri bile etkisiz hale getirebilir (Büyüksünetçi, 2006). Dinamik çizelgelemede, problem çizelgeleme periyodu boyunca üretilecek ürünün miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarına göre sonradan ek iş girişi yapılabilecek biçimde tanımlanabilir. Başka bir ifade ile çizelgeleme periyodu boyunca üretimin herhangi bir anında yeni iş girdileri olabilir ve bu durumda atölye ortamı dinamik olarak tanımlanır.

Literatürde dinamik çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Bean vd. (1991), daha önceden planlanan çizelgenin kullanılmasına engel olacak kesintiler meydana geldiğinde işlemlerin yeniden çizelgelenmesini ele almıştır. Çalışma kesinti meydana gelene kadar mevcut çizelgeyi kullanmaktır, kesinti meydana geldikten sonra, bir noktada mevcut çizelgeye yetişmek için bu çizelgenin bir bölümü yeniden düzenlemektedir. Çalışmada test problemleri ile birleştiren (match-up) yeniden çizelgeleme yaklaşımının avantajları incelenmiştir. Church ve Uzsoy (1992), dinamik iş gelişleri halinde yeniden çizelgelemeyi incelemiştir. Bu çalışmada, tek makine ve paralel makine modelleri üzerinde periyodik yeniden çizelgeleme stratejileri incelenmiştir. Leon vd. (1994), beklenmedik ve tahmin edilemeyen dinamik durumlardan etkilenmeyen güçlü çizelgeleme yöntemleri geliştirmiştir. Çalışmada, planlama döneminde tek bir sorunun meydana geldiği durum için güçlü çizelge ölçütü geliştirilmiştir. Birden fazla sorunun meydana geldiği daha karmaşık durumlar için de güçlülük ölçütü geliştirmiş ve genetik algoritma ile birleştirilerek atölye tipi üretim ortamları için çizelgeler elde edilmiştir.

Chang (1997), dinamik atölyelerde üretim süresinde ürünlere ait kalan işlemler için kuyruk sürelerinin gerçek zamanlı tahminini yaparak bu tahminleri çizelgeleme ile birleştiren yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Fang ve Xi (1997), dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerini çözümlmek için genetik algoritma ve öncelik kurallarına dayanan melez bir yaklaşım önermiştir. Lee ve Uzsoy (1999), dinamik iş gelişlerinin olması durumunda en büyük tamamlanma zamanının en minimize edilmesi problemini ele almıştır. Sabuncuoğlu ve Bayız (2000), stokastik üretim çevresinde

reaktif çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Özellikle, klasik atölye tipi sistemde makine arıza ve duruşlarının meydana gelmesi durumunda birçok çizelgeleme yöntemi test edilmiştir. Ayrıca sistem büyüklüğünün ve iş çeşidinin sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu (2001), dinamik atölye tipi üretim süreçlerinde makine arızalarına karşı reaktif çizelgeleme yaklaşımları geliştirmiştir. Bu yaklaşım, işin atandığı makinede arıza meydana gelmesi durumunda işlerin güzergâhlarının değiştirilmesine dayanır.

Yang (2001), esnek üretim sistemlerinde genetik algoritmaya dayanan yeni bir dinamik programlama yaklaşımı oluşturmuştur. Burada genetik algoritma, işlerin sıralamasını elde etmede kullanılırken; kesikli dinamik programlama ise, elde edilen sıralamaya uygun çizelgenin oluşturulması için kullanılmaktadır. Cowling ve Johansson (2002), çizelgeleme kararlarını iyileştirmek için dinamik bilgileri kullanan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Dinamik bilgilere karşı uygulanabilecek iki temel strateji tanımlamışlardır. Bu stratejiler; yeniden çizelgeleme ve çizelge düzeltmedir. Yeniden çizelgelemede, sistemde önemli değişiklikler yapılırken, çizelge düzeltmede ise nispeten daha küçük değişiklikler yapılmaktadır. Dominic, Kaliyamoorthy ve Kumar (2004), dinamik atölye tipi çizelgeleme için farklı öncelik kurallarını birleştirerek çalışmıştır. Çalışmada farklı öncelik kuralları ve performans ölçütleri altında dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerinin, ARENA programı kullanılarak simüle edilmiştir. Liao ve Chen (2004), sıklıkla makine arızalarının meydana geldiği bir tekstil işletmesinin çizelgeleme problemini incelemiştir. Problemin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirmişler ve bu sezgisel yöntem, makine arızalarını azaltarak kurulum sürelerinin uzatılmasını sağlamaktadır.

Liu, Ong ve Ng (2005), makine arızaları ve yeni iş gelişlerinin olması durumunda dinamik iş çizelgeleme probleminin analiz etmişlerdir. Bu analiz sonucunda dinamik çizelgeleme problemini statik bir problem olarak modelleyebilmek için bir yöntem sunmuşlardır. Gao vd. (2009), atölye tipi çizelgeleme için karınca koloni algoritması ve genetik algoritmaya dayanan melez bir yöntem önermiştir. Amaç toplam tamamlanma zamanını, maliyeti ve sapmayı minimize etmektir. Yöntemde karınca kolonisi algoritması ile makine ataması yapılırken, genetik algoritma ve komşuluk arama yardımıyla işlerin sıralaması optimize edilmektedir. Çalışmanın sonunda önerilen algoritmanın sonuçlarının analiz edilebilmesi için bir simülasyon çalışması

yapılmıştır. Fattahi ve Fallahi (2010), dinamik esnek atölye tipi iş çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir yöntem önermiştir. Zandieh ve Adibi (2010), rastgele iş gelişlerini ve makine arızalarını dikkate alan dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri için değişken komşuluk arama yöntemini önermiştir.

Kapanoğlu ve Alikalfa (2011), dinamik atölye tipi çizelgeleme problemleri için öğrenen bir zeki sistem önermiştir. Qiu ve Lau (2013), sürekli yeni iş gelişlerinin olduğu ve makine arızalarının meydana geldiği dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay zeka, yapay bağıklık sistemi yöntemleri ile öncelik kurallarının birleşimine dayanan bir yaklaşım önermiştir.



### 3. SİMÜLASYON

Hızla gelişen ve değişen dünyada bir işletmenin fonksiyonlarını etkin bir şekilde yönetmek ciddi anlamda zorlaşmıştır. Bunun en önemli nedenlerinden biri örgütlerde bulunan çok sayıdaki ögenin aralarındaki etkileşimlerin karmaşık bir yapı oluşturmalarıdır. Bu karmaşık yapı uzun bir süredir var olmasına rağmen, bu yapının etkin olarak yönetilmesinin önemi yeni farkına varılan bir olgudur.

Bugün artık biliyoruz ki, sistemin bir ögesi üzerinde değişiklikler yapmak, sistemin tümünde değişimlere neden olacaktır. İşte bu anlayış, “Sistem yaklaşımı” olarak adlandırılan yeni bir yaklaşımın doğmasını ve gelişmesini de sağlamıştır. Sistem yaklaşımı, yöneticilerin en önemli yardımcılarından biridir. Sistem yaklaşımının karmaşık sistemlerin analizinde ve tasarımında yararlandığı önemli araçlarından biri de simülasyon olarak adlandırılır (Erkut,1995).

1940 yılı sonlarında John Von Neumann ve Stanislaw Ulam’ın birlikte yaptıkları çalışmalarına Monte Carlo Simülasyonu ismini vermeleri ile ortaya çıkan simülasyon kavramı günümüzde giderek önem kazanmış bir kavramdır. Bu dönemde Monte Carlo Simülasyonu sayesinde analitik işlemleri çok karışık olan ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma problemleri başarılı bir şekilde simüle edilmiş ve problem çözülmüştür. Daha sonraki yıllarda sayısal bilgisayarların hızla gelişmesi ile birlikte simülasyon kavramı da farklı bir boyut kazanmaya başlamıştır. Bu sayede fizik, kimya alanlarında ki gibi laboratuvar deneyi yapma imkanı olmayan pek çok bilim dalı da ihtiyaç duydukları deneyleri bilgisayar üzerinde gerçekleştirme imkanı elde etmiştir.

#### 3.1. Simülasyonun Tanımı ve Simülasyon Kavramı

Simülasyon genel bir ifade ile gerçek sistemin temsili olarak oluşturulması ve sonuçlarının incelenmesini sağlayan ayrıca alternatif senaryolar oluşturularak farklı durumlarında analizinin yapılması imkânını sunan bir tekniktir. Simülasyon ile ilgili pek çok farklı tanım mevcuttur.

Simülasyonun sözlük anlamı “Bir durumun veya sistemin davranışının, benzer bir durum, model veya aygıt aracılığıyla ve daha rahat bir şekilde bilgi elde etmek amacıyla taklit edilmesi”dir (Carrie, 1988).

Simülasyon, dinamik bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığı ile değerlendiren bir tekniktir. Zamana bağlı değişim gösteren sistemlerde bir simülasyon modeli, eğer şu olursa ne olur analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araç olarak ele alınmalıdır. Kullanıcısına sistemin değişik dizayn ve çeşitli işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini analiz etmede çok faydalı bir yaklaşımdır (Türker, 2011).

Pritsker (1979) simülasyonu “İyi tanımlanmış işletim kurallarının durumdan duruma taşınması ile dinamik sistem davranışının yaşatılması” şeklinde tanımlamıştır.

Simülasyon, benzetilenin belirli özelliklerinin incelenmesi için özel olarak düzenlenmiş deneylerin gerçekleştirilmesidir (Montgomery, 1991).

Simülasyon sözcük anlamı ise benzetmedir. Daha genel anlamda matematik, istatistik gibi belirli bir model kuramadığımız olayların yapısını incelemek için olayı suni olarak canlandırmaya, kağıt üzerine getirmeye, olay üzerinde kontrol kurma gayretlerinin tümüne simülasyon denir (Karayalçın, 1979).

Başka bir deyişle, simülasyon, gerçek bir sistemin tasarlama süreci ve sistemin işleme için sistemin davranışlarını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile bu model üzerinde değerlendirmeler yapmaktır (Halaç, 1993).

Her ne kadar gerçek bir sistemi bire bir temsil edemese de, bilgisayar dünyasının büyük gelişmeler kaydettiği günümüzde simülasyon uygulamaları düşük maliyet ve sonuca yüksek hızda ulaşım gibi nedenlerden dolayı avantajlı hale gelmiştir. Örneğin işletme problemlerinin analizi için tanımlanan bir sistemin modeli bazen çok karmaşık olabileceği gibi, kurulan modelin analitik ve nümerik olarak çözümü güç olabilir. Bu gibi durumlarda simülasyon önemli bir model kurma ve çözme tekniği olarak kullanılır (Genç, 2000).

Simülasyon genellikle sistem analizlerini desteklemek için kullanılan bir araçtır. Simülasyon çok yaygın olarak doğrusal programlama, yapay sinir ağları ve uzman sistemler gibi test edilmiş diğer tekniklerle beraber kullanılır (Aydın, 2007).

### **3.2. Simülasyon Türleri**

Simülasyon yöntemi benzetimi yapılacak sistemin özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.

#### **3.2.1. Kesikli Olay Simülasyonu**

Kesikli simülasyon ya da diğer ifadeyle kesikli olay benzetimi, durum değişkenlerinin zaman içinde belirli noktalarda değiştiği sistemlerin modellenmesi ile ilgilenir. Zaman içinde kesikli noktalarda bir olay ortaya çıkar. Bu olay sistemin durumunu değiştirir. Kesikli olay simülasyonu sistemin zamana göre benzetimidir.

Kesikli olay, zaman içerisinde herhangi bir noktada oluşan bir anlık olaydır. Uçağın hava meydanına inmesi, dağıtım bölümüne varan bir parça, bankaya giren bir müşteri, deniz otobüsüne binen bir yolcu, kesikli olaya verilebilen birkaç örnektir. Bu olayların olması sistem durumunun değişmesine sebep olur (Öztürk, 1997).

Simülasyonun genel özelliklerine ilave olarak kesikli olay simülasyonu aşağıdaki özellikleri kapsar (Pidd, 1992):

- ✓ Zamanın farklı noktalarındaki değişiklikler;
- ✓ Bir seri olaylar;
- ✓ İşlem döngü şekilleriyle betimleme;
- ✓ Üç aşamalı yaklaşım

#### **3.2.2. Statik ve Dinamik Modeller**

Statik modeller zaman içerisinde belirli bir noktada sistemin temsil edilmesidir. Bu modellerle zamandan etkilenmez. En bilinen statik simülasyon yapısı Monte Carlo simülasyonudur. Zar atan bir simülasyon modeli statik modele örnektir. Modelin sonucu zamandan etkilenmez.

Dinamik model; zamandan etkilenir. Modelin durumu, simülasyon yapılma zamanı, saniye, dakika, saat ve gün olarak simülasyon saatini gösterir. Hizmet ve üretim



sistemleri genellikle bu modele göre yapılır. Sıralandırma düzeyi, varış oranları, makine kullanım oranı dinamik değişkenlere örnektir (Sevgin, 2000).

### **3.2.3. Açık Döngü ve Kapalı Döngü Modelleri**

Bir sistem simülasyonu sonucu, sisteme geri bildirim olarak herhangi bir bilgi sağlamıyorsa, bu sistem açık döngü modeli olarak tanımlanır. Diğer yandan, eğer modellenen sistemin simülasyon sonuçları, bir sonraki simülasyona geri bildirim sağlıyorsa, bu kapalı döngü modeli olarak adlandırılır (Sevgin, 2000).

### **3.2.4. Sürekli Simülasyon**

Sürekli simülasyonda, modelin bağımlı değişkenlerinin değerleri simülasyon süresince sürekli değişebilir. Sürekli bir model, bağımlı değişkenlerin değerlerinin simülasyon zamanında herhangi bir noktada veya sadece belirli noktalarda elde edilme durumuna bağlı olarak zamanca kesikli ya da sürekli olabilir (Atçı vd., 1997).

### **3.2.5. Karma Simülasyon**

Karma simülasyonda, modele ait bağımlı değişkenler kesikli, sürekli veya kesikli sıçramaların da bulunduğu sürekli bir yapıyla değişebilir. Zaman değişkeni kesikli veya sürekli olabilir. Karma simülasyon en önemli göstergesi kesikli ve sürekli olarak değişme gösteren değişkenler arasındaki karşılıklı etkileşimdir. 3 çeşit temel etkileşim vardır (Atçı vd., 1997):

- ✓ Bir sürekli değişkenin değerinde kesikli bir değişim meydana getirebilir.
- ✓ Eşik değerine ulaşmayı başaran bir sürekli durumun değişkeni içeren bir olay başka bir olayın meydana gelmesine ya da programa alınmasına neden olabilir.
- ✓ Sürekli değişkenlerin fonksiyonel tanımı kesikli zaman aralıklarında değiştirilebilir.

### **3.3. Simülasyonun Avantajları**

Birçok durumda simülasyon uygun bir analiz aracı olsa da uygulamadan önce simülasyonun tüm özellikleri dikkate alınmalıdır. Schmidt ve Taylor (1970) tarafından simülasyonun avantajları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

- ✓ Oluşturulan bir model farklı senaryoların ve politikaların analiz edilmesinde kullanılabilir.
- ✓ Eksik veya yüzeysel verilerin bulunduğu durumlarda dahi simülasyon yöntemiyle önerilen sistemler değerlendirilebilir.
- ✓ Çoğu durumda istenen verilerin gerçek sistemden elde edilmesinin maliyeti simülasyona göre çok daha fazladır.
- ✓ Analitik yöntemlere göre simülasyonun kullanımı genellikle daha kolaydır. Bu sebeple simülasyonun analitik yöntemlere göre daha fazla potansiyel kullanıcısı bulunmaktadır.
- ✓ Çoğu analitik modelde problemi sadeleştiren varsayımların bulunma zorunluluğu simülasyonda mevcut değildir. Analitik yöntemlerde analizi yapan kişi limitli sayıda performans değerini hesaplayabilir. Bunun yanında simülasyonda ortaya çıkan veriler pek çok farklı olası performans değerinin hesaplanmasında kullanılabilir.

Simülasyonun faydaları Halaç tarafından şu şekilde belirtilmiştir (Halaç, 1993);

- Sistemin modeli kurulduktan sonra farklı durumların analizi için istenildiği kadar kullanılabilir.
- Simülasyon yöntemleri, sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda elverişlidir.
- Simülasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayatta olduğundan daha ucuz elde edilir.
- Simülasyon, bir sistemdeki dahili karmaşık etkileşimleri etüt etmek ve bunlar üzerinde deney yapma olanağı sağlar.
- Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi, daha iyi anlaşılması, daha önce görülmemiş eksikliklerin giderilebilmesi, daha etkin fiziksel ve operasyonel sistemin kurulmasını sağlayabilir.
- Simülasyon, değişik koşullar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veya hiçbir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerine deney yapma amacıyla kullanılabilir.
- Simülasyon analitik çözümlerin doğruluğunu gerçeklemek üzere kullanılabilir.

- Simülasyon kullanılan bilgiler için bir çerçeve veya mantıksal bir yapı temin eder.
- Simülasyon tartışmasız olarak operasyonel araştırmalarda çok önemli bir yere sahiptir (Hillier ve Lieberman, 1995).
- Simülasyon, sistemlerinin evrimselliklerini öne çıkararak, dinamik yapılarının incelenmesini zorlar (Erkut, 1992).

Pegden vd. (1995) simülasyonun avantajlarını şu şekilde sıralamışlardır.

- ✓ Yeni politikalar, işletme prosedürleri, karar kuralları, bilgi akışı, organizasyonel prosedürler vb. çalışmalar, sistemin devam eden işleyişini aksatmadan incelenebilmektedir.
- ✓ Yeni donanım tasarımı, fiziksel yerleşim, taşıma ve kaynak kullanımı gibi faaliyetler başlamadan test edilebilir.
- ✓ Bir şeyin nasıl ve niye olduğu hakkında hipotezler test edilebilir.
- ✓ Simülasyon ile modellenen sistemin zamana göre davranışları izlenebilir.
- ✓ Simülasyon zamanı üzerinde değişiklikler yapılarak, zaman sıkıştırılarak ve genişletilerek sistem davranışı incelenebilmektedir.
- ✓ Sistemdeki değişkenlerin etkileşimi hakkında fikirler elde edilebilir.
- ✓ Değişkenlerin sistemin performansına etkisi ve önemleri hakkında bilgi elde edilebilir.
- ✓ Gerçekleştirilen işlerin, bilgi ve malzemelerin, süreç içerisinde nerelerde fazlaca beklediğini gösteren darboğaz analizleri yapılabilir.
- ✓ Simülasyon çalışması, bireylerin sistem hakkında ne düşündüklerinden ziyade sistemin gerçekte nasıl çalıştığının anlaşılmasına yardımcı olur.
- ✓ Simülasyonla değişik senaryolara (What-if analysis) cevap bulunabilir. Bu senaryolar özellikle yeni bir sistemin tasarımında faydalı olmaktadır.

#### **3.4. Simülasyonun Dezavantajları**

Schmidt ve Taylor (1970) simülasyonun dezavantajlarını aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

- ✓ Bilgisayarlarda oluşturulan simülasyon modellerinin maliyetleri yüksek olmasının yanında modellerin oluşturulması ve doğrulanması uzun zaman alabilir.

- ✓ Kullanıcıların simülasyona aşinalığı arttıkça analitik yöntemlerin yeterli olabileceği durumlarda bile simülasyon kullanımına yönelmelerine sebep olmaktadır.

Pegden ve arkadaşlarının (1995), simülasyon uygulamaları konusundaki yapmış oldukları eleştiriler ise şunlardır;

- ✓ Modelleme özel bir eğitim gerektirmektedir.
- ✓ Zamanla ve tecrübe ile öğrenilen bir sanattır.
- ✓ İki farklı bireyin geliştirdiği modellerin benzerliği olmasına rağmen her ikisinin tamamıyla aynı olması pek mümkün değildir.
- ✓ Simülasyon sonuçlarını yorumlamak zordur. Bir çok simülasyon çıktısı rassal değişkenler oldukları için (Rassal girdilere bağlı oldukları için) gözlemin sistemdeki etkileşimlerin mi, yoksa rassallığının bir sonucu olduğu kesin değildir.
- ✓ Simülasyon modellemesi ve analizi, zaman alıcı ve pahalı olabilmektedir.
- ✓ Modelleme yaparken kaynaklarda cimrilik etmek, analizin ve simülasyon modelinin, iş için yetersiz olmasına sebep olabilir.
- ✓ Kesin çözümün analitik yöntemler ile aranmasının mümkün ve belki de daha doğru olduğu bazı problemlerde simülasyon kullanılmaktadır. Özellikle kapalı devre kuyruk modelleri ile ilgili çalışmalar buna örnektir.

