



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



**TAM ZAMANINDA ÜRETİM FELSEFİNE  
DAYALI SERİ HATTIN SİMÜLASYON  
TEKNİĞİYLE PERFORMANS ANALİZİ**

**MÜMÜNE SERT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalını**

**Aralık-2018**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Mümüne SERT tarafından hazırlanan “Tam Zamanında Üretim Felsefine Dayalı Seri Hattın Simülasyon Tekniğiyle Performans Analizi” adlı tez çalışması 29/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****Başkan**

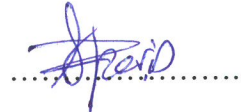
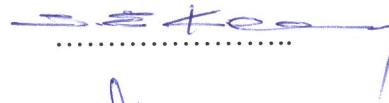

Doç. Dr. Talip KELLEGÖZ

**Danışman**

Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN

**Üye**

Dr. Öğr. Üyesi Alper DÖYEN

**İmza**

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

İmza



Mümüne SERT

Tarih: 11.12.2018

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****TAM ZAMANINDA ÜRETİM FELSEFİNE DAYALI SERİ HATTIN  
SİMÜLASYON TEKNİĞİYLE PERFORMANS ANALİZİ****Mümüne SERT****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN****Yıl, 2018 Sayfa 72 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN****Doç. Dr. Talip KELLEĞÖZ****Dr. Öğr. Üyesi Alper DÖYEN**

Pratikte, birden fazla parça tipi ve miktarından oluşan siparişler üretim sistemine rassal zamanlarda gelmekte ve her bir siparişin müşteriye teslim edilmesi gereken teslim tarihleri bulunmaktadır. Böylece, sipariş ancak onu oluşturan tüm parçaların üretimi tamamlandıktan sonra ancak teslimata hazır hale gelebilir. Bu tez çalışmasında farklı tipte parçalar üretme kabiliyetine sahip ve parça hareketlerinin ikili kanban kartı vasıtasıyla yapıldığı beş istasyondan oluşan ve çekme sistemine göre çalışan seri bir üretim hattı üzerine çalışılmıştır. Verilen parametreler için temel model tanımı yapıldıktan sonra simülasyonla alakalı deneysel tasarım özellikleri, teslim tarihini de içeren performans kriterleri, istatistiksel analizler ve deney kümeleri belirlenmiştir. Önceden belirlenmiş girdi faktörleri doğrultusunda her bir deney kümesi için istatistiksel bulgular yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kesikli sistem simülasyonu, tam zamanında üretim, deney tasarımı, çizelgeleme

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF A SERIAL LINE BASED ON JUST-IN-TIME  
PRODUCTION PHYLOSOPHY USING SIMULATION TECHNIQUE**

**Mümüne SERT**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE  
OF SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**Advisor: Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN**

**Year, 2018 Pages 72**

**Jury**

**Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN**

**Doç. Dr. Talip KELLEĞÖZ**

**Dr. Öğr. Üyesi Alper DÖYEN**

In practice, orders composing of different part/job types with varying quantities randomly arrive at a production area and they have due date which designates the latest time before which all jobs in the order should be completed. Therefore, an order can only be fulfilled until all the jobs in that order are finished their processing. This thesis studies a pull production environment where there are five serial stations capable of processing different part types and part movement is controlled by dual card kanban system. Following the definition of a base model with given parameters, we discuss simulation related experimental design features, performance criteria involving due date related ones, statistical analyses and design clusters. Statistical findings for each design cluster with predetermined input factors are interpreted.

**Keywords:** Discrete event simulation, just in time, experimental design, scheduling

## ÖNSÖZ

Tam Zamanında Üretim Sistemi 1970’li yıllarda ortaya atılmış bir felsefe olmasına rağmen hala günümüz rekabet ortamında ayakta kalabilmeyi sağlayan güçlü ve gelişime açık bir üretim sistemidir. Tam Zamanında Üretim Sistemi hem ürün veya hizmet üreten sektörlerle hem de literatüre önemli katkılar sağlayan bir felsefedir.

Bu tez çalışması ile farklı bakış açılarıyla sistemin simülasyon tekniği ile analizinde literatürde değinilmemiş bir konuda üretim sektörlerine ve literatüre Tam Zamanında Üretim Sistemi konusunda katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Tez çalışmamın belirlenmesinden, çalışmaya son halinin verilmesine kadar her aşamada bana oldukça büyük katkısı olan, çalışmaya önderlik ederek gerek sistemin modellenmesi aşamasında gerekse çalışmanın işleyişinde her zaman doğru yolu gösteren, çalışmayı sahiplenen, tecrübelerini bana ve çalışmaya aktararak beni bilgilendiren, çalışmayı zenginleştiren sevgili danışman hocam Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN’e ve tez çalışmamda farklı yorumlara ve farklı fikirlere ihtiyaç duyduğum zamanlarda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tecrübelerini ve sahip olduğu bilgileri içtenlikle benimle paylaşan Dr. İsmail KARAOĞLAN’a en içten teşekkürlerimi sunar, sonsuz desteğini esirgemediği için minnettarlığımı bildiririm.

Mümüne SERT, 2018

## İÇİNDEKİLER

<b>TEZ KABUL VE ONAYI .....</b>	<b>ii</b>
<b>TEZ BİLDİRİMİ .....</b>	<b>iii</b>
<b>DECLARATION PAGE .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>TABLolar LİSTESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. MODELLENEN İMALAT SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>12</b>
3.1. GENEL YAPI .....	12
3.2. ANA BİLEŞENLER .....	14
3.3. OPERASYONEL KARAKTERİSTİKLER .....	17
<b>4. SİMÜLASYON MODELİ.....</b>	<b>22</b>
4.1. SİMÜLASYON DİLİ VE DOĞRULAMA .....	22
4.2. BAZ MODEL.....	24
<b>5. DENEY TASARIMI .....</b>	<b>27</b>
5.1. SİMÜLASYON İLE İLGİLİ KONULAR .....	27
5.2. PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ .....	28
5.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ .....	30
5.4. DENEYSEL TASARIM KÜMELERİ .....	31
5.4.1. DENEY SETİ 1 .....	33
5.4.2. DENEY SETİ 2 .....	33
5.4.3. DENEY SETİ 3 .....	33
5.4.4. DENEY SETİ 4 .....	34
5.4.5. DENEY SETİ 5 .....	34
5.4.6. DENEY SETİ 6 .....	35
5.4.7. DENEY SETİ 7 .....	35
<b>6. DENEYSEL SONUÇLARIN ANALİZİ.....</b>	<b>36</b>
6.1. DENEY SETİ 1 .....	37
6.2. DENEY SETİ 2 .....	38

6.3. DENEY SETİ 3 .....	41
6.4. DENEY SETİ 4.....	42
6.5. DENEY SETİ 5.....	44
6.6. DENEY SETİ 6.....	46
6.7. DENEY SETİ 7.....	47
<b>7. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>51</b>
<b>8. KAYNAKLAR .....</b>	<b>54</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>56</b>
EK1: MODEL GÖRÜNTÜLERİ .....	57
Taleplerin sisteme gelişi .....	57
1, 2, 3 ve 4. istasyon.....	58
5. istasyon .....	59
Kanban postaları .....	60
Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı.....	61
Excel'den okuma/ Excel'e yazma.....	62
EK 2: MODEL DOSYASI .....	63
EK 3: DENEY DOSYASI .....	68
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>72</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: İtme ve Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması .....	12
Şekil 2 : Kanban Kartlarının İşleyişi.....	13
Şekil 3: Maksimum Öncelik (MksÖ) Algoritması .....	20
Şekil 4 : Çekme Sistemi Kanbanların Eşleşmesi .....	23
Şekil 5: Deney 1 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği .....	38
Şekil 6 : Deney 2 Ortalama Ara Stok Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği .....	39
Şekil 7 : Deney 2 Ortalama Üretim Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği .....	40
Şekil 8 : Deney 2 Ortalama Talep Gecikmesi Deneysel Sonuç Grafiği .....	40
Şekil 9 : Deney 3 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği .....	41
Şekil 10 : Deney 3 Ortalama Ürün Teslim Süresi Deneysel Sonuç Grafiği .....	42
Şekil 11 : Deney 4 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği .....	43
Şekil 12 : Deney 4 Ortalama Talep Karşılama Zamanı Deneysel Sonuç Grafiği.....	43
Şekil 13 : Deney 4 Maksimum Talep Gecikmesi Deneysel Sonuç Grafiği.....	44
Şekil 14 : Deney 5 Ortalama Ara Stok Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği .....	45
Şekil 15 : Deney 5 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği .....	46
Şekil 16: Deney 6 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği .....	47
Şekil 17: Deney 7 Ortalama Ara Stok Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği .....	48
Şekil 18 : Deney 7 Ortalama Üretim Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği .....	49
Şekil 19 : Deney 7 Ortalama Talep Gecikmesi Deneysel Sonuç Grafiği .....	50

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1 : Simülasyon Tekniği Kullanılan TZÜ Literatürünün Kronolojik Özeti.....	5
Tablo 2: Deney Seti 1’de Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri .....	33
Tablo 3: Deney Seti 2’de Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri .....	33
Tablo 4: Deney Seti 3’te Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri.....	34
Tablo 5: Deney 4’te Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri .....	34
Tablo 6: Deney Seti 5’te Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri.....	34
Tablo 7: Deney Seti 6’da Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri.....	35
Tablo 8: Deney Seti 7’de Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri.....	35
Tablo 9 : Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizi .....	36

## 1. GİRİŞ

Günümüzde insanların ihtiyaçlarını karşılamak, daha iyi şartlarda yaşamını sürdürmesini veya kişisel memnuniyetlerini sağlamak amacıyla yaşayan küçük ya da büyük sayısız üretici bulunmaktadır. Bu üreticilerin bir kısmı hizmet üretirken bir kısmı fiziksel ürünler ortaya çıkarmaktadır. Bütün bu üretici kalabalığı içerisinde elbette ki birbiri ile rekabet içerisinde bulunan birçok firma vardır.

Gelişen teknoloji ile birlikte üretici firmalar üretim sistemlerine yeni yatırımlar yapmaktadır ya da firmalar verdikleri stratejik kararlar ile firma kültüründe köklü değişiklikler yapmaktadır. Her firma bu rekabet ortamında ayakta kalabilmek ve sektörlerinde öncü olabilmek için gelişime ayak uydurmak zorundadırlar. Gelişim için sürekli iyileştirme şarttır.

Ürün veya hizmet üreten şirketler sürekli iyileştirme amacıyla farklı strateji arayışlarına girmektedirler. Firmalar genellikle akademik yayınlara başvurmakta ve üniversitelerle iş birliği yapmaktadırlar.

Üretici firmalar kalite, hızlı teslimat, düşük fiyat, satış sonrası hizmetler, müşteri beklentilerini iyi anlama ve beklentileri karşılayabilme gibi konularda ne kadar başarılı ise o kadar sürdürülebilir bir rekabet gücüne sahiptir. Literatürde firmaların gelişebilmesine katkı sağlayarak firmalara fikirler sunan birçok farklı strateji bulunmaktadır. Bu stratejilerden önemli bir tanesi de Tam Zamanında Üretim (TZÜ) Sistemi felsefesidir. Tam zamanında üretim sistemi Toyota Motor Company'den "Eiji Toyoda" ve "Taiichi Ohno" tarafından 1970'li yıllarda ortaya çıkarılmış bir kavram olup amacı minimum seviyede stok ile müşteri taleplerine en hızlı şekilde cevap verebilmek olan başarısı birçok çalışma ile kanıtlanmış bir yöntemdir. (Savsar ve AlJawini, 1995; Li ve Barnes, 2000; Savsar ve Choueiki, 2000; Takahashi ve ark., 2004)

Tam zamanında üretim sisteminin temel özelliği süreç içi stokların azaltılmasını sağlamaktır. Süreç içinde bulunan stoklar, üretim sistemini yavaşlatmakta, üretim sisteminin alanını işgal ederek ürün akışını yavaşlatmakta ve aynı zamanda işletme sermayesinin bir bölümünü atıl olarak bekletilmesi suretiyle fırsat maliyetine yol açmaktadır. Ayrıca sistem stoklardan çekilen ürünlerin yerine yenilerini koyma mantığı ile çalışması nedeniyle klasik sistemlere göre taleplere daha çabuk cevap verebilmektedir. TZÜ sistemi ile ihtiyaç duyulan ürün, en az miktarda iş gücü ve alan kullanarak, ihtiyaç duyulan zamanda, ihtiyaç duyulan miktar kadar üretilebilmektedir. (E., 2011)

Günümüz otomotiv şirketlerinin çoğunluğu tam zamanında üretim sistemi ile çalışmaktadır. Otomotiv firmalarının üretim teknolojisi ve üretimdeki seriliği düşünüldüğünde bu firmalara tedarikçi konumunda bulunan işletmelerin de bu hıza ayak uydurması şarttır.

Bir parçanın eksikliği nedeniyle otomotiv sanayide bir montaj hattının birkaç saatlik duruşu bile bu parçanın tedarikini sağlayan işletmeleri oldukça büyük zarara uğratabilir. Bu nedenle özellikle otomotiv firmaları ile çalışan işletmelerin de TZÜ sistemini benimsemesi bir şart olarak görülmektedir.

Klasik Tam Zamanında Üretim Sistemi tek tip ürünü içermektedir (Lulu ve T. Black, 1987). Ancak tek tip ürüne özgü bir sistem olması üretici firmaların çoğunluğuna hitap etmemektedir. Tek tip ürün olması aynı zamanda bu sistemi farklı çalışmalarla birleştirmeye veya farklı fikirleri denemeye yönelik araştırmalara müsaade etmemektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında birden fazla ürün çeşidi bulunduğu bir üretim sistemi üzerinde çalışılmıştır.

Gerçek bir seri üretim sistemi düşünüldüğünde gelen her müşteri talebi için müşteriye cevap olarak üretim planlama ve çizelgeleme departmanından alınan bilgilere göre üretim zamanı da dikkate alınarak ürünün teslim edilebileceği net bir son teslim tarihi verilir. Bu tarihten önce ürünlerin müşterinin eline ulaşması müşteriye memnun edecekken ürünlerin müşterinin eline teslim tarihinden daha geç ulaşması müşteride büyük bir memnuniyetsizlik oluşturabilmekte hatta müşteri kaybı durumuna yol açabilmektedir. Rekabet içerisinde bulunan firmalar bu istenmeyen durumdan mümkün olduğunca kaçınmak istemektedirler. Müşteri memnuniyeti konusunda önemi oldukça büyük olan son teslim tarihi kavramı tez çalışmasına dahil edilmiştir.

Tez çalışmasında sıklıkla bahsedilen ve ilerleyen başlıklar altında da bahsedilecek olan müşteri talepleri her zaman dış müşteri olarak düşünülmemelidir. Üzerinde çalışılmış olan bu sistem taleplerin direkt dış müşteriden gelebildiği sistemler için de uygulanabilirken aynı zamanda kapalı bir sistem içerisinde iç müşterilerden gelen talepler için de uygulanabilmektedir. Yani üretim sisteminin birkaç farklı temel operasyonu olduğu durumda her bir temel operasyon için ayrı ayrı ya da tüm sistem düşünülerek bu çalışma uygulanabilir. Sistemin uygulama biçimi tamamen uygulanacak firmanın özelliklerine, karakteristiklerine ve en önemlisi ihtiyacına göre şekillenebilmektedir. Firmalar dar boğaz bulunan üretim birimlerine çözüm bulmak, iç stokları mümkün olduğunca azaltmak, maliyeti azaltmak ya da firmaya özel başka konularda avantaj sağlamak amaçlarıyla geliştirilen sistemi kendi bünyelerinde uygulayabilirler.

Bu tezin literatür araştırması bölümünde de detaylarının anlatıldığı gibi hem pratikte hem de akademik alanda TZÜ sistemi konusunda birçok farklı çalışma bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında ise literatürde TZÜ sisteminin simülasyon tekniği ile analizi kapsamında daha önce incelenmemiş bir konuya değinmek ve yeni bir bakış açısı sağlayarak TZÜ sistemine esnek bir yaklaşım sunmak amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda belirlenen tez çalışmasının konusu; tam zamanında üretim sistemi felsefesi altında çalışan bir üretim sistemine gelen her müşteri talebinin klasik tam zamanında üretim sistemlerinin aksine tek bir ürün çeşitini değil birden fazla ürün çeşitini ve her bir ürün çeşiti için farklı üretim miktarlarını içerebilen akış tipi üretim sisteminin simülasyon uygulamasının gerçekleştirilmesi ve sistemin etkinliğinin değerlendirilmesidir. Aynı zamanda bu tez çalışmasında tanımlanan sistemde, gelen müşteri taleplerinin son teslim tarihinden daha önce tamamlanmasını sağlayabileceği düşünülen yeni bir çizelgeleme kuralı oluşturulmuş ve etkinliği değerlendirilmiştir.

Yeni oluşturulan çizelgeleme kuralı kısaca, gelen müşteri talebi ile üretim sistemindeki son istasyondan çıkan bitmiş ürünler stoğunun karşılaştırılması sonucunda eğer talep içeriğinde stokta yeteri kadar bulunmayan ürün varsa bu ürüne istasyonlarda öncelik verilmesi olarak tanımlanabilir. Böylelikle eksik kalan ürünün öncelikli olarak istasyonlarda operasyonlarının tamamlanması ile talebin çok daha hızlı karşılanacağı düşünülmüştür.

Özet olarak problem tanımlanırsa; birden fazla ürün çeşidine sahip, talep ve üretim zamanları stokastik bir dağılıma uyan akış tipi bir tam zamanında üretim sistemi üzerinde çalışılmıştır. Bu üretim sisteminde, gelen müşteri taleplerinin sipariş büyüklüğü ve ürün çeşidi bir adetten daha fazla olabilir. Sisteme gelen her talebin teslim tarihi bulunmaktadır. Bu teslim tarihlerinden geç teslimlerin memnuniyetsizlik doğurduğu için istenmediği ve geciken işlerin mümkün olduğunca azaltılması gerekliliği değerlendirilmektedir.

Bahsedilen çerçeve içerisinde sistem tanımlanarak ARENA simülasyon paket programı ile SIMAN dili kullanılarak modellenmiş, farklı faktörlerle çeşitli deneyler gerçekleştirilmiş, belirlenen performans ölçütlerine göre deney sonuçları istatistiksel olarak analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tam zamanında üretim sistemi felsefesinin ilk olarak ortaya çıkmasından bu yana, birçok başarılı çalışma hem pratikte hem de akademik alanda uygulanmış ve literatürde sunulmuştur. Uygulamalar markov zincirlerinden, petri net ağlarına veya meta sezgisel yaklaşımlardan, simülasyona kadar birçok farklı detaylı ve karmaşık teknikler içermektedir. Tez çalışması için literatür araştırması, sadece simülasyon tekniğinin uygulandığı çalışmalar ve bu tez çalışmasında kullanılan yöntemlerle daha fazla ilişkili olan çözüm yöntemlerinin uygulandığı çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

Literatürde TZÜ sisteminde operasyonel planlama ve kontrol konularını ele alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışma alanları üç bölüm olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar; (i) makine konfigürasyonu, (ii) kanban tipi ve (iii) deney türüdür. Bu bölümler kısaca aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

Makine konfigürasyonunda çalışmalar ağırlıklı olarak süreç odaklı ve ürün odaklı olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Bazı çalışmalar, ürün odaklı akış tipi üretim modellerinde TZÜ sistemi ilkelerini uygularken, diğer çalışmalar ise işlevsel yerleşim, hücreli yerleşim veya siparişe göre üretim gibi süreç odaklı üretim sistemleri üzerinde çalışmayı tercih etmişlerdir. Çalışmalar ayrıca kullanılan kanban tipine göre iki kategoriye ayrılmıştır. Bazı araştırmacılar TZÜ sistemini tek bir kanban kartı kullanarak modellerken, diğerleri çalışmalarını çift kartlı kanban sistemine uyarlamışlardır. Üçüncü sınıflandırma, deney türüne dayanmaktadır. Araştırma çalışmaları seçilen faktörlerin tasarlanan problemlere etkisini ortaya koyarken, karşılaştırma çalışmaları ağırlıklı olarak kanban ile ilgili kanban politikaları, ConWIP, adaptif kartlar, temel stok veya itme ve çekme sistemlerinin karşılaştırılması gibi farklı yapıların performans ilişkilerinin karşılaştırılmasını vurgulamaktadır.

Tablo 1 üzerinde TZÜ sistemi felsefesi ile simülasyon tekniğini kullanan çalışmalar listelenmiştir.

Tablo 1’de görüldüğü gibi makine konfigürasyonu konusunda ürün odaklı çalışmalar, süreç odaklı çalışmalardan daha çok üzerinde durulan bir yapı olmuştur. Ayrıca son yıllarda, tek kaban kartlı sistemler araştırmacılar tarafından çift kanban kartlı sistemlerden daha fazla ilgi görmüştür. Genellikle, tek kanban kartlı sistemler muhtemelen daha az karmaşık olmasına bağlı olarak ikili karttan daha fazla çalışılmıştır. Deney türü konusunda ise araştırma ve karşılaştırmalı çalışmalar araştırmacıların

dikkatini neredeyse eşit oranda çekmiştir. Bununla birlikte, araştırma çalışmaları son yıllarda giderek daha fazla çalışılmıştır.

Referans	Makine Konfigürasyonu		Kanban Tipi		Deney Türü	
	Süreç Odaklı	Ürün Odaklı	Tek Kart	Çift Kart	Araştırma	Karşılaştırma
Azouz ve diğ.. (2018)		x	x			x
Wang, Yang ve Yu (2018)		x	x		x	
Miwa, Nomura ve Takakuwa (2017)		x		x	x	
Klug (2016)		x	x		x	
Belisario ve Pierreal (2015)		x	x			x
Strohhecker, Sibbel ve Dick (2014)	x			x	x	
Harrod ve Kanet (2013)	x		x			x
Pisuchpen (2012)		x		x	x	
Azadeh, Ebrahimipour, ve Bavar (2010)		x		x		x
Salum ve Araz (2009)		x	x			x
Watson ve Patti (2008)		x	x			x
Hao ve Shen (2008)		x	x		x	
Sepehri ve Nahavandi (2007)		x	x			x
Udomsawat ve Gupta (2006)		x	x			x
Takahashi, Morikawa ve Nakamura (2004)		x	x		x	
Takahashi (2003)		x		x		x
Mohanty, Kumar ve Tiwari (2003)		x		x		x
Li (2003)	x			x		x
Takahashi ve Nakamura (2002a)		x		x		x
Takahashi ve Nakamura (2002b)		x		x	x	
Martinez ve Bedia (2002)		x		x	x	
Chan (2001)		x	x			x
Gaury, Kleijnen ve Pierreal (2001)		x	x			x
Li ve Barnes (2000)	x			x		x
Savsar ve Choueiki (2000)		x		x	x	
Sengupta, Sharief ve Dutta (1999)	x		x			x
Atwater ve Chakraworty (1996)		x	x		x	
Christenson ve Dogan (1995)		x		x		
Yavuz ve Şatır (1995)		x		x	x	
Linn ve Xie (1993)		x	x		x	
Bu Tez		x		x	x	

Tablo 1 : Simülasyon Tekniği Kullanılan TZÜ Literatürünün Kronolojik Özeti

Linn ve Xie (1993), AS / RS tarafından beslenen kanban kontrollü çekme sistemini incelemişlerdir. Özellikle, farklı çizelgeleme kurallarının çeşitli kontrol değişkenleriyle birlikte AS / RS'nin teslimat performansı üzerindeki etkisi simülasyon yoluyla incelenmiştir.

Yavuz ve Şatır (1995), karma model bir seri hattın kanban tabanlı çalışmasını incelemişlerdir. Bir temel modelin girdi parametrelerinin tanımlanmasının ardından simülasyon modellerini geliştirmişlerdir ve çeşitli kontrol edilebilir faktörlerin etkisinin seçilen performans ölçümlerinde test edildiği deneylerin bulgularını sunmuşlardır.

Christenson ve Dogan (1995), kanban kontrollü çift kartlı TZÜ sisteminde çalışan akış tipi üretim sistemleri için bir simülasyon üretici geliştirmişlerdir. Bu üreteç, kullanıcının farklı kanban kartları ve konteyner boyutları ile çok ürünlü, çok aşamalı akış tipi üretim sistemlerini simüle etmesini sağlamıştır.

Atwater ve Chakraworty (1996), sistemdeki toplam envanerin farklı seviyeleri altındaki farklı istasyonlar arası depolama kapasitelerini, çekme sistemindeki istasyonların değişkenlik katsayısını ve çalışma zamanlarını araştırmaya odaklanmışlardır. Simülasyon deneylerinde iki önemli bulguları vardır; (i) daha yüksek depolama kapasitesine sahip olan çekme sistemleri tüm seviyelerde oldukça yüksek bir çıktı üretmektedir. (ii) sıkı kanban tabanlı çekme sistemini benimseyen hatlar sadece çıktıyı artırmakla kalmaz, aynı zamanda arastokları da azaltır, böylece envanerin istasyonlar arasında akmasına izin verir.

Sengupta, Sharief ve Dutta (1999), çekme sistemiyle çalışan bir esnek üretim sisteminde optimum sayıdaki kanbanı ve bunların farklı parçalara eş zamanlı atanmasını belirleyen simülasyon tabanlı bir arama yöntemi geliştirmişlerdir. Bu şekilde, farklı kanban tahsis kurallarının performansını değerlendirmişlerdir.

Sengupta, Sharief ve Dutta (1999) çalışmasına benzer olarak Savsar ve Choueiki (2000) çekme sistemlerinde Kanban tahsis problemini incelemişlerdir. Teknikleri (i) yeterli sayıda kanbanı seçmek için faktöriyel tasarım yaklaşımını, (ii) TZÜ sistemi üretim hattının simülasyonunu ve (iii) tüm muhtemel kanban kombinasyonları üzerindeki hat performansını değerlendirmek için bir sinir ağı modelini içeren bir metamodele dayanmaktadır.

Li ve Barnes (2000), parçaların hareketlerinin kanban kartları tarafından onaylandığı siparişe dayalı bir üretim sisteminde faktörlerin performansa etkisini incelemişlerdir. Özellikle TZÜ sistemi tekniklerinin üretim alanında uygulamaya yönelik üç inceleme sorusunu araştırmışlardır. Araştırma ve deneysel bulgularını rapor etmişlerdir.

Gaury, Kleijnen ve Pierreval (2001), çekme kontrol sistemlerini özelleştirmek için kanban, ConWIP ve temel stoku içeren geleneksel kontrol sistemlerinin yerine geçebilen bir prosedür geliştirmeyi amaçlamışlardır. Prosedürün ardında yatan fikir, her üretim

bandının her bir kademesini, her bir kademe ile birleştiren çekme kontrol sistemi ile başlatmaktır ve daha sonra ilgili simülasyon modelinin optimizasyonunun, bu döngülerden hangisi ile gerçekten uygulandığını göstermektedir.

Chan (2001), kanban büyüklüğünün TZÜ sistemi üzerindeki etkisine ilişkin problemi ele almıştır. TZÜ sisteminin simülasyon yoluyla çekme tipi ve hibrit tipi analiz edilmiştir. Talep hızı, işlem süreleri ve kanban boyutu dolun oranı faktörleri süreç içi stok ve ürün teslim zamanı performans ölçütleri üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Martinez ve Bedia (2002) tam zamanında üretimi modellemek için modüler bir simülasyon aracı sunmuşlardır. Ayrıca U-şekilli bir hat üzerinde modül entegrasyonunu da göstermişlerdir. Böylece uygulama öncesi kullanıcıların sistem konfigürasyonlarını ve çalışma kurallarını analiz etmelerine olanak sağlamışlardır.

Takahashi ve Nakamura (2002b) simülasyon kullanarak rassal talep koşulu altında reaktif kanban sistemini reaktif bir ConWIP sistemi ile karşılaştırmışlardır. Kanban ve ConWIP sistemleri için TZÜ sipariş sistemi modelini geliştirmişlerdir. Sonuçlara göre, reaktif TZÜ sipariş sistemini önererek bu sistem performansını analiz etmişlerdir. Deneysel bulgulara göre, önerdikleri her iki sistem de kararsız talebe cevap verebilmekte, ortalama bekleme sürelerini istenilen seviyeden daha az tutabilmektedir. Aynı zamanda çalışmada, geleneksel kanban ve ConWIP sistemleri ile reaktif Kanban ve reaktif ConWIP sistemlerinin karşılaştırmalı sonuçlarını da raporlamışlardır.

Takahashi ve Nakamura (2002a) çok aşamalı bir üretim ve ulaşım sistemi için bağımsız kanban sistemini tanıtmıştır. Bu sisteme göre her aşamada takip eden aşamadaki talebin zaman serisi verileri izlenir ve talepte sabit olmayan değişim kontrol grafiklerinin yardımıyla bu veriler görülmektedir. Kararsız değişikliğin olması durumunda, her aşama için tampon stok büyüklüğü değişiklik için bir reaksiyon olarak ayarlanır. Tampon stok boyutunun kontrol kuralı, tüm sistemin tek aşamalı proses sistemlerine ayrıştırılmasına ve daha sonra simülasyon deneyleri ile araştırılmasına dayanır. Çalışmanın sonucu olarak önerilen sistemin etkinliği gösterilmiştir.

Li (2003) itme ve çekme sistemlerini atölye tipine sahip TZÜ sistemi üzerinde karşılaştırmıştır. Simülasyon deneyleri ile uygun yerleşim ve parça akış tipinin kurulum süresinin kısaltılmasına bağlı olarak itme veya çekme sistemleri için sağlanacağı belirtilmiştir.

Mohanty, Kumar ve Tiwari (2003) geleneksel, esnek ve yeniden yapılandırılabilir kanban sistemleri için bulanık bir ortam tasarlamışlardır ve geliştirilmiş renkli bulanık



petri net modeli kullanmışlardır. Yeniden yapılandırılabilir kanban sisteminin diğer ikisini geride bıraktığını göstermek için simülasyon deneyleri yapmışlardır.

Takahashi (2003), kontrol-tabanlı ve envantere dayalı reaktif kanban sistemlerini kararsız talep ile çok aşamalı bir üretim sisteminde karşılaştırmıştır ve aynı zamanda yeni bir envantere dayalı kanban sistemi önermiştir. Bu sisteme göre talepte meydana gelen değişiklikleri yakalamak için bir ürünün stok seviyesi izlenmekte ve kanban sayısı buna göre belirlenmektedir.

Takahashi, Morikawa ve Nakamura (2004), talepteki sabit olmayan değişikliklerle çok aşamalı üretim sistemi için reaktif bir TZÜ sipariş sistemi sunmuşlardır. Ancak burada değişiklikler sadece ortalama olarak değil, aynı zamanda varyansta da meydana gelebilmektedir. Önerilen kanban sisteminde, emniyet stoğu büyüklüğünün reaktif olarak kontrolü uygulanır. Talepteki istikrarsızlık, ortalama ve varyans için üstel olarak ağırlıklı hareketli ortalama grafikler ile tespit edilir. Önerilen sistemlerin performansını simülasyon deneyleri ile raporlamışlardır.

Demontaj hattı için, Udomsawat ve Gupta (2006), çoklu kanban sistemini uygulamışlardır. Bu sistem, kanbanların çok yönlü olarak yönlendirilmesine izin veren, minimum miktarda artık envanteri oluşturan ve talepteki değişimlere uyan bir kanban yönlendirme mekanizmasıdır. Ortak ürün içeren senaryolar ile bileşen ayırt edici talep, ürün varlığında çoklu öncelik ilişkileri ve iş istasyonu arızaları incelenmiştir. Her senaryoda önerilen çoklu kanban modelinin performansı, envanter seviyesi, talep karşılama seviyesi ve müşteri bekleme süresi gibi üç ölçümde değerlendirilmiştir. Ek olarak, itme sistemini ve önerilen çekme mekanizmasını simülasyon ile karşılaştırmışlardır ve çoklu kanban mekanizmasının itme sisteminden daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

Sepehri ve Nahavandi (2007), hattın toplam arastok miktarının veya son makinenin arastok limitin altında olduğu durumda hammaddeyi hattan serbest bırakan bir Kritik WIP Döngü (CWIPL) mekanizması önermişlerdir. Bu mekanizmada ilk makinenin boşluğu da dikkate alınmıştır. Simülasyon ile CWIPL, CONWIP ve G-MaxWIP'in etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma için, makinelerin sayısı, işlem sürelerinin dağıtımı ve hattın maksimum arastok seviyeleri dahil olmak üzere farklı hat özellikleri seçilmiştir. CWIPL'in ConWIP'e kıyasla hem üretim hem de teslimat süresini artırdığı ve aynı zamanda dokuz makineden daha az olması durumunda hem verim hem de teslim süresi bakımından G-maxWIP diğerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Hao ve Shen (2008), bir montaj hattında malzeme taşıma faaliyetlerini modellemek için ayrı olay ve ajan tabanlı teknikleri içeren bir hibrit simülasyon yaklaşımı önermişlerdir. Tam zamanında üretim sistemi prensiplerini benimseyen bir prototip, ticari bir çoklu paradigma modelleme aracı kullanılarak uygulanmıştır. Sonuçlar önerilen yaklaşımın duyarlı ve uyarlanabilir bir ortamın uygulanmasını basitleştirdiğini göstermiştir.

Watson ve Patti (2008), beklenmedik bir makine duruşunun yaşandığı sistemlerde performansta bir fark olup olmadığını göstermek için TZÜ ve KT (Kısıtlar Teorisi) altında emniyet stoğunun etkisini incelemiştir. Beş istasyonlu bir hücreden oluşan alt plaka imalatında, her iki sistemi simülasyon deneyleri ile karşılaştırmışlardır. Simülasyon deneyleri, KT tekniğinin, toplam verim, teslim süresi ve envanter seviyesi ölçümlerinde TZÜ tekniğinden daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

Salum ve Araz (2009), ÇKK-MİÇ (Çift Kaynak Kısıtlı Melez İtme Çekme) adlı bir üretim kontrol sistemini tanıtmışlardır. Bu sisteme göre ÇKK / Kanban sistemlerinin uygulanmasında bazı zorluklarla başa çıkma kurallarının ne zaman / nerede kullanılacağını göstermesinde fayda sağlamaktadır. Simülasyon deneylerinin karşılaştırmalı analizine dayanarak, ÇKK-MİÇ'nin taşıma süresi işlem süresinden daha kısa olduğu zaman iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Azadeh, Ebrahimipour ve Bavar (2010), bir oto sanayi üretim hattında TZÜ sisteminin performansını arttırmak için Genetik Algoritma (GA) ve simülasyon tekniğini entegre etmişlerdir. Mevcut sistemi modelledikten ve simüle ettikten sonra, ortak simülasyon modelini varyans analizi yoluyla test etmiş ve doğrulamışlardır. Son olarak, her istasyonda optimal veya optimale yakın kanban sayısını belirlemek için etkileşimli olarak melez genetik algoritma simülasyonunu kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda önerilen yaklaşımın günlük çıktı oranı, kaynak kullanımı ve döngü süresinde bir iyileşmeye yol açtığı ancak ortalama kuyruk uzunluklarını ve süreçler arası stokları arttırdığı görülmüştür.

Pisuchpen (2012) esnek montaj ve demontaj sisteminin tasarlanması ve değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. Özellikle kanban sayısındaki değişim, talebin ortalama geliş zamanı ve dar boğazın doluluk oranının performans ölçütleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, minimize edilmiş arasotokların, ortalama doluluk oranının daha yüksek yüzdesi ile elde edilebileceği ve daha düşük arastoğun, daha düşük ortalama parça çevrim süreleri ve kanban sayısının arttırılması ile elde edilebileceği görülmüştür.

Harrod ve Kanet (2013) sipariş üzerine atölye tipi iş akışı kontrolünü ele almışlardır. Bu sistem TZÜ sisteminden farklı olarak ürünlerin erken teslim edilmesine izin vermemektedir. Her istasyonda iş akışı kontrol yöntemi ve kuyruk disiplini seçiminin çapraz etkilerini araştırmışlardır. Kontrolsüz de dahil olmak üzere kanban, ConWIP ve POLCA ayrıca FIFO, en kısa işlem süresi ve en erken teslim tarihi kuyruk disiplinleri dikkate alınmıştır. Sonuçlara göre süreç içi envanter (yani, kısmen tamamlanmış siparişler) iş akışı kontrolü ile azalmıştır fakat bekleyen toplam envanter yani eksik ve tamamlanmış malzemeler artmıştır.

Strohhecker, Sibbel ve Dick (2014), merkezi olmayan bir kanban sisteminin bir ecza şirketinde uygulanıp uygulanamayacağını araştırmışlardır. Beş aşamalı bir iç tedarik zincirinde, simülasyona dayanan deneysel sonuçlar, önerilen sistemin iyi uyum gösterdiğini ortaya koymuştur.

Belisario ve Pierreval (2015), dinamik ortamdaki kanbanların sayısını değiştirmek için bir karar verme mantığı oluşturan simülasyon tabanlı bir genetik programlama yaklaşımı önermişlerdir. Yaklaşımı bilinen ConWIP tekniği ile karşılaştırmış ve ConWIP üzerinde etkinliğini göstermişlerdir.

Klug (2016), Alman otomobil endüstrisinin gerçek bir örneğinde üretim artış aşaması sırasında belirsiz ortamların gereksinimlerini daha iyi karşılayan kanban sistemlerinin melez bir itme tasarımını incelemiştir. Kanban sayısındaki değişikliklere izin veren artımlı planlama modelinin uygulanabilir planlama sonuçlarını verdiğini göstermişlerdir. Önerilen yaklaşım, Monte Carlo simülasyonunu kullanan olası kanban sistem ortamlarını seçerek işlem süresi ve talepteki değişikliklerle daha iyi başa çıkmasını sağlamıştır.

Miwa ve Nomura (2017), çift döngülü kanban sistemi altında üretim döngüsüyle çalışan bir üretim sistemini temsil eden model tabanlı modelleme mekanizmasını tanıtmışlardır. Tasarlanan modüllerin bir araya getirilmesi, çeşitli sistemlerin simülasyon modellerinin çoklu parçalar, üretim hatları, tedarikçiler ve Mizusumashi olarak da adlandırılan sabit kurs alma ile tanımlanmasını sağlar. Ayrıca, kanban sistemi ve Mizusumashi sistemini birleştiren simülasyon modeline dayanarak en uygun konteyner ve kanban sayısını belirlemek için bir prosedür önerilmiştir.

Wang, Yang ve Yu (2018), beş farklı bölgede konumlandırılmış tesisler ile gerçek yarı iletken üretim şirketindeki iş performansını optimize etmek amacıyla yalın-çekme stratejisi temelinde iki aşamalı üretim çizelgeleme sistemini önermişlerdir. Tüm müşteri siparişleri merkezi sıraya göre toplanırken, ilk aşamada öncelikli planlama yaklaşımı ile

çeşitli fabrika ve makinalara tahsis edilmektedir. Gerçekleştirilen siparişler, müşterilere genel nakliye maliyeti minimizasyonu hedefi doğrultusunda doğrusal bir programlama algoritması ile tahsis edilmektedir. Simülasyon sonuçları, önerilen sistemin hizmet seviyesi, ortalama döngü süresi, iş hacmi, makinelerin kullanımı ve mevcut olana kıyasla karlılık açısından önemli iyileşme sağladığını ortaya koymuştur.

Azouz ve diğ. (2018) adaptif kart tabanlı çekme kontrol sisteminde düzeltme problemini ele almıştır. Hem adaptif donma aralığına hem de çok amaçlı simülasyon optimizasyonu yöntemine dayanan bir yaklaşım önermişlerdir. Yaklaşımlarını mevcut bir uyarlanabilir kanban kart sistemi ile karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar önerilen modelin etkinliğini göstermiştir.

Bu tez çalışması, yukarıda detayları açıklanmış olan literatür çalışmalarından farklı özelliklere sahiptir. Literatürden farklı olarak bu çalışmada; bir sipariş (veya talep), daha gerçekçi olması amacıyla, farklı miktarlarda birkaç parçadan oluşabilen bir koleksiyon olarak tanımlanmıştır. Siparişin (veya talebin) sisteme ulaşması durumunda, siparişi içeren parçaların, sipariş içeriğindeki gerekli miktarları karşılayabilmesi için üretim işlemleri başlatılmaktadır.

Ayrıca daha önce literatürde araştırılmamış, bu çalışmada Maksimum Öncelik Kuralı (MksÖ) olarak isimlendirilen, yeni bir çizelgeleme kuralı geliştirilmiştir. Bu kurala göre istasyonlar önünde işlem görmeyi bekleyen parçalar, son teslim tarihine göre geç teslimi önleyerek müşteri memnuniyetini sağlama amacıyla önceliklendirilmektedir.

İlaveten literatürde yeterince dikkat edilmeyen bir dizi faktörün geniş bir yelpazede performans ölçümleri üzerindeki potansiyel etkileri incelenmiştir.

### 3. MODELLENEN İMALAT SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. GENEL YAPI

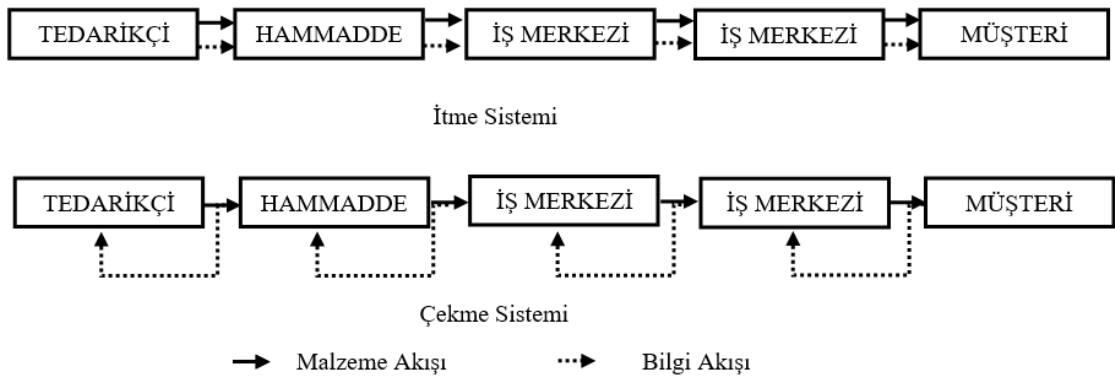
Modellenen sistem beş istasyonlu akış tipine sahip seri bir üretim hattıdır. Bu üretim hattı tam zamanında üretim sistemi felsefesi altında çalışmaktadır. Modellenen imalat sisteminde ürün çeşidi bir adet ile sınırlı değildir. Sistem birden fazla ürün çeşidi üretme kapasitesine sahiptir.

Modellenen imalat sistemine gelen her talep belirli bir teslim tarihine sahiptir. Bu teslim tarihinden sonra biten işler gecikmiş işler olarak nitelendirilmektedir. Taleplerin gecikmesi istenmeyen bir durumdur.

Sistemin temel işleyişi, müşterilerden farklı miktarda ve farklı tipte ürünlerden oluşabilen üretim talebinin gelmesi ve talebin üretim operasyonlarından geçerek mümkün olduğunca teslim tarihinden önce tamamlanması şeklindedir.

Modellenen sistemin önemli bir diğer özelliği tam zamanında üretim sisteminin gerekleri olarak süreç içi stokların sınırlı tutulmasıdır. Kanban kartları ile sistemin süreç içi stokları sınırlandırılmıştır.

Sistem klasik üretim sistemlerinin çoğunlukla tercih ettiği itme sistemi yerine çekme sistemi ile çalışmaktadır. İtme ve çekme sistemlerinin farkları Şekil 1 üzerinden açıklanabilir.