### 3.5. Simülasyon Sürecinin Aşamaları

Simülasyon; analitik, istatistik vb. birçok mühendislik gereçlerinin bir arada kullanıldığı kapsamlı bir tekniktir. Bu nedenle model kurulurken, sistem çok iyi anlaşılmalı ve sistemin performansını etkileyen karmaşık neden-sonuç ilişkisiyle sistem kategorize edilmelidir. Ayrıca simülasyon çalışmasına katılan herkes tarafından çalışmanın amaçlarının, varsayımlarının ve sonuçlarının anlaşılması büyük önem taşımaktadır.

Simülasyonun uygun bir çözüm olup olmadığına karar vermek için problemin yapısı hakkında yeterli derecede temel bilgi toplanmalıdır. *Şekil 2.1*'de simülasyon sürecinin aşamaları gözükmemektedir.



*Şekil 3.1. Simülasyon Sürecinin Aşamaları (Aydın vd., 2007)*

### **3.5.1. Problem Tanımlama ve Hedeflerin Durumu**

Simülasyon ile modelleme yaparken etkili ve gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için sistem parçalarının detaylı olarak incelenmesi ve çalışmanın buna göre hazırlanması gerekir. Simüle edilecek modelin kesin ve öz bir tanımının yapılması, tahmin edildiği kadar kolay bir işlem olmayabilir. Simülasyon çalışmasının amaçları, genellikle üzerinde çalışacak problemin durumuna göre belirlenir. Çünkü model kurulduktan sonra kurulan modelin problemi çözmesi ya da çözüm yaklaşımları konusunda kullanıcıya fikir vermesi gerekmektedir.

Her simülasyon çalışması kapsamlı bir amaç ifadesi ile başlamalı ve en önemli konular ifade edilmelidir. Böyle bir açıklama olmadan başarı beklemek doğru değildir. Alternatif sistemler her zaman göz önünde bulundurulmalıdır (Law ve Kelton, 1991).

Modelin kurulmasında, analist sistemin bütün bileşenlerini belirtecek ve bu bileşenler arasındaki ilişkiler açıklanacaktır (Altaylı, 1994).

Bir çalışmanın ilk amacı, çalışmanın açık ve net olarak belirlenmesidir. Çalışma amacının tanımlanmasının önemli bir parçası da araştırmanın sonuçlarını ölçecek olan ölçütlerin belirlenmesidir. Bu ölçütlerin sayısı çalışma alanına göre değişecektir. Örneğin bir çok endüstri sistemlerinin optimum performansı çoğunlukla en düşük maliyet veya en büyük kar iken, askeri sistemlerde ölçülecek olan optimum performansın değerlendirilmesinde para aynı ağırlığı taşımayacaktır (Aydın, 2007).

Çalışmanın amacının doğru olarak belirlenmesi çok önemlidir çünkü belirlenen amaç doğrultusunda bir sonraki aşama olan veri toplama ve analiz işlemleri yapılmalıdır.

Veri toplamak amaca yönelik olmalıdır. Çalışmanın amaçlarını başarıyla sonuçlandırarak bilgi üzerine yoğunlaşmasından ziyade, veri toplamak bir amaca yönelik olmalıdır. Hakkında çok az bilgiye sahip olunan sistemler için tahminlerde bulunulmalıdır. Karşılıklı anlaşıldığı sürece tahminde bulunmanın olumsuz bir tarafı yoktur. Herhangi bir tasarı çalışması, tamamlanmış veya doğru bilginin olmadığı durumlarda tahminler verimli bir şekilde kullanılmalıdır (Sevgin, 2000).

### **3.5.2. Verilerin Toplanması ve Analizi**

İlk aşamada belirlenen problem amacı doğrultusunda veri toplama ve analiz aşamasına geçilir.

Simülasyon deneyleri için ihtiyaç duyulan veri iki temel çerçevede ele alınabilir.

- ✓ Parametrelerin değerleri, değişkenlerin davranışını ve ilişkilerin biçimini öngörebilmek için geçmişe yönelik veriler.
- ✓ Veriler kaynağında bulup yakalayarak, tüm verilerin güncelleştirilmesini sağlayacak veriler.

Öncelikle hangi tür veriye ihtiyaç duyulduğu belirlenmelidir. Bu aşağıdaki değerleri tahmin etmek için gereklidir;

- ✓ Sistemin parametreleri: Rassal değişkenlerin yoğunluk parametreleri, maksimum kuyruk uzunluğu, depolama sınırlamaları,
- ✓ Sistemin değişkenlerinin tanımı: Rassal değişkenlerin olasılık dağılımları,
- ✓ Sistemdeki ilişkilerin biçimleri: İçsel bileşeler arasındaki bağımlılık.

Kullanılan veriler, geçerlilik, verilerin dağılımı, teorik dağılımlara uygunluk ve simülasyonun başarısını etkileyen faktörlerdir. Bilgiye nadiren tek bir kaynaktan ulaşılır.

Belirli bir veri kaynağını kullanıp kullanılmamaya karar verirken kaynağın uygunluğunu, güvenilirliğini ve kolay bulunabilirliğini göz önünde bulundurmak önemlidir. Kaynağın güvenilirliği, modelin geçerliliğini etkileyecektir. Sonuç olarak kaynağa ulaşmakta zorlanıyorsa, uzak bir yerdeki benzer bir işlem merkezi gibi ulaşılmadan geçilmesi gerekebilir (Sevgin, 2000).

### **3.5.3. Model Geliştirme**

Modelleme genellikle sistemin soyut bir ortamın oluşturulmasıyla başlar ve gittikçe daha detaylı bilgilerin eklenmesiyle devam eder. Bu soyut model, sistemin mantıksal bir modelidir ve sistemdeki olaylar arasındaki ilişkileri tanımlar (Altaylı, 1994).

Hill (1996), bir model fikrinde birbiriyle bağlantılı üç kavram olduğunu ileri sürmüştür. Bu üç kavram ise şunlardır;

- ✓ Bir model gerçek bir sistem ile benzeşmelidir,
- ✓ Bir model gerçek bir sistemin basitleştirilmiş bir teşkili olmalıdır,
- ✓ Bir model gerçek bir sistemin ideal bir hali olmalıdır.

Pratikte bir model, modellenecek olan gerçek bir sistemin gözlemleri baz alınarak oluşturulur.

Simülasyon modellerinin geliştirilmesi üç ana adımdan oluşmaktadır. Buna göre model geliştirme de ilk adım, gerçek sistemin ve sistem elemanları arasındaki etkileşimin gözlemlenmesi ve sistem davranışı ile ilgili verilerin toplanmasıdır. Fakat sistemi anlamada gözlem, tek başına çoğu zaman yetersizdir. Sistemi tanıyan insanların, sistem bilgisinden faydalanılmalıdır. Operatörler, teknisyenler, bakım ve tamir personeli, mühendisler ve yöneticiler sisteme ait özel durumlar konusunda bilgi sahibidirler. Bu sebeple model geliştirildikçe ve yeni sorular açığa çıktıkça, model geliştirici sistemi iyi bilen kişiler ile ortak çalışmalıdır.

Model geliştirmede ikinci adım, sistem ve parçaları hakkında varsayımlar dizisi ve girdi parametrelerinin değerleri ile ilgili hipotezlerin kurulmasıdır. Geçerlilik, kavramsal modelin gerçek sistemle karşılaştırılmasıdır.

Model geliştirmede üçüncü ve son adım ise kavramsal modelin bilgisayar modeline çevrilmesidir. Model kurma doğrusal (sıralı) bir süreç değildir. Aksine, model kurucu her bir aşamaya (modeli kurma, doğrulama ve modelin geçerlilik analizi) birçok defalar dönebilir (Türkan, 2008).

#### **3.5.4. Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Araştırılması**

Bir bilgisayar modeli, eğer modellenen gerçek dünya sisteminin ürettiği sonuçlara yakın sonuçlar üretiyor ise, bu model geçerli bir modeldir. Model mantığı doğru değil ise ve gerçek sistemi temsil etmediği saptanırsa bunlar giderilmeden bir sonraki aşama olan senaryoların oluşturulması aşamasına geçilemez.

Her deney gerçek evrenden (ana kütlede) alınan bir örneği temsil ettiği için istatistiksel örnekleme hataları kaçınılmazdır. Bu nedenle simülasyon modelleri ile ana kütle parametreleri hakkında belli bir olasılıkla belli bir güven aralığında tahminde bulunabilmek ve istatistiksel deney hatalarını kabul edilebilir bir düzeyde tutabilmek için simülasyon deneylerinin çok iyi planlanması gerekir.

Modelin doğrulanmasında ve hataların düzeltilmesinde birkaç farklı yöntemden söz edilebilir. Örneğin sistemdeki parçaların veya müşterilerin hareketlerinin sağlıklı olarak görülebileceği bir hızda animasyon yapılır. Fakat animasyon tek başına bir doğrulama aracı olarak kullanılmamalıdır. Değişkenler ve sayaçlar istenilen sonuçların göstergesi olarak animasyonda kullanılabilir. Diğer bir doğrulama yöntemi de model yapısının bir başka model kurucu tarafından incelenmesidir.

Vazgeçilmez doğrulama araçlarından birisi de modeli “takip (trace)” etmektir (Öztürk, 1997). Değerlendirme, kurulan modelin üzerinde çalışılan sistemdeki problemi yansıtmayı yansıtmadığının belirlenmesidir.

Giriş verilerini değiştirerek, kurulan modelin sonuçlarıyla sistemin kendisini karşılaştırmak, test etme yollarından biridir. Bir başka yaklaşımda, sistemi çok iyi



bilen uzmanların sistemle model arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri bulmalarıdır. Bu işlem “Twing Test” olarak adlandırılır (Öztürk,1997).

Doğrulama ve değerlendirme çalışmaları, tüm simülasyon projesi süresince devam etmelidir.

Geçerlilik Analizi (validation) benzetimi yapılan modelin, doğru olarak modellenmesi ile ilgilidir. Bir modelin gerçek sistemin tam bir temsili olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Geçerlilik analizi genellikle modelin “kalibre” edilmesiyle gerçekleştirilir. Kalibrasyon faaliyeti gerçek sistem ile oluşturulan modelin karşılaştırıldığı tekrarlı bir faaliyettir. Her karşılaştırma neticesinde tespit edilen eksiklikler giderilir, modelde düzenlemeler yapılır. Kalibrasyon gerçek sistem ile simülasyon modeli arasındaki farklılıklar kabul edilebilir düzeye ulaştığında, sona erdirilmektedir (Türkan, 2008).

Model geliştirenler için en önemli ve zor işlerden birisi, simülasyon modelinin doğrulanması ve geçerlilik analizinin yapılmasıdır. Model geliştirme ve geçerliliğini test etme sürecinde, simülasyon modelini kullananların şüphelerini gidermek ve modelin güvenilirliğini artırmak, modeli geliştirenlerin görevidir. Geçerlilik analizi tekrarlı iki aşamadan oluşmaktadır. Buna göre birinci aşamada sistemi doğru temsil eden bir model kurulur. İkinci aşamada ise, modelin güvenilirliğinin kabul edilebilir bir seviyeye çekilmesine çalışılır. İkinci aşamadan sonra benzetim modeli ile sistem davranışları arasında bir fark olması durumunda, birinci aşamaya dönülerek bu farklılıkların azaltılmasına çalışılır (Türkan, 2008).

Naylor vd. (1966), geçerlilik analizine yardımcı olmak amacı ile geniş kabul gören üç adımlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu adımlar şunlardır;

- ✓ Görünüm geçerliliği olan model geliştirilmesi,
- ✓ Model varsayımlarının geçerlilik analizinin yapılması,
- ✓ Modelin girdi-çıkı dönüşümlerinin gerçek sistemin girdi-çıkı dönüşümleriyle karşılaştırılmasıdır.

### **3.5.5. Senaryoların Oluşturulması**

Simülasyon sonucu sistemde oluşan pek çok aksaklık net bir şekilde ortaya çıkar. Ve sistemde görünen sorunların çözümü için çeşitli alternatif senaryo önerileri oluşur. Her alternatif için bir model geliştirmeden önce, simülasyon uzmanı kabul edilebilir sonuçlar elde etmek için gereken simülasyon zamanını ve modelin eğer mümkünse sabit duruma gelmesi için geçmesi gerekli zamanı hesaplar. Daha sonra değişik sonuçlara göre gerçekçi bir istatistiksel örnek çıkarmak için gerekli olan tekrar sayısını bulur. Çok fazla simülasyon zamanı ve tekrar gerektiren fakat çok fazla bilgi sağlamayan sonuçlar simülasyon maliyetini arttırlar. Deneme tasarımı, alternatiflerin karşılaştırılması ve analizi için yapılır. Amacı simülasyondan elde edilen bilgilerden azami derecede faydalanmaktır. Her deneme için benzer olaylar sırası oluşturulabilir ve alternatifler arasındaki farkı görebilmek için “Varyans Azaltma Teknikleri” kullanılabilir (Altaylı, 1994).

### **3.5.6. Sonuçların Analizi**

Simüle edilen sisteme ait her senaryonun sonuçlarının mutlaka iyi bir şekilde dokümantasyonu yapılmalıdır. Normal raporlara ek olarak yapılacak dikkatli bir dokümantasyon modeli kuran kişinin hangi alternatifin en iyi sonucu verdiğini belirlemesine ilave olarak, yeni alternatifler oluşturabilecek eğilimleri de kolaylıkla görmesini sağlayacaktır.

Simülasyon yapan paket programlar sonuçları sağlıklı bir şekilde saklasa da grafiklerle yapılacak bir takdim çok daha etkili olacaktır (Altaylı, 1994).

Model ile yapılan deneyler sonucu elde edilen bilgi ve veriler başlangıçta belirlenen amaçlar göz önünde bulundurularak çözümlenir, değerlendirilir, karar sečeneklerine ilişkin olarak yorumlanır ve gerçek sistem isleyişi konusunda bir karar verilir. Simülasyon verilerinin analizi ve yorumlanması, deneyin nasıl tasarlandığının ve model kurulurken yapılan varsayımların izini taşır. Simülasyon verilerini incelemenin bir yolu varyans analizidir. Bir diğer yol da çoklu karşılaştırma yöntemidir (Aydın K., 2007).

## 4. ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL

### 4.1. Üretim Kavramı ve Üretimin Tanımı

“Üretim: Doğadaki kaynakların, insan ihtiyaçlarına daha uygun mal ve hizmetler biçimine dönüştürülmesi için geliştirilen, fiziksel, kimyasal, mekanik vb. işlemler topluluğudur” (Çelikçapa, 1995). Üretim ile ilgili literatürde yukarıdaki tanımın benzeri birçok tanım yer almaktadır.

Üretim, mal ve hizmetlerin oluşturulma süreci, üretim yönetimi ise girdileri çıktılara dönüştürerek mal ve hizmetlerin oluşturulması için yapılan faaliyetler dizisi olarak tanımlanabilir (Heizer vd., 2004).

Genel olarak üretim; ekonomik değeri olan mal veya hizmetlerin oluşturulmasını sağlayan faaliyetler bütünü şeklinde tanımlanmaktadır. Üretim yalnızca bir ürünün ortaya çıkması ya da oluşturulması amacıyla yapılan faaliyetler için değil, aynı zamanda bir ürüne değer katmak, değerini artırmak amacıyla yapılan faaliyetler için de kullanılmaktadır (Tanyaş ve Baksak, 2003).



Şekil 4.1. Üretim Süreci (Ersöz ve Ersöz, 2015)

Üretim; tüketici ihtiyaçlarının karşılanması için, kaynakların belirli bir süreçten geçirilerek, tüketicinin ihtiyaç duyduğu ürün veya hizmete dönüştürülmesidir. Bu tanım çerçevesinde sistemin beş temel bileşeni mevcuttur. Üretim süreci, ürün ve/veya hizmetin elde edilmesinde Şekil 4.1 'deki yapıya sahiptir. Bu yapının sonucu

üretimdir. Hammaddenin fiziksel yapısını değiştirmek, taşımak, depolamak, bilgi sunmak vb. faaliyetlerin tümüdür. Üretim fonksiyonunun amacı; istenilen kalite, fiyat, yer ve çeşitte ürünleri etkin ve verimli şekilde elde etmektir (Ersöz ve Ersöz., 2015).

## **4.2. Üretim Tipleri**

Üretim tipleri; ürün özelliklerine, stok politikasına, ürün çeşitliliğine, üretim miktarına, ürüne olan talebe ve üretim yöntemi tekniklerine göre sınıflandırılmaktadır. Üretim tiplerinin sınıflandırılması ile ilgili literatürde farklı görüşler mevcuttur. Bu görüşlerden biri olan Starr ve Gavett çalışmalarında (1968) üretim tiplerini; seri üretim, parti tipi üretim ve siparişe göre üretim olmak üzere üç ana grupta sınıflandırmaktadır.

### **4.2.1. Seri Üretim**

Üretim miktarının çok, ürün çeşidinin az olduğu üretim tipidir. Hat boyunca sisteme giren birimler, aynı sıradaki faaliyetler ile üretilir (Şaştım, 2009). Akış tipi üretim olarak da isimlendirilen seri üretim (Flow-Shop) tipinde ürün çeşitliliği az olduğu için makine ve ekipmanlar özelleşmiş tek veya az çeşitte standart ürün üretmek için tasarlanmıştır. Üretim esnek değildir çünkü ürün ve buna bağlı olarak makine teçhizat özelleşmiş durumdadır ve ürünün fiziksel niteliklerindeki ve bileşenlerindeki herhangi bir değişikliğin yapılması için kısa dönemde mümkün değildir. Seri üretim hattında her tezgâh için standart görev tanımları ve üretim süreleri kesin ve net olarak belirlidir. Bazı durumlarda beklemler, gecikmeler ve ara stokların şişmesi gibi sorunlar oluşabilir bu durumda işlem sürelerindeki farklılıklardan oluşur. Bu problemi gidermek için hat dengelemesi gerçekleştirilir.

Seri üretimde kullanılan makina ve araç-gereçler özel amaçlı olduklarından sadece belirli işler için kullanılırlar. Bu sebeple çalışma hızları ve kapasite kullanım oranları oldukça yüksektir. Üretim planları piyasanın ve firmanın durumu dikkate alınarak yapılan talep tahminleri sonucu yapılmaktadır.

Tesis içi yerleşim ürünün akış planına uygun şekilde tasarlanmıştır bu sebeple iş akışı düzgün bir şekilde ilerlemektedir. Seri üretimde sınırlı sayıda çıktı üretildiği ve ürüne göre yerleşim düzeni benimsendiği için, aynı hatta farklı bir üretim demek o

hattın baştan sona yeniden düzenlenmesi anlamına gelmektedir. Ürüne ait üretim süresi seri üretim hattında ki en yavaş ilerleyen operasyon süresine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu durumda hat dengeleme problemini ortaya çıkarır. Küçük bir arıza veya aksak tüm hattın durmasına sebep olabilmektedir. Seri üretim sistemlerinde her tipteki ürün çeşidi için ayrı bir üretim hattının gerekliliği makina ve araç-gereç yatırımının yüksek olmasına sebep olacaktır (Çınar, 2010).

#### **4.2.2. Parti Tipi Üretim**

Üretim taleplerinin partiler halinde olduğu üretim tipidir. Bu tip üretimde ürün çeşidi fazladır. Üretim partiler halinde gerçekleştirdiği için seri üretime oranla üretim esnekliği yüksektir. Üretim partiler halinde yapıldığından ve ürün çeşidi fazla olduğu için genel amaçlı tezgâhlar kullanılır. Seri üretimde olduğu gibi ürüne göre yerleşim yapılmadığından malzeme taşıma fazladır. Tezgâhlar arası taşıma çok olduğundan, ara stoklarda yüksek miktarda bulunur, üretim planlama süreci karmaşıktır (Şaştım, 2009).

#### **4.2.3. Siparişe Göre Üretim (Atölye Tipi Üretim)**

Ürün çeşidinin çok fazla, üretim miktarının düşük olduğu üretim tipidir. Siparişe göre üretimde ürün çeşidinin fazla olması makine ve teçhizatların ürüne göre özelleşmesini engeller. Siparişe göre üretim gerçekleştiren işletmelerde makine ve teçhizat genel özelliklere sahiptir farklı işler için kullanılabilir niteliktedir bu nedenle üretim esnekliği fazladır. Ara stok miktarı fazladır. Talepte meydana gelebilecek herhangi bir değişkenlik nedeniyle üretim yönetiminde ciddi problemler yaşanır. Üretimde karşılaşılabilecek zorluklar önceden görülebilir ve planlama çalışmaları daha etkin bir şekilde yapılabilir. Üretim planlaması karmaşıktır (Şaştım, 2009).

#### **4.3. Üretim Tiplerine göre Planlama ve Kontrol Faaliyetlerinin Farklılıkları**

Üretim, girdileri bir dönüşüme tabii tutarak, insanoğlunun bir eksikliğini, bir ihtiyacını giderecek mal veya hizmet ortaya çıkarmaktır. Başka bir ifade ile; Üretim, tüketici ihtiyaçlarının karşılanması için, doğal kaynakların belirli bir süreçten geçirilerek, tüketiciyi tatmin edecek ürün veya hizmete dönüştürülmesidir (Ersöz ve Ersöz., 2015).

Günümüzde gelişen teknoloji ve ürünlerle birlikte üretim sistemleri oldukça karmaşık hale gelmiştir (Özkan, 2009). Endüstri devrimiyle birlikte ürünlerin çeşidinin ve sayısının artması bununla doğru orantılı olarak müşteri taleplerinin de artmasına neden olmuştur, artan müşteri taleplerine cevap verebilmek amacıyla işletmeler de üretim kapasitelerini arttırmaya başlamıştır. Hızla büyüyen işletmelerde üretimin koordinasyonu zorlaşmış ve bu durum üretim planlama ve kontrol sistemleri ihtiyacını doğurmuştur.

Üretim planlama işletme kaynaklarını rasyonel olarak kullanarak istenilen kalitede ürünlerin üretilebilmesi konusunda karar alma işlemidir. Başka bir ifadeyle üretim planlama, işletmenin üretim faaliyetlerinin istenilen miktar, kalite, yer ve zamanda; kimler tarafından nasıl, ne şekilde ve ne zaman yapılacağına ilişkin kararlar bütünüdür.

Günümüz rekabet ortamında işletmeler, az miktarda kaynak kullanarak müşteri gereksinimlerine en hızlı yanıt verebilecek şekilde ve yüksek kalitede ürünler üretmeyi amaçlar (Kundakcı, 2013). Kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılabilmesi üretim planının düzgün ve gelişen değişkenliklere uyumlu olmasına bağlıdır.

Üretim planlama, alınan kararların etki zaman aralığına üç gruba ayrılır bunlar; uzun vadeli planlar, orta vadeli planlar ve kısa vadeli planlardır. Uzun vadeli planlar, daha çok üst yönetimi kontrol ve yetkisinde olan işletme için stratejik nitelikteki kararları içeren planlardır. Uzun vadeli planlar firmaları uzun süreli etkiler bu nedenle ciddi analizler ve yorumlar gerektirmektedir. Orta vadeli planlar genellikle operasyondan sorumlu yöneticiler tarafından oluşturulur ve bu planlar belli bir dönem içerisindeki üretim çerçevesini oluştururlar. Bu kararlar da uzun vadeli planlara oranlara daha az olsa da stratejik özellikler içermektedir. Kısa vadeli planlar, bir başka ifade ile üretim çizelgeleri fabrika ve/veya atölye düzeyinde oluşturulur ve günlük, haftalık veya aylık olabilir. Uzun vadeli ve orta vadeli planlar ile kıyaslandığında daha dinamik ve değişkendirler. Kısa vadeli planlar için aylık, haftalık, günlük ya da saatlik revizeler söz konusu olabilmektedir.

Üretim Çizelgeleme operasyonların ayrıntılı günlük planlanmasıdır. Etkin yapılan bir çizelgeleme ile üç amaç gerçekleştirilmeye çalışılır. Bunlar; teslim tarihlerinin

tutturulması yani gecikmelerin minimizasyonu, işlerin sistemde geçirdikleri zamanın azaltılması yani beklemlerin minimizasyonu ve iş istasyonlarının kullanımının (makine, teçhizat ve personel) maksimizasyonudur.

Çizelgeleme ile şu soruların cevapları belirlenir.

- ✓ Hangi iş ne kadar ve hangi operasyon sıralaması ile yapılacak?
- ✓ Hangi işin hangi operasyonu, hangi iş istasyonunda yapılacak?
- ✓ Operasyon ne zaman başlayacak ne zaman bitecek?

Çizelgelemede başka önemli bir konu atölye yerleşimidir. Ürüne göre yerleşim gerçekleştirilmişse sürekli ve hücresele üretim sistemi uygulanmaktadır. Burada işler aynı rota ve sabit bir sıralamaya göre imal edilmekte olup planlaması ve kontrolü kısmen daha kolaydır. Sürece göre bir yerleşim benimsenmiş ise genellikle istem miktarlarının yüksek olmadığı, her işin kendine göre bir rotasının olduğu siparişe göre üretim vardır ki planlaması da kontrolü de zorlaşır.

Günümüzde imalat sistemleri tam sayılı programlama veya statik yollama kuralları kullanılarak statik şekilde çizelgelenir. Fakat bu çizelgeleme gerçek hayatta sipariş gelişi, süreç erteleme, makine bozulmaları gibi sorunları dikkate almadığından çaresiz kalır (Elhüseyini, 2012). Bunun yanı sıra, işletmeler sürekli dinamik bir çevrede faaliyet gösterdiklerinden çizelgelemenin dinamik faktörleri dikkate alması etkin bir çizelgeleme için gereklidir. Literatürde birçok çalışmada çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılık üzerinde durulmuştur. MacCarthy ve Liu (1993), çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılığı dikkate almışlar ve çizelgelerin gerçeğe daha uygun, uygulanabilir olması adına yapılan araştırmalardaki yeni eğilimleri incelemişlerdir. Ayrıca klasik çizelgelemenin uygulamada, çevrenin ihtiyaçlarını karşılamada başarısız olduğunu belirtmişlerdir.

Üretim kontrolü ile de planlama ile bulunan bu cevaplara ulaşıp ulaşılmadığı denetlenir ve oluşan sapmaların nedenleri araştırılır. Planlama faaliyeti, kontrol faaliyeti ile iç içe geçmiş bir yapıdadır. Planlamanın tutturulması, üretim yönetimini gerçekleştiren kadroların üretime hâkimiyetini ortaya koyar. Planlamanın gerçekleşme oranı, yöneticilerin tesise hâkimiyetinin göstergesidir. Planlanan ile gerçekleşen arasındaki fark bize üretim unsurlarında kontrol altına alamadığımız

unsurların büyüklüğünü de gösterir. Ayrıca üretim sistemleri zamana bağlı sürekli değişim gösteren dinamik yapılarından dolayı, sistemdeki değişimlerin eşzamanlı kontrol edilmelerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Cowling ve Johansson (2002) da çizelgeleme teorisi ile uygulamadaki çizelgeleme arasında önemli bir boşluk olduğunu belirterek çizelgeleme modellerinin ve algoritmalarının gerçek zamanlı bilgiyi kullanmada yetersiz olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca çizelgeleme araştırmalarının, süreç kontrol ve denetleme sistemlerindeki teknolojik gelişmelere ayak uydurmada başarısızlığa uğradığı görüşündedirler. Pratik ile çizelgeleme teorisi arasındaki farklılığı azaltmak adına çalışmalarında süreç kontrol ve denetleme sistemlerinin üretmiş olduğu gerçek zamanlı bilgiyi çizelgeleme problemlerine adapte etmeye yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda da belirtildiği üzere teorideki çizelgeleme yaklaşımları ile gerçek hayatta işletmelerin karşılaştığı çizelgeleme problemleri arasında farklar doğmaktadır. Teori ile pratik arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak adına üretim ortamlarının dinamik yapıda oldukları göz önünde bulundurularak çizelgelemenin bu şekilde dinamik yapılması büyük önem arz etmektedir.

Günümüzde otomasyon, görüntü işleme teknolojisi, radyo frekansı ile tanımlama (RFID) sistemleri gibi geliştirilen teknolojiler ile sistemlerdeki değişimler eşzamanlı olarak algılanabilmekte ve anında kullanılabilir bilgiye dönüştürülebilmektedir. Toplanan bu bilgiler ışığında dinamik çizelgeleme imkânları oluşturulabilecektir. Bu çalışmada incelenen sistemde zamana bağlı olarak değişen şartları eşzamanlı olarak algılayabilen bir yapının oluşturulduğu varsayımı ile sistemin modeli oluşturulmuştur. Çalışma gerçek hayata geçirilirken sistemdeki değişimleri eşzamanlı takip edebilecek yapının kurgulanmış olması hayati önem arz etmektedir. Bu çalışmada denenen, iş merkezlerine iş yükleme öncelik kurallarının yanı sıra sistemden toplanacak anlık verilere göre kararlar alan uzman sistem ve yapay zekâ yaklaşımları da uygulanabilir.



## 5. ÜRETİM PLANLAMANIN EŞ ZAMANLI GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

### 5.1. Sistem Analizi

Son çeyrek yüzyılda bilimsel çalışmalarda en sık ortaya çıkan terim olan sistem, en genel anlamda, belirli bir amaca ulaşmak için birlikte işleyen birbiriyle ilişkili parçaların oluşturduğu bütünü tanımlar (Ersöz ve Ersöz., 2015).

Sistem analizi ise, bir örgüt ya da sistem içindeki etkileşim ağının incelenmesi ve sistemin amaçlarını daha etkin olarak gerçekleştirmesi için yeni ve daha iyi yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesi sürecidir (Semprevivo, 1976).

Sistem yaklaşımına göre sistem çözümlemenin amacı, bir problemi bir bütün olarak alıp onun amaçlarını ve amaçlarının gerçekleşip gerçekleşmediğini ölçen kriterleri incelemek ve bunlar üzerindeki alternatifleri karşılaştırmaktır. Bu incelemenin sonucu, amaç ve kriterlerin yeniden gözden geçirilmesini, başka alternatiflerin oluşturulmasını, yeni etkinlik ve maliyet çalışmalarının başlatılmasını gerektirebilir. Bu adımların tümü ve bir parçası, incelenen öğelerin karar sistemine açıklık getirmesine kadar tekrar edilir. Sistem çözümlemede yalın maliyet çözümlemesinden, matematiksel modelleme ve bilgisayar benzetim tekniklerine dek tüm araçlar kullanılabilir (Ersöz ve Ersöz., 2015).

Sistem analizi için firmada sistem sorumlusu birimler ve bu birimlere bağlı sorumlu mühendislerle beraber çalışılmış ve çeşitli gözlem ve analizler yapılmıştır. Gerçekleştirilmek istenen bu proje doğrultusunda üst yönetim ve mühendislik birimiyle bire bir görüşmelerde bulunulmuş ve sistem analizi bu çerçevede yapılmıştır. Tez kapsamında yapılan sistem analizi sonucunda;

- ✓ Tezgah çizelgeleme ile ilgili yaşanan problemler;
  - İşgücü çizelgeleme ile ilgili yaşanan problemler,
  - İşletme de proje bazlı üretim olması nedeniyle yaşanan problemler,
  - Belirli dönemlerde çalışan sayısındaki talep değişimi problemleri,
  - İşin analizi ile ilgili yaşanan problemler,
  - Dinamik Çizelgeleme ile ilgili problemler,

- ✓ Fiili işçilik saatinin aktarılmasında yaşanan problemler;
  - İşletmede iş emrine bağlı, ürünlere ait iş rotaları, tezgah kodları vs. eksikliği,
  - Üretimle ilgili raporlama sürecindeki eksiklikler,
  - İşçilikle ilgili eksik veriler,
  - Fiili işçilik saatlerin belirlenmesi sürecindeki eksiklikler,
- ✓ Süreçlerin eş zamanlı olarak takip edilememesi;
  - Üretim sürecinde işlemlerin alternatif rotalarla yapılması, ancak bunun sisteme yansıtılamaması,
  - İş emrinin iptali veya beklenmeyen bir duruş yaşandığı durumlarda sürecin dinamik olarak izlenememesi,
  - Üretim sürecinde yaşanan ve stratejik bilgi niteliğindeki bilgilerin aktarımı ve yeniden çizelgeleme süreci dinamik olmaması,

gibi durumlar nedeni ile işletme de çeşitli fırsat kayıpları, gecikmeler vb. durumlar yaşanabilmektedir

## 5.2. Öngörülen Modelin Tasarımı

Önerilen sistem dinamik çizelgelemenin alt yapısını oluşturacak ve simülasyonla atamanın temel dinamiklerini oluşturacak bir veri setinden oluşmaktadır. Bu veri setini oluşturmak ve sistemi çalıştırmak için kullanılan sistem bileşenleri aşağıda anlatılmakta olup 9 adet donanımdan oluşmaktadır. Bunlar iş emri tanımını yapan RFID etiketi, parça kartına göre her bir operasyonu oluşturan barkod, tezgahın barkod bilgisi, parça kartında her bir operasyon için kullanılacak tezgah ve alternatifleri, barkod okuyucu, RFID okuyucu, işçinin yaka kartındaki RFID elemanı, simülasyon yazılımı ve 5 farklı sinyal üreten elektronik devre (kuru kontak) şeklinde tanımlanmaktadır. Bu bileşenleri detaylı olarak incelersek;

*i. **İş Emri Tanımlayan RFID Etiketi;*** İşletmede kullanılan ERP programı IFS dir. Her parti üretim için IFS den iş emri barkodlu olarak alınır ve üretim aşamaları barkod okutularak takip edilir. Sistem kurgusunun barkodlu bir yapıya sahip olması insan kaynağı bağımlılığına neden olmaktadır. Bu durum üretim sırasında yanlış iş emrinin okutulması, iş emrinin hiç okutulmaması, bir önceki iş emrinin kapatılmadan bir sonraki partiye geçilmesi gibi stratejik hatalara yol açmaktadır. Meydana gelen ve

gelebilecek pek çok hatayı önleyebilmek, süreç yönetimini iyileştirmek amacıyla sistemde insan faktörüne bağlı hata kaynaklarının ve işgücü, zaman kayıplarının minimize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla iş emirlerine barkod basımı yerine, RFID etiketi yapıştirılarak tezgah çevresine yerleştirilecek bir okuyucu yardımıyla sistem takibi otomatik olarak yapılabilecektir. Böylelikle manuel süreçle oluşabilecek hatalar yok edilecek, ayrıca zaman ve iş gücü kayıpları da minimize edilebilecektir.

**ii. Parça Kartına Göre Her Bir Operasyonu Oluşturan Barkod;** Önerilen projede üretim sürecinin dinamik olarak çizelgenmesi hedeflenmektedir. Bu şekilde işçilik ve makine kayıpları minimize edilecektir. Bu nedenle üretim gerçekleştirilirken iş emri bazında kontrol yerine operasyon bazlı takip ve üretim gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sebeple iş emirlerinde tanımlı her bir operasyon için bir barkod konulması düşünülmüştür. Böylece RFID etiketi ile hangi iş emrinin gerçekleştirildiği operasyon barkod kodu ile de iş emrine ait kaçınıcı operasyonun gerçekleştirildiği takibi yapılabilecektir.

**iii. Tezgahın Barkod Bilgisi;** İşletmede bulunan her bir tezgaha ait bir barkodun bulunması çizelgeleme esnasında hangi tezgah yüklü hangi tezgah boş bilgisinin takibi için gereklidir. Çizelgeleme dinamik olarak takip edileceği için işlerin gereksiz beklemeleri hem de boş tezgah beklemeleri minimize edilecektir. Bu nedenle tezgah takiplerinin doğru bir şekilde yapılması her tezgahın üzerinde bulunacak kod ile yerlerinin, aşağıda belirtilen donanımlardan biri olan kuru kontak ile de yük de olup olmadıkları durumlarının kontrol edilmesi büyük önem arz etmektedir.

**iv. Parça Kartında Her Bir Operasyon İçin Kullanılacak Tezgah ve Alternatifleri;** Dinamik çizelgeleme sürecinin optimum sonuçlar verebilmesi için üretimdeki alternatif rotaların/tezgahların ürün parça kartlarında bulunması gerekmektedir. Parça kartında bulunan alternatif rota bilgisi mevcut rotadaki tezgahın çeşitli sebeplerle boşalmamış olması veya beklenmeyen bir hata durumunda üretimi durdurmak yerine personeli alternatif rotaya yönlendirecek ve bu durumun diğer üretimler sebebi ile kaosa girmemesi için tüm tezgahlar için optimum yeni bir çizelgeleme ile çözümlenecektir. Böylelikle üretimdeki herhangi bir aksama

nedeniyle oluşabilecek işçilik, süre, makine, üretim vs. kayıplarının minimizasyonu sağlanacaktır.

v. **Barkod Okuyucu;** Sistem kurgusunda tanımlanan barkodlu elemanların okutulması için kullanılacak olan barkod okuyucular sabit ya da hareketli olarak işletmenin talebine uygun olarak kullanılabilir.

vi. **RFID Okuyucu;** Sistem kurgusunda tanımlanan RFID elemanların okutulması için kullanılacak olan barkod okuyucular sabit ya da hareketli olarak işletmenin talebine uygun olarak kullanılabilir.

vii. **Yaka Kartında Bulunan RFID Elemanı;** İşçilerin yaka kartlarında bulunan RFID etiketleri ile hangi tezgahta, hangi işin, hangi işçi tarafından yapıldığı kolaylıkla tespit edilebilir. Bu durum işçi hatasından kaynaklanan herhangi bir ürün hatası veya makine arızasının tespitini kolaylaştıracak ve oluşan hatanın kronikleşmesi önleyecek önlemlerin kolaylıkla alınabilmesini sağlayacaktır.

viii. **Simülasyon Yazılımı;** Projede yapılması planlanan tüm süreç öncelikle Arena ile simüle edilerek alternatif senaryoların test edilmesi, ortaya çıkacak üretim süreleri, tezgah beklemleri, tezgah önünde oluşan kuyruk miktarları gibi olası sonuçlar tespit edilecek ve en uygun senaryo ile sistem kurgusu sağlanacaktır.

ix. **Elektronik Devre (Kuru Kontak);** Kuru kontak sistemleri işletmelerde bulunan üretim makinelerinin dijital veri toplama terminalleri yardımı ile otomatik olarak sürekli takip edilerek merkezi bir birime veri toplanması topolojisine dayanır. Sistem;

- Otomatik Veri Toplama,
- Online İzleme,
- OEE Raporları,
- Duruş Analiz Raporları,
- Hurda Fire Analiz Raporları,
- Üretim Raporları,
- Çizelgeleme fonksiyonları gibi temel işlemleri gerçekleştirebilecek yapıdadır.

İşletmede kurgulanmak istenen sistemde kuru kontak teknolojisi; sistemin dinamik çizelgeleme kurgusunun etkin bir şekilde yapılması ve çalışması için gerekli temel veriyi sağlayacaktır.

### 5.3. Modelin Simülasyon Uygulamasının Yapılması

Atölye tipi imalatta dinamik çizelgeleme problemleri; iş merkezlerinden oluşan ve parçaların kendi rotalarına göre bu iş merkezlerini ziyaret ettiği bir şebeke ağındaki kuyruğa alınması ile ilgili problemlerdir. Atölye içindeki iş merkezleri şebeke ağındaki servis veren kaynaklardır. Bu nedenle ortaya konan amaç doğrultusunda dinamik çizelgeleme problemlerine çözüm aranması öncelik kurallarının kullanılmasına dayanır. Dinamik çizelgelemede kullanılan öncelik kurallarının bazıları, işlerin değişmeyen özelliklerine (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) göre değil; süreç içinde değişen özelliklerine (kalan işlem zamanı gibi) göre de olabilmektedir. Bununla ilgili çalışmamızda üç ana başlık altında dokuz iş merkezinde iş yüklenirken kullanılan öncelik kuralları verilmiştir.