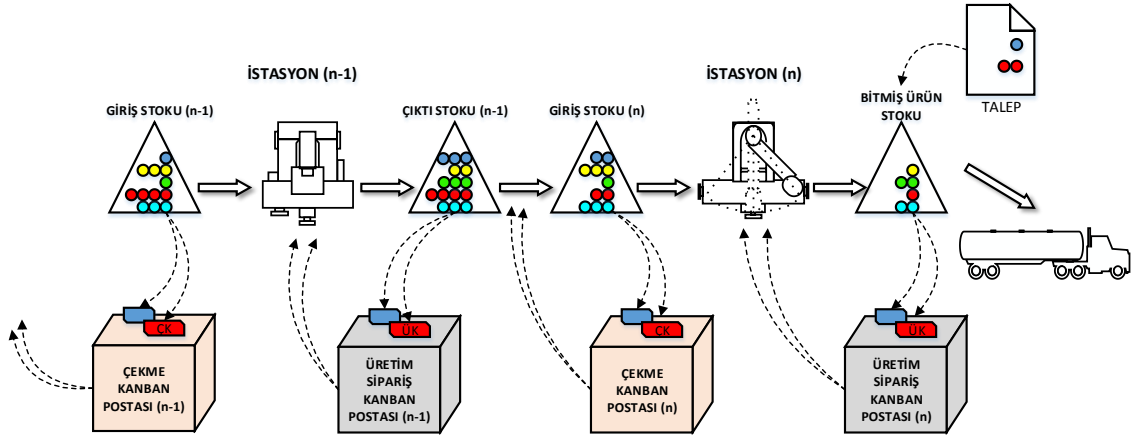
Şekil 1: İtme ve Çekme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Şekilde itme ve çekme sistemlerinin basitleştirilmiş görseli sunulmuştur. Burada ilk sistem itme sistemi olarak adlandırılmaktadır. İtme sistemi olarak adlandırılmasının nedeni üretim bilgilerinin üretim planlama departmanı tarafından tahminsel veriler yardımıyla belirlenerek bir üretim çizelgesi oluşturulması ve bu üretim çizelgesi

doğrultusunda tedarikçiden müşteriye doğru ürünü ve üretim çizelgesinde bulunan bilgileri iletmesinden (itmesinden) gelmektedir. İtme sisteminde malzeme ve bilgi akışı aynı yöndedir. Yani bir istasyonda gerçekleşecek olan proses tamamlandıktan sonra bir sonraki istasyona malzeme taşınırken aynı zamanda üretim bilgileri de aynı yönde sonraki istasyona aktarılmaktadır. Bu durum tedarikçiden müşteriye doğru ilerleyen bir akışı takip etmektedir.

İkinci sistem ise çekme sistemidir. Burada göze çarpan ilk fark bilgi akışı ve malzeme akışının itme sisteminin aksine ters yönlü olmasıdır. Çekme sisteminde üretim tahminleri değil müşteri talepleri sistemin işleyişini tetiklemektedir. Çekme sisteminde müşteri talebi gelir ve talep doğrultusunda son istasyondan müşterinin ihtiyacı karşılanır. Son istasyondan çekilen ürünlerin adet ya da ürün tipi bilgileri, bir önceki istasyona çekilen ürünlerin yerine yenilerinin üretilmesi için iletilir. Önceki istasyonda üretim başladığında çekilen ürünler için üretim bilgisi yeniden geriye doğru iletilir. Böylelikle hat boyunca takip eden bilgi akış sisteminde son olarak tedarikçiden eksik ürünler ya da hammaddenin temini bilgisinin iletilmesi ile son bulur. Yani çekme sisteminde ürünler tedarikçiden müşteriye doğru akış izlerken üretim bilgileri geriye doğru iletilmektedir. (Marek, 2001)

Çekme sisteminde bilgi akışı kanban kartları ile gerçekleşmektedir. Kanban kartlarının işleyişi Şekil 2 ile tanımlanabilir.



Şekil 2 : Kanban Kartlarının İşleyişi

Talebin gelmesi çekme sisteminin harekete geçmesini tetikleyen unsurdur. Talebin gelmesi ile son istasyonun ( $n$ ) çıkış kuyruğundan talep içeriğinde bulunan ürünlerden belirtilen adetlerde çekilir ve üretim ihtiyacını belirtmek üzere üretim sipariş kanban kutusuna ( $n$ ) bir kart bırakılır. İstasyon ( $n$ ) boş, giriş kuyruğunda üretilecek olan

ürün için gerekli yarı mamül var ve üretim sipariş kanban kutusunda ( $n$ ) kart var ise giriş kuyruğundan bir yarı mamül çekilerek üretime başlanır. Bu arada üretime giren yarı mamül için çekme kanban kutusuna ( $n$ ) bir adet kart bırakılır. Çekme kanban kutusuna ( $n$ ) bir kart düşmesi önceki operasyonun başlamasını tetikler ve önceki istasyonun ( $n-1$ ) çıkış kuyruğundaki yarı mamül bir sonraki istasyonun ( $n$ ) giriş kuyruğunda yerini alır. Önceki istasyondan ( $n-1$ ) bir yarı mamül eksilmesi ile üretim kanban sipariş kutusuna ( $n-1$ ) bir kart düşer ve bu işlemler tedarikçiye doğru devam eder.

Üretim sipariş kanbanı ve çekme kanbanı arasındaki temel fark şu şekilde açıklanabilir: Üretim sipariş kanbanı istasyon içinde bilgi iletimini sağlayarak aynı istasyonda üretimi tetiklerken, çekme sipariş kanbanı istasyonlar arasında bilgi iletimi sağlayarak önceki istasyondan ürün çekilmesini tetikler. Çekme kanbanı ayrıca dolaylı olarak önceki istasyonun üretime başlamasını da tetikler.

Makinelerdeki işlem zamanları ve talep gelişleri arasında geçen zamanın rassal olduğu ancak olasılık dağılımının bilindiği varsayılmaktadır.

Üretilen tüm ürünler sırası ile aynı istasyonlardan geçmektedir.

### 3.2. ANA BİLEŞENLER

Modellenen tam zamanında üretim sistemini daha iyi tanımlayabilmek için ana bileşenler ve ana bileşenlerin aralarındaki ilişkiler iyi aktarılmalıdır.

**Müşteri Talepleri:** Tez çalışmasının literatürden en önemli farkı müşteri taleplerindeki esnekliktir. Müşteri talepleri sistemde bir bilgi kutusu olarak düşünülebilir. Bu bilgi kutusu içerisinde üretim sisteminin üretme kapasitesi bulunan ürünlerden hangilerinin kaçar adet üretileceği bilgisi bulunmaktadır. Bu talep, sistemin harekete geçmesini sağlayan bileşendir. Talebin gelmesi ile diğer bileşenler harekete geçmektedir.

**Ürünler:** Sistem  $k$  adet ürün üretebilme kapasitesine sahiptir. Ürünler (veya yarı mamüller) sistem içerisinde konteynerler yardımı ile hareket etmektedir. Konteynerler yalnızca bir ürün (veya yarı mamül) taşıma kapasitesine sahiptir. Yarı mamüller iş istasyonlarında işlem görür ve son istasyondan sonra müşteri talebini karşılamak üzere bitmiş ürün stokunda bekler. Yarı mamüller iki istasyon arasında ara stoklarda beklemektedir. Ürünlerin tiplerine göre iş istasyonlarındaki işlem zamanları değişebilmektedir.

**İş İstasyonları:** Sistem beş adet istasyondan oluşmaktadır. Her istasyon  $k$  adet ürün üretebilme kapasitesine sahiptir. İş istasyonlarında eş zamanlı olarak yalnızca bir

ürün üretilmektedir. İş istasyonları yalnızca üç şart sağlandığında işleme geçmektedir. Bu üç şart şu şekilde sıralanabilir; (1) istasyonun boş olması, (2) üretim sipariş kanban kutusunda herhangi bir ürün tipi için üretim siparişi bulunması ve (3) üretim siparişi bulunan ürün tipi için işlenmek üzere istasyonun giriş kuyruğunda ilgili yarı mamülün bulunmasıdır. Bu şartların sağlanması durumunda iş istasyonu giriş kuyruğunda bekleyen yarı mamülü alır ve işleme başlar.

**Süreç İçi Stoklar:** İş istasyonlarının girişinde ve çıkışında istasyona girmeyi bekleyen ya da istasyondan çıkan ürünlerin (ya da yarı mamüllerin) bulunduğu tampon görevi yapan stoklama alanları bulunmaktadır. İstasyonun giriş stok bölgesinde henüz o istasyon tarafından işleme alınmamış, işlem görmeyi bekleyen yarı mamüller bulunmaktadır. İstasyonun çıkış stok bölgesinde ise o istasyonda o parçaya ait işlem zamanı süresince operasyondan geçmiş ürünler (ya da yarı mamüller) bulunmaktadır. İstasyonların giriş ve çıkış stoklarındaki kapasite kanban sayıları ile belirlenir. Sistemin başlangıç koşulunda kanban sayısı kadar mamül istasyonların üretilmeyi bekleyen girdi stoğunda ve üretimi tamamlanmış çıktı stoğunda bulundurulmaktadır. Kanban sayısı istasyonun giriş ya da çıkış stok bölgesinde bulunabilecek maksimum ürün miktarını belirlemektedir. Buradaki temel amaç tam zamanında üretim felsefesinin savunduğu süreç içi stokların azaltılması görüşünün uygulanmasıdır. Kanban sayısı ile stok miktarı sınırlandırılarak süreç içindeki aşırı stoklar engellenmiş olacaktır.

**Bitmiş Ürün Stoku:** Bitmiş ürün stok bölgesi son istasyondan çıkan ürünlerin stoklandığı bölgedir. Burada her ürünün kendi stok bölümü bulunmaktadır. Son istasyon bitmiş ürün stokundan çekilen ürünlerin yerine yenilerini üretmektedir. Yani bir ürünün stoktan çekilmesi, bu ürünün üretimi için son istasyonu tetiklemektedir. Dolayısı ile talep olmadıkça üretim başlatılamaz. Bitmiş ürün stoğunda her ürün tipi için talebi karşılayacak yeterli miktarda ürün bulunmuyorsa müşteri talebi eksik ürünler tamamlanana kadar beklemektedir.

**Kanbanlar:** Modellenen sistem çekme sistemi ile çalışmaktadır. Çekme sistemleri genel olarak tek kanban kartlı sistemler veya çift kanban kartlı sistemler olmak üzere iki farklı sistem ile uygulanır. Bu tez çalışmasında çift kanban kartlı sistem kullanılmıştır.

Çift kanban kartlı sistemlere göre üretim sistemi içerisinde iki çeşit kanban bulunmaktadır. Bunlar üretim sipariş kanbanı ve çekme kanbanıdır. Üretim sipariş kanbanı süreç içi stokların kontrolü amacıyla kullanılmaktadır.



Üretim sipariş kanbanları; istasyonun bitmiş ürünleri barındırdığı stok bölgesinden ayrılan ürünlerin yerine yenilerinin üretilmesi için gerekli olan, ne üretileceği ve kaç adet üretileceği bilgisini istasyona bildirir.

Çekme kanbanları ise süreçler arasındaki kontrolü sağlamak üzere görevlidir. İstasyonun giriş kuyruğundan üretilmek üzere istasyona ürün çekildiğinde bir önceki istasyona çekilen ürün tipi ve adedi bilgisini iletmektedir. Kanbanlar ürünlerin içerisinde bulunduğu konteynerler üzerinde yer alır.

Herhangi bir iş istasyonunda kullanılan kanban sayısı şu şekilde belirlenmiştir (Monden, 1983).

$$\text{Kanban sayısı} \geq \frac{(\text{Talep}) * (\text{Teslim Süresi}) * (1 + \text{Güven Faktörü})}{\text{Konteyner Kapasitesi}}$$

Burada;

*Teslim Süresi*

$$= \text{Üretim Zamanı} + \text{Bekleme Zamanı} + \text{Taşıma Zamanı} \\ + \text{Kanban Toplama Zamanı}$$

olarak belirlenir.

Kanban toplama zamanı, kanbanların toplanıp uygun üretim işlemine geri döndüğü zaman olarak tanımlanır. Bu çalışmada kanban toplama zamanının “0” olduğu varsayılmıştır.

Ayrıca kanban sayısına yönelik bir başka kısıtlama şu şekildedir;

$$\text{Kanban Sayısı} \leq \text{Üretim Parti Büyüklüğü}$$

Burada; her ürün için parti büyüklüğünün sabit olduğu varsayımı bulunmaktadır. Bu kısıtlama, simülasyon dilinin ve ilgili modelin teknik sınırlamaları tarafından uygulanır. Çekme kanban hareketi ile birlikte boş konteyner sirkülasyonunu sağlamak için, belirli bir istasyonda işlemin tamamlanmasından sonra, önceki istasyona bir çekme kanbanı gönderilmektedir. Bu nedenle, kanbanların sayısı, üretim parti büyüklüğünden daha az olacak şekilde ayarlanmalıdır ki istasyon, üretim parti büyüklüğünü tamamlamak için girdi malzemesi açısından açlık çekmesin. Eğer böyle bir durum oluşursa sistem işlevsel olarak kilitlenir. Bu nedenle tanımlanan kısıtlama önemlidir.

### 3.3. OPERASYONEL KARAKTERİSTİKLER

Modellenen TZÜ sistemi talebi karşılamak amacıyla üretim gerçekleştiren bir yapı olarak görülmelidir. Bu yapının operasyonel karakteristikleri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

#### ***Talepler***

Talep içeriği farklı ürün tiplerini ve her ürün tipi için farklı adetleri içerebilir. Simülasyon uygulamasının kolaylıkla sağlanabilmesi için talepler sistemde üretilebilecek ürün tipi adedi kadar elemana sahip olan bir vektör olarak tanımlanmıştır. Bu vektör içerisinde talebin karşılanması için gerekli olan ürünlerin bilgisi görülebilir. Modellenen sistemde bu vektör  $ProdVol[1, 2, \dots, k]$  olarak tanımlanmıştır. Burada  $k$ , üretilebilen ürün tipi sayısı olarak belirtilebilir.

Üretilebilir ürünlerin A, B, C, D, E olduğunu varsayalım. Üretilebilir ürün sayısı yani  $k=5$  olmaktadır. Böylelikle talepler  $1 \times 5$  boyutunda matriste gelecektir.

Talebin  $A=0, B=1, C=3, D=0, E=2$  olarak geldiği düşünülürse üretim bilgisi vektörü  $ProdVol[0, 1, 3, 0, 2]$  şeklinde olacaktır. Buna göre müşteri talebinin, B ürününden 1, C ürününden 3, E ürününden 2, A ve D ürünlerinden ise 0 adet olduğu anlaşılabilir.

Sistemde kayıp satış olmadığı varsayılmaktadır. Sisteme gelen her talep simülasyon süresi boyunca karşılanmaktadır.

#### ***Sipariş Miktarı***

Sipariş miktarı değişkeni kesikli dağılıma uygun olarak belirlenmektedir.

#### ***İş İstasyonları***

Sistemde 5 adet iş istasyonu bulunur.

#### ***Üretim Tipi***

İşler seri tip üretime uygun olarak yürütülür. Farklı ürün tipleri aynı üretim rotasını takip etmektedir. Yani ürünler sırası ile aynı istasyonlarda işlem görmektedir.

### ***Talep Gelişleri***

Sisteme gelen talepler arasındaki zaman rassal değişken olarak kabul edilmiştir. Talepler arası zaman düzgün dağılıma (Uniform) uygundur.

### ***İşlem Zamanları***

Sistemde her ürünün istasyonlardaki işlem zamanları farklı olabilmektedir. İşlem zamanları; ortalaması ve standart sapması belli olan normal dağılıma uygundur. Her ürün için istasyonlardaki işlem zamanları ortalamaları eşit olarak bölünmüştür. Yani  $k$  ürününün istasyon 1, 2, ... ve 5'deki işlem zamanları ortalaması eşittir. Modellenen sistemde işlem zamanları ortalamaları, ürün çeşidi sayısı ( $k$ ) kadar sütuna sahip vektör içerisinde belirtilmektedir. Bu vektör sistemde  $MTP[1, 2, \dots, k]$  olarak isimlendirilmiştir.

### ***Teslim Tarihi***

Çekme sisteminin modellenmesi sırasında üretim alanına gelen her talep için bir teslim tarihi atanmaktadır. Belirlenen teslim tarihi mâkul bir değere sahip olmalıdır. Teslim tarihinin mâkul bir şekilde belirlenmesi şu şekilde örneklendirilebilir. Simülasyon zamanı 25. dakikada iken bir talep geldiği varsayalım. Bu talep ile birlikte 1 adet A ürününden 1 adet de C ürününden üretilmesi bilgisi sisteme iletilsin. A ürünü için ortalama işlem zamanı 2 dakika, C ürünü için ortalama işlem zamanı 5 dakika olduğu düşünülürse A ve C ürünlerinin en erken tamamlanma zamanı  $25+2+5=32$  olmaktadır. Eğer teslim tarihi olarak 20. dakika belirlenirse bu talebin teslim tarihinden önce karşılanması imkânsızdır.

Modellenen sistemde *ETPT (Estimated Total Processing Time)* ismi verilen bir değişken belirlenmiştir. Bu değişkenin amacı mantıklı bir teslim tarihinin belirlenebilmesi için, ortalama olarak bu siparişin oluşturulması ne kadar bir zaman alacağı bilgisini tutmaktır. *ETPT* aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$ETPT = \text{Max}(1, MTP[1] * \text{ProdVol}[1] + MTP[2] * \text{ProdVol}[2] \dots + MTP[k] * \text{ProdVol}[k])$$

*ETPT* değeri hesaplandıktan sonra modellenen sistemde *Due Date* olarak belirtilen teslim tarihinin hesaplanması gerçekleştirilir. *Due Date* hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$\text{Due Date} = \text{Simulation Clock Time} + ETPT * \text{Allow Fctr}$$

Burada *Simulation Clock Time* simülasyonun o anda kaçınıcı dakikada olduğunu belirtmektedir. *Allow Fctr* olarak belirtilen izin faktörü ise izin faktörü olarak tanımlanabilir. Bu izin faktörü teslim tarihi belirlenirken teslim tarihini stokastik bir değere dönüştürmektedir.

Teslim tarihinin sadece işlem zamanları ortalaması toplamının talebin geldiği zamana eklenerek hesaplanması gerçekçi olması bakımından yetersizdir. İstasyonların o talebi gerçekleştirebilmesi için henüz müsait olmadığı yani istasyonların dolu olabildiği ve işlem zamanlarının stokastik olduğu bilinmektedir. Bu durumda teslim tarihinin belirlenmesi için bir izin faktörüne ihtiyaç vardır.

İzin faktörü modellenen sistemde düzgün dağılıma uygun olarak belirlenmiştir. Bu faktörün dağılım aralığının geniş olarak belirlenmesi sistemi rahatlatır. Ya da faktörün dağılım aralığının dar olarak belirlenmesi sistemi zorlayabilir.

### ***Çizelgeleme Kuralları***

Makineler önünde işleme alınmak için bekleyen yarı mamüllerin bulunduğu kuyruklar için farklı çizelgeleme kuralları uygulanır. Bu çalışmada, çizelgeleme kuralları; FIFO, SPT ve bu çalışma içerisinde geliştirilen Maksimum Öncelik Kuralı (MksÖ) olarak belirlenmiştir. Bu kurallardan ilki, ilk gelenin ilk işleme alındığı anlamına gelen FIFO kuralıdır. Bu kurala göre makine önünde bekleyen birinci parça önceliklidir. İkinci kural en kısa işlem süresine sahip olanın işleme alındığı anlamına gelen SPT kuralıdır. Bu kural uygulandığında kuyrukta bekleyen yarı mamüllerin işlem zamanları karşılaştırılır ve en kısa işlem süresine sahip olana öncelik verilerek üretime alınır. Üçüncü kural ise literatürde daha önce incelenmemiş yeni bir kuraldır. Bu kuralın amacı gelen taleplerin mümkün olduğunca teslim tarihinden önce tamamlanmasını sağlayabilmek dolayısı ile müşteri memnuniyetini karşılamaktır. Kural “Maksimum Öncelik (MksÖ)” olarak isimlendirilmiştir.

MksÖ kuralına göre son istasyondan çıkan bitmiş ürünler stoğu ve sisteme gelen talepler dikkate alınmaktadır. Kuralın işleyişi şu şekildedir:

- i. Bitmiş ürünler stoğu taranır.
- ii. Karşılanmak üzere bekleyen müşteri talebi ile karşılaştırılır.
- iii. Müşteri talebine göre bitmiş ürün stoğunda eksik ya da sayıca yetersiz bulunan ürünler için makineler önünde işlem görmeyi bekleyen ürünlere öncelik verilir.

Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı algoritması Şekil 3'te verilmiştir.

---

**Adım 1.** Eğer sipariş kuyruğu boş ise, **Çıkışa** git. **Değilse Adım 2'**ye git.

**Adım 2.** Her iş tipi **i** için,

**Adım 2.1.** Eğer siparişteki gerekli parça sayısının **i**, tamamlanmış parça stoklarında beklenen parça sayısından küçük ya da eşitse **Adım 2'**ye git. **Değilse Adım 2.2'**ye git.

**Adım 2.2.** Geriye doğru her istasyon **m**,

**Adım 2.2.1.** Eğer gerekli parça **i** istasyonun **m** tampon stokunda bulunursa, parçayı **i** o sıradan al ve ilk sıraya yerleştir. Sonra çıkışa git.

---

Şekil 3: Maksimum Öncelik (MksÖ) Algoritması

### **Sipariş Toplama Kuralları**

Sistemde farklı sipariş toplama kuralları değerlendirilmiştir. Bu kurallar; FIFO (First-In-First-Out), EDD (Earliest Due Date), CR (Critical Ratio), MST (Minimum Sıcak Time) kurallarıdır.