#### i. Teslim Tarihine Göre Oluşturulan Kurallar

En Erken Teslim Tarihi Öncelikli: Burada bir iş merkezine atanacak iş belirlenirken, iş merkezinin önünde işlenmek üzere bekleyen işler arasında en yakın teslim tarihine sahip olan iş seçilir.

$$\pi_{i,k} = T_i$$

Teslim İçin Kalan Süresi En Az Olan İş Öncelikli: Burada işin teslim zamanından, işin geldiği zaman ve işin kalan toplam işlem süresi çıkarılarak elde edilen değer en küçüğüne sahip olan iş, iş merkezine atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = T_i - \left[ t + \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \right]$$

Teslim İçin Kalan Sürenin, Kalan İşlem Sayısına Oranı En Küçük Olan İş Öncelikli: Burada aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan oran değerleri arasındaki en küçük değere sahip olan iş merkezine atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \left( T_i - \left[ t + \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \right] \right) / (n_i - k + 1)$$

Teslim İçin Kalan Sürenin İşin Tamamlanması İçin Gerekli Süreye Oranlanarak Belirlenen Kritik Oranı En Küçük Olan Öncelikli: Burada aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan kritik oran değerleri arasındaki en küçük değere sahip olan iş merkezine atanacak iş olarak seçilir.

$$\text{Kritik Oran} = (\text{İşin Kalan Zamanı}) / (\text{İşin Bitmesi için gerekli zaman})$$

$$\pi_{i,k} = (T_i - t) / \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j}$$

ii. **İşlerin Geliş Sıralarına Göre Oluşturulan Kurallar**

İlk Sisteme Gelen İlk İşlenir: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında sisteme önce gelen iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = A_i$$

İş Merkezine İlk Gelen İlk İşlenir: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında iş merkezine önce gelen iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = G_{i,k}$$

iii. **İşin Sahip Olduğu Değerlere Göre Oluşturulan Kurallar**

İşlem Süresi En Küçük Olan Öncelikli: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında iş merkezindeki işlem süresi en az olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = P_{i,k}$$

Toplam Kalan İşlem Süresi En Küçük Olan Öncelikli: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında kalan tüm işlemlerinin bitmesi için gerekli olan süresi en az olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j}$$

Toplam İşlem Süresi En Küçük Olan Öncelikli: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında baştan sona tüm işlemlerinin bitmesi için gerekli olan süresi en az olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \sum_{j=1}^{n_i} P_{i,j}$$

Bu kurallarda kullanılan ifadeler ve anlamları

$\pi_{i,k}$	i işinin k. operasyondaki önceliği	$n_i$	i işinin operasyon sayısı
$T_i$	i işinin teslim tarihi	$A_i$	A işinin sisteme geliş zamanı
$P_{i,j}$	i işinin j iş merkezindeki işlem süresi	$G_{i,k}$	i işinin k iş merkezine geliş zamanı
T	Çizelgelemenin yapıldığı an		

Bu çalışmada, parti hacmi yüksek olamayan siparişleri karşılamak için atölye tipi imalat sistemine göre yönetilen, sürece göre yerleşimin gerçekleştirildiği yirmi farklı rotaya sahip parçayı, temsili yerleşim planı **Şekil 5.1**'de verilen ve her birinde farklı miktarda tezgah bulunan sekiz iş merkezinde imal eden bir işletmenin dinamik çizelgelenmesine yönelik olarak, yukarıda verilen iş yükleme öncelik stratejileri simülasyon yaklaşımı ile denenerek en iyi ve tatminkar sonucu veren öncelik stratejisi belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen iş yükleme öncelik stratejileri, Arena simülasyon paket programı ile oluşturulan modeller ile çalıştırılmıştır.



### ***Şekil 5.1. Temsili Yerleşim Planı***

Sistemimize siparişler normal dağılım arz eden iki farklı geliş hızına göre çalıştırılmış ve sistemimizin davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu siparişlere ortalaması 100 gün standart sapması 2 gün olan normal dağılıma göre belirlenen süre, geliş zamanına eklenerek teslim tarihi belirlenmiştir. Sipariş içerisinde yer alan tüm parçalar tamamlanıp paketlenerek belirlenen teslim tarihinde sevkiyatı sağlanmaya çalışılmaktadır.





**Tablo 5.1 Parçaların rotaları, iş merkezlerindeki birim operasyon süreleri, olası parti hacimleri ve açılan siparişe girme olasılığı**

Parça No	Operasyon 1		Operasyon 2		Operasyon 3		Operasyon 4		Operasyon 5		Operasyon 6		Operasyon 7		Parti Hacmi	Olasılık
1	m1	10	m2	17	m5	12	m4	4	m7	8					10-20-30	1
2	m1	16	m5	10	m4	8	m8	12	m6	12					10-20-30	1
3	m1	14	m6	8	m3	8	m4	10	m6	12					10-20-30	1
4	m1	12	m6	4	m3	8	m4	14	m5	8	m3	8	m6	10	10-20	1
5	m1	10	m4	6	m3	12	m5	13	m4	11	m6	5			10-20-30	1
6	m1	11	m2	10	m3	10	m4	7	m5	8	m4	12	m6	9	10-20	0,7
7	m1	9	m3	11	m4	14	m5	10	m4	12	m6	9			10-20-30	0,7
8	m2	11	m4	9	m5	9	m7	9	m8	11	m6	11			10-20-30	0,7
9	m2	9	m5	8	m4	12	m7	11	m6	10					10-20-30	0,7
10	m2	7	m3	11	m4	11	m8	11	m6	15					10-20-30	1
11	m2	8	m5	16	m6	11									10-20-30	1
12	m2	10	m5	9	m4	13	m8	10	m3	12					10-20-30	1
13	m2	4	m5	16	m4	12	m3	11	m4	14	m6	7			10-20	0,7
14	m2	8	m5	10	m4	5	m3	10	m2	11	m7	10	m4	12	10-20	0,7
15	m3	14	m6	12	m4	14	m8	14	m7	10					10-20-30	1
16	m3	8	m5	10	m4	10	m7	13							10-20-30	1
17	m3	14	m4	5	m8	12									10-20-30	1
18	m3	11	m5	16	m4	15	m6	10							10-20-30	0,7
19	m3	8	m4	11	m7	10	m6	12							10-20-30	0,7
20	m3	9	m5	13	m4	6	m8	12	m6	12					10-20-30	0,7

**Tablo 5.1'**de görüldüğü üzere ilk sütun sistemden rastgele seçilen 20 parçayı temsil etmektedir. Operasyon sütunları parçanın hangi tezgaha gideceğini ve ne kadar süre işlem göreceğini gösteren değerleri içermektedir. Parti hacmi sütununda yer alan standart parti hacmi değerlerini içermektedir. Bu değerler bazı ürünler için 10-20-30 olabilirken, bazı ürünler için sadece 10-20 olabilmektedir. Parti hacmi değerinin belirlenmesi için eşit olasılık değerleri mevcuttur. Son sütunda yer alan olasılık değeri ise açılan siparişte o parçanın bulunup bulunmama ihtimalini ifade etmektedir. Bu değer yapılan analizler sonucunda %100 ya da %70 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 8 adet iş merkezi oluşturulmuş ve bu iş merkezlerinde bulunan tezgah sayıları da **Tablo 5.2**'de verilmiştir.

**Tablo 5.2 İş merkezlerindeki tezgâh sayıları**

	<i>İş Merkezi</i> <i>1</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>2</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>3</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>4</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>5</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>6</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>7</i>	<i>İş Merkezi</i> <i>8</i>
<b>Tezgah Sayısı</b>	5	5	9	13	9	10	4	5

Sistem tablolarında belirtilen veriler ışığında Arena 13.50 ile simüle edilmiştir. Sisteme gelen siparişler ilk operasyonlarından başlayarak tanımlı rotalarını takip ederek yapılmakta ve tüm operasyonlarını tamamlayarak mamul depoya gönderilmektedir. Açılan siparişin tüm parçaları atölyede işlenip mamul depoya alınmış ise paketlenerek sevki sağlanmaktadır. Burada iş merkezleri arasındaki taşıma sürelerinin 10 dk da gerçekleşebildiği farz edilmiştir.

İş merkezlerinin önünde bir kuyruk noktası oluşturulmuştur. İş merkezlerinde bulunan eş değer tezgâhlar, boşaldıkları zaman bu kuyrukta işlenmek için bekleyen işler arasından, aşağıda belirtilen öncelik kurallarından birini kullanarak atanacak iş seçilmektedir. Bu çalışmada kullanılan iş yükleme stratejileri şunlardır.

S1: İlk Sisteme Gelen İlk İşlenir

S2: İş Merkezine İlk Gelen İlk İşlenir

S3: En Erken Teslim Tarihi Öncelikli

S4: Teslim İçin Kalan Süresi En Az Olan İş Öncelikli

S5: Teslim İçin Kalan Sürenin, Kalan İşlem Sayısına Oranı En Küçük Olan Öncelikli

S6: Kritik Oranı En Küçük Olan Öncelikli

S7: İşlem Süresi En Küçük Olan Öncelikli

S8: Toplam Kalan İşlem Süresi En Küçük Olan Öncelikli

S9: Toplam İşlem Süresi En Küçük Olan Öncelikli

Bu stratejiler talep geliş hızına ve atölyeye işlerin alınması yaklaşımına göre çalıştırılmışlardır. Denenen talep geliş hızları şunlardır.

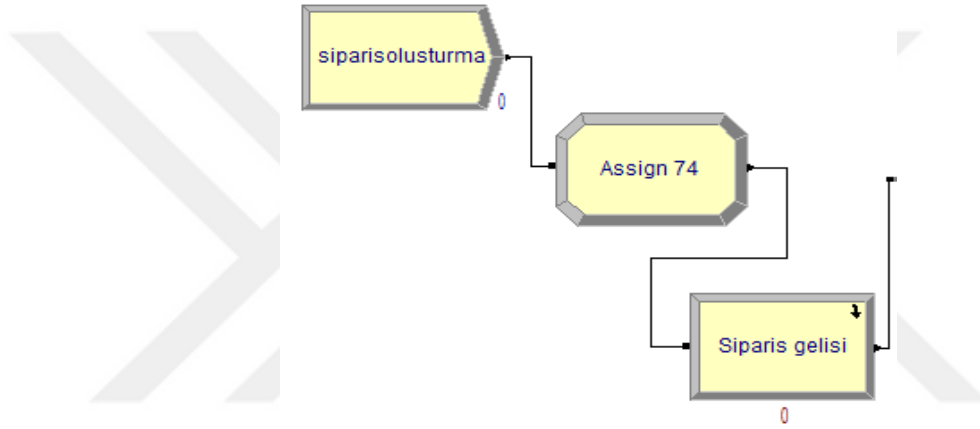
- ✓ **Senaryo I:** Ortalaması 12 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre: Bu sipariş geliş hızı sistemimizde yer alan tezgâh parkımıza dengeli bir şekilde yük veren sipariş hızıdır. Bu sipariş hızında iş merkezlerimizin dolulukları tatminkâr bir seviyede gerçekleşmekte ve sistemimizi kilitleyecek boyutta da kuyruk oluşumları meydana gelmemektedir.
- ✓ **Senaryo II:** Ortalaması 10 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre: Bu sipariş geliş hızı sistemimizde yer alan tezgâh parkımıza kapasitesinin üzerinde bir yük veren sipariş hızıdır. Bu sipariş hızında iş merkezlerimizin dolulukları tatminkâr bir seviyede gerçekleşmekte, fakat sistemimizde zaman içerisinde sürekli artan bir kuyruk oluşumuna neden olmaktadır.

Çalışmamızda denenen atölyeye işlerin alınması yaklaşımları da şunlardır;

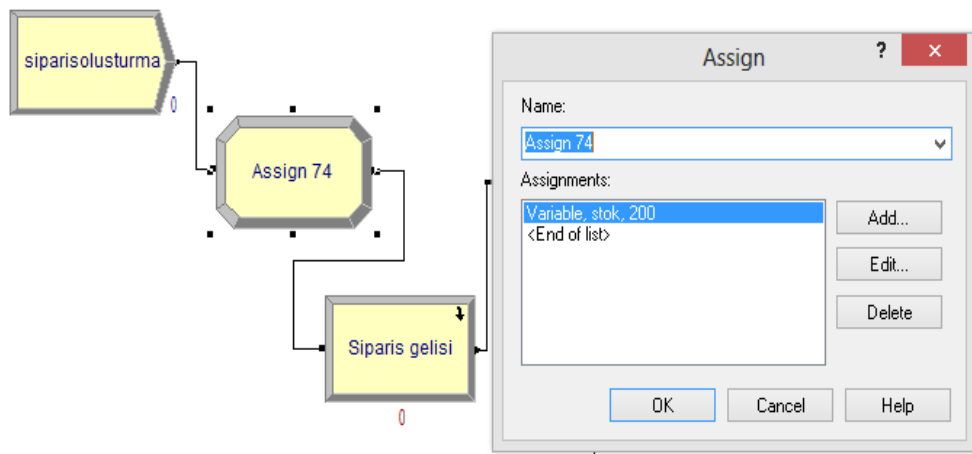
- ✓ **Senaryo (I/II) - I:** Birinci yaklaşımda gelen siparişler atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alınmaktadır.
- ✓ **Senaryo (I/II) - II:** İkinci yaklaşımda ise gelen siparişler atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boyuna bakılarak gelen işler atölyeye alınmaktadır. Bu yaklaşımda ilk operasyonların gerçekleştirildiği iş merkezlerinin önündeki kuyruk boyları beşin altında ise atölyeye girişe izin verilmektedir.

**Senaryo I-I-S1:** Sipariş geliş hızı ortalaması 12 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre, gelen siparişler atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alınmakta ve iş merkezlerine bir iş seçilirken bekleyen işler arasındaki sisteme ilk gelen işin tercih edileceğini ifade eder.

Simülasyon yapısını detaylı olarak incelemek için **Senaryo I-I-S1** kurgusu aşama aşama gösterilmiştir. Diğer senaryolarda benzeri şekilde sistem ihtiyaçlarına uygun olarak kurgulanmış ve simüle edilmiştir. Simülasyonda öncelikle sipariş gelişleri **Şekil 5.2**'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

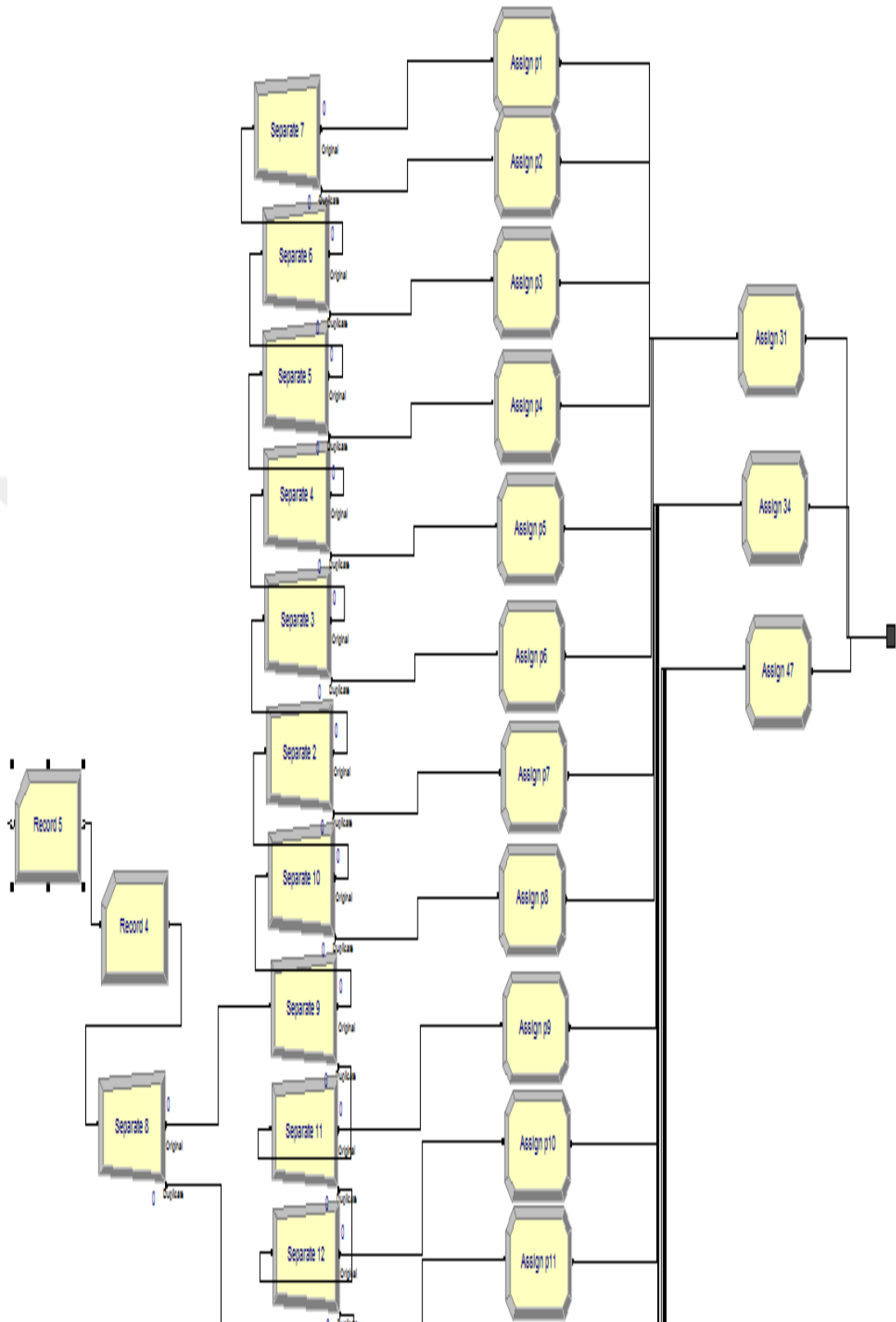


**Şekil 5.2. Sipariş Oluşturma**



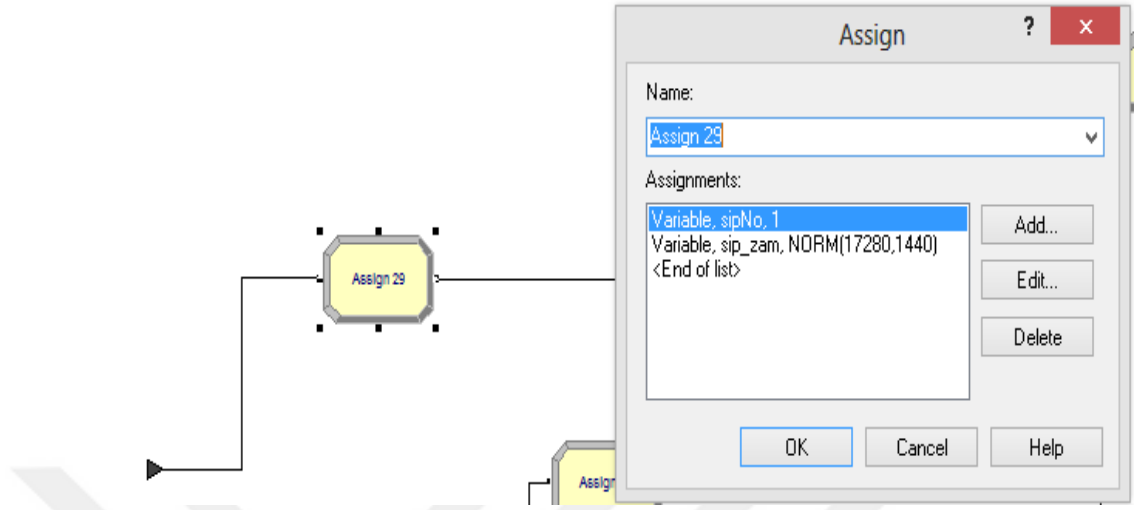
**Şekil 5.3. "Assign" Modülünün Tanımlanması**





**Şekil 5.5. “Submodel-2”**

Şekil 5.4’de yer alan “Submodel-1” Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de daha detaylı olarak incelenmiştir.



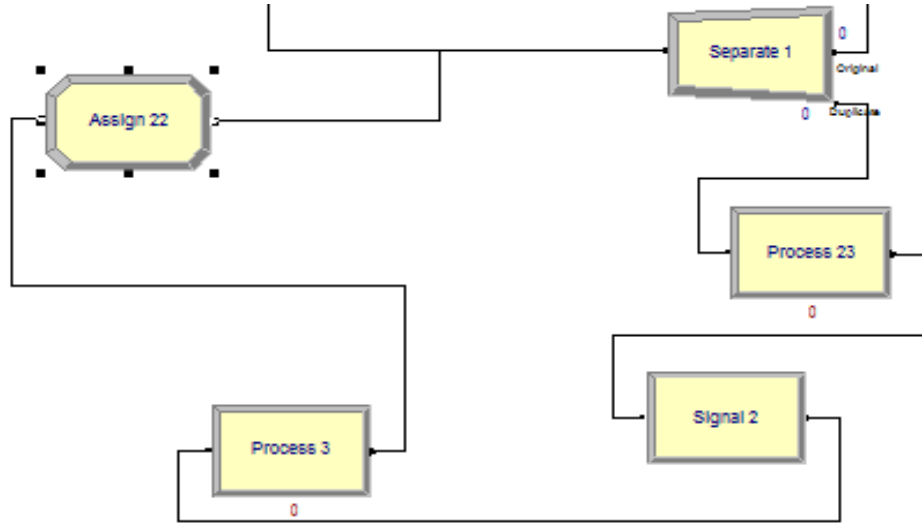
Şekil 5.6. “Assign” Modülünün Tanımlanması

Sipariş gelişlerinin tanımlanması ile ilgili ilk adım olarak sipariş gelişleri senaryo gereği sipariş geliş hızı ortalaması 12 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre sağlanmıştır. Sipariş gelişleri;

$$12 \text{ Gün/Saat} * 24 \text{ Saat/Gün} * 60 \text{ Gün/Dakika} * 60 \text{ Saniye/Dakika}$$

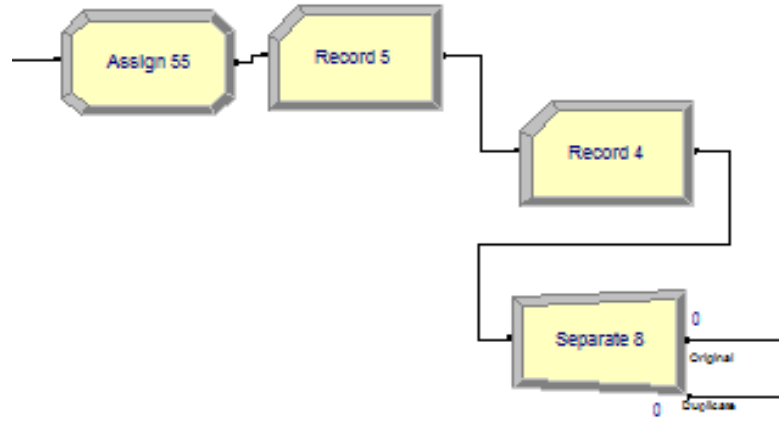
olarak hesaplanmış ve Şekil 5.6’da görüldüğü üzere değerler saniye olarak tanımlanmıştır.

“Assign” modülünde tanımlama yapıldıktan sonra “Seperate” modülü ile gezen birime ait bir kopya oluşturulmuş kopyası sistemin sonsuz döngüye girmemesi için bir “Signal” e bağlanmış ve sipariş zamanı kadar bekletilmiştir. Daha sonrada yeni bir sipariş açılması için sipariş numarası bir arttırılarak yeniden “Seperate” ile sipariş üretilmesi sağlanmıştır. Bahsedilen bu yapı Şekil 5.7’de görüldüğü gibidir.



**Şekil 5.7. Sipariş Üretme Döngüsü**

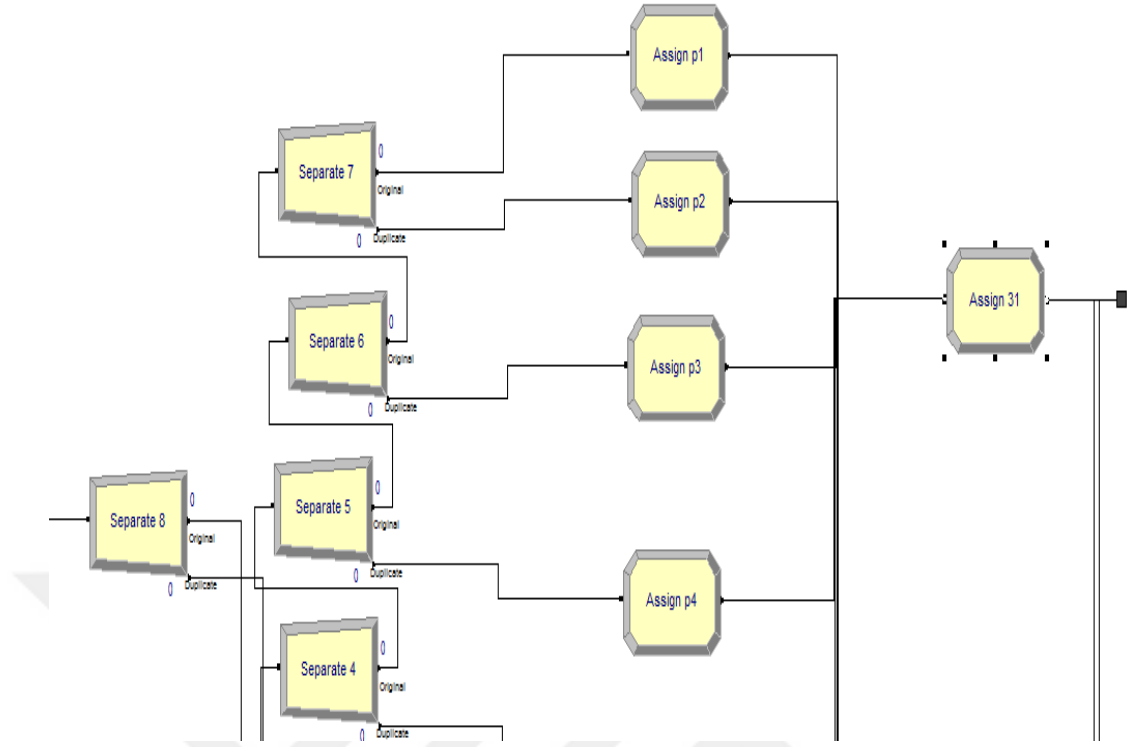
“Seperate” modülünden çıkan orijinal gezen birim ise bir sonraki aşamada bir “Assign” modülüne gönderilerek daha sonra raporlama sürecinde kullanılacak olan teslim tarihi, parti no ve geliş zamanı gibi değişkenler atanmıştır. Sonraki “Record” modülleri ile girişler arası süre ve giren parti adedi saydırılmıştır. Bu durum **Şekil 5.8**'de gösterilmektedir.



**Şekil 5.8. Sipariş Süreci İle İlgili Değişken Tanımlama ve Rapor Oluşturma**

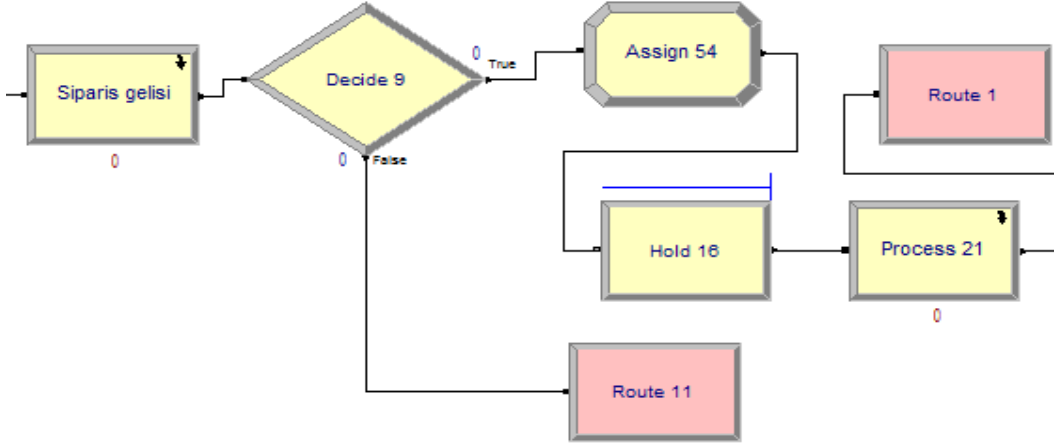
**Şekil 5.9**'da küçük bir parçası görülen süreçte ise **Tablo 5.1**'de yer alan 20 adet parça için açılan o sipariş de olup olmaması, var ise parti hacminin olasılık değerlerine göre atanması parçaya ait kimlik bilgilerinin atanması ve parça rotalarının “Sequence” olarak tanımlanması sağlanmıştır.



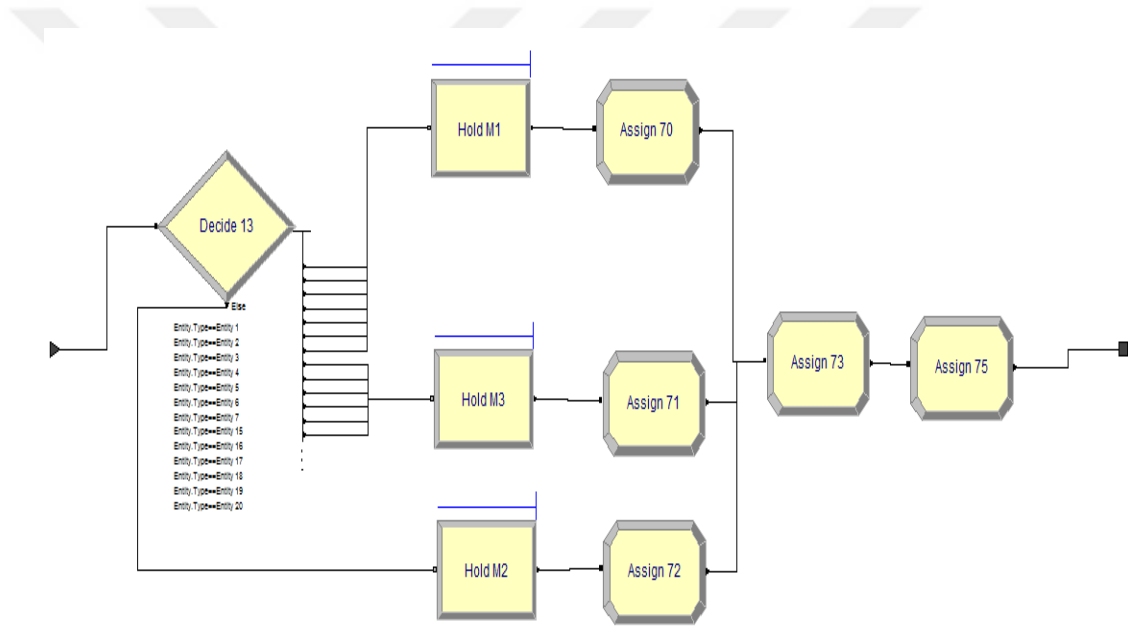


**Şekil 5.9. Açılan Siparişlerde Parça İle İlgili Bilgilerin Atanması**

Sipariş sürecine ait bütün detaylar “Submodel” de tanımlanmıştır. Sonraki aşamada ise bir “Decide” modülü ile her açılan sipariş listesinde yer alan 20 adet parça için var mı? sorusunun kontrolü sağlanır. Daha önce **Tablo 5.1**'de gösterildiği gibi her parça %100 siparişte olmak zorunda değildir. Bazı parçalar için siparişte yer alma olasılığı %70 dir ve bu durumun kontrolü **Şekil 5.10**'da görüldüğü gibi “Decide” modülü ile sağlanmıştır. Parça ile ilgili eğer sipariş yok ise “Route 11” e gönderilmiştir. Buradan da çıkış istasyonuna yönlendirilerek gerekli raporlar üretilecek ve “Dispose” edilecektir. Eğer sipariş var ise o zaman “Assign” da gerekli atamalar yapılarak daha önce sipariş gelişi ile ilgili **Şekil 5.7**'de yer alan “Signal” modülündeki sinyal için “wait for signal” (Sinyal bekleyen kuyruk (“Hold”)) tanımlanmıştır. Bir sonraki aşamada “Process” modülüne yönlendirilmiş ve oradan da rotasına gönderilmiştir. **Şekil 5.10**'da görüldüğü üzere “Process” in içinde bir alt model tanımlanmıştır ve kuyruk modülünü yönetme süreci olarak bahsedilen alt model **Şekil 5.11**'de anlatılmıştır.

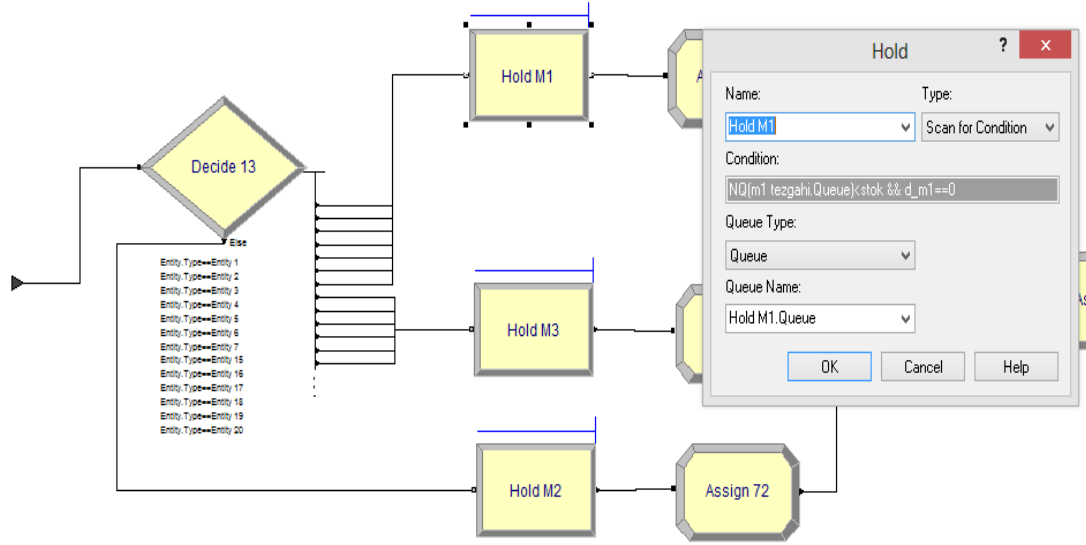


**Şekil 5.10. Siparişlerin Yönlendirilmesi**



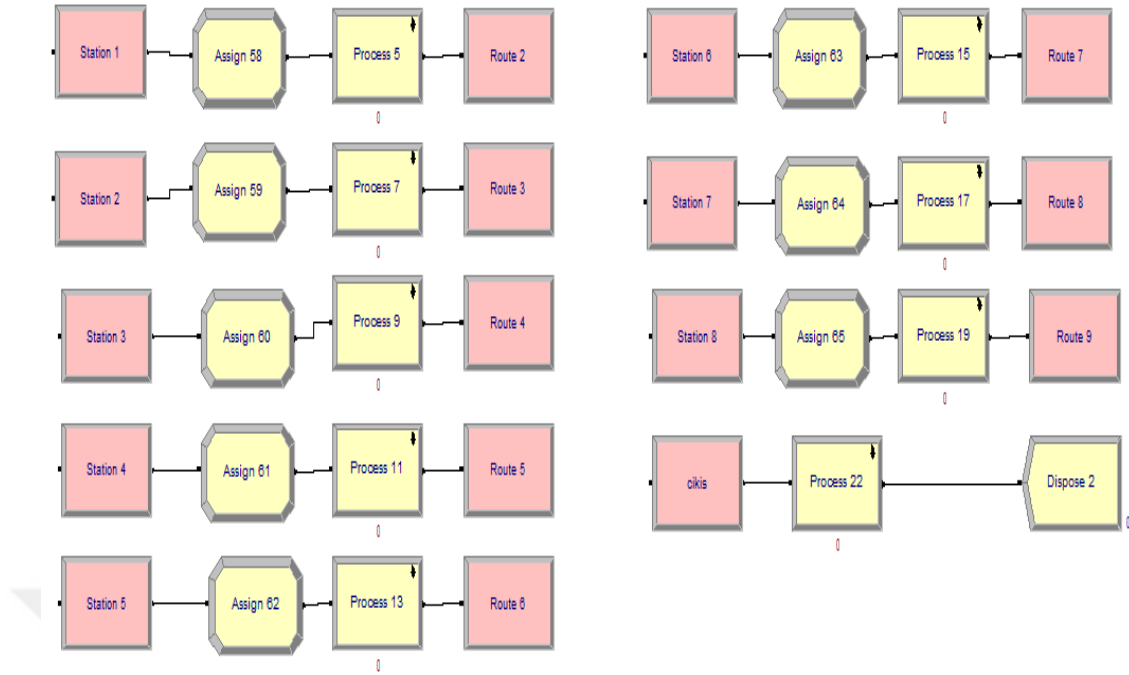
**Şekil 5.11. Parçaların ilk rotalarına yönlendirilmesi**

**Tablo 5.1** incelendiğinde simülasyonda kullanılan 20 adet parçanın m1, m2 ve m3 noktalarından rotalarına dağıldığı görülmektedir. **Şekil 5.11**'de görüldüğü üzere parçaların ilk rotalarına yönlendirilmesi sağlanmıştır. “Decide” modülünden sonra kullanılan “Hold” modülleri ile de m1, m2 ve m3 önünde kuyruk oluşturulmuş ve bu modülde; tezgah kaynağının boş olması ve tezgah önündeki kuyruğun **Şekil 5.3**'de yer alan stok değerinden küçük olması kontrol edilmiştir. Bu durum **Şekil 5.12**'de görülmektedir.



**Şekil 5.12. Hold Modülünün Tanımlanması**

“Process” modülüne bağlı olan alt model *Şekil 5.11* ve *Şekil 5.12*'de anlatılmıştır. Tekrar ana modele dönersek “Process” modülünden sonra “Route” modülü ile rota yönlendirmesi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra parçaların işlem gördüğü her bir tezgah grubu için bir istasyon tanımlaması yapılmıştır. Bu durum *Şekil 5.13*'de gösterilmektedir. İstasyonlardaki işlem süresi, sipariş miktarları, istasyondaki iş merkezi sayısı gibi veri tanımlamaları veri setleri ile yapılarak istasyonlar düzenlenmiştir.



**Şekil 5.13. İstasyon Tanımlamaları**

Son olarak bir çıkış istasyonu oluşturularak sistem sonunda ihtiyaç duyulan çeşitli raporların alınması sağlanmıştır. Simülasyon için tanımlanan;

“Attribute” veri seti **Şekil 5.14**'de yer almaktadır.

Attribute - Basic Process					
	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1	parti_no			Real	0 rows
2	B_size			Real	0 rows
3	varmi			Real	0 rows
4	islem	20	9	Real	135 rows
5	Gel_zam			Real	0 rows
6	Top_is_zam	20	2	Real	40 rows
7	Parti_is_zam			Real	0 rows
8	Kalan_sure			Real	0 rows
9	secim			Real	0 rows
10	Teslim_tarihi			Real	0 rows
11	gecici			Real	0 rows
12	atolye_giris			Real	0 rows

**Şekil 5.14. “Attribute” Veri Seti**

Kaynaklar ve kapasiteleri ile ilgili veriler *Şekil 5.15*'de görülmektedir.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	m1	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	m2	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	m3	Fixed Capacity	9	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	m4	Fixed Capacity	13	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	m5	Fixed Capacity	9	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	m6	Fixed Capacity	10	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
7	m7	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
8	m8	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

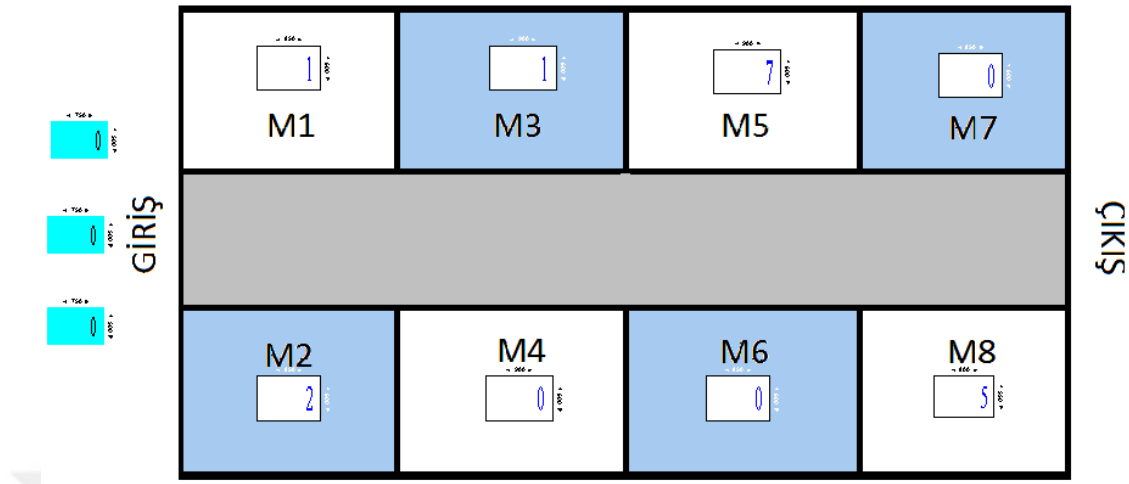
*Şekil 5.15. "Resource" Veri Seti*

Rotalar "Sequence" veri setinde *Şekil 5.16*'da görüldüğü gibi tanımlanmıştır

Sequence - Advanced Transfer			Steps				
	Name	Steps		Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	Sequence 1	6 rows	1	Station 1			0 rows
2	Sequence 2	6 rows	2	Station 2			0 rows
3	Sequence 3	6 rows	3	Station 3			0 rows
4	Sequence 4	8 rows	4	Station 4			0 rows
5	Sequence 5	7 rows	5	Station 5			0 rows
6	Sequence 6	8 rows	6	Station 4			0 rows
7	Sequence 7	7 rows	7	Station 6			0 rows
8	Sequence 8	7 rows	8	cikis			0 rows
9	Sequence 9	6 rows					
10	Sequence 10	6 rows					
11	Sequence 11	4 rows					
12	Sequence 12	6 rows					
13	Sequence 13	7 rows					
14	Sequence 14	8 rows					
15	Sequence 15	6 rows					
16	Sequence 16	5 rows					
17	Sequence 17	4 rows					
18	Sequence 18	5 rows					
19	Sequence 19	5 rows					
20	Sequence 20	6 rows					

*Şekil 5.16. "Sequence" Veri Seti*

Son olarak simülasyon temsili bir animasyonla daha görsel hale getirilmiştir. Bu durum *Şekil 5.17*'de gösterilmiştir.