FIFO; sisteme ilk gelen siparişin ilk olarak karşılandığı anlamına gelmektedir. Makineler önünde bekleyen parçalar için tanımlanan çizelgeleme kurallarından FIFO ile aynı mantığa sahiptir.

EDD; kuyrukta bulunanlar arasına teslim tarihi en erken olana öncelik verilmesidir. Bu sisteme göre teslim tarihleri karşılaştırılır. Teslim tarihi değeri en düşük olan sipariş diğerleri arasında ilk olarak karşılanacaktır.

Bir diğer kural CR kuralıdır.

CR aşağıdaki formülasyona göre hesaplanır.

$$CR = (Teslim\ Tarihi - Şimdiki\ Zaman) / İşlem\ Süresi$$

Bu hesaplama sonucu CR değeri düşük olan sipariş diğer siparişlere göre önceliklidir.

Bir diğer kural MST kuralıdır. Bu kural aşağıdaki formülasyonla hesaplanır.

$$MST = Teslim\ Tarihi - Şimdiki\ Zaman - İşlem\ Süresi$$

MST değeri düşük olan sipariş ilk olarak karşılanacaktır.

Sipariş toplama kurallarının hesaplanması şu şekilde örneklendirilebilir. Simülasyon zamanı 20. dakikada iken iki farklı sipariş geldiği düşünölsün. Bu siparişlerden ilki  $ProdVol[0, 1, 2]$  ikincisi ise  $ProdVol[1, 0, 1]$  olsun. Birinci siparişin ortalama toplam işlem süresi 8 dakika ikinci siparişin toplam işlem süresi 5 dakika olsun. İlk siparişin teslim tarihi 30. dakika ikinci siparişin teslim tarihi de 28. dakika olsun.

- ✓ FIFO kuralına göre ilk gelen sipariş olması nedeniyle birinci sipariş işleme alınır.
- ✓ EDD kuralına göre işlem zamanı daha düşük olması nedeniyle ikinci sipariş işleme alınır.
- ✓ CR kuralına göre:
  - $CR_1 = (30-20)/8 = 1,25$  ve  $CR_2 = (28-20)/5 = 1,6$  olur. Buna göre ilk sipariş CR değeri daha düşük olması nedeniyle işleme alınır.
- ✓ MST kuralına göre:
  - $MST_1 = 30-20-8 = 2$  ve  $MST_2 = 28-20-5 = 3$  olarak hesaplanır ve birinci sipariş MST değerinin daha düşük olması nedeniyle işleme alınır.

### ***Ayar Zamanları***

Ayar zamanları elimine edilmiştir.

### ***Bozuk Ürün***

Fireye ürün ayrılmadığı varsayılır. Hat boyunca kusursuz üretim olduğu düşünölmektedir.

### ***Taşımlar***

Kanbanların taşınması ve konteynerlerin taşınmasından sistem etkilenmemektedir. Taşıma süreleri ihmal edilmiştir.

### ***Hammadde***

Hammaddenin sürekli olarak temin edildiği varsayılmaktadır. Yani hattın ilk istasyonu hiçbir zaman hammadde beklememektedir.

## 4. SİMÜLASYON MODELİ

### 4.1. SİMÜLASYON DİLİ VE DOĞRULAMA

Önceki bölümlerde klasik TZÜ sisteminden farkları ortaya koyulan simülasyon çalışması SIMAN dili kullanılarak ARENA programında modellenmiştir. Sistemin modellenmesi için SIMAN dilinin seçilmesinin nedeni bu programlama dilinin üretim projelerine daha uygun olmasıdır. Aynı zamanda SIMAN esnek bir dildir. (Pegden, 1990)

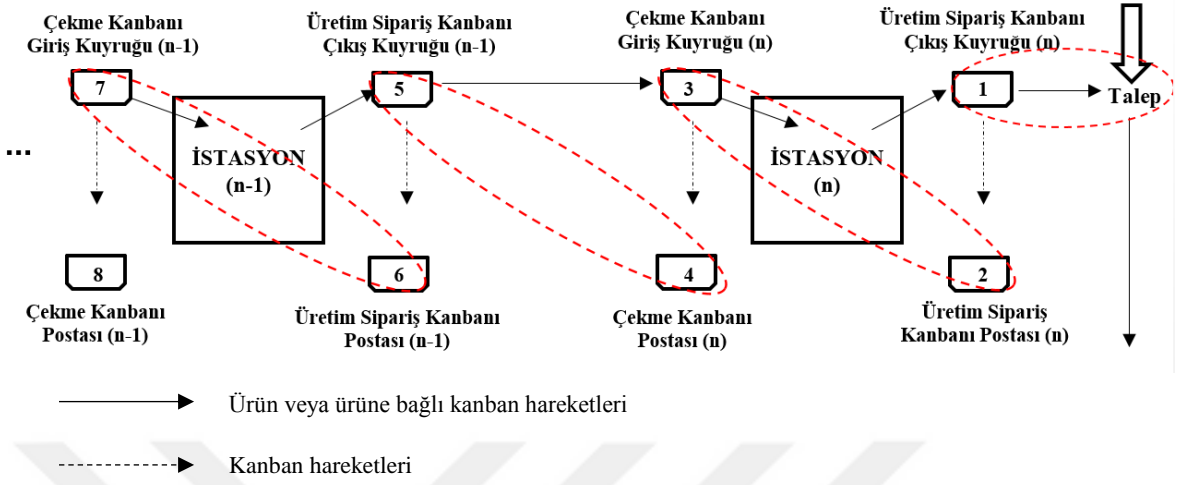
Sistem öncelikle belirlenen programlama dili ile uygun bir şekilde, bu çalışma içerisinde bahsedilen çerçeve ve kısıtlamalar dahilinde modellenmiştir. Modellenen sistem ARENA paket programının sunduğu özellikten yardım alınarak hata ayıklama (debugging) işleminden geçirilmiştir. Hata bulunmadığı raporu alındıktan sonra sistem çalıştırılmış ve çıktılar elde edilmiştir. Elde edilen çıktılar değerlendirilmiş ve bu çalışmanın “6. Deney Bulgularının Analizi” bölümünde detayları açıklanmıştır.

Sistemin modellenmesi aşaması şu şekilde özetlenebilir: Modellenen sistemde taleplerin gelişi CREATE bloğu yardımıyla oluşturulmuştur. Sonrasında, daha önce açıklanan *ProdVol*, *ETPT*, *Due Date*, *Crtcl Ratio*, *Min Slack Time* değerleri ASSIGN bloğu yardımı ile atanmıştır. Sisteme düşen talepler arasında  $[0, 0, \dots, 0]$  şeklinde içeriği boş olan bir talep bulunabilir. Olasılık dağılımlarına göre taleplerin üretildiği göz önünde bulundurulduğunda bu mümkün olabilecek bir durumdur. Bu şekilde gelen taleplerin sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için BRANCH bloğu yardımı ile bu boş talepler ayıklanır ve DISPOSE bloğu yardımı ile sistemden uzaklaştırılır.

Gelen talebin içeriğine göre, her bir ürün tipi için gerekli adette varlık ürün niteliği taşımak üzere DUPLICATE bloğu yardımı ile oluşturulur. ASSIGN bloğu yardımı ile ürünlerin iş tipinin ataması yapılır. Sonrasında ise ürünler son istasyonun üretim sipariş kanban postası kuyruğuna gönderilir.

Çekme sisteminin harekete geçmesi, üretim sistemindeki son istasyondan talebin karşılanması amacıyla çıkarılan parçaların yerine yenilerinin üretilmesi ile başlar. Çekme sistemi için her bir istasyona ait dört adet kuyruk bulunmaktadır. Bu kuyruklar QUEUE bloğu ile oluşturulmuştur. Bu kuyruklar her istasyon için; çekme kanbanı giriş kuyruğu, çekme kanbanı postası, üretim sipariş kanbanı postası ve üretim sipariş kanbanı çıkış kuyruğudur. Çekme sisteminin işleyişinin ilk aşaması; sisteme gelen talep ile son istasyonun çıkış stoğundaki proses aşamaları tamamlanmış ürünlerin eşleşmesi ve bu

eşleşen ürünlerin sistemden çıkarılarak müşteriye iletilmesidir. Bu sistem Şekil 4 ile detaylı olarak tanımlanabilir.



Şekil 4 : Çekme Sistemi Kanbanların Eşleşmesi

Son istasyondan çıkan ürünler üzerinde bulunan üretim siparişi kanbanı ile üretim siparişi kanbanı çıkış kuyruğunda (1) konteyner içerisinde beklemektedir. Gelen talep ile bekleyen ürünlerin talebi karşılaması durumunda talebi karşılayan ürünler talep ile eşleşir. Eş zamanlı olarak üretim siparişi kanban postasına (2) sistemden çıkan ürünlerin yerine yenilerinin üretilmesi için üretim siparişi kanbanı bırakılır. Üretim siparişi postasına (2) düşen kanban ile çekme kanban giriş kuyruğundaki (3) kanbana bağlı konteynerin eşleşmesi ile istasyon çekme kanbanı giriş kuyruğunda (3) bekleyen ürünü alarak üretime başlamaktadır. Üretime başlanırken bir önceki istasyona çekme kanbanı giriş kuyruğundaki (3) ürünlerin eksildiği ve yerine yenilerinin üretilmesi gerektiği bilgisinin verilmesi amacıyla çekme kanban postasına (4) çekme kanbanı bırakılır. Çekme kanban postasında (4) bulunan kanban ile bir önceki istasyonun üretim siparişi kanbanı çıkış kuyruğundaki kanbanlar (5) eşleşir ve istasyonun girişine ürünler çekilir. Çekilen ürünlerin yerine yenilerinin üretilmesi için üretim siparişi kanban postasına (6) bir kanban bırakılır ve sistem bu şekilde geriye doğru çalışır.

Sistemde istasyonlar STATION bloğu ile oluşturulmuştur. Kuyruklardaki kanbanların eşleşmeleri MATCH bloğu yardımı ile yapılmıştır. Şekilde kırmızı daire ile MATCH bloğu ile eşleşen kanbanlar gösterilmektedir. Kesikli oklar kanban hareketlerini düz oklar ise ürün veya ürüne bağlı kanban hareketlerini göstermektedir.

İstasyonlarda üretimi tamamlanan ürünler bitmiş ürün stoğunda kendi ürün tipine ait kuyruklara iletilmektedir. Kuyruklar önündeki ürünler WAIT bloğu ile talep



içerisindeki tüm ürünler tamamlanana kadar beklemektedir. Talep içerisindeki ürünlerin tamamlanması SCAN bloğunda tanımlanan şartın sağlanması ile modele bildirilir. Şartın sağlanmasından sonra SIGNAL bloğu ile WAIT bloklarına ürünlerin kuyruktan çıkmaları sinyali gönderilir ve ürünler DISPOSE bloğu ile sistemden çıkar. Burada SCAN bloğundaki bahsedilen şart;

$$ProdVol(1) \leq NQ(FinalQ1) \ \&\& \ ProdVol(2) \leq NQ(FinalQ2) \ \dots \ \&\& \ ProdVol(k) \leq NQ(FinalQk)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada belirtilen *FinalQk*; *k* ürün tipi için bitmiş ürün stoğuna verilmiş isimdir.

Yeni oluşturulan çizelgeleme kuralının işleyişi için WHILE bloğunun döngü oluşturma özelliği yardımıyla bitmiş ürün envanterleri talepteki her bir parça tipi için istenen miktarın kuyrukta bulunan her bir parça tipi için bulunup bulunmadığını tarar. Bu tarama işleminden sonra eksik olan ürünlerin üretimine öncelik verilir.

SCAN bloğu önünde bulunan ScanQ ismi verilmiş QUEUE bloğunda daha önce tanımlanmış olan sipariş toplama kuralları işletilmektedir.

Sistemde parça sayma işlemleri COUNT, sistem içerisinde geçen zamanların tutulması işlemleri TALLY blokları ile gerçekleştirilmiştir.

Sistemin modellenmesi sırasında deney sonuçlarının daha net görülebilmesi, deney sonuçlarının grafiklendirilebilmesi ve gerekli hesaplamaların kolaylıkla yapılabilmesi için “Microsoft Excel” programından yardım alınmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçların Excel’e yazılması için WRITE bloğu ve Excel ile gerçekleştirilen hesaplama sonuçlarının Excel’den okunarak model içerisine aktarılması için READ bloğu kullanılmıştır.

Daha detaylı bilgi verilmesi amacıyla, oluşturulan baz modelin; model görüntüleri EK1, model dosyası EK2, deney dosyası EK3 içerisinde paylaşılmıştır.

## 4.2. BAZ MODEL

Yapılacak olan deneylerin şartlarını eşit hale getirebilmek ve deney sonuçlarının ve istatistiksel analizlerin güvenilirliği sağlamak amacıyla baz model oluşturmak oldukça önemlidir. Böylelikle deney şartları sabit tutularak yalnızca deney yapılacak

parametrelerin sisteme olan etkileri değerlendirilebilir. Bu amaçlar doğrultusunda bir baz model oluşturulmuştur.

Oluşturulan baz model aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- i. Hat uzunluğu, yani sistemde bulunan toplam istasyon sayısı 5 istasyon olarak belirlenmiştir.
- ii. Hat boyunca üretilebilen ürün tipi sayısı 2 olarak belirlenmiştir.
- iii. İstasyonlardaki üretim zamanları ürün tipine göre ortalaması ve standart sapması aşağıda verilmiş olan normal dağılıma uygundur.

Ürünler	Ortalama	Standart Sapma
1	2	0,2
2	4	0,4
3	6	0,6
4	8	0,8
5	10	1,0
6	12	1,2

- iv. Üretilebilen ürün tipi sayısının 2 olarak belirlendiği ii. madde üzerinde belirtilmişti. Baz modeldeki ürünler, ürün tipleri 3. ve 4. olan ürünler olarak seçilmiştir.
- v. Taleplerde bulunan sipariş miktarı her bir ürün tipi için maksimum 3 adet olarak sabitlenmiştir.
- vi. İstasyonlar önünde üretime alınmayı bekleyen ürünler için çizelgeleme kuralı FIFO kuralı olarak seçilmiştir.
- vii. CV değeri yani işlem zamanındaki değişkenlik katsayısı 0,1 olarak belirlenmiştir. Bu katsayısı, çalışmanın “5.4. Deneysel Tasarım Kümeleri” başlığı altında “i. İşlem Zamanındaki Değişkenlik Katsayısı” maddesi altında detaylı olarak tanımlanmıştır.
- viii. Talep varış oranı aşağıda tanımlanan değerler için orta seviye olarak seçilmiştir,

Talep Varies Oranı	
Düşük	UNIF(40, 60)
Orta	UNIF(20, 40)
Yüksek	UNIF(10, 30)

- ix. Kanban sayısı 2 olarak belirlenmiştir.
- x. Hat Dengesizlik Derecesi 0 olarak belirlenmiştir. Hat Dengesizlik Derecesi, bu çalışmanın “5.4. Deneysel Tasarım Kümeleri” başlığı altında “vii. Hat Dengesizlik Derecesi” maddesi altında detaylı olarak tanımlanmıştır.
- xi. Gelen talepler için teslim tarihinin belirlenmesi sırasında kullanılan izin faktörü aşağıdaki tabloda tanımlananlar arasında dar olarak seçilmiştir,

İzin Faktörü	
Dar	UNIF(0,5; 1,0)
Orta	UNIF(1,5; 2,0)
Geniş	UNIF(2,5; 3,0)

- xii. Simülasyon zamanı 30 gün ve bir günde 24 saat olmak üzere 43200 dakika olarak kabul edilmiştir.

## 5. DENEY TASARIMI

### 5.1. SİMÜLASYON İLE İLGİLİ KONULAR

Modellenen sistemde farklı rassallık kaynakları bulunmaktadır. Bu rassallık kaynakları nedeniyle deney koşullarının uygunluğu sağlanamamaktadır. Gerçekleştirilen iki farklı deneyin sonuçları karşılaştırıldığında bu iki sonuç arasındaki farkın, rassalık kaynaklı farklılıktan dolayı mı yoksa gerçekten iki sistem arasındaki farklılıktan dolayı mı oluştuğu bilinemez. Bu nedenle rassallık kaynaklı farklılığın ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Rassallık kaynaklı değişkenliğin ortadan kaldırılması için değişkenlik azaltma (variance reduction) tekniği uygulanmıştır. Bu tekniğin temel amacı rassal sayı üretimini sağlayan numaratorlerin sabitlenmesidir. Rassal sayı numaratorleri sabitlenerek hep aynı değerlerin üretilmesi sağlanmaktadır.

Rassal sayılar belirli bir rassal sayı üretici yani numarator kullanılarak 0 ve 1 aralığında üretilmektedir. Üretilen rassal sayı ile parametreleri belirlenmiş olan dağılıma göre değişken üretilmektedir.

ARENA programı içerisinde on farklı numarator bulunmaktadır. Ancak programın sunduğu esnek bir özellik yardımı ile ondan fazla numarator tanımlanabilmektedir. Modellenen sistemde her bir değişken için farklı olmak üzere toplamda on iki numarator kullanılmıştır. Bu numaratorlerin başlangıç değerleri SEEDS elementi içerisinde tanımlanmıştır.

Deneylerde aynı numaratorün kullanılması, her farklı deneyde aynı değişkenlerin kullanılacağı anlamına gelmektedir. Dolayısı ile deney sonuçları arasındaki farklılığın rassallıktan kaynaklanması engellenmiş olacaktır.

Modellenen sistemde her farklı deneyin her bir alt deney sistemi, sistem performansının daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla, on defa tekrarlanmıştır. Sonrasında bu on farklı alt deney sonuçlarının ortalama değerleri değerlendirilmiştir. Alt sistemin çalıştırılmasının ardından bir sonraki çalıştırılmasına geçerken rassal değer üretildiği numaratorlerin o anki kaldığı değerler hariç tüm istatistikler ve tüm sistem sıfırlanmaktadır. Sistem içerisinde o an işlem gören ürünler yarım bırakılır, sistem içerisinde bekleyen siparişler silinir, sistem içerisindeki ara stoklarda kanban sayısı kadar ürün bulundurulur. Yani süreç başlangıç koşullarına geri döner. Her bir çalıştırmada aynı durum tekrarlanır. Bunun amacı deneylerin on kere tekrarlanarak rassallık kaynaklı deney

sonuçlarını yanlış yönlendirebilecek sonuçların azaltılması ve her deney için başlangıç koşullarına geçilerek daha doğru veriler elde edilebilmesidir. Onuncu çalıştırmanın sonunda rassal sayı numaratörü de başa dönmektedir. Böylelikle deney sonuçlarının güvenilirliği sağlanabilir.

Simülasyon zamanı 43200 dakikaya ulaştığında simülasyon çalışması sonlanmaktadır.

## 5.2. PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Modellenen sistem üzerinde yapılan deneylerin değerlendirilmesi için bazı performans ölçütleri belirlenmiştir. Bu ölçütler aşağıda sıralandığı gibidir.

- i. **Ortalama Hattın Kullanım Oranı (OHKO):** Hat kullanım oranı istasyonların doluluk oranlarını göstermektedir. Bu performans ölçütü sistemin boş geçirdiği zaman ile dolu geçirdiği zaman arasındaki farkı görmek açısından önemlidir. Sistemin boş olarak beklemesi istenmeyen bir durumdur. Mümkün olduğunca üretim hattının dolu olması ve gelen taleplerin sistemden bir an önce karşılanarak çıkması istenmektedir.
- ii. **Ortalama Ara Stok Miktarı (OASM):** İstasyonlara ait kuyrukların ortalama olarak ne kadar uzun olduğunu göstermektedir. Kuyruk uzunluğunun düşük olması istenen bir durumdur. Bu ölçüt aynı zamanda ara stok miktarını göstermektedir. Tam zamanında üretim felsefesi altında çalışan bu sistemde ara stokların mümkün olduğunca az olması istenir. Gerçek bir üretim sistemi düşünüldüğünde ara stokların artması hem alan hem malzeme hem de işçilik bakımından maliyete yol açmaktadır.
- iii. **Ortalama Üretim Miktarı (OÜM):** Teslim edilen taleplerin sisteme gelen taleplere oranıdır. Yani gelen siparişlerin yüzde kaçının karşılandığını göstermektedir.
- iv. **Ortalama Servis Oranı (OSO):** Bu ölçüt literatürde TZÜ sistemi simülasyon uygulamalarında daha önce değerlendirilmemiştir. Yapılan tez çalışmasında teslim süresinin dikkate alınması ile bu performans ölçütü önem kazanmıştır.

Ortalama Servis Oranı gecikmeyen işlerin toplam siparişlere oranıdır. Bu oran sistemin talepleri karşılayabilme oranını göstermektedir. Oran ne kadar yüksekse siparişlerin karşılanması o kadar başarılıdır. Ortalama Servis Oranı bir bakıma müşteri memnuniyetinin de ölçümü niteliğindedir.

- v. **Ortalama Talep Karşılama Zamanı (OTKZ):** Bu performans ölçütüne göre talep geldiği anki zaman ve talebin karşılandığı zaman arasında geçen sürelerin ortalaması değerlendirilmektedir. Talep karşılama zamanının kısa olması talebin bekletilmemesi açısından istenen bir durumdur.
- vi. **Ortalama Karşılanan İki Talep Arası Süre (OKİTAS):** Ardışık olarak karşılanan iki talep zamanları arasındaki sürelerin ortalamasıdır. Yani herhangi bir siparişin karşılanma zamanı ve o sipariştten bir sonraki siparişin karşılanma zamanı arasında geçen süre ortalaması olarak hesaplanmaktadır. Ortalama kaç dakikada bir talebin karşılanmış olduğu bilgisi bu performans ölçütü ile tutulmaktadır. Bu performans ölçütü özellikle sipariş toplama kurallarının ve çizelgeleme kurallarının başarısının testi için oldukça önemlidir.
- vii. **Ortalama Ürün Teslim Süresi (ÖÜTS):** Ürünün sistemde dolaştığı zaman uzunluğu olarak tanımlanabilir. Ürünün ilk istasyona giriş zamanı ve aynı ürünün son istasyondan çıkış zamanı arasında geçen sürelerin farklarının ortalamasıdır. Bu süre ürünlerin sistem içerisinde ne kadar süre geçirdiği bilgisini vermektedir. Ortalama Ürün Teslim Süresinin çok uzun olması ürünün sistem içerisinde gereksiz beklemesinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir. Ortalama Ürün Teslim Süresinin kısa olması istenen bir durumdur.
- viii. **Ortalama Talep Gecikmesi (OTG):** Sisteme gelen siparişlerin teslim tarihinden daha geç tamamlanması talep gecikmesi durumunu meydana getirir. Taleplerin gecikmesi istenmeyen bir durumdur. Bu ölçüt siparişlerin gecikme sürelerinin ortalaması olarak tanımlanabilir. Literatürde TZÜ sistemlerinin simülasyonu konusunda daha önce değinilmemiş bir performans ölçütüdür.