*Şekil 5.17. Animasyon Ekranı*

Yukarıda belirtilen Arena modeli bahsedilen senaryo yaklaşımlarına göre çalıştırılarak sistem davranışları belirlenmeye ve analiz edilmeye çalışılmıştır.

36 farklı senaryo çalıştırılarak elde edilen Arena simülasyon sonuçları *Tablo 5.3*'de düzenlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında aşağıdaki yorumlar çıkarılabilir.

- ✓ Sistemde işlemi tamamlanmış işler bakımından senaryolara bakıldığı zaman dengeli bir talep hızında (Senaryo I) S4 (Teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli) ve S5 (Teslim için kalan sürenin, kalan işlem sayısına oranı en küçük olan öncelikli) senaryoları bir nebze daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Talep hızının artırıldığı (Senaryo II) ve atölye yükünün artmasına neden olan senaryolarda işlem zamanına dayalı S7 (İşlem süresi en küçük olan öncelikli), S8 (Toplam kalan işlem Süresi en küçük olan öncelikli) ve S9 (Toplam İşlem Süresi en küçük olan öncelikli) senaryoların daha çok işlemi tamamlanmış işlerin oluştuğu görülmektedir.
- ✓ Atölyede bulunan ortalama iş adetleri olarak bakıldığı zaman, talep hızının artırıldığı (Senaryo II) ve atölye yükünün özellikle ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alındığı (Senaryo ...-I)

senaryolarda gerek sistemin gerekse atölyedeki iş merkezlerindeki yüklerin arttığı görülmüştür. Bu oluşan yapı nedeniyle atölyede işlerin geçirdikleri sürelerde de, siparişlerin ortalama gecikme sürelerinde de benzer sonuçlar oluşmuştur.

Atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boyuna bakılarak gelen işlerin atölyeye alındığı (Senaryo ...-II) senaryolarda yukarıdaki artışlar kadar aşırı gerçekleşmediği görülmüştür.

- ✓ Her iki temel senaryoda (Senaryo I ve Senaryo II) atölyedeki iş merkezlerinin kullanım oranları neredeyse tam doluluk seviyesine yakın olduğundan sistemden çıkışlar arası süreler birbirine yakın çıkmıştır. İşlerin sevk edilebilmesi için siparişte yer alan tüm işlerin tamamlanması şartı arandığı için işlem süresine dayanan S7, S8 ve S9 senaryolarında işlem süresi az olan işler öne alındığından siparişler tamamlanamamış ve sevk edilen siparişlerin azalmasına ve bu senaryolarda farklı çıkışlar arası süre oluşumlarına neden olmuştur.
- ✓ Senaryolar sevk edilen siparişlerin gecikmeleri açısından değerlendirildiğinde teslim tarihine dayalı senaryoların S4 (Teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli), S6 (Kritik oranı en küçük olan öncelikli) ve S7 (İşlem süresi en küçük olan öncelikli) senaryolarının biraz daha ön plana çıktığı görülmektedir. Ayrıca geciken sipariş adetlerine bakıldığında, teslim tarihi tayin edilirken dikkate alınan kriterin de yeniden değerlendirilmesinde fayda bulunmaktadır.

Çalışmamızda iş merkezleri arasındaki taşımaların sabit bir sürede gerçekleştirildiği varsayımı ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda taşıma sisteminin sistem üzerindeki yükünü analiz edecek senaryolar oluşturulabilir.

**Tablo 5.3. Simülasyon Sonuçları**

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Gelen Sipariş Adedi	Senaryo I-I	99,00	99,00	99,00	101,00	101,00	101,00	99,00	99,00	99,00
Gelen Sipariş Adedi	Senaryo I-II	99,00	99,00	99,00	101,00	101,00	101,00	99,00	99,00	99,00
Gelen Sipariş Adedi	Senaryo II-I	118,00	118,00	118,00	121,00	121,00	121,00	118,00	118,00	118,00
Gelen Sipariş Adedi	Senaryo II-II	118,00	118,00	118,00	121,00	121,00	121,00	118,00	118,00	118,00

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sevk Edilen Sipariş Adedi	Senaryo I-I	90,00	89,00	90,00	91,00	91,00	92,00	83,00	68,00	71,00
Sevk Edilen Sipariş Adedi	Senaryo I-II	90,00	88,00	90,00	90,00	88,00	88,00	83,00	76,00	74,00
Sevk Edilen Sipariş Adedi	Senaryo II-I	92,00	76,00	92,00	92,00	84,00	83,00	16,00	24,00	20,00
Sevk Edilen Sipariş Adedi	Senaryo II-II	91,00	88,00	91,00	89,00	84,00	86,00	31,00	28,00	24,00



		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Geciken Sipariş Adedi	Senaryo I-I	34,00	53,00	34,00	49,00	46,00	47,00	72,00	57,00	60,00
Geciken Sipariş Adedi	Senaryo I-II	40,00	52,00	40,00	49,00	39,00	41,00	67,00	62,00	60,00
Geciken Sipariş Adedi	Senaryo II-I	80,00	69,00	80,00	81,00	74,00	73,00	15,00	21,00	17,00
Geciken Sipariş Adedi	Senaryo II-II	79,00	81,00	79,00	79,00	72,00	76,00	29,00	26,00	22,00

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo I-I	17453,18	17453,18	17453,18	17262,35	17262,35	17262,35	17453,18	17453,18	17453,18
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo I-II	17951,09	17975,06	17951,09	18058,10	17981,19	18241,40	19466,81	21357,09	21754,38
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo II-I	14669,65	14669,65	14669,65	14366,84	14366,84	14366,84	14669,65	14669,65	14669,65
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo II-II	14669,65	14669,65	14669,65	14366,84	14366,84	14366,84	14669,65	14669,65	14669,65

Senaryo I-I		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sipariş	Senaryo	17992,84	18215,66	17992,84	17744,56	17718,21	17633,87	19447,42	23141,89	22859,39

Çıkışlar Arası Süre	I-I									
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo I-II	17951,09	17975,06	17951,09	18058,10	17981,19	18241,40	19466,81	21357,09	21754,38
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo II-I	17603,85	21102,57	17603,85	17676,92	19281,42	19485,12	105459,95	67211,89	81114,03
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo II-II	17725,25	18346,94	17725,25	18177,39	19026,41	18902,94	52030,97	58690,00	69128,72

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Siparişin Sistemde Geçirdiği Süre	Senaryo I-I	137282,76	153048,49	137282,76	148950,78	146330,40	146169,91	215883,18	208719,46	226483,17
Siparişin Sistemde Geçirdiği Süre	Senaryo I-II	138386,26	152909,05	138386,26	149875,47	151085,09	150956,70	205088,09	208275,92	223133,93
Siparişin Sistemde Geçirdiği Süre	Senaryo II-I	251622,46	346223,67	251622,46	269798,38	295263,67	313296,96	469197,99	371997,02	368033,06

Siparişin Sistemde Geçirdiği Süre	Senaryo II-II	250541,83	287795,64	250541,83	269137,53	290409,82	311760,13	436168,21	366251,61	401817,92
-----------------------------------	---------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Siparişin Ortalama Gecikme Süresi	Senaryo I-I	4416,96	15171,87	4416,96	12315,65	8061,25	6436,74	54510,40	70217,74	64279,97
Siparişin Ortalama Gecikme Süresi	Senaryo I-II	4101,63	14831,33	4101,63	14324,20	13966,21	14423,23	57634,73	60368,29	82453,25
Siparişin Ortalama Gecikme Süresi	Senaryo II-I	100712,39	192793,69	100712,39	115983,76	145827,47	158160,32	278105,45	200455,31	217253,61
Siparişin Ortalama Gecikme Süresi	Senaryo II-II	101116,88	131666,29	101116,88	120079,29	142502,61	148465,09	237390,58	179460,50	188658,61

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
--	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

İşlerin Sistemde Geçirdikleri Süre	Senaryo I-I	96749,86	95218,63	96749,86	115164,36	118532,04	125809,09	85955,87	84391,78	83779,32
İşlerin Sistemde Geçirdikleri Süre	Senaryo I-II	97249,64	95427,27	97249,64	115112,69	117338,68	120997,93	86632,75	85156,02	84980,54
İşlerin Sistemde Geçirdikleri Süre	Senaryo II-I	213686,06	219706,95	213686,06	238800,72	237871,14	228401,82	105859,43	97721,64	91121,68
İşlerin Sistemde Geçirdikleri Süre	Senaryo II-II	213092,21	212057,60	213092,21	237697,63	237789,25	230871,66	107528,86	105917,32	99817,81

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
İşlerin Atölyede Geçirdiği Süre	Senaryo I-I	96724,29	95193,14	96724,29	115138,57	118506,23	125783,28	85930,40	84366,58	83754,10
İşlerin Atölyede	Senaryo I-II	88849,86	87403,11	88849,86	100285,13	100944,11	102428,47	82740,54	80325,25	79870,34

Geçirdiği Süre										
İşlerin Atölyede Geçirdiği Süre	Senaryo II-I	213660,42	219681,86	213660,42	238774,91	237845,51	228376,07	105834,44	97697,48	91097,37
İşlerin Atölyede Geçirdiği Süre	Senaryo II-II	109834,32	112157,16	109834,32	106626,52	110850,96	100913,14	85486,16	87578,32	81024,97

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
İşlemi Bitmiş İş Sayısı	Senaryo I-I	1595,00	1598,00	1595,00	1623,00	1618,00	1612,00	1618,00	1600,00	1612,00
İşlemi Bitmiş İş Sayısı	Senaryo I-II	1596,00	1598,00	1596,00	1624,00	1621,00	1617,00	1611,00	1609,00	1612,00
İşlemi Bitmiş İş Sayısı	Senaryo II-I	1620,00	1581,00	1620,00	1638,00	1631,00	1661,00	1695,00	1726,00	1733,00
İşlemi Bitmiş İş Sayısı	Senaryo II-II	1621,00	1621,00	1621,00	1633,00	1636,00	1646,00	1727,00	1719,00	1723,00

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Atölyedeki Ortalama İş Adedi	Senaryo I-I	93,82	92,58	93,82	113,28	116,49	123,33	84,95	88,69	87,03

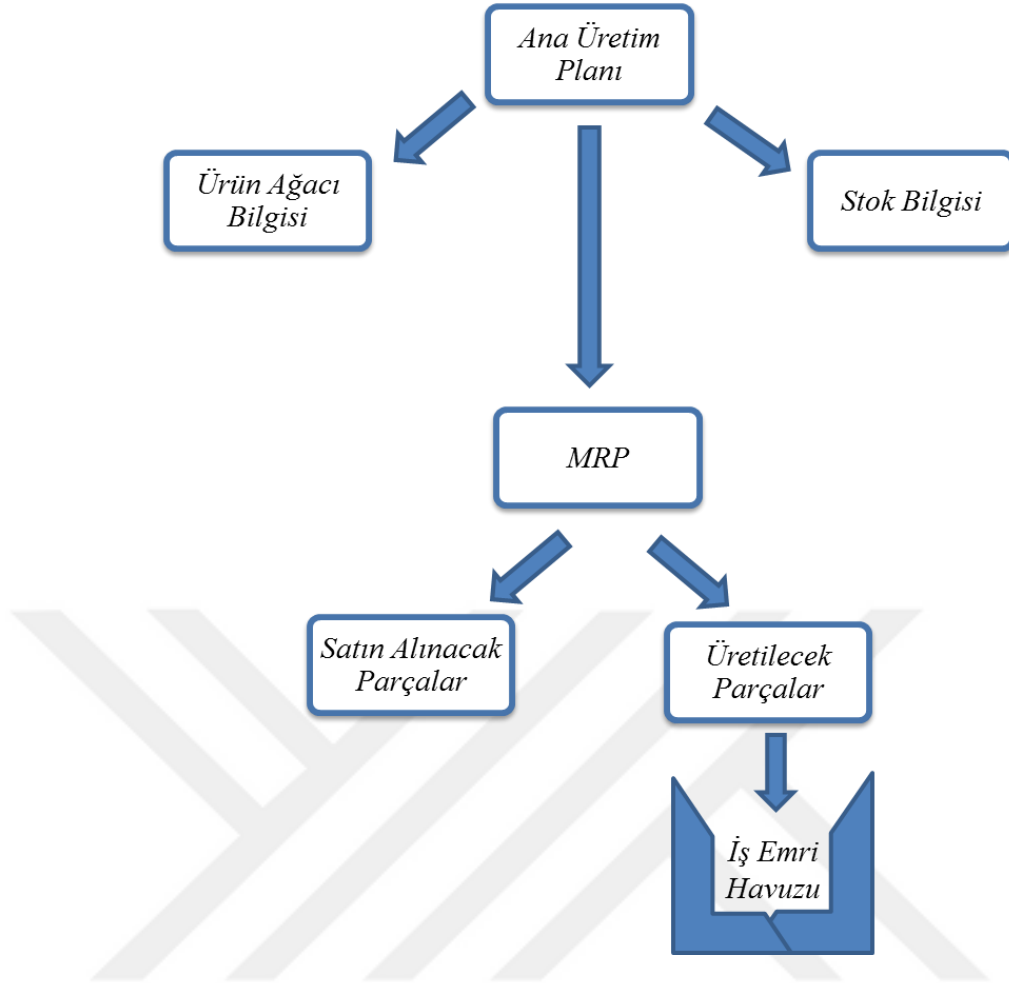
Atölyedeki Ortalama İş Adedi	Senaryo I-II	85,60	84,38	85,60	97,78	97,62	99,14	81,58	81,17	81,23
Atölyedeki Ortalama İş Adedi	Senaryo II-I	245,17	259,63	245,17	278,23	279,00	268,82	206,04	190,50	191,12
Atölyedeki Ortalama İş Adedi	Senaryo II-II	107,99	110,74	107,99	104,60	110,93	100,46	94,25	104,32	100,04

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sistemdeki Ortalama İş Adedi	Senaryo I-I	93,84	92,60	93,84	113,30	116,52	123,36	84,97	88,72	87,05
Sistemdeki Ortalama İş Adedi	Senaryo I-II	94,29	92,78	94,29	113,32	115,72	119,04	85,78	87,19	87,50
Sistemdeki Ortalama İş Adedi	Senaryo II-I	245,20	259,66	245,20	278,26	279,03	268,85	206,07	190,53	191,15
Sistemdeki Ortalama İş Adedi	Senaryo II-II	244,56	244,52	244,56	277,95	278,40	271,40	189,58	193,32	192,97

#### 5.4. Tasarılan Modelin Bütünleşik Uygulamasının Yapılması

Üretim yönetiminin optimizasyonunun sağlanmasında, üretilecek parçaların tezgah ve operatöre doğru ve etkili atanması büyük önem arz etmektedir. Ana üretim planında yer alan projeler *Şekil 5.18*'de ifade edildiği gibi stokta mevcut olup olmadıkları kontrol edilerek ihtiyaç tesbiti yapılmaktadır. Kurumsal kaynak planlama (IFS) programı tarafından söz konusu ihtiyaçların hangilerinin tedarik edilecekleri, hangilerinin üretilecekleri belirlenmektedir. Üretileceklere ait miktar, tarih vb. teknik detaylar iş emri olarak işemri havuzuna düşmektedir. Yapılan çalışma kapsamında tasarlanan model siparişlerdeki yada atölye ortamındaki süreçlerdeki değişimleri gözönüne alarak planlamanın etkinliğini artırmaya çalışmaktadır. Üretim planlamasının verimliliğinde; tezgah ve operatör atamaları ile iş yükünün etkin bir şekilde karşılanması büyük önem arz etmektedir. Atama işlerinin verimliliğini etkileyen 2 önemli parametre bulunmaktadır. Bunlardan ilki proje tipi üretim yapan firmanın siparişlerinde oluşan değişkenliğin (rassallığın) algılanarak sisteme yansıtılmasıdır. Diğer bir ifadeyle atama programının eş zamanlı (anlık olarak) sisteme yansıtılmasıdır. Değişimin ikinci boyutu ise; tezgah, operatör, enerji, hammadde, aparat vb. atölye kaynaklarında oluşan değişimlerin algılanarak eş zamanlı programlara ve çizelgeye yansıtılmasıdır. Örneğin; tezgahın arızalanması, aynı işi yapacak ikinci tezgahın yokluğu, işlemin beklenenden fazla sürmesi, enerjinin kesilmesi, hammaddenin bitmesi, operatörün hastalanması vb. durumlar. Siparişlerdeki ve atölye ortamındaki beklenmeyen bu değişiklikler, bizim statik ortamda yaptığımız planların etkinliğini azaltmakta olup, atamanın optimizasyon şartlarını ortadan kaldırmaktadır.

Tasarlanan modelde değişimin birinci boyutu olan siparişlerin rassallığını kontrol altında tutabilmek ve optimizasyonu sağlayabilmek için yukarıdaki bölümde ifade edilen simülasyon modülü kullanılacaktır. Modül ve simülasyon sonuçları dikkatli incelendiğinde siparişlerin farklılaşması durumunda, farklı senaryolar ve farklı sonuçlar üreterek reel durumun eniyilemesini sağlamaktadır.



**Şekil 5.18. Siparişin İş Emri Havuzuna Düşmesi**

Tasarlanan modelde değişimin ikinci boyutu ise tezgah, operatör, enerji, hammadde, aparat vb. atölye kaynaklarında oluşan değişimlerden kaynaklı düzenlemelerdir. Birinci boyuttaki simülasyon modülü siparişlerdeki değişimleri yansıtırken ikinci boyuttaki atölye şartlarındaki değişimler de göz önüne alınacaktır. Burada değişen durumların modele yansması için 5.2 nolu “**Öngörülen Modelin Tasarımı**” başlığında anlatılan 9 bileşenden 8’i burada etkin olarak kullanılırken simülasyon paketi ilk boyutta daha etkin kullanılmaktadır.

Sistemin çalıştırılması İşemri havuzundan **Tablo 5.4**’de gösterilen kurallara göre 2 temel kural setinden işemri seçerek başlayacaktır. Kurallardan ilki teslim tarihi, ikincisi işlem süresi bu iki kural esas alınarak havuzda iş emirleri seçilecektir. Seçilen işemri **Şekil 5.19**’de ki akış şemasında gösterildiği gibi tezgah ve operatör atama işlemini gerçekleştirmektedir.