**ix. Maksimum Talep Gecikmesi (MksTG):** Tüm geciken işlerin içerisinde en fazla geciken talebin gecikme süresi olarak tanımlanır. Maksimum gecikmenin çok yüksek olması maksimum gecikme gerçekleşmiş siparişin memnuniyetsizlik oluşturduğu anlamına gelmektedir. Maksimum gecikmenin yüksek olması her zaman çok fazla talep gecikmesi olduğu anlamına gelmemektedir. Yalnızca bir talep gecikmesi yaşanmış ancak gecikme gereğinden fazla olmuş olabilir. Bu durum sistemi ve deneyleri değerlendiren firmaların maliyet unsurlarını ve firma imajını göz önünde bulundurarak vermesi gereken bir karardır. Literatürde TZÜ sistemlerinin simülasyonu konusunda daha önce değinilmemiş bir performans ölçütüdür. Maksimum gecikme aşağıda tanımlanan denklem ile ölçülür.

Maksimum (0, Tamamlanma Zamanı – Teslim Tarihi)

### 5.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Modellenen sistemin etkilerinin değerlendirilmesi için “5.4. Deneysel Tasarım Kümeleri” başlığı altında detayları verilecek olan dokuz farklı faktör tanımlanmıştır. Faktörler arasında mümkün olan tüm etkileşimleri oluşturan tek bir tam faktör tasarımı oluşturmak imkansızdır. Bu nedenle faktörler daha küçük deney kümelerine ayrılarak, her kümedeki temel etkiler ve faktörlerin etkileşimlerinin etkileri ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Oluşturulan deney kümeleri modellenen sistem üzerindeki temel etkilerinin ve etkileşimlerinin etkilerinin önemli olduğu düşünülen faktörlerle oluşturulmuştur. Her bir deneyde iki veya üç faktör incelenmiştir. Faktörlerin üç veya dört seviyesi değerlendirilmiştir.

Faktörlerin temel ve etkileşimlerinin etkileri ile ilgili istatistiksel testler F-testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) esas alınarak serbestlik derecesi ve F-değerleri hesaplanmıştır. Tüm testlerde anlamlılık düzeyi  $\alpha = 0,05$  olarak belirlenmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda “ $p$ ” değerinin 0,05 değerinden daha düşük değer alması, o faktörün ya da etkileşimin istatistiksel olarak ilgili performans ölçütü üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu göstermektedir.

#### 5.4. DENEYSEL TASARIM KÜMELERİ

Modellenen sistemin değerlendirilmesi için yedi farklı deney seti oluşturulmuştur. Bu deneylerin sonuçlarının güvenilirliğini sağlamak için daha önce de bahsedildiği gibi rassal değişkenler için kullanılan numaratorler sabitlenmiş ve bir baz model belirlenmiştir.

Yapılan her bir deney oluşturulan baz model üzerinde deneye ait faktörlerin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler belirlenen faktörlerin farklı seviyelerdeki etkisinin değerlendirilmesini içermektedir. Belirlenen faktörler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- i. **İşlem Zamanındaki Değişkenlik Katsayısı:** Bu faktör istasyonlarda işlem gören parçaların işlem zamanlarındaki değişkenliğini içermektedir. Değişkenlik CV değeri ile ölçülmektedir. CV değeri sistemde standart sapmanın ortalamaya olan oranı ile hesaplanmaktadır. Örneğin istasyondaki işlem zamanı ortalaması 5 standart sapması 0,5 olan ürün için işlem zamanındaki değişkenlik  $(0,5)/(5) = 0,1$  olarak hesaplanmaktadır.
- ii. **Kanban Sayısı:** Sistemdeki başlangıç ara stok miktarını belirlemektedir.
- iii. **Üretim Sipariş Miktarı:** Taleplerde bulunan sipariş miktarı her bir ürün için kaç adet olabileceği bilgisini vermektedir.
- iv. **Ürün Sayısı:** Hat boyunca üretilebilen ürün tipi sayısıdır.
- v. **Makine Çizelgeleme Kuralları:** Makineler önünde işlem görmeyi bekleyen ürünlerden hangilerine öncelik verildiğini tanımlamaktadır.
- vi. **Talep Varış Oranı:** Gelen taleplerin üretim alanına geliş sıklığını belirler.
- vii. **Hat Dengesizlik Derecesi:** Hat üzerinde bulunan istasyonlardaki üretim süreleri ne kadar dengeli ise sistem o kadar dengeli çalışmaktadır. İşlem zamanları ortalamalarında bir dengesizlik oluştuğunda bu dengesizlik dar boğaza yol açabilmektedir. Bu faktör aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Meral ve Erkip, 1991).



$$DI = \frac{\text{Max} \left\{ \left( \frac{TWC}{N} - \min(P_{T_i}) \right), \left( \max(P_{T_i}) - \frac{TWC}{N} \right) \right\}}{\frac{TWC}{N}}$$

$DI$  = Hat Dengesizlik Derecesi (Degree of Imbalance)

$P_{T_i}$  =  $i$  istasyonundaki ortalama iş süresi (Processing Time)

$TWC$  = Ürün üzerindeki toplam iş içeriği (Total Work Content)

$TWC/N$  = Dengeli hat üzerinde istasyonun iş içeriği ortalaması

$N$  = Hat boyunca istasyon sayısı

Hatta dengesizlik oluşturmak istenirse hattın başındaki ve sonundaki istasyonların işlem zamanları arttırılır aynı oranda hattın ortalarındaki istasyonların işlem zamanları düşürülür. Örnek olarak beş istasyonlu bir hat için işlem zamanları ortalamaları istasyonlar için sırasıyla (5, 4, 2, 4, 5) olarak belirlenmiş olsun. Buradaki Hat Dengesizlik Derecesi şu şekilde hesaplanır:

$$TWC = 5+4+2+4+5 = 20$$

$$DI = \frac{\text{Max} \left\{ \left( \frac{20}{5} - 2 \right), \left( 5 - \frac{20}{5} \right) \right\}}{\frac{20}{5}} = \frac{\text{Max}\{2, 1\}}{4} = 0,5$$

**viii. Sipariş Toplama Kuralları:** Gelen taleplerin farklı kurallara göre karşılanma önceliğini belirtmektedir. Öncelik verilen sipariş bekleyen siparişler arasında ilk olarak karşılanmaktadır.

**ix. İzin Faktörü:** İzin faktörü gelen talepler için makul bir teslim tarihi belirlemek amacıyla kullanılır. Aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Teslim Tarihi} = \text{Simülasyon Zamanı} + \text{Ortalama Toplam İşlem Zamanı} * \text{İzin Faktörü}$$

Oluşturulan deney tasarım kümeleri aşağıda açıklanmıştır.

### 5.4.1. DENEY SETİ 1

İlk deney seti ile üretim sipariş miktarındaki artışın ve işlem zamanlarındaki değişkenlik değerindeki artışın etkilerine ara stok miktarının nasıl tepki vereceği araştırılmıştır.

Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 2’de verildiği gibidir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Üretim Parti Büyüklüğü (p)	1	2	3	4
İşlem Zamanındaki Değişkenlik	0	0,1	0,5	0,9
Kanban Sayısı	p	p+1	p+2	p+3

*Tablo 2: Deney Seti 1’de Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri*

### 5.4.2. DENEY SETİ 2

Ürün sayısı ve işlem zamanlarındaki değişkenliğin sistem üzerindeki etkilerinin çizelgeleme kurallarına göre nasıl tepki vereceği bu deney seti ile değerlendirilmiştir. Ürün sayısının artması sistemi zorlayıcı bir unsurdur. Aynı şekilde işlem zamanlarındaki değişkenliğin artması da sistemi zorlayıcı bir diğer unsurdur.

Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 3’te verildiği gibidir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Ürün Sayısı	1	2	4	6
Çizelgeleme Kuralı	FIFO	SPT	MksÖ	-
İşlem Zamanındaki Değişkenlik	0	0,1	0,5	0,9

*Tablo 3: Deney Seti 2’de Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri*

Burada çizelgeleme kuralı faktörünün üçüncü seviyesinde belirtilen “MksÖ” bu tez çalışmasında oluşturulmuş ve detayları önceki bölümlerde açıklanmış olan çizelgeleme kuralıdır.

### 5.4.3. DENEY SETİ 3

Talep varış oranının yüksek seviyede olması sistemi zorlaştırmaktadır. Çünkü birim zaman içerisinde gelen talep sayısının artması üretim sisteminin yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır.

Bu deney seti ile taleplerin sisteme geliş sıklığının farklı seviyeleri için tampon stok miktarının sistemi ne kadar rahatlatılabildiği araştırılmıştır. Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 4 üzerinde belirtildiği gibidir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Talep Varış Oranı	Düşük	Orta	Yüksek	-
Kanban Sayısı	2	3	4	5

*Tablo 4: Deney Seti 3'te Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri*

Burada talep varış oranı düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç seviyede incelenmiştir.

#### 5.4.4. DENEY SETİ 4

Üretim hattındaki Hat Dengesizlik Derecesinin artması ile sistemde dar boğaz oluşacağı öngörülmektedir. Sistemdeki bu zorluğun tampon stok miktarı ile absorbe edilip edilemeyeceği bu deney seti ile incelenmiştir.

Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 5 üzerinde görülmektedir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Hat Dengesizlik Derecesi	0	0,1	0,3	0,5
Kanban Sayısı	2	3	4	5

*Tablo 5: Deney 4'te Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri*

#### 5.4.5. DENEY SETİ 5

Ürün sayısındaki artış sistemde zorlanmaya neden olur. Bu deney seti ile kanban sayısı ile ürün sayısının nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 6'da gösterildiği gibidir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Ürün Sayısı	1	2	4	6
Kanban Sayısı	2	3	4	5

*Tablo 6: Deney Seti 5'te Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri*

#### 5.4.6. DENEY SETİ 6

İzin faktörünün dar olarak verilmesi gecikmeye sebep olabilirken geniş olarak verilmesi gecikmeleri azaltabilir. Bunun nedeni izin faktörü olarak tanımlanan değişkenin dar olarak belirlenmesi durumunda gelen talepler için daha yakın teslim tarihi belirlenmesi, geniş olarak belirlenmesi durumunda ise daha uzak teslim tarihinin belirlenmesidir. Üretim sipariş miktarının artması sistemi zorlayan bir unsurdur. Sipariş toplama kuralları sisteme gelen taleplerin hangi kurala göre önceliklendirileceğini belirtir. Bu deney seti ile üretim sipariş miktarındaki artışın ve izin faktörünün daralmasının sistemdeki olumsuz etkilerinin farklı sipariş toplama kuralları ile azaltılıp azaltılamayacağı araştırılmıştır.

Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 7’de görüldüğü gibidir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
İzin Faktörü	Dar	Orta	Geniş	-
Üretim Sipariş Miktarı	1	2	3	-
Sipariş Toplama Kuralları	FIFO	EDD	CR	MST

Tablo 7: Deney Seti 6’da Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri

#### 5.4.7. DENEY SETİ 7

Hat Dengesizlik Derecesinin artması ve üretim sipariş miktarının artmasının oluşturacağı zorlayıcı etkilerin çizelgeleme kurallarından hangileri ile daha etkili bir şekilde azaltılacağı bu deney seti ile incelenmiştir.

Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 8’de görüldüğü gibidir.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Hat Dengesizlik Derecesi	0	0,1	0,3	0,5
Ürün Sayısı	1	2	4	6
Çizelgeleme Kuralı	FIFO	SPT	MksÖ	-

Tablo 8: Deney Seti 7’de Kullanılan Faktörler ve Faktörlerin Seviyeleri

## 6. DENEYSSEL SONUÇLARIN ANALİZİ

Gerçekleştirilen deneylerin istatistiksel sonuçlarının özeti Tablo 9'da verilmiştir.

Faktörler	Performans Ölçütleri								
	OHKO	OASM	OÜM	OSO	OTKZ	OKİTAS	OÜTS	OTG	MksTG
<i>Deney 1</i>									
$x_1$ -Üretim parti büyüklüğü	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2$ -İşlem zamanındaki değişkenlik	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_3$ -Kanban sayısı	H	E	H	E	H	H	E	H	H
$x_1 \times x_2$	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_3$	H	E	H	E	H	H	E	H	H
$x_2 \times x_3$	H	E	H	H	H	H	H	H	H
$x_1 \times x_2 \times x_3$	H	E	H	E	H	H	E	H	H
<i>Deney 2</i>									
$x_1$ -Ürün sayısı	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2$ - İşlem zamanındaki değişkenlik	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_3$ -Çizelgeleme kuralı	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_2$	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_3$	H	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2 \times x_3$	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_2 \times x_3$	E	E	E	E	E	E	E	E	E
<i>Deney 3</i>									
$x_1$ -Talep varış oranı	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2$ -Kanban sayısı	H	E	E	E	H	H	E	H	E
$x_1 \times x_2$	H	E	E	E	H	H	E	H	E
<i>Deney 4</i>									
$x_1$ -Hat Dengesizlik Derecesi	E	E	E	E	E	H	E	E	E
$x_2$ -Kanban sayısı	H	E	E	E	E	H	E	E	E
$x_1 \times x_2$	H	E	E	E	E	H	H	E	E
<i>Deney 5</i>									
$x_1$ -Ürün sayısı	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2$ -Kanban sayısı	H	E	H	E	H	H	E	H	H
$x_1 \times x_2$	H	E	H	E	H	H	E	H	H
<i>Deney 6</i>									
$x_1$ -İzin faktörü	H	H	H	E	E	E	H	E	H
$x_2$ -Üretim parti büyüklüğü	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_3$ -Sipariş toplama kuralları	H	H	H	E	H	H	H	H	E
$x_1 \times x_2$	H	E	H	E	E	H	H	E	E
$x_1 \times x_3$	H	H	E	E	E	H	H	H	H
$x_2 \times x_3$	H	H	E	E	H	E	H	H	E
$x_1 \times x_2 \times x_3$	H	H	E	E	E	H	H	E	H
<i>Deney 7</i>									
$x_1$ - Hat Dengesizlik Derecesi	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2$ -Ürün sayısı	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_3$ -Çizelgeleme Kuralı	H	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_2$	E	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_3$	H	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_2 \times x_3$	H	E	E	E	E	E	E	E	E
$x_1 \times x_2 \times x_3$	H	E	E	E	E	E	E	E	E

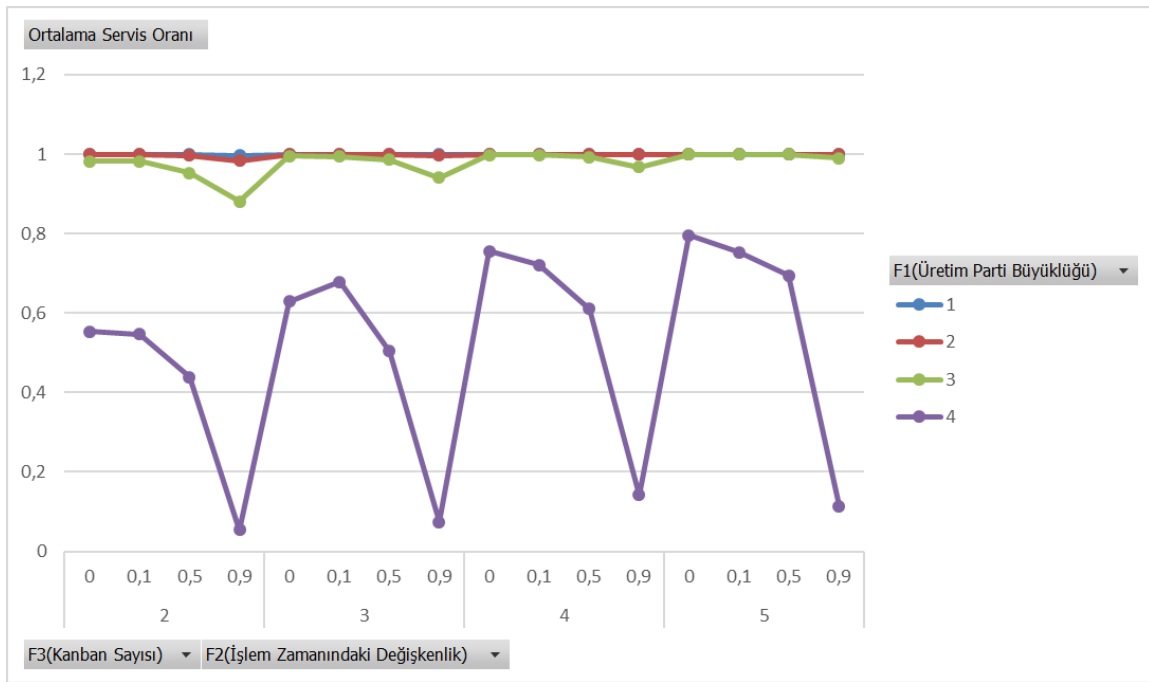
Tablo 9 : Deney Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Deneyler için faktörlerin ve faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin performans ölçütleri üzerinde istatistiksel olarak etkisi var ise “E”, istatistiksel olarak etkisi bulunmuyor ise “H” harfi ile gösterilmiştir. Faktörlerin ya da faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin ilgili performans ölçütünde istatistiksel olarak etkili olduğu F-testi sonuçlarına göre %95 güven düzeyinde “p” değerinin 0,05’den küçük olmasına dayanarak belirtilmiştir.

## 6.1. DENEY SETİ 1

İlk deney setinde üretim parti büyüklüğü, kanban sayısı ve işlem zamanındaki değişkenlik faktörleri göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 9’da görüldüğü gibi üretim parti büyüklüğü ve işlem zamanındaki değişkenliğin tüm performans ölçütleri üzerinde etkisi olmasına rağmen kanban sayısı yalnızca üç performans ölçütü üzerinde etkisi vardır. Faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri göz önünde bulundurulduğunda ise üretim parti büyüklüğü ve işlem zamanındaki değişkenliğin yine tüm performans ölçütleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Kanban sayısının dahil olduğu ikili ve üçlü etkileşimler ise Tablo 9’da görülen performans ölçütleri üzerinde etkili olmuştur.

İlk deney setindeki önemli bir bulgu Ortalama Servis Oranı (OSO) performans ölçütü üzerinde tespit edilmiştir. Bu performans ölçütüne her üç faktörün de temel etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu F-testinin verdiği sonuçlar ile Tablo 9 üzerinde görülmektedir. Şekil 5’te görüldüğü gibi üretim parti büyüklüğü 1 veya 2 olarak ayarlandığında, Ortalama Servis Oranının yaklaşık 1 olduğu ve siparişlerin son tarihten önce tamamlanmış olduğu görülmektedir. Ancak, üretim parti büyüklüğü 3’e yükselip sistem yükü arttıkça Ortalama Servis Oranı azalmıştır. Üretim parti büyüklüğü 4’e yükseldiğinde ise servis oranı önemli ölçüde düşmüştür. Yani gecikmiş siparişlerinin sayısı açık bir şekilde artmıştır. İşlem zamanındaki değişkenliğin Ortalama Servis Oranı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu net bir şekilde anlaşılabilir. Bu durum işlem sürelerindeki değişkenlik yükseldikçe, Ortalama Servis Oranının düşeceği şeklinde yorumlanabilir. Sonuçlar aynı zamanda, süreç içi tampon stokların (yani kanbanların) bize Ortalama Servis Oranı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu konusunda önemli bir sonuç vermektedir. Süreç içi kanbanların etkisinin özellikle üretim parti büyüklüğünün yüksek değerlerinde oldukça önemli olduğu sonucuna varılabilir. Süreç içi ara stok tamponların daha yüksek olduğu durumlarda, artan işlem süresi değişkeninin ve üretim parti büyüklüğünün olumsuz etkilerinin daha fazla önlenebileceği görülmektedir.



Şekil 5: Deney 1 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği

## 6.2. DENEY SETİ 2

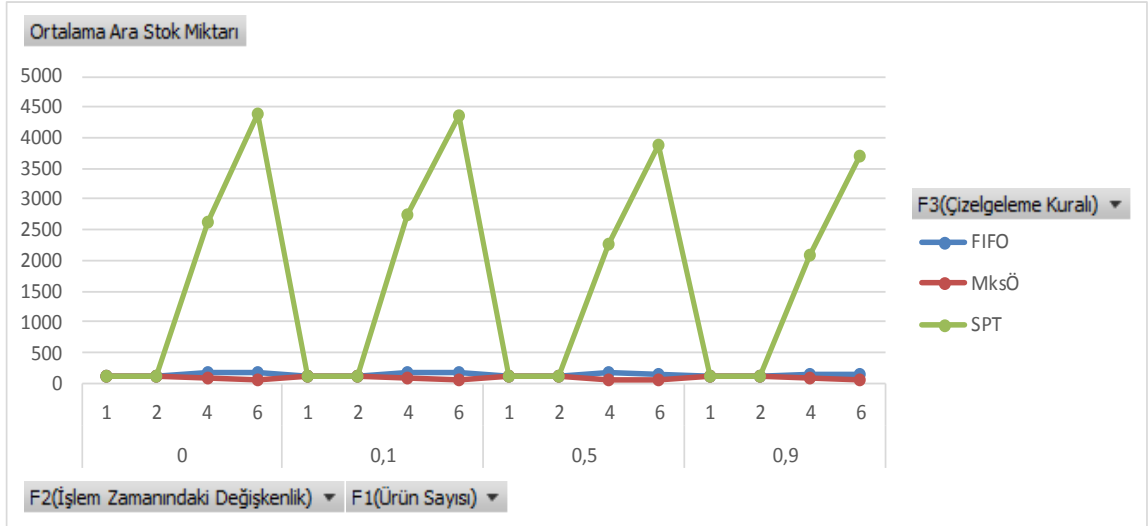
Deney seti 2’de, ürün sayısının, işlem zamanındaki değişkenliğin ve çizelgeleme kurallarının performans ölçütleri üzerindeki etkilerini görmek amaçlanmıştır.