Kural setinde yer alan kurallar ve akış şeması yardımıyla yapılacak olan atama işlemi aslında simülasyon tarafından yapılan atama işleminin bir alternatifi niteliğindedir. Simülasyon için ihtiyaç duyulan;

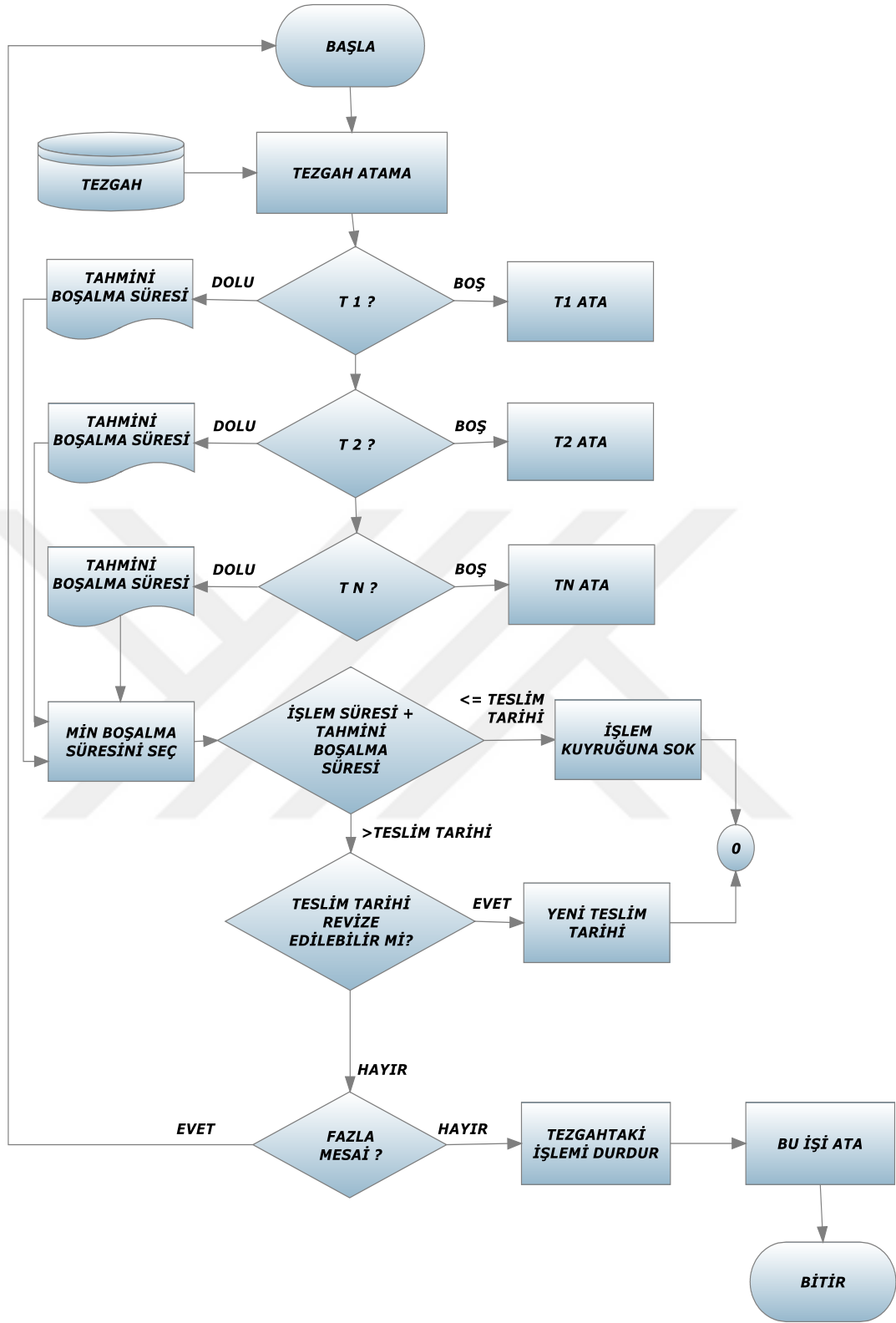
- ✓ Sipariş gelişleri
- ✓ Rota bilgileri
- ✓ Tezgah işlem süreleri
- ✓ Tezgahlar arası taşıma süreleri
- ✓ Alternatif rota bilgileri
- ✓ Ürünün siparişte bulunup bulunmama durumu
- ✓ Siparişe ait parti hacmi vb.

bilgiler eksiksiz bir şekilde tamamlanıncaya kadar bu yapı kullanılacaktır. Yukarıda sayılan veriler tamamlandıktan sonra tezgah ve operatör atamaları tasarlanan ve kodu yazılan simülasyon programı ile atama işlemi gerçekleştirilecektir.

**Tablo 5.4. Kural Seti**

<u>KURAL 1</u>	Teslim Tarihi En Erken Olanı İlk Al
<u>KURAL 2</u>	Teslim Tarihi Aynı Olanlarda İşlem Süresi Kısa Olanı İlk Al

Bu aşamadan sonra tasarlanan dinamik çizelgeleme modülünün atölye içi atama işlemleri **Şekil 5.19**'de ifade edildiği gibi olup tezgah atamaları bu akış şemasına göre gerçekleştirilmektedir. Benzer bir atama operatörler içinde yapılmaktadır. Aslında operatör atamaları noktasında darboğaz olmayıp her tezgahın bir operatörü mevcut olup tezgaha atamanın yapılması beraberinde operatöre de atama yapıldığı anlamına gelmektedir. Zira işletmemizde operatörlerimizde kıt kaynaklar arasında yer almaktadır bazı operasyonlar ve makineler için uzmanlaşmış personel gerekmektedir. Bu nedenle operatör ataması da benzeri kontroller sağlanarak yapılır. Kontroller sonucunda hem tezgah hem operatör ataması yapılan işler için operasyon iş emirleri üretmekte ve üretimin takip ve koordinasyonu bu algoritma ile sağlanmaktadır.



Şekil 5.19. Tasarlanan Modelin Akış Şeması

İşletmede IFS kurumsal kaynak planlaması programı kullanılmaktadır. Alınan her bir projeye yönelik iş emirleri IFS tarafından üretilmektedir. İş emri havuzuna gelen iş emirleri üzerlerine basılı olan barkodlar vasıtası ile tanımlanarak parça kartları sistemden bulunmaktadır. Parça kartları **Şekil 5.20**'de gösterildiği gibi olup bir parçanın tamamlanabilmesi için gerekli bütün prosesler bu proseslerin elde edilebilmesi için kullanılan tezgahlar ve eğer varsa alternatif tezgahlar, tahmini işlem süreleri ve proseslerin öncelikleri de parça kartında yer almaktadır.

Barkod	Üretilecekler Listesi		
	Parça Kodu	Miktar	Teslim Tarihi

Parça Kartı			
Operasyon Barkod	Operasyonlar	Tezgah (Alternatif)	Operatör (Alternatif)

Parça Kartı			
Operasyon Barkod	Operasyonlar	Tezgah (Alternatif)	Operatör (Alternatif)

**Şekil 5.20. Parça Kartı**

Algoritmanın havuzdaki iş emrini ele alıp buna ait parça kartını sistemden bulup parça kartında yer alan ilk prosesi için tezgah araştırması yapması gerekmektedir. Birinci prosesin yapılacağı alternatif tezgahlardan ilk tezgah (algoritmada T1 olarak ifade edilmiştir.) dolumu yoksa boş mu olduğu kontrol edilir. **Eğer tezgah boş ise atama yapılacaktır.**

Tezgaha atama işleminin yapılması neticesinde;

- ✓ Tezgahın barkodu,
- ✓ Operatör RFID kimlik kodu,

- ✓ İşemrine ait barkod,
- ✓ Parça kartı üzerindeki işleme ait proses kodu, endüstriyel PC'ye veri olarak aktarılacaktır.

Ayrıca tezgah üzerine takılı olan entegre devreden (kuru kontak sisteminden) alınacak 5 farklı sinyalde PC ye aktarılacaktır. Bu sinyaller özellikle dinamik çizelgelemenin yapılabilmesi için eş zamanlı verinin elde edilmesinde büyük önem arz etmektedir. Ayrıca entegre devreden (kuru kontak sisteminden) alınacak olan bu sinyaller standart süre hesabı ve maliyet muhasebesi sistemine de önemli katkılar sağlayacaktır. Bahsi geçen entegre devreden alınacak sinyaller şu şekilde ifade edilebilecektir.

Bunlar;

- ✓ Tezgah off (Tezgaha enerji verilmediği, tezgahın çalışmadığı durum)
- ✓ Tezgah on (Tezgaha enerji verildiği, ancak temizlik, ayar parça bağlama vb. durum)
- ✓ (2) Tezgah yükte (Tezgahın fiili olarak parçayı işlediği durum)
- ✓ (3) Tezgah partiye başladı (İşemrinde geçen miktarın ilk parçasının işlendiği durum)
- ✓ (4) Tezgah partiyi bitirdi (İşemrinde geçen miktarın son parçasının bittiği durum)

şeklindedir. Belirlenen bu kodlar ihtiyaç dahilinde artırılabilir veya azaltılabilir. Üretilen sinyaller diğer verilerin gönderildiği PC'de birleştirilecek ve ihtiyaca göre kullanılacaktır. Örneğin atama işlemini takiben 4 nolu sinyalin gelmesi parça kartındaki tanımlanmış proses'e ait işleminin tamamlandığı ve sistemin bundan sonraki proses için tanımlı tezgaha gitmesi için algoritma başa dönecektir.

**Eğer tezgah dolu ise;** Bu durum birinci tezgahın yani T1'in dolu olduğu durum olup, eğer alternatif tezgah varsa ikinci tezgahın (T2) boş mu dolumu olduğu ve sırasıyla diğer alternatifler (T3, T4..) sorgulanacaktır. Alternatiflerden birinin boş olması durumunda tezgah ataması ve operatör ataması gerçekleştirilecektir.

**Alternatif tüm tezgahların dolu olması durumu;** Sırasıyla uğranılarak atama yapılamayan her bir tezgahın atanmaya çalışılan prosese başlaması için kaç saate ihtiyaç olduğu her bir tezgah için ayrı ayrı tespit edilecektir. Tezgahlardan en erken boşalacak olan tezgaha atama yapmak üzere söz konusu işemrine ait prosesin barkodu sıraya sokulacaktır. Tabii burada hali hazırda işlenmekte olan ve sırada bekleyen diğer işemirlerine ait proseslerin toplam süreleri esas alınacaktır. Söz konusu çevrimde tüm parça ve prosesler sıraya konulmayacak olup bazı parçalar yan sanayii için dışarıya gönderilecektir. Burada sıraya alma ya da yan sanayii alternatifi uzman sistem tarafından gerçekleştirilecektir.

Eğer tezgah dolu ise; o tezgah için tahmini boşalma süresi verisi raporlanır. Bu tahmini süre ve bu süre bitiminde atanan işe ait işlem süresinin toplamı hesaplanır. Hesaplanan bu süre teslim tarihinden küçük ya da eşit ise bu durumda tekrar atama işlemi için döngü başa döner, fakat hesaplanan süre teslim tarihinden büyük ise bu durumda yeni bir teslim tarihinin belirlenme durumu araştırılmalıdır. Yeni bir teslim tarihi belirlenme ihtimalinde döngü yine başa dönerek atama işlemi gerçekleştirilir. Eğer yeni bir teslim tarihi belirlenemiyorsa bu durumda bir başka kontrol noktasına geçilir. Bu kontrol noktası fazla mesai ihtimalini sorgular. Bu sorgulama sonucunda fazla mesai kararı çıkması halinde sistem döngüsü başa döner ve yine sırasıyla atamalar yapılır. Fazla mesai kontrolü sonucu mesai yapılmama kararı alınırsa bu durumda o iş sistemde kritik iş vasfına düşecektir. Eğer sistemde kritik iş vasfına düşen bir iş var ise bu durumda tezgahdaki bir önceki atanan iş durdurulur ve kritik iş vasfındaki üretim önceliklendirilir ve bu iş tezgaha atanır.

**Yansanayii Alternatifi;** İşletmede tezgahların durumu ve parçaların hassasiyeti göz önüne alınarak kural setleri oluşturulacaktır. Oluşturulacak bu kural setinde tezgah grubu, parçanın fonksiyonelliği ve atölyede parçanın kaç saat kuyrukta bekleyeceği gibi parametreler ele alınacaktır. Örneğin dik işleme tezgahında, konveks bir parça 250 saatten fazla kuyrukta bekleyecekse yan sanayii alternatifi düşünülmelidir. Kurgulanan dinamik çizelgeleme sürecinde uzman sistem yapısı bir taraftan atölye içi atamaları gerçekleştirirken, diğer taraftan da yan sanayii alternatiflerini değerlendirmektedir. Yan sanayii temelli çalışmalarda ürünün teslim zamanı, maliyet

ve tedarikçi performans puanı kriterleri olmak üzere üç temel kriter ele alınacaktır. Tedarikçi havuzundaki tedarikçi kuruluşlardan birinci sırada teslim zamanı uygun olanlara, ikinci sırada maliyeti uygun olanlara, üçüncü sırada da performans puanı yüksek olanlara göre süzme işlemi yapılmaktadır. Yan sanayii alternatifi için oluşturulan bu yapı önümüzdeki üç yıl için karar destek sistemi formatında çalıştırılacaktır. Yöneticilerin kararına destek olarak listeler üretilecek olup yöneticinin seçme işlemi yapmasına katkı verilecektir. Takip eden yıllarda bu karar destek sistemi yapısı uzman görüşleri doğrultusunda kural setleri oluşturularak otomatik karar veren uzman sistemlere dönüştürülecektir. Bu modül aynı zamanda yan sanayii de yaptırılacak olan siparişlerin işletmeye giriş çıkışının takip edilmesi sürecinde gerçekleştirileceği modül olacaktır.

Tasarlanan sistem bir taraftan dinamik çizelgeleme yaparken bir taraftan da, planlama ve maliyet sistemleri için çok önemli bazı raporların üretilmesini de gerçekleştirmektedir. Söz konusu raporlar;

- ✓ Fiili maliyetlerin belirlenmesine yönelik maliyet muhasebesi tarafından arzu edilen tüm raporların üretilmesi ve aktarılması sağlanabilmelidir.
- ✓ Üretim sırasında üretilen ürünler için tüketilecek malzemeler, tüketim miktarları veya formülleri ile yan ürünler ürün ağacı yapısında tanımlanabilmelidir.
- ✓ Ürün üretiminde çalışan personeller ve kullanılan makineler, araçlar veya cihazlar ile harcanan enerji gibi kaynak tanımlaması yapılabilirdir.
- ✓ Kaynakların üretim kapasiteleri tanımlanabilmelidir.
- ✓ Ürünler için üretim aşamaları tanımlanabilmelidir. Üretim aşamalarıyla kaynak ilişkisi kurulabilmelidir. Üretim aşamalarında kullanılacak malzemeler ürün ağacından seçilebilmelidir.
- ✓ Üretim için tanımlanan kaynaklar arası öncelik ilişkilerinin kurulabilmesi ve üretim planlaması aşamasında kaynakların kullanım sırasının belirlenebilmesi için kaynak ağları oluşturulabilmelidir.

- ✓ Üretim verileri, üretim verimlilikleri (işçilik randımanı, teknolojik randıman vb.) üretim yerleri bazında ölçülebilecek ve takip edilebilecek düzeyde kayıt altına alınabilmeli, verilerin planlamalara uyumluluğu takip edilebilmelidir.
- ✓ Üretilen ürünler cins ve ambalaj şekillerine göre farklı stok kodları ile takip edilmelidir. Otomasyon/RFID ile desteklenen ilgili süreçlerle entegre bir şekilde izlenebilmelidir.
- ✓ Sistemin, üretim otomasyon sistemleri ve diğer dış sistemlerle kolay entegrasyonuna izin verecek standart, açık ara yüzleri olmalıdır.
- ✓ Aynı işi yapabilecek alternatif tezgahların anlık kapasite raporları üretilebilmelidir.
- ✓ Fazla mesai ihtiyaç analizi ve yansanayi ihtiyaç analizi yapılabilirdir.
- ✓ Yan sanayide üretilen işlerin takibi yapılabilirdir.
- ✓ Üretim miktarları, ürün stok miktarları ve duruş süreleri yıllık/aylık/haftalık/günlük/vardiya periyotların da izlenebilmelidir.
- ✓ Üretimle ilişkili tüm veriler vardiya bazında tutulabilmeli ve raporlanabilmelidir.
- ✓ İşletmelerde günlük çalışma raporu tarih bazında alınabilmeli; günlük, aylık, yıllık olarak fiili ve program değerler şeklinde izlenebilmelidir.
- ✓ Üretim hattı kapasitesi izlenebilmeli, kapasite eksikliği veya kapasite fazlalığı görülebilmelidir.
- ✓ Makine, tezgah, operatör için duruşlar ve kayıplar vb. raporlar izlenebilmelidir.
- ✓ Fabrika, lokasyon, ürün ve vardiya vb. bazında üretim maliyetleri izlenebilmeli, üretim maliyetlerini oluşturan girdilerin yüzdesel dağılımı karşılaştırmalı olarak raporlanabilmelidir.

### **5.5. Uygulamanın Hayata Geçirilmesi**

Bu aşamada, atölye müdürü ya da görev verilen proje yöneticisi ve takım arkadaşları tarafından projenin uygulamaya alınması ile ilgili bir geçiş tarihi belirlenecektir. Önerilen projenin uygulamaya alınması ile ilgili literatürde dört temel geçiş yaklaşımı bulunmaktadır (Ersöz ve Ersöz, 2015). Bunlar :

- ✓ Doğrudan Geçiş,
- ✓ Paralel Geçiş,
- ✓ Safhalı Geçiş,
- ✓ Pilot Geçiş

**Doğrudan Geçiş:** Belirlenen bir günde, eski sistemden yeni sisteme doğrudan geçişi ifade etmektedir. Eğer sistem, eski bir sistemin yerine geçmiyorsa, yani yeni bir uygulamaysa ya da sistemin yerine geçtiği eski sistem zaten çok fazla aksayan, görevini yerine getiremeyen bir sistemse, bu durumda yeni sistem doğrudan uygulamaya koyulabilir. Yeni sistem faaliyete geçirildiğinde, eski sisteme dönmek son derece güçtür ve maliyeti yüksektir. Firma faaliyet ölçeği büyüdükçe, zamanlama problemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu yaklaşım, genellikle küçük firmalar ya da küçük sistemler için söz konusu olabilmektedir. Doğrudan geçişte, sistemin arızalanması durumunda yedek sağlanamadığından, riski oldukça büyüktür. Ayrıca, yeni sistem sonuçlarının eskisiyle karşılaştırılması için elverişli bir yol bulunmamaktadır.

**Paralel Geçiş:** Yeni sistemin tam olarak çalıştığı anlaşılana kadar eski sistemle yeni sistemin aynı anda paralel olarak işletilmesidir. Eğer yeni sistem, eskiden çalışmakta olan ve istenildiği kadar olmasa da verim sağlayan bir sistemin yerine tasarlanmışsa, bu durumda iki sistemin bir süre birlikte çalışmasında fayda vardır. Bu geçiş tipinin; yeni sistemin beklendiği gibi çalışmaması durumunda, eski sistemin çalışmasına izin vermesi ve yeni sistem sonuçlarının eski sistem sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi gibi bazı avantajları bulunmaktadır. Eski ve yeni sistemden zamanla aynı sonuçlar sağlandığında, eski sistem durdurulacak ve yenisi tamamen uygulamaya koyulacaktır. Bu yaklaşım, her iki sistem birlikte çalıştığından oldukça güvenlidir. Buna karşılık personel, donanım, zaman, vb. kaynaklarının iki kez kullanılması nedeniyle maliyetinin fazla olması dezavantajına sahiptir.

**Safhalı Geçiş:** Yeni sistemin, parça parça uygulamaya konulmasıdır. Örneğin, bir satış bilgi sisteminde, ilk önce satışların muhasebelenmesi modülü, daha sonra stok yönetimi modülü vb. uygulamaya konulabilir. Birinci modül yeni sistem modülü olarak çalışırken, diğer alt sistemler eskisi gibi işlemektedir. Bu yaklaşım, büyük



ölçekli sistemler için popüler olarak kabul edilmektedir. Komple bilgi sisteminin uzun vadede kurulması, bu yaklaşımın dezavantajı olarak bilinmektedir.

**Pilot Geçiş:** Pilot, komple çalışma sisteminin bir alt kümesinde yürütülen bir deneme sistemidir. Bu yaklaşım, yeni sistemin hedeflenen sahalardan sadece birisi için bir pilot sistem olarak doğrudan, paralel ya da safhalı geçişle yürütülmesidir. Örneğin; bir firma üretim kaynakları planlama sistemini 8 fabrikada yürütmek istiyorsa, bu fabrikalardan birisi pilot olarak seçilecek ve yeni bilgi sistemi ilk olarak orada yürütülecektir. Pilot yürütülürken, eski sistem muhafaza edilmekte ancak aktif olmamaktadır. Pilot başarılıysa, diğer üç geçiş yaklaşımlarından birisi kullanılarak diğer fabrikalar için de yürütülebilecektir. Avantajları; sistemin kaçınılmaz hatalarının, diğer yerlerde yürütülmeden önce kaldırılabilmesi diğer birimlerin personel eğitimlerinin daha kolay ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi vb. şeklinde ifade edilebilir. En önemli dezavantajı ise, toplam sistem yürütme zamanının, tüm sistemin bir kez yürütülmesine göre daha uzun olmasıdır.