Test edilen üç faktörün temel etkilerine ek olarak, faktörlerin iki yönlü ve üç yönlü etkileşimleri, ürün sayısı ve çizelgeleme kurallarının Ortalama Hattın Kullanım Oranı (OHKO) performans ölçütü üzerindeki iki yönlü etkileşimi hariç olmak üzere istatistiksel olarak etkiye sahip olduğu Tablo 9 üzerinde görülmektedir.

Ortalama Ara Stok Miktarı (OASM) performans ölçütü üzerinde her üç faktörün etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 6’da ürün sayısının 1 ve 2 değerlerinde benzer sonuçlar gözlemlenirken ürün sayısının daha yüksek değerlere çıkması ile Ortalama Ara Stok Miktarının yükseldiği görülmektedir.

Burada dikkat çeken en önemli bulgu çizelgeleme kurallarından yeni geliştirilen Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralının diğer kurallara göre işlem zamanındaki artışın ortalama stok miktarına olan olumsuz etkilerini en iyi şekilde absorbe etmesidir. MksÖ kuralını takiben FIFO kuralı gelmiştir. Ancak SPT kuralı diğer çizelgeleme kurallarına göre daha kötü sonuç vermiştir.

İşlem zamanındaki değişkenlik arttıkça Ortalama Ara Stok Miktarının azaldığı görülmektedir. Özellikle SPT kuralında Ortalama Ara Stok Miktarı olumlu etkilenmiştir.



Şekil 6 : Deneysel Ortalama Ara Stok Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği

Ortalama Üretim Miktarına (OÜM) her üç faktöründe istatistiksel olarak etkili olduğu F-testi sonuçları doğrultusunda görülmektedir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi ürün sayısının 1 ve 2 olarak belirlenmesi durumunda Ortalama Üretim Miktarı aynı değerlere sahipken ürün sayısının daha yüksek sayılara artması ile Ortalama Üretim Miktarının azaldığı görülmektedir.

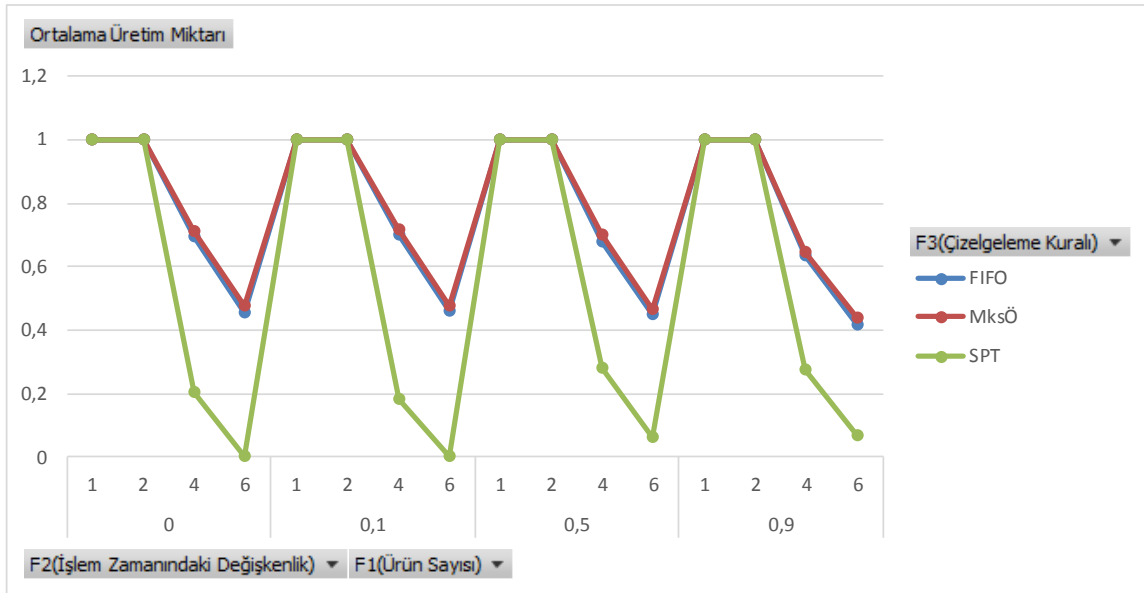
Ürün sayısının artışı sistemi zorlayıcı bir unsur olması nedeniyle bu sonuç şaşırtıcı değildir.

Çizelgeleme kurallarına bakılırsa Ortalama Üretim Miktarı için en iyi sonucu sağlayan kural Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı olmuştur. Bu kuraldan sonra FIFO kuralı başarılı olurken SPT kuralı diğer kurallara göre daha başarısız olmuştur.

İşlem zamanındaki değişkenlik 0 ve 0,1 değerlerinde benzer sonuçlar göstermektedir. İşlem zamanındaki değişkenlik 0,5 olduğunda SPT kuralına göre Ortalama Üretim Miktarının bir miktar arttığı, işlem zamanındaki değişkenlik 0,9 olduğunda FIFO ve MksÖ kurallarına göre Ortalama Üretim Miktarının azaldığı görülmektedir.

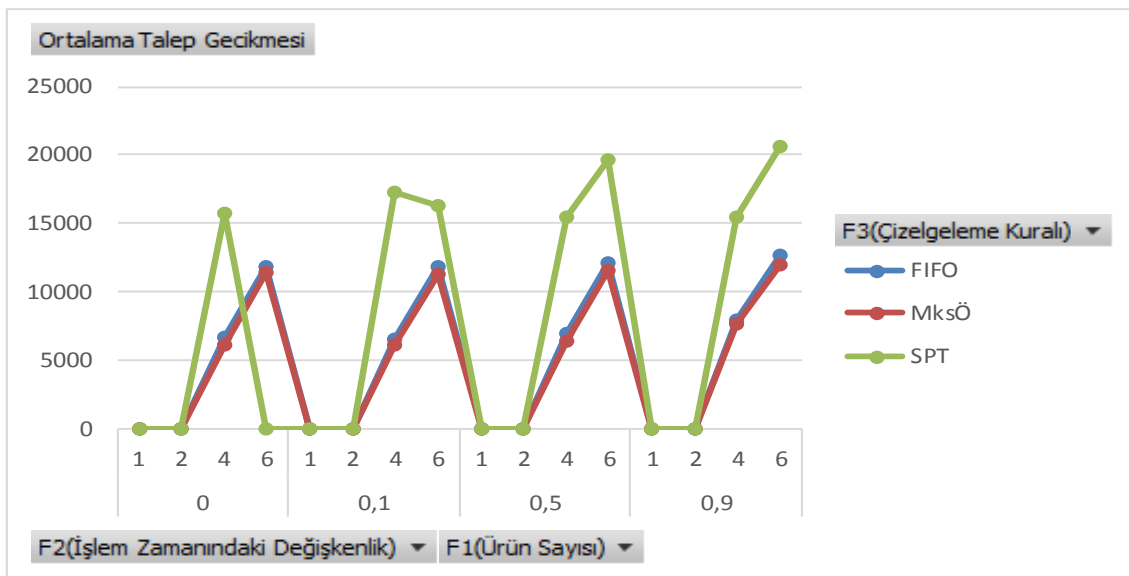
Bu durum işlem zamanındaki değişkenliğin yüksek değerlerde artışının olumsuz etkilerinin SPT kuralı ile absorbe edilebildiği şeklinde yorumlanabilir.





Şekil 7 : Deneysel Ortalama Üretim Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği

Ortalama Talep Gecikmesi (OTG) performans ölçütü üzerinde her üç faktörün etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 8’de ürünlerin sayısındaki artışın, üretim sistemini zorladığı ve Ortalama Talep Gecikmesini her çizelgeleme kuralı için arttırdığı açıkça görülmektedir. Artan ürün sayısı, talepler için daha yüksek bir gecikmeye yol açmaktadır. Üç çizelgeleme kuralı arasında yeni geliştirilen Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı Maksimum Talep Gecikmesi performans ölçütünde en iyi performansı göstermiştir. Bu kurala takiben FIFO kuralı da iyi sonuçlar vermiştir. Ancak SPT kuralı diğer çizelgeleme kurallarına göre maksimum gecikme performans ölçütü üzerinde kötü sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda işlem zamanındaki değişkenliğin artması ile Maksimum Talep Gecikmesinin arttığı gözlemlenebilmektedir.

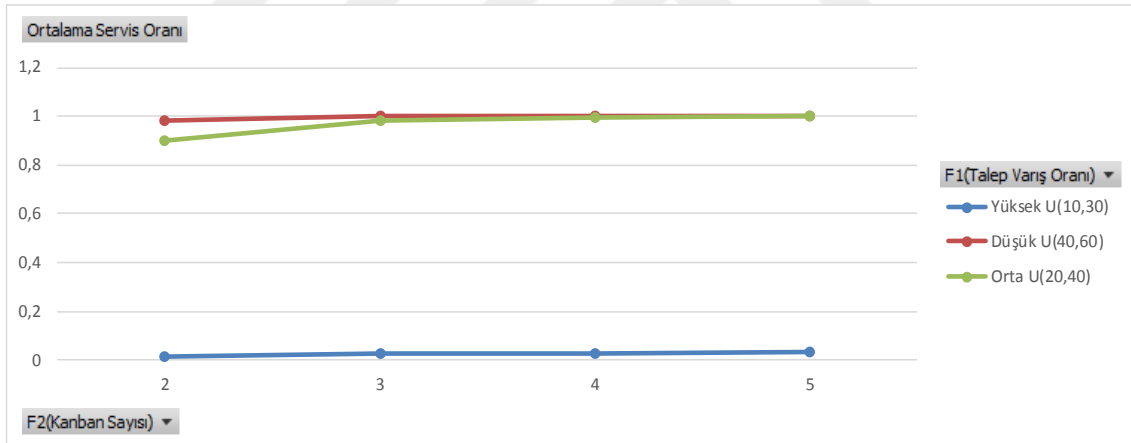


Şekil 8 : Deneysel Ortalama Talep Gecikmesi Deneysel Sonuç Grafiği

### 6.3. DENEY SETİ 3

Bu deney, talep varış hızı ve kanban sayısı faktörlerinin belirlenen performans ölçütleri üzerindeki etkilerini gözlemlemek için gerçekleştirilmiştir. F-testi istatistikleri, Tablo 9’da görüldüğü gibi talep varış hızının temel etkisinin tüm performans ölçütlerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterirken, kanban sayısının temel etkisinin beş performans ölçütünde etkili olduğunu göstermektedir. İki yönlü etkileşimler kanban sayısının da temel etkiye sahip olduğu beş performans ölçütü üzerinde etkilidir.

Talep varış oranı ve kanban sayısı faktörleri istatistiksel olarak Ortalama Servis Oranı (OSO) üzerinde anlamlı etkiye sahiptir. Şekil 9’da gösterildiği gibi talep varış oranının yüksek olarak belirlenmesi yani sisteme gelen taleplerin sıklığının en yüksek seviyede olması Ortalama Servis Oranının önemli ölçüde düşmesine neden olmuştur. Talep varış oranının orta ve düşük seviyeleri benzer sonuçlar veririrken kanban sayısının 2 olduğu durumda talep varış oranının orta seviye olarak belirlenmesi düşük seviye olarak belirlenmesinden daha düşük Ortalama Servis Oranına neden olmuştur.



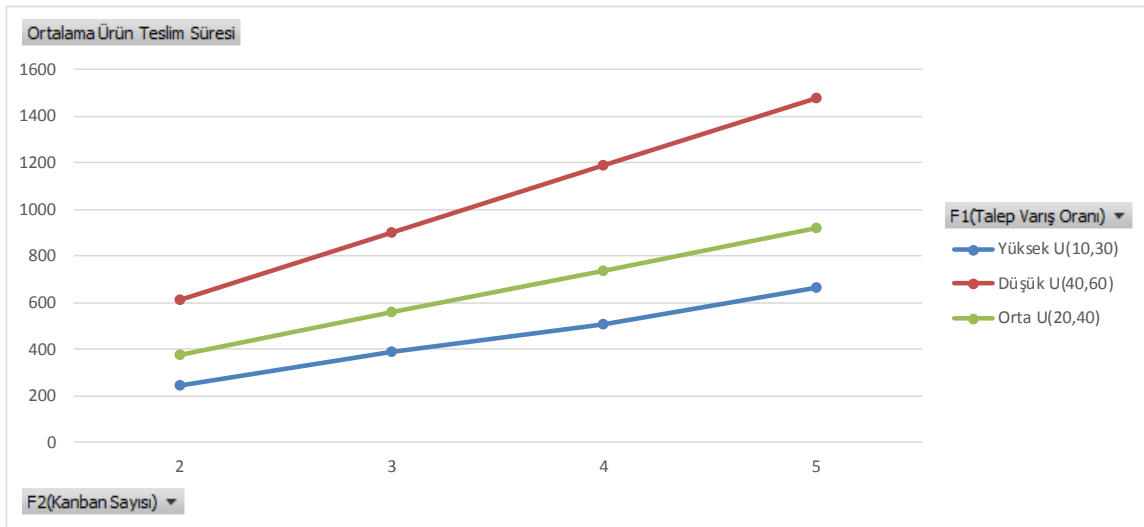
Şekil 9 : Deneysel Ortalama Servis Oranı Deney Sonuç Grafiği

Ortalama Ürün Teslim Süresi (OÜTS) performans ölçütü üzerinde talep varış oranı ve kanban sayısının istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir.

Şekil 10’da görüldüğü gibi bir zaman birimi içerisindeki talep miktarı arttıkça, işin tamamlanma süresi ile işin başladığı zaman arasındaki fark olarak tanımlanan Ortalama Ürün Teslim Süresi azalmaktadır. Özellikle, talep varış oranı düşük seviye olarak ayarlanmışsa toplam üretim döngü süresi, muadillerinden büyük ölçüde ayrılır.

Şekil 10’da ayrıca artan kanban sayısı ile, her üç talep varış oranında da daha yüksek Ortalama Ürün Teslim Süresi ile sonuçlandığını göstermektedir. Bu durum süreç

içinde artan iş süresinin daha yüksek Ortalama Ürün Teslim Süresine yol açtığını göstermektedir.

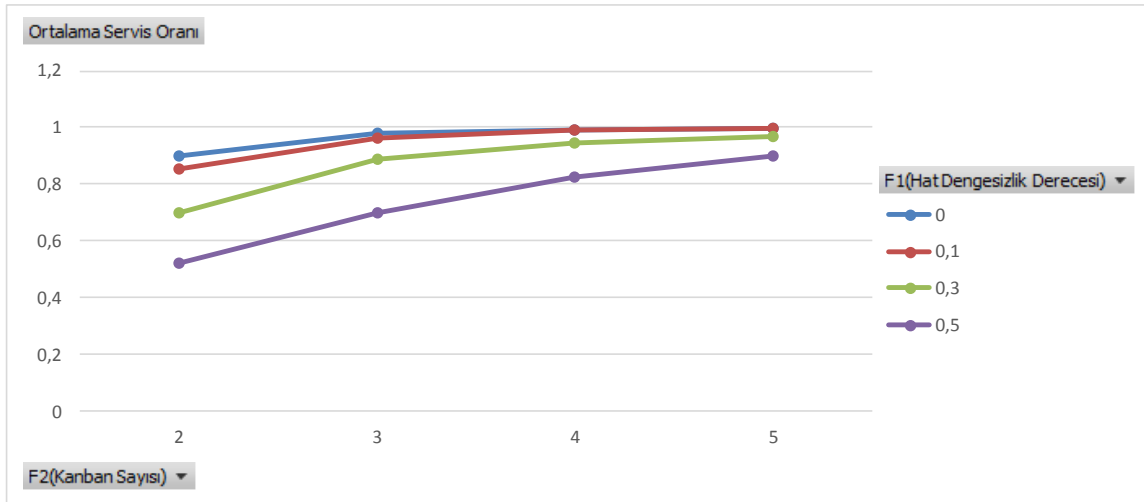


Şekil 10 : Deney 3 Ortalama Ürün Teslim Süresi Deneysel Sonuç Grafiği

#### 6.4. DENEY SETİ 4

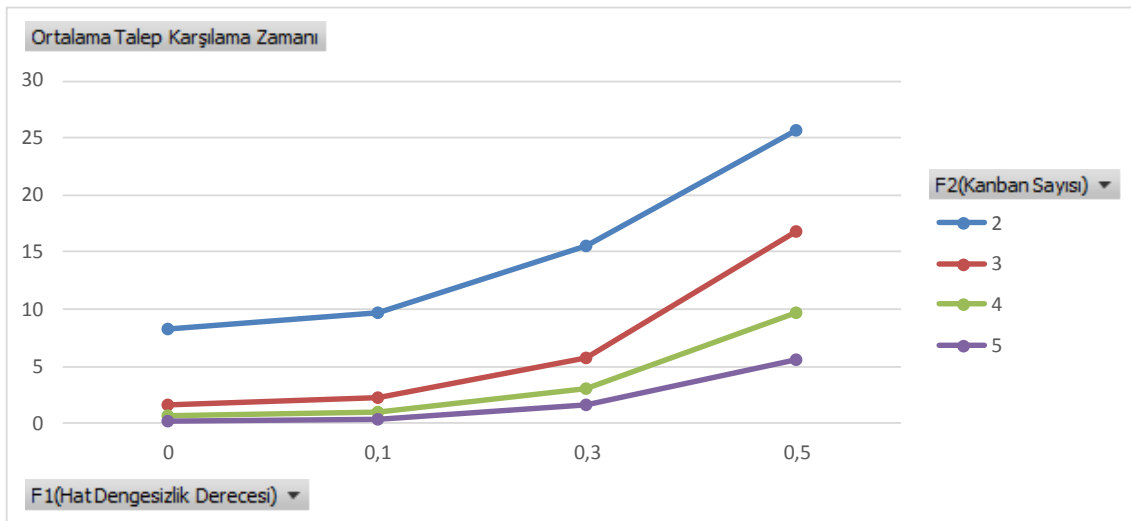
Deney 4 Hat Dengesizlik Derecesi ve kanban sayısı faktörlerinin belirlenen performans ölçütleri üzerindeki etkisini gözlemlemek için oluşturulmuştur. Hat Dengesizlik Derecesi faktörünün temel etkisi, Ortalama Karşılanan İki Talep Arası Süre (OKİTAS) hariç tüm faktörlerde istatistiksel olarak anlamlıdır. Kanban sayısının temel etkisi Ortalama Hattın Kullanım Oranı (OHKO) ve Ortalama Karşılanan İki Talep Arası Süre (OKİTAS) hariç tüm faktörlerde istatistiksel olarak anlamlıdır. F-testine göre ayrıca, bu deneyde test edilen faktörlerin etkileşimlerinin Tablo 9'da görülebileceği gibi altı performans ölçütü üzerinde etkisi vardır.

Hat Dengesizlik Derecesi ve kanban sayısı faktörleri Ortalama Servis Oranı (OSO) performans ölçütü üzerinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 11'e göre Hat Dengesizlik Derecesinin artışı ile Ortalama Servis Oranının düştüğü görülmektedir. Bu durum Hat Dengesizlik Derecesinin sistemde meydana getireceği dar boğaz oluşumu ile açıklanabilir. Hat Dengesizlik Derecesinin artışının Ortalama Servis Oranı üzerindeki etkisi kanban sayısının artırılması ile azaltıldığı Şekil 11 üzerinde net bir şekilde görülmektedir.



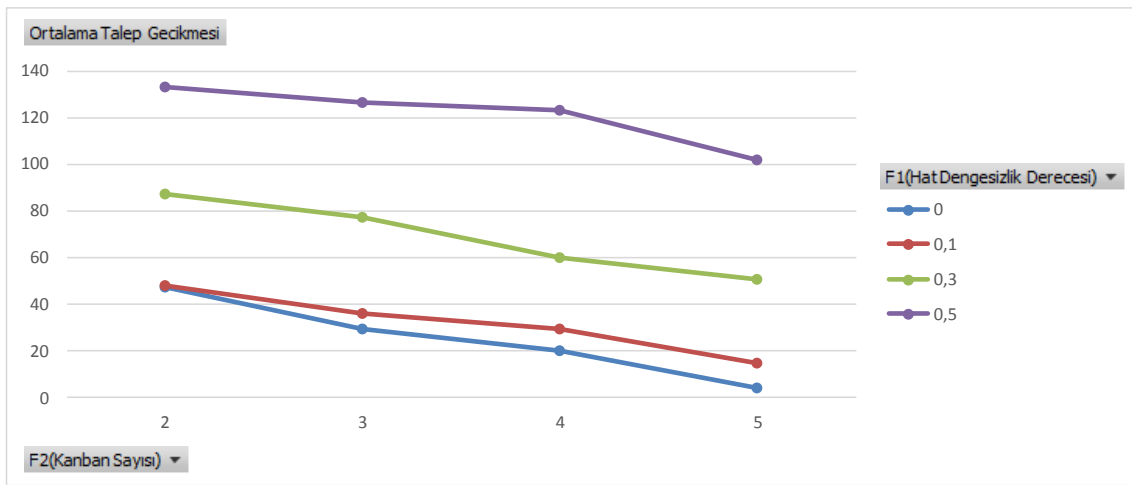
Şekil 11 : Deney 4 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği

Ortalama Talep Karşılama Zamanı (OTKZ) performans ölçütünde her iki faktörün istatistiksel olarak anlamlı olduğu Tablo 9 üzerinde görülmektedir. Şekil 12'de gösterildiği gibi, Hat Dengesizlik Derecesi arttıkça, Ortalama Talep Karşılama Zamanı artmaktadır. Bu duruma, her istasyonda ortalama işlem süresinin dengesizliğinin oluşturduğu düzensizlik ve sistemde oluşabilecek tıkanıklık neden olarak gösterilebilir. Dengesizliğe sahip bir hat, beklenen bir şekilde daha yüksek üretim döngü süreleri sağlayarak gecikmiş müşteri siparişlerine neden olmaktadır. Bu deneyle ilgili bir diğer önemli bulgu ise, kanbanların kontrol ettiği süreç içi tamponların sayısı arttıkça, toplam talep karşılama süresinin azalması ve dolayısıyla toplam hizmet karşılama süresine göre müşteri hizmet seviyesinin artmasıdır.