FNSS fabrikasında yapılacak olan bu uygulama; proje parametreleri ve atölye şartları göz önüne alındığında pilot geçişin uygun olacağı düşünülmektedir. Projenin uygulanacağı hat üzerinde 12 adet CNC tezgah bulunmaktadır. Bu hat üzerinde bir tezgaha pilot çalışma uygulanacak olup olumlu sonuçlar alındıktan sonra diğer 11 tezgaha uygulanacaktır. CNC tezgahların bulunduğu sürece uygulanacak olan bu proje diğer hatlarda da etkin bir şekilde kullanılabilir. Ancak uygulanan projenin diğer üretim hatlarında kısmi revizyonlarla uygulanması mümkün olabilecektir.

## **5.6. Uygulamanın Kontrolü ve Aksaklıkların Giderilmesi**

Uygulamanın kontrolü ve hataların giderilmesi için kullanıcı testi sonuçları değerlendirilecektir. Kullanıcı testi sonuçları 3 kullanıcı türü için değerlendirilecektir.

**İlk kullanıcı türü:** Atölyede bu işten etkin sonuçlar bekleyen atölyedeki formen, ustabaşları ve şeflerin beklenti ve algı sonuçlarının değerlendirileceği tablolar oluşturulacaktır.

**İkinci kullanıcı türü:** Üretim planlama departmanının da çalışılan mühendislik veri yapılarındaki ürün ağacı, parça kartı, operasyon verileri vb. verilerden faydalanarak iş emrini hazırlayan teknik elemanların, sistemin oluşturduğu raporlardan beklentileri ve algıları arasındaki sonuçlarının değerlendirileceği tablolar oluşturulacaktır.

**Üçüncü kullanıcı türü:** Maliyet muhasebesi departmanının da kullanılan mühendislik verilerinin maliyet sistemindeki beklentileri karşılayıp karşılamadığına yönelik geri bildirimler talep edilecektir. Ancak ilk ve ikinci kullanıcı türü için belirlenen tablolar burada kullanılmayacak olup, bu birimden kendi formatı doğrultusunda geri bildirim raporları alınacaktır.

Projenin tamamlanmasını takiben 3 ay boyunca gelişmelerin takip edileceği toplantılar yapılarak durum değerlendirilmesi yapılacaktır. Aksaklıkların ve eksikliklerin giderilmesi atölye yöneticileri, proje ekibi ve yüklenici firmanın aylık değerlendirme toplantılarında ele alınarak çözümler paylaşılacaktır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmeler örgüt içi enerjileri, çevresel etkiler ve dış dinamikler nedeniyle sürekli devinim halindedir. Örgütler bu devinime etkin planlama teknikleri ile ayak uydurmaya çalışmaktadır. Bahsedilen hareketlilik ve devinime bir taraftan ayak uydurmak diğer taraftan da kontrol altında tutmak gerekmektedir. Bunu sağlamak için bilgi sistemi teknolojilerinin ihtiyaç duyulan tüm bileşenlerini uygun bir şekilde kullanmak gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle veri transfer süreçlerinin belirli periyotlar da toplu veri işleme gibi statik ortamlarda gerçekleştirilerek bu dinamizme ayak uydurmak mümkün değildir. Üretim ortamında kullanılan tüm bileşenlerde oluşan değişimin, hareket gerçekleştiği anda eşzamanlı olarak planlama ortamına veri olarak aktarılması gerekmektedir. Anlık verilerin eşzamanlı olarak planlama ortamına ulaşması dinamik çizelgelemenin yapılabilmesini mümkün kılmaktadır.

Yapılan çalışmada barkod kullanımı; tezgahların, parça kartlarının ve parça kartlarındaki her bir operasyonun tanımlanması ve bunlara ait verilerin taşınması için barkod kullanılmıştır. Tezgah, parça kartları ve operasyonlara ait daha önceden tanımlanmış ve basılmış barkodlar iş emrinin gelmesi esnasında barkod okuyucu yardımıyla endüstriyel PC'ye aktarılmaktadır. RFID etiketlerinin kullanımı; iş emirlerinin ve işçilerin tanımlanması için RFID etiketi kullanılmış olup, veriler bir RFID okuyucu tarafından iş emri üzerindeki etiket ve işçinin yaka kartındaki etiketten veri transferleri endüstriyel PC'ye aktarılmıştır. Elektronik Devrenin kullanımı; Kuru Kontak olarak tanımlanan devre sayesinde tezgahın anlık bilgileri planlama ortamına aktarılmıştır. Tezgahın durduğu, çalıştığı, hangi parçayı işlediği vb. anlık veriler bu yolla endüstriyel PC'ye taşınmıştır.

Simülasyon modelinin kullanılması; dinamik çizelgelemenin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan tüm veriler ortamda bulunan endüstriyel PC'ye düzenli olarak akmaya başlamıştır. Atölye şartlarının da göz önüne alındığı simülasyon programı kodlanmış ve çalıştırılmıştır. Bilindiği üzere simülasyon bir optimizasyon yöntemi değildir. Fakat dinamik bir sürecin modellenerek farklı senaryo kurgularının çalıştırılabilmesi sonuçlarının analizinin yapılabilmesi kurgulanan dinamik modelin gerçek hayatta nasıl sonuçlar ortaya çıkaracağını öngörmemizi sağlamaktadır. Bu

çalışmada da firmadan alınan veriler ışığında üretim kurgusu dinamik bir şekilde modellenmiş ve 36 farklı senaryo çalıştırılarak sonuçlar incelenmiştir. Simülasyon yazılımının çalıştırılması sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

- ✓ Talep dengeli olduğunda teslim tarihi öncelikli olan senaryolar daha iyi sonuçlar üretmektedir.
- ✓ Talep hızının arttırıldığı durumlarda ise atölye yükü arttığı için işlem zamanına dayalı senaryoların daha iyi sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.
- ✓ Atölyede bulunan ortalama iş adetleri olarak bakıldığı zaman, talep hızının arttırıldığı ve tezgah önlerindeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alındığı senaryolarda sistemin ciddi aksaklıklar yaşadığı tezgah önlerinde yığılmaların olduğu görülmüştür. Bu oluşan yapı nedeniyle sipariş gecikmelerinde de artışlar yaşanmış aynı zamanda siparişlerin ortalama gecikme süreleri de artmıştır.
- ✓ Denenen 36 farklı senaryo için de atölyedeki iş merkezlerinin kullanım oranları neredeyse tam doluluk seviyesine yakın olduğundan sistemden çıkışlar arası süreler birbirine yakın çıkmıştır.
- ✓ Ayrıca işlerin sevk edilebilmesi için siparişte yer alan tüm işlerin tamamlanması şart olduğu için işlem süresine dayanan senaryolarda işlem süresi az olan işler öne alındığından siparişlerin tamamlanma süreleri uzar ve bu durum sevk edilen siparişlerin azalmasına neden olur.
- ✓ Senaryolar sevk edilen siparişlerin gecikmeleri açısından değerlendirildiğinde teslim tarihine dayalı senaryoların biraz daha ön plana çıktığı görülmektedir. Ayrıca geciken sipariş adetlerine bakıldığında, teslim tarihi tayin edilirken dikkate alınan kriterin de yeniden değerlendirilmesinde fayda bulunmaktadır.

Bu çalışma sonucunda atölye tipi üretimin gerçekleştirildiği fabrikada dinamik çizelgeleme uygulaması başarıyla kurgulanmıştır. Bunun doğal sonucu olarak;

- ✓ Siparişlerin gününde teslimi oranı artırılabilir. Dinamik çizelgeleme sayesinde değişen durumların planlara anlık yansıtılması ve alternatif tezgah ya da kaynakların kullanılması teslim tarihindeki sapmaları minimize

edilebilecektir. Tüm önlemlere rağmen oluşacak sapmaların tespit edilebilmesi de önemli katkılar sağlayacaktır.

- ✓ Tezgahların doluluk oranı artırılırken, bunun doğal sonucu olarak, enerji maliyetleri ve bakım giderleri düşecek olup üretim maliyetlerine olumlu yansıtacaktır.
- ✓ Dinamik çizelgeleme sayesinde işgücünün daha verimli çalışması gerçekleştirilebilecektir. Bu durum genel imal gider payını olumlu etkileyecek olup üretim maliyetlerinin düşmesine katkı sağlayacaktır.

Fiili durumda önemli pozitif katkılar sağlanırken, raporlama ve maliyet sistemine de avantajlar sağlanacaktır. Bunlarda bazıları;

- ✓ Fiili maliyetlerin belirlenmesine yönelik maliyet muhasebesi tarafından arzu edilen tüm raporların üretilmesi ve aktarılması.
- ✓ Mamül/parçanın üretilmesinde çalışan personeller ve kullanılan makineler, araçlar veya cihazlar ile harcanan enerji gibi kaynak tanımlaması yapılabilirken gerçekleşme oranlarının da otomatik veri transferi ile tespit edilebilmesi mümkün olabilecektir.
- ✓ Atölye kaynaklarının üretim kapasiteleri tanımlanabilecektir.
- ✓ Üretim için tanımlanan kaynaklar arası öncelik ilişkilerinin kurulabilmesi ve üretim planlaması aşamasında kaynakların kullanım sırasının belirlenebilmesi için kaynak ağları oluşturulabilecektir.
- ✓ Üretim verileri, üretim verimlilikleri (işçilik randımanı, teknolojik randıman vb.) üretim yerleri bazında ölçülebilecek ve takip edilebilecek düzeyde kayıt altına alınabilecek, verilerin planlamalara uyumluluğu takip edilebilecektir.
- ✓ Üretilen parçalar cins ve ambalaj şekillerine göre farklı stok kodları ile takip edilebilecektir. Otomasyon/RFID ile desteklenen ilgili süreçlerle entegre bir şekilde izlenebilecektir.
- ✓ Benzer işleri yapabilecek alternatif tezgahların anlık kapasite raporları üretilabilecektir.
- ✓ Fazla mesai ihtiyaç analizi, yansanayi ihtiyaç analizi raporları üretilabilecektir.

- ✓ Atölye bazlı, parça bazlı üretim miktarları, ürün stok miktarları ve duruş süreleri yıllık/aylık/haftalık/günlük/vardiya periyotlarında izlenebilecektir.
- ✓ Üretimle ilişkili tüm veriler vardiya bazında tutulabilecek ve raporlanabilecektir.
- ✓ Atölyede günlük çalışma raporu tarih bazında alınabilecek; günlük, aylık, yıllık olarak fiili ve program değerler şeklinde izlenebilecektir.
- ✓ Üretim hattı kapasitesi izlenebilecek, kapasite eksikliği veya kapasite fazlalığı görülebilecektir.
- ✓ Makine, tezgah, operatör için duruşlar ve kayıplar vb. raporlar ile izlenebilecektir.

Dinamik çizelgelemeye yönelik yapılan bu çalışma başarıyla uygulanabilecek gerçek yaşama uygun bir çözümlenmiştir. Ancak kurgulanan sistem sadece atölye şartlarının mevcut kaynaklarını göz önüne almaktadır. Diğer bir ifadeyle fazla mesai, kaynak artırımını ya da dış kaynak kullanımı gibi alternatifler düşünülmemiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda;

- ✓ Gününde yetişebilmesi gereken parçaların, teslimine henüz zaman olan ancak kuyrukta bekleyen parçaların daha acillerle değiştirilebilmesi için karar destek sistemlerinin oluşturulması.
- ✓ Siparişin zamanında yetişebilmesi için fazla mesai alternatifinin değerlendirilmesine yönelik fayda/maliyet analizi oluşturan ve sonuçlarına göre karar üreten uzman sistem yapılarının oluşturulması.
- ✓ Siparişin zamanında yetişebilmesi için yansanayii mesai alternatifinin değerlendirilmesine yönelik fayda/maliyet analizi oluşturan ve sonuçlarına göre karar üreten uzman sistem yapılarının oluşturulması. Aynı zamanda yansanayii süreçlerinin de takip edilmesi hedeflenmektedir.

## KAYNAKÇA

- Altaylı, B., Simülasyon Kullanımıyla Sistem İyileştirme, Hava Basımevi, Ankara, 1994.
- Atçı, B., Gürsoy, G., Hızlı, H., Nazar, R., Sen D. ve Kus, P., Sistem Simülasyonu Ders Notları, Muharebe Modelleme ve Simülasyon Merkezi, Ankara, 1997.
- Aydın K., İstanbul Deniz Otobüsleri Seferlerinin Simülasyon Yardımıyla Planlanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- Bean, J. C., Birge, J. R., Mittenthal, J., Noon C. E., Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates and Disruptions, Operations Research, 39/3, s. 470-483, 1991.
- Büyüksünetçi, A. S., Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, 2006.
- Carrie, A., Simulation of Manufacturing Systems, Great Britain: John Wiley & Sons, Newyork, 1988.
- Chang, F. C. R., Heuristics for Dynamic Job Shop Scheduling with Real-Time Updated Queueing Time Estimates, International Journal of Production Research, 35/3, s. 651-665, 1997
- Church, L. K, Uzsoy, R., Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 5/3, s.153-163, 1992.
- Cowling, P., Johansson, M., Using Real Time Information for Effective Dynamic Scheduling, European Journal of Operational Research, 139, s. 230-244, 2002.
- Çelikçapa, F. O., Endüstri İşletmelerinde Üretim Yönetimi ve Teknikleri, Bursa: Uludağ Üniversitesi, Sayı: 117, 1995.

- Çınar, M., Üretim Sistemleri. <http://enm.blogcu.com/uretim-sistemleri-ve-siniflandirilmalari/9077455> (Erişim Tarihi: 21.01.2015).
- Dominic, P. D. D., Kaliyamoorthy, S., Kumar, S., Efficient Dispatching Rules for Dynamic Job Shop Scheduling, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 24, s. 70-75, 2004.
- Elhüseyni, M., Hipotetik Bir Tekstil Atölyesinin Dinamik Çizelgelenmesinde Yollama Kurallarının Benzetim Tekniğiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- Erkut H., Sistem Yönetimi, İrfan Yayıncılık: Avcı Ofset, İstanbul, 1995.
- Erkut H., Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı, İrfan Yayıncılık: Avcı Ofset, İstanbul, 1992.
- Erkut, H., Sistem Analizi, Kıyı Yayınları, İstanbul, 1989.
- Ersöz, O.Ö., Aktepe, A., Türker, A.K., Ersöz, S., Üretim Planlama ve Kontrolün Atölye Yüğü ile Eş Zamanlı Gerçekleştirilmesi. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği (YAEM) 35. Ulusal Kongresi, Eylül 2015, Ankara.
- Ersöz, S. ve Ersöz, O.Ö., İşletmelerde Bilgi Sistemleri (Uygulamalı Örneklerle), Nobel Yayıncılık, Ankara, 2015.
- Fang, J., Xi, Y., A Rolling Horizon Job Shop Rescheduling Strategy in the Dynamic Environment, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 13, s. 227–232, 1997.
- Fattahi, P., Fallahi A., Dynamic Scheduling in Flexible Job Shop Systems by Considering Simultaneously Efficiency and Stability, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2, s. 114–123, 2010.
- Gao, Y., Ding, Y. S., Zhang, H. Y. , Job-Shop Scheduling Considering Rescheduling in Uncertain Dynamic Environment, 16th International Conference on Management Science & Engineering, Moscow, Russia, s. 380-384, 2009.



- Gavett, J.W., Starr, M.K., Production and Operations Management, Harcourt, Brace & World, Newyork, 1968.
- Genç, T., Bekleme Hattı ve Simülasyon Modelleri ile Türk Silahlı Kuvvetlerinde Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- Gümüšođlu Ş., Erboy N., Özdađođlu G., Siparişe Dayalı Üretim İçin Ürün Gruplarının Oluşturulmasında Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım, Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F. , Yönetim ve Ekonomi, Sayı:2, 2013.
- Halaç, O., İşletmelerde Simülasyon Teknikleri, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 1993.
- Heizer, J., Render, B., Operations Management, Prentice-Hall, New Jersey, 2004.
- Hill, D.R.C., Object-Oriented Analysis and Simulation, Addison-Wesley, England, 1996.
- Hillier, F.S., Lieberman, G.J., Introduction to Operation Research, McGraw-Hill, New York, 1995.
- Kapanoglu, M., Alikalfa, M., Learning IF-THEN Priority Rules for Dynamic Job Shops Using Genetic Algorithms Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 27, s. 47-55, 2011.
- Karayalçın, İ., Harekât Araştırması (Yöneylem Araştırması) İşletme faaliyetlerinin Yönetimi ve Kontrolü için Kantitatif Yöntemler, İTÜ Yayınları, 2. Baskı, 1979.
- Kundakçı, N., Üretim Sistemlerinde Dinamik İş Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2013.
- Kutanoğlu, E., Sabuncuoğlu, I., Routing-Based Reactive Scheduling Policies for Machine Failures in Dynamic Job Shops, International Journal of Production Research, 39/14, s. 3141-3158, 2001.

- Law, A.M., Kelton, W.D., Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, New York, 1991.
- Lee, C. Y., Uzsoy, R., Minimizing Makespan on a Single Batch Processing Machine with Dynamic Job Arrivals, International Journal of Production Research, 37/1, s. 219-236, 1999.
- Leon, V. J. Wu, S. D., Storer, R. H., Robustness Measures and Robust Scheduling for Job Shops, IIE Transactions, 26/5, s. 32-43, 1994.
- Liao, C.J., Chen, W.J., Scheduling Under Machine Breakdown in a Continuous Process Industry, Computers & Operations Research, 31, s.415–428, 2004.
- Liu, S. Q., Ong, H. L., Ng, K. M., Metaheuristics for Minimizing the Makespan of the Dynamic Shop Scheduling Problem, Advances in Engineering Software, 36, s. 199–205, 2005.
- MacCarthy, B. L., Liu, J., Addressing the Gap in Scheduling Research: A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Scheduling, International Journal of Production Research, 31/1, s. 59-79, 1993.
- Montgomery, D., Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, Singapore, 1991.
- Naylor, T.H., Balintfy, J.L., Burdick, S., Chu, K., Computer Simulation Techniques, Wiley, Newyork, 1966.
- Özkan, S.E., Farklı Kapasiteli Paralel Makinelerin Dinamik Çizelgelenmesi İçin Sezgisel Bir Algoritma Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2009.
- Öztürk, A., Yöneylem Araştırması, Ekin Kitapevi Yayınları, Bursa, 1997.
- Pegden, C.D., Shannon, R.E., Sadowski, R.P., Introduction to Simulation using SIMAN, McGraw-Hill, Newyork, 1995.

- Pidd, M., Computer Based Simulation for Management Science, Wiley, Newyork, 1992.
- Pritsker, A.B., Introduction to Simulation and SLAM II, System Publishing Co, New York, 1979.
- Qiu, X., Lau, H. Y. K., An AIS-Based Hybrid Algorithm with PDRs for Multi-Objective Dynamic Online Job Shop Scheduling Problem, Applied Soft Computing, 13, s. 1340–1351, 2013.
- Sabuncuoğlu, I., Bayız, M., Analysis of Reactive Scheduling Problems in a Job Shop Environment, European Journal of Operational Research, 126, s. 567-586, 2000.
- Schmidt, J.W., Taylor, R.E., Simulation and Analysis of Industrial Systems TheIrwin Series in Quantitative Analysis for Business, Richard D. Irwin, Homewood, 1970.
- Semprevivo, Philip C., Systems Analysis: Definition, Process and Design, Science Research Associates, Chicago, 1976.
- Sevgin, G., Sıra Bekleme Sistemlerine Benzetim Tekniği Yaklaşımı ve Bir Hastane Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- Starr M.K., Gavett J.W., Production and Operations Management, Harcourt, Brace & World, Newyork, 1968.
- Şaştım, Ö., Siparişe Göre Üretimde Çizelgeleme Kararlarının Uzman Sistemlerle Verilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2009.
- Tanyaş, M., Baksak M., Üretim Planlama Ve Kontrol, İrfan Yayınevi, İstanbul, 2003.
- Türkan, Y.S., Proje Gerçekleştirilmesi Sürecinde Temel Amaçların Dinamik Simülasyon Tabanlı Optimizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2008.

Türker, A.K., Ersöz, O.Ö., Karasu Atabey, N., Erkan, C., Üretim Planlama ve Kontrolün Atölye Yüğü ile Eş Zamanlı Gerçekleştirilmesi. 7th International Congress on Entrepreneurship (ICE'16), Mayıs 2016, Kırgızistan.

Türker, A.K., Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon Ve Arena, Kral Matbaa, Eskişehir, 2011.

Yang, J. B., GA-Based Discrete Dynamic Programming Approach for Scheduling in FMS Environments, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 31/5, s. 824-835, 2001.

Zandieh, M., Adibi, M. A., Dynamic Job Shop Scheduling Using Variable Neighbourhood Search, International Journal of Production Research, 48/8, s. 2449-2458, 2010.