Şekil 12 : Deney 4 Ortalama Talep Karşılama Zamanı Deneysel Sonuç Grafiği

Maksimum Talep Gecikmesi (MksTG) performans ölçütünde her iki faktörün istatistiksel olarak anlamlı olduğu Tablo 9 üzerinde görülmektedir. Şekil 13'te gösterildiği gibi, Hat Dengesizlik Derecesi arttıkça, Maksimum Talep Gecikmesi artmaktadır. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü Hat Dengesizlik Derecesinin artışı ürünlerin zamanında tamamlanamamasına neden olarak işlerin gecikme sürelerinin artmasına neden olacaktır. Kanbanların artışı ile gecikme süreleri azalmaktadır. Burada tampon stokların varlığının sistemdeki işlerin daha hızlı tamamlanmasında dolayısı ile gecikme sürelerini azaltmada önemli rol oynadığı açıkça görülebilir.



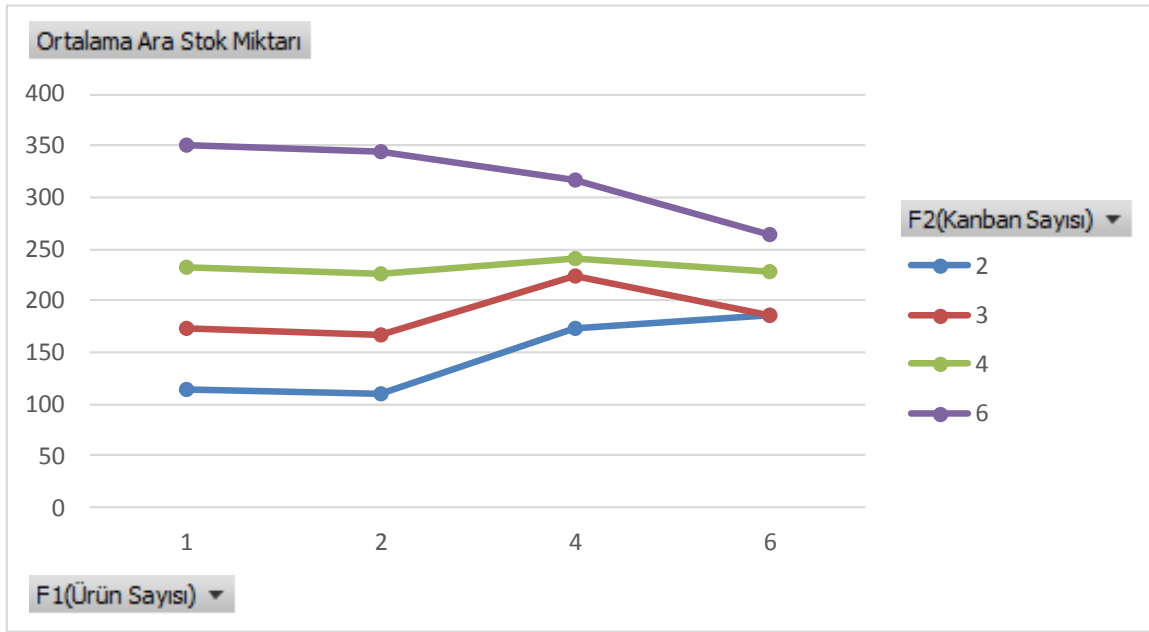
Şekil 13 : Deney 4 Maksimum Talep Gecikmesi Deneysel Sonuç Grafiği

## 6.5. DENEY SETİ 5

Deney 5 ürün sayısı ve kanban sayısının etkilerinin incelenmesi amacıyla oluşturulmuştur. Tablo 9'da ürün sayısının tüm performans ölçütleri üzerinde temel etkisinin olduğu görülmektedir, ancak kanban sayısının temel etkisi sadece üç performans ölçütünde görülmektedir. Aynı üç performans ölçütünde, faktörlerin iki yönlü etkileşimlerinin etkisi görülmektedir.

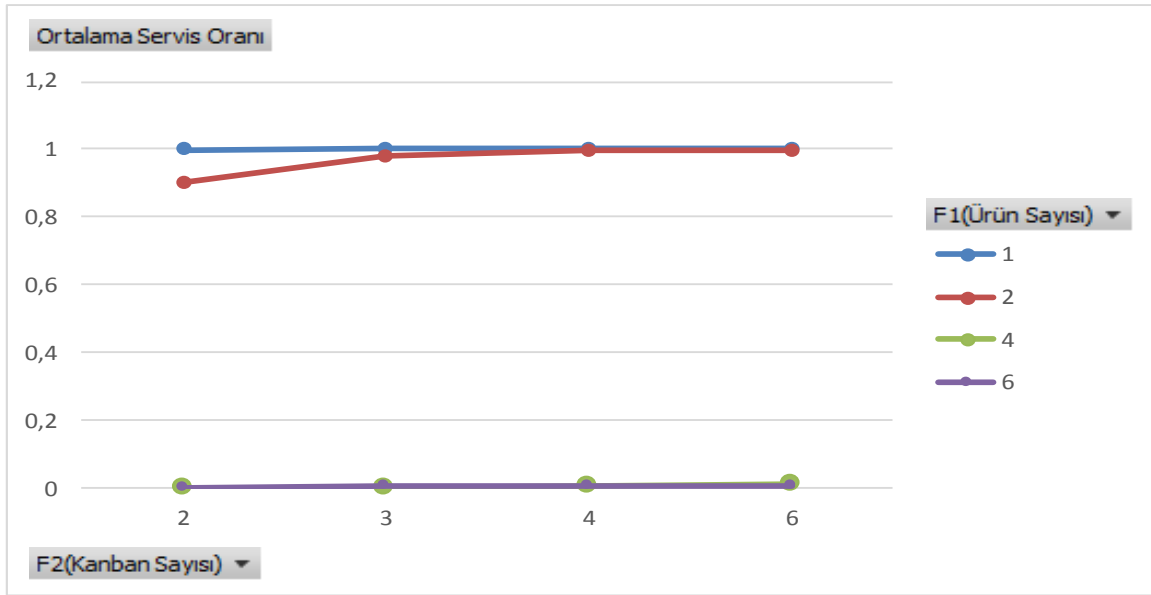
Ürün sayısının ve kanban sayısının Ortalama Ara Stok Miktarı (OASM) üzerinde etkilerinin istatistiksel olarak etkili olduğu F-testi sonuçlarında görülmektedir. Ortalama Ara Stok Miktarı, her bir istasyonun gelen ve giden stok noktalarında bekleyen parçaların toplamı ve bitmiş parça stok noktasında tutulan parçaların toplamı ile hesaplanır. Şekil 14'te görülebileceği gibi, kanbanların sayısındaki artış, beklendiği gibi süreç tamponu seviyesinin artmasına yol açmaktadır. Ayrıca ürün sayısı 1'den 2'ye değiştiğinde tampon stok seviyesinde önemli bir değişiklik gözlenmemektedir, çünkü kanban sayısı her iki

durumda da ürün sayısından daha fazladır. Ancak, ürün sayısı 2'den 4'e yükseldiğinde, kuyruk uzunluğu, daha az sayıda kanban içeren durumlarda önemli ölçüde artmıştır (yani, 2,3 ve 4). Ürün sayısı bu deney için en yüksek seviye yani 6 olarak ayarlandığında kanban sayısı 2 olduğu durum hariç tüm kanban seviyeleri için Ortalama Ara Stok Miktarı düşmeye başlamaktadır.



Şekil 14 : Deney 5 Ortalama Ara Stok Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği

Ürün sayısının ve kanban sayısının Ortalama Servis Oranı (OSO) performans ölçütü üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 15'te görüldüğü gibi ürün sayısının 1 olduğu durumda Ortalama Servis Oranı en yüksek değerindedir. Ürün sayısı 2'ye yükseldiğinde ise Ortalama Servis Oranının düştüğü ancak bu olumsuzluğun artırılan tampon stok miktarı ile çözüldüğü görülmektedir. Ürün sayısının 4 ve daha yüksek değerler aldığı durumlarda Ortalama Servis Oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ürün sayısı 4 iken kanban sayısındaki artışın çok düşük bir şekilde Ortalama Servis Oranını arttırdığı görülürken ürün sayısı 6 olarak belirlendiğinde kanban sayısının artışının kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu durum kanban sayısının artış miktarının ürün sayısının artışının oluşturduğu olumsuz etki için yetersiz kaldığı ve tampon stokun daha çok artırılması gerektiği sonucunu göstermektedir.



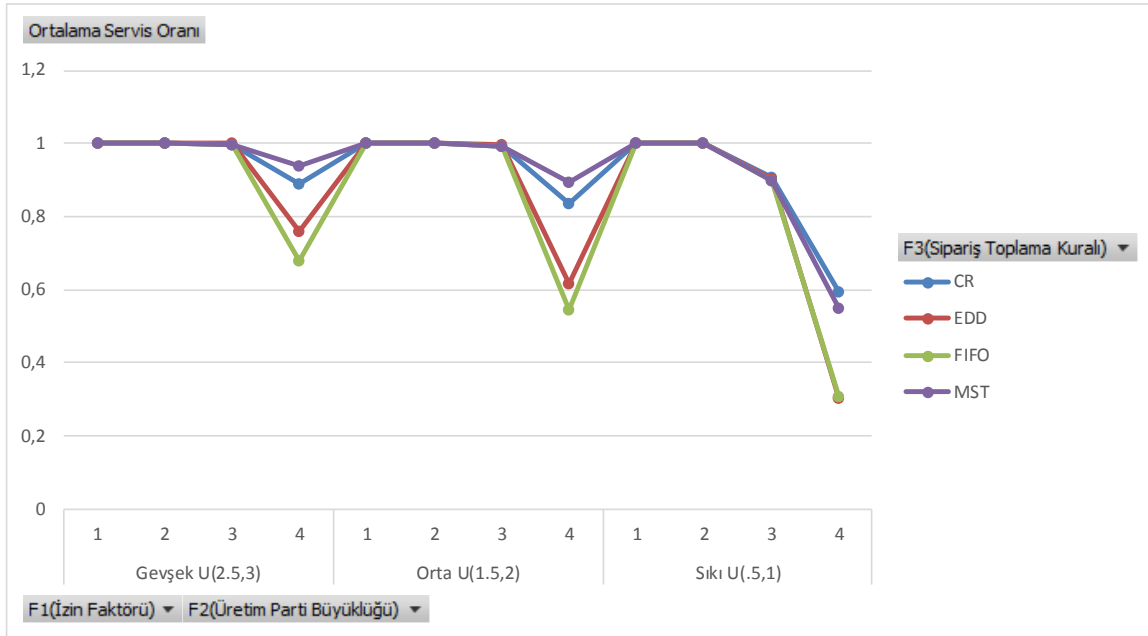
Şekil 15 : Deney 5 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği

## 6.6. DENEY SETİ 6

Deney seti 6 izin faktörü, üretim parti büyüklüğü ve sipariş toplama kurallarının etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Üretim parti büyüklüğünün tüm performans ölçütleri üzerinde istatistiksel olarak etkisinin olduğu görülmektedir. İzin faktörü dört performans ölçütü üzerinde istatistiksel olarak temel etkiye sahipken sipariş toplama kuralları iki performans ölçütü üzerinde temel etkiye sahiptir. Faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin performans ölçütleri üzerindeki etkileri Tablo 9’da verildiği gibidir.

F-test istatistiği, temel etkilerin, ikili etkileşimlerin etkilerinin ve üçlü etkileşimlerin etkilerinin, Ortalama Servis Oranı (OSO) üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 16’da görüldüğü gibi, siparişlerin teslim tarihlerinin en uzak tarihe atanmasından en yakın tarihe atanmasına doğru değiştirildiğinde (yani, izin faktörü gevşekten ortaya ve sonrasında sıkıya doğru), geciken sipariş sayısı artar ve dolayısıyla Ortalama Servis Oranı azalır. Diğer bir bulgu, artan üretim parti büyüklüğünün Ortalama Servis Oranında bir azalmaya yol açmasıdır. Bu durum, siparişlerin parti büyüklüğündeki artışın siparişlerin teslim tarihlerinden önce teslim edilmesinde olumsuz bir etkiye sahip olması ve dolayısıyla siparişlerin daha geç teslim edilme ihtimalinden kaynaklanmaktadır. Bu deneyden elde edilen en önemli sonuç, sipariş toplama kuralları ile ilgilidir. Daha küçük üretim parti büyüklükleri (yani 1 ve 2) için, üç farklı sipariş toplama kuralları arasında gözlemlenebilir bir fark yoktur. Bununla birlikte, daha büyük üretim parti büyüklükleri için, sipariş toplama kurallarının

performansı birbirinden ayrılır. FIFO kuralı en kötü performansı gösterirken en iyi performansı genel olarak MST kuralı göstermiştir. Üretim parti büyüklüğü 4 olarak ayarlandığında ve izin faktörü sıkıyken CR kuralı MST kuralına göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 16: Deney 6 Ortalama Servis Oranı Deneysel Sonuç Grafiği

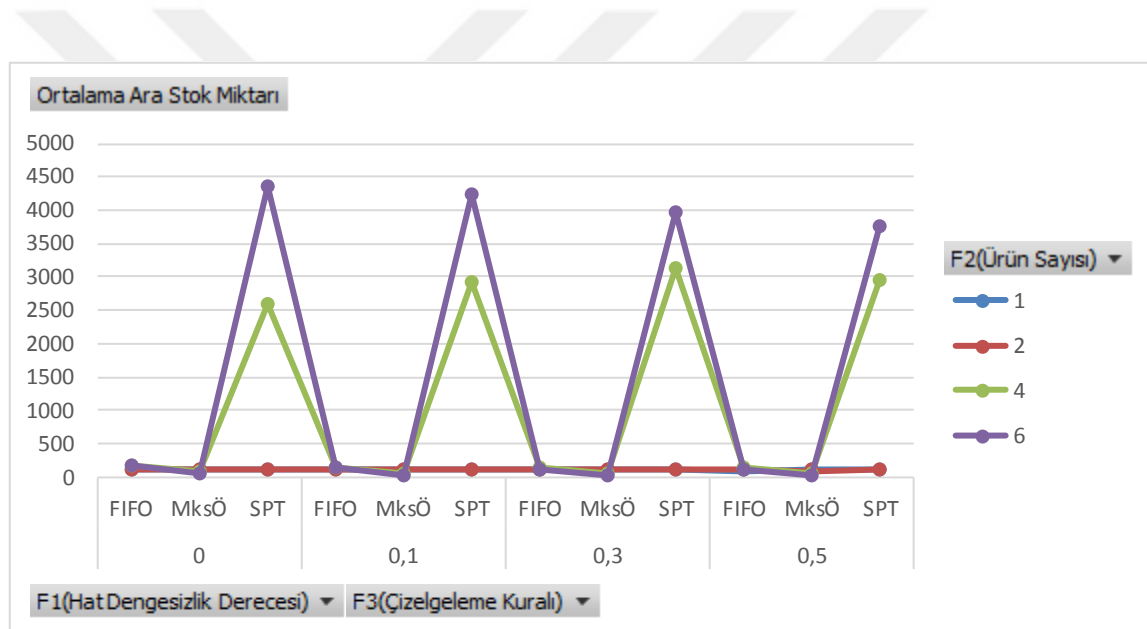
## 6.7. DENEY SETİ 7

Deney 7’de Hat Dengesizlik Derecesi, ürün sayısı ve çizelgeleme kuralları faktörlerinin performans ölçütleri üzerindeki etkileri gözlemlenmektedir. Tüm faktörlerin çizelgeleme kurallarının Ortalama Hattın Kullanım Oranı (OHKO) performans ölçütü üzerine etkisi hariç tüm performans ölçütlerinde istatistiksel olarak temel etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Tüm performans ölçütleri için Hat Dengesizlik Derecesi ve ürün sayısı faktörleri arasında iki yönlü etkileşimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Çizelgeleme kurallarının Hat Dengesizlik Derecesi ve ürün sayısı ile iki yönlü etkileşimleri, Ortalama Hattın Kullanım Oranı performans ölçütü hariç tüm performans ölçütleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Faktörlerin üç yönlü etkileşimi de tüm performans ölçütleri üzerinde anlamlıdır ancak yine Ortalama Hattın Kullanım Oranı istisnadır.



Belirlenen üç faktörün Ortalama Ara Stok Miktarı (OASM) üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu Tablo 9’da görülmektedir.

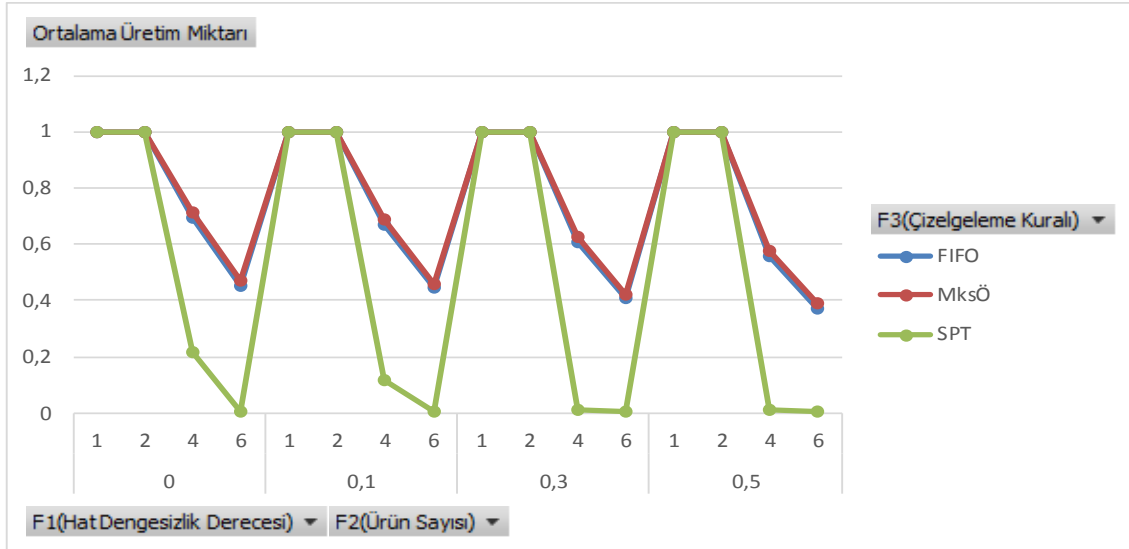
Şekil 17’de görülen önemli bir bulgu şudur ki, Ortalama Ara Stok Miktarındaki artışı en iyi şekilde dengeleyen çizelgeleme kuralı Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı olmuştur. MksÖ kuralından sonra FIFO kuralı yine Ortalama Ara Stok Miktarı konusunda başarılı olmuştur ancak SPT kuralı ürün sayısındaki artışın etkisini azaltmada diğer kurallara göre başarılı olamamıştır. Ürün sayısının 4 olduğu durumda Hat Dengesizlik Derecesinin artışı Ortalama Ara Stok Miktarını arttırırken ürün sayısı 6 olduğu durumda Ortalama Ara Stok Miktarında düşüş görülmektedir. Bu durum Hat Dengesizlik Derecesinin oluşturduğu dar boğaz sonucu olarak sonraki istasyonların boş kalması ile açıklanabilir.



Şekil 17: Deney 7 Ortalama Ara Stok Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği

Belirlenen üç faktörün Ortalama Üretim Miktarı (OÜM) üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu Tablo 9’da görülmektedir. Şekil 18’de görüldüğü gibi Ortalama Üretim Miktarı ürün sayısının artışı ile azalmaktadır. Şekil 18’de ürün sayısı 1 ve 2 değerlerini aldığı anda Ortalama Üretim Miktarının benzer sonuçlar aldığı ancak ürün sayısının 2’den daha yüksek değerler alması durumunda bu oranın düştüğü görülmektedir. Artan ürün sayısının sistem içi karışıklığa sebep olarak sistemi zorlayıcı bir unsur olması nedeniyle bu beklenen bir sonuçtur. Çizelgeleme kurallarından MksÖ kuralı en iyi sonucu vererek Ortalama Ürün Üretilen Sayısı Oranını arttırmıştır. FIFO

kuralı MksÖ kuralına yakın ancak biraz daha düşük sonuçlar vermiştir. SPT kuralı ise her iki kurala göre daha başarısız olmuştur.



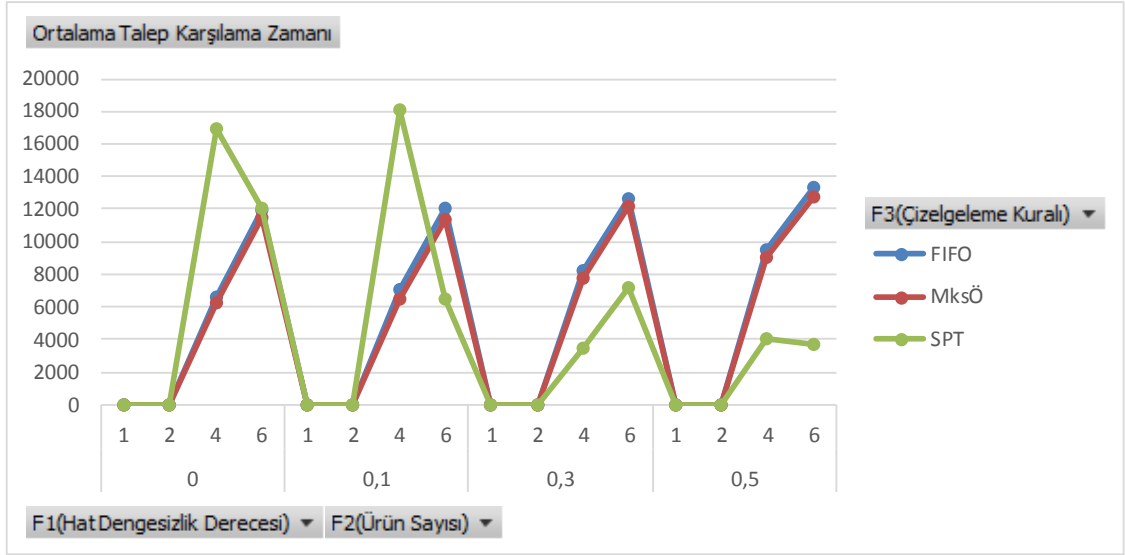
Şekil 18 : Deney 7 Ortalama Üretim Miktarı Deneysel Sonuç Grafiği

Belirlenen üç faktörün Ortalama Talep Gecikmesi (OTG) performans ölçütü üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu Tablo 9'da görülmektedir.

Şekil 19'da artan ürün sayısının Ortalama Talep Gecikmesinde artışa yol açtığı görülmektedir. Farklı ürün sayısı ve dengesizlik dereceleri için FIFO ve MksÖ kurallarının benzer bir model gösterdiği ancak MksÖ kuralının FIFO kuralından biraz daha iyi performans gösterdiğini belirtilebilir.

Bu deneydeki ilginç bulgu şudur ki SPT kuralı rakipleri arasında üstünlüğünü daha büyük Hat Dengesizlik Derecesi için göstermektedir. Hat boyunca istasyonlardaki ortalama işlem sürelerindeki sapma arttıkça, SPT kuralı diğer iki kuralı geride bırakmaktadır. Bu sonuç, SPT kuralındaki siparişlerin daha kısa tamamlanma sürelerine sahip olması ile açıklanabilir.

Ürün sayısının 2'den 4'e değiştiğinde, Ortalama Talep Gecikmesinin SPT kuralı için hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Ancak ürün sayısı 2'den 6'ya yükseldiğinde Ortalama Talep Gecikmesinde bir azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 19 : Deney 7 Ortalama Talep Gecikmesi Deneysel Sonuç Grafiği

## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Tam Zamanında Üretim Sistemi (TZÜ) felsefesi altında çalışan bir üretim sistemi modellenmiştir. Tam Zamanında Üretim Sistemi özellikle otomotiv firmalarında oldukça yoğun kullanılan başarılı bir yönetim sistemidir. Tam Zamanında Üretim Sisteminin başarısının temelinde stok maliyetlerinin minimize edilmesi ve dolayısı ile işletme maliyetlerinin azaltılması vardır. Stokları en az seviyeye indirmek Tam Zamanında Üretim Sisteminin temel amacıdır. Bu amaç doğrultusunda yönetilen üretim sistemleri çekme sistemi felsefesi altında çalışmaktadır.

Çekme sistemleri kanban kartları ile yönetilen bir sistemdir. Çoğunlukla çekme kanbanı ve üretim sipariş kanbanından oluşan iki kanban kartlı sistemler kullanılmaktadır. Çekme sistemi klasik itme sistemlerinden farklı olarak sipariş tahminlerine göre üretim yapılması ile değil, müşterinin ürünü sistemden çekmesi ile üretime başlamaktadır.

Üzerinde çalışılmış ve sonuçları bu tez içerisinde aktarılmış olan model, Tam Zamanında Üretim Sistemi felsefesi ile çalışan bir üretim hattıdır. Bu üretim hattının klasik Tam Zamanında Üretim Sistemlerinden bazı farkları bulunmaktadır. Öncelikle bu çalışmanın literatüre en önemli yeniliği sisteme gelen taleplerin (veya siparişlerin) tek tip ürünü içermemesi, aynı anda birden fazla ürün çeşidini ve her bir ürün çeşidi için birden fazla adeti içerebilmesidir. Gerçek üretim sistemlerinde taleplerin (veya siparişlerin) gelişleri farklı ürünleri ve farklı adetleri içerisinde barındırabilir. Her zaman talepler tek tip ürün için verilmeyebilir. Literatürde Tam Zamanında Üretim Sistemlerinin simülasyonu konusunda sisteme gelen taleplerin tek tip ürün olduğu durumlar araştırılmıştır. Bu çalışma ile literatüre bir katkı sağlanmak amaçlanmaktadır.

Klasik Tam Zamanında Üretim Sistemlerinde ürün tipi tek bir ürün olarak sınırlandırılmıştır. Üzerinde çalışılmış olan çalışmada ise ürün tipi sayısının birden fazla miktarda olduğu durumlar incelenmiştir. Gerçek üretim sistemlerinde müşterilerin taleplerine karşılık olarak bir teslim tarihi verilir. Bu teslim tarihinden önce tamamlanan işler müşteriye memnun eder ancak teslim tarihinden geç tamamlanan işler müşteriye memnuniyetsizlik oluşturur. Gerçek hayatta önemli bir değere sahip olan teslim tarihi kavramı bu çalışma içerisinde incelenmiştir.

Çalışma içerisinde Maksimum Öncelik Kuralı (MksÖ) adı verilen yeni bir çizelgeleme kuralı oluşturulmuştur. Bu çizelgeleme kuralına göre son istasyondan çıkan bitmiş ürünler stoğu müşteri talebi ile karşılaştırılır. Eksik olan ürünler için makineler

önünde işlem görmeyi bekleyen ürünlere öncelik verilir. Böylelikle talebin eksik kalan ürünün tamamlanması ile çok daha hızlı karşılanacağı planlanmıştır.

Bu çalışmada beş istasyonlu, akış tipi üretim gerçekleştiren, birden fazla ürün çeşitliliğine sahip, bir tam zamanında üretim sistemi modellenmiştir. Sistem iki kanban kartlı sistem ile çalışmaktadır. Bunlar üretim sipariş kanbanı ve çekme kanbanıdır. Üretim sisteminde kanbanlar anlık olarak kontrol edilmektedir. Modellenen üretim sisteminde gelen taleplerin sipariş içeriğinde birden fazla ürün ve her bir ürün için farklı miktarlar barındırabilir. Sistemdeki her bir talebin makul olarak belirlenmiş bir teslim tarihi bulunmaktadır. Bu teslim tarihinden sonra tamamlanan işler gecikmiş işler olarak nitelendirilmektedir.

Sistem SIMAN dili ile ARENA programı üzerinde modellenmiştir. Bu çalışma ile Tam Zamanında Üretim Sistemi için önemli olan birtakım faktörlerin etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma içerisinde değerlendirilen faktörler, işlem zamanındaki değişkenlik, kanban sayısı, üretim sipariş miktarı, ürün sayısı, çizelgeleme kuralları, talep varış oranı, hat dengesizlik derecesi, sipariş toplama kuralları ve izin faktörüdür.

Bu faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesi için dokuz farklı performans ölçütü belirlenmiştir. Bu performans ölçütleri, Ortalama Hattın Kullanım Oranı (OHKO), Ortalama Ara Stok Miktarı (OASM), Ortalama Üretim Miktarı (OÜM), Ortalama Servis Oranı (OSO), Ortalama Talep Karşılama Zamanı (OTKZ), Ortalama Karşılanan İki Talep Arası Süre (OKİTAS), Ortalama Ürün Teslim Süresi (OÜTS), Ortalama Talep Gecikmesi (OTG) ve Maksimum Talep Gecikmesidir (MksTG).

Baz model üzerinde faktörlerin etkilerinin belirlenen performans ölçütleri üzerinde değerlendirilmesi amacıyla yedi farklı deney seti oluşturulmuştur. Bu deney setlerinde belirlenen faktörlerin değişiminin etkileri MINITAB programı ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. İstatistiksel olarak yapılan testlerde Çok Değişkenli Varyans Analizi (MANOVA) yöntemi kullanılmıştır.

Oluşturulan deney setlerinin detaylı incelemeleri daha önce açıklanmış olup dikkat çekici bulgular şu şekilde aktarılabilir. İlk olarak bir siparişi oluşturan üretim parti büyüklüğü ve ürün sayısının neredeyse tüm performans ölçümleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Sistem daha fazla ürün içeren siparişlerle yüklendiğinde, hattın kullanımı ve yoğunluğu belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu durumda sistemin Ortalama Talep Gecikmesi veya Ortalama Servis Oranı gibi müşteri odaklı performans ölçütleri önemli ölçüde azalmaktadır. İşlem süresindeki değişkenliğin (CV) artması üretim hattının kullanımında artışa neden olurken çıkan ürün oranında bir azalmaya yol

açmaktadır. Daha küçük üretim parti büyüklükleri ve işlem sürelerindeki değişkenliğin (CV) daha düşük olarak belirlendiği durumlarda kanbanların sayısının her iki parametrenin olumsuz etkisini absorbe edebildiği görülmüştür. Ancak, kanban sayısı yani tampon stok miktarı bu faktörlerin daha büyük seviyelerdeki olumsuz etkilerini gizleyebilmek için yetersiz kalmıştır.

Aynı zamanda makinelerin önündeki çizelgeleme kurallarının hat performansını etkilediği görülmüştür. Önerilen çizelgeleme kuralı olan Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı en düşük gecikme değerini verirken, SPT en kötü performansı sağlamıştır. FIFO kuralı ise MksÖ kuralını takip ederek SPT kuralına göre daha başarılı olmuştur.

Talebin birim zamandaki sisteme geliş oranı arttıkça, kanban sayısı yani tampon stok seviyesi Ortalama Ürün Teslim Süresini (OÜTS) bir dereceye kadar absorbe edebilmiştir. Kanban seviyesinin talep varış oranındaki dalgalanmayı önleme amacının olmasının yanı sıra aynı zamanda sürecin işleyişi sırasında farklı sonuçlar da meydana getirmiştir. Mamul stoklarının artışı ile talepler mamul stoklarından karşılanmaktadır ve böylece daha yüksek sayıda kanban ile süreç içindeki doluluk seviyesi daha düşük tutulmuştur.

Sipariş toplama kurallarının sadece Maksimum Talep Gecikmesi (MksTG) ve Ortalama Servis Oranı (OSO) performans ölçütlerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde MST ve CR kurallarının FIFO ve EDD kurallarına kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği ve gecikmiş iş sayısının daha az olduğu görülmüştür.

İleriki çalışmalarda yol göstermesi açısından birtakım öneriler verilebilir. Gerçekleştirilen çalışmada istasyon sayısı beş istasyon ile sınırlandırılmıştır. İstasyon sayısı faktörler içerisine dâhil edilerek istasyon sayısının değişiminin etkileri gözlemlenebilir. Sistem akış tipine sahip seri bir üretim sistemi için modellenmiştir. Sistem atölye tipinde incelenerek esnek üretim sisteminde faktörlerin etkileri değerlendirilebilir. Makine arızaları modellenen sistemde değerlendirilmemiştir. Arızaların sisteme ne tür etkiler oluşturabileceği üzerinde çalışılabilir.

Modellenen sistemde taşıma zamanları değerlendirilmemiştir. İleriki çalışmalarda taşıma süreleri dâhil edilebilir, taşıma ekipmanları tanımlanabilir veya taşıma ekipmanlarının arızalanma durumları da sisteme eklenebilir. Çalışmada kanbanlar anlık olarak takip edilmektedir. Kanbanların belirli periyotlarda takip edildiği ve bu periyodun uzun ya da kısa olmasının sisteme nasıl etki ettiği araştırılabilir.

## 8. KAYNAKLAR

- Atwater, J. B. ve Chakravorty, S. S., 1996, The impact of restricting the flow of inventory in serial production systems, *International Journal of Production Research*, 34 (9), 2657-2669.
- Azadeh, A., Ebrahimipour, V. ve Bavar, P., 2010, A hybrid GA-simulation approach to improve JIT systems, *International Journal of Production Research*, 48 (8), 2323-2344.
- Azouz, N., Belisario, L. S., A., A. ve Pierreval, H., 2018, Addressing Over-Correction in Adaptive Card-Based Pull Control Systems, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.
- Belisario, L. S. ve Pierreval, H., 2015, Using genetic programming and simulation to learn how to dynamically adapt the number of cards in reactive pull systems, *Expert Systems with Applications*, 42 (6), 3129-3141.
- Chan, F. T. S., 2001, Effect of kanban size on just-in-time manufacturing systems, *Journal of Materials Processing Technology*, 116 (2-3), 146-160.
- Christenson, K. R. ve Dogan, C. A., 1995, A Simulation Generator for Dual-Card Kanban-Controlled Flow Shops, *International Journal of Production Research*, 33 (9), 2615-2631.
- E., K., 2011, Tam zamanlı üretim sisteminin uygulanması ve muhasebeleştirme işlemleri: Merinos Masterbatch işletmesinde bir uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 409-423.
- F., K., 2016, A Hybrid Push/Pull Design of Kanban Systems During Production Ramp-Up Phase, *International Journal Services and Operations Management*, 24 (3), 397-417.
- Gaury, E. G. A., Kleijnen, J. P. C. ve Pierreval, H., 2001, A methodology to customize pull control systems, *Journal of the Operational Research Society*, 52 (7), 789-799.
- Hao, Q. ve Shen, W. M., 2008, Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material handling system, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24 (5), 635-646.
- Harrod, S. ve Kanet, J. J., 2013, Applying work flow control in make-to-order job shops, *International Journal of Production Economics*, 143 (2), 620-626.
- Li, J. W. ve Barnes, D. J., 2000, Investigating the factors influencing the shop performance in a job shop environment with kanban-based production control, *International Journal of Production Research*, 38 (18), 4683-4699.
- Li, J. W., 2003, Simulation-based comparison of push and pull systems in a job-shop environment considering the context of JIT implementation, *International Journal of Production Research*, 41 (3), 427-447.
- Linn, R. J. ve Xie, X. D., 1993, A Simulation Analysis of Sequencing Rules for Asrs in a Pull-Based Assembly Facility, *International Journal of Production Research*, 31 (10), 2355-2367.
- Lulu, M. ve T. Black, J., 1987, Just-in-time (JIT) production and process cycle time variability, p.
- Marek, R. P. E., D. A.; Smith, D. R., 2001, Understanding the fundamentals of kanban and CONWIP pull systems using simulation. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference.
- Martinez, F. M. ve Bedia, L. M. A., 2002, Modular simulation tool for modelling JIT manufacturing, *International Journal of Production Research*, 40 (7), 1529-1547.

- Miwa, K., Nomura, J. ve Takakuwa, S., 2017, Module-Based Modeling and Analysis of Just-in-Time Production Adopting Dual-Card Kanban System and Mizusumashi Worker, *2017 Winter Simulation Conference (Wsc)*, 3756-3767.
- Mohanty, R. P., Kumar, S. ve Tiwari, M. K., 2003, Expert enhanced coloured fuzzy petri net models of traditional, flexible and reconfigurable kanban systems, *Production Planning & Control*, 14 (5), 459-477.
- Monden, Y., 1983, Toyota production system: practical approach to production management. Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers. Norcross, Georgia.
- Pegden, C. D., 1990, Introduction to Siman, *1990 Winter Simulation Conference Proceedings*, 109-114.
- Pisuchpen, R., 2012, Integration of JIT flexible manufacturing, assembly and disassembly using a simulation approach, *Assembly Automation*, 32 (1), 51-61.
- Salum, L. ve Araz, O. U., 2009, Using the when/where rules in dual resource constrained systems for a hybrid push-pull control, *International Journal of Production Research*, 47 (6), 1661-1677.
- Savsar, M. ve AlJawini, A., 1995, Simulation analysis of just-in-time production systems, *International Journal of Production Economics*, 42 (1), 67-78.
- Savsar, M. ve Choueiki, M. H., 2000, A neural network procedure for kanban allocation in JIT production control systems, *International Journal of Production Research*, 38 (14), 3247-3265.
- Sengupta, S., Sharief, F. ve Dutta, S. P., 1999, Determination of the optimal number of kanbans and kanban allocation in a FMS: a simulation-based study, *Production Planning & Control*, 10 (5), 439-447.
- Sepehri, M. M. ve Nahavandi, N., 2007, Critical WIP loops: a mechanism for material flow control in flow lines, *International Journal of Production Research*, 45 (12), 2459-2773.
- Strohhecker, J., Sibbel, R. ve Dick, M., 2014, Integrating Kanban principles in a pharmaceutical campaign production system, *Production Planning & Control*, 25 (15), 1247-1263.
- Takahashi, K. ve Nakamura, N., 2002a, Decentralized reactive Kanban system, *European Journal of Operational Research*, 139 (2), 262-276.
- Takahashi, K. ve Nakamura, N., 2002b, Comparing reactive Kanban and reactive CONWIP, *Production Planning & Control*, 13 (8), 702-714.
- Takahashi, K., 2003, Comparing reactive Kanban systems, *International Journal of Production Research*, 41 (18), 4317-4337.
- Takahashi, K., Morikawa, K. ve Nakamura, N., 2004, Reactive JIT ordering system for changes in the mean and variance of demand, *International Journal of Production Economics*, 92 (2), 181-196.
- Udomsawat, G. ve Gupta, S. M., 2006, Controlling disassembly line with multi-kanban system, *Environmentally Conscious Manufacturing Vi*, 6385.
- Wang, P. S., Yang, T. ve Yu, L. C., 2018, Lean-Pull Strategy for Order Scheduling Problem in a Multi-Site Semiconductor Crystal Ingot-Pulling Manufacturing Company, *Computers & Industrial Engineering*.
- Watson, K. J. ve Patti, A., 2008, A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime, *International Journal of Production Research*, 46 (7), 1869-1885.
- Yavuz, I. H. ve Satir, A., 1995, A Kanban-Based Simulation Study of a Mixed-Model Just-in-Time Manufacturing Line, *International Journal of Production Research*, 33 (4), 1027-1048.

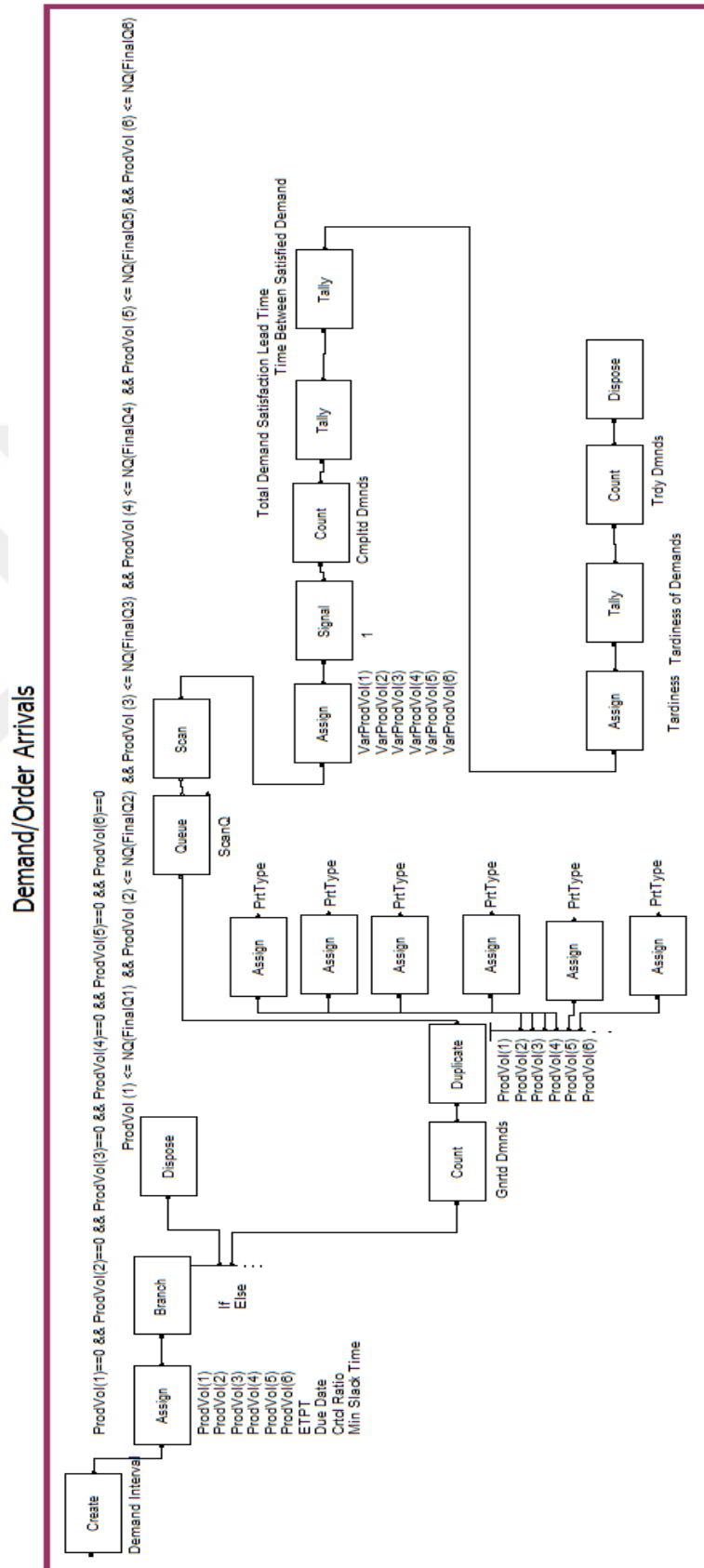




# EKLER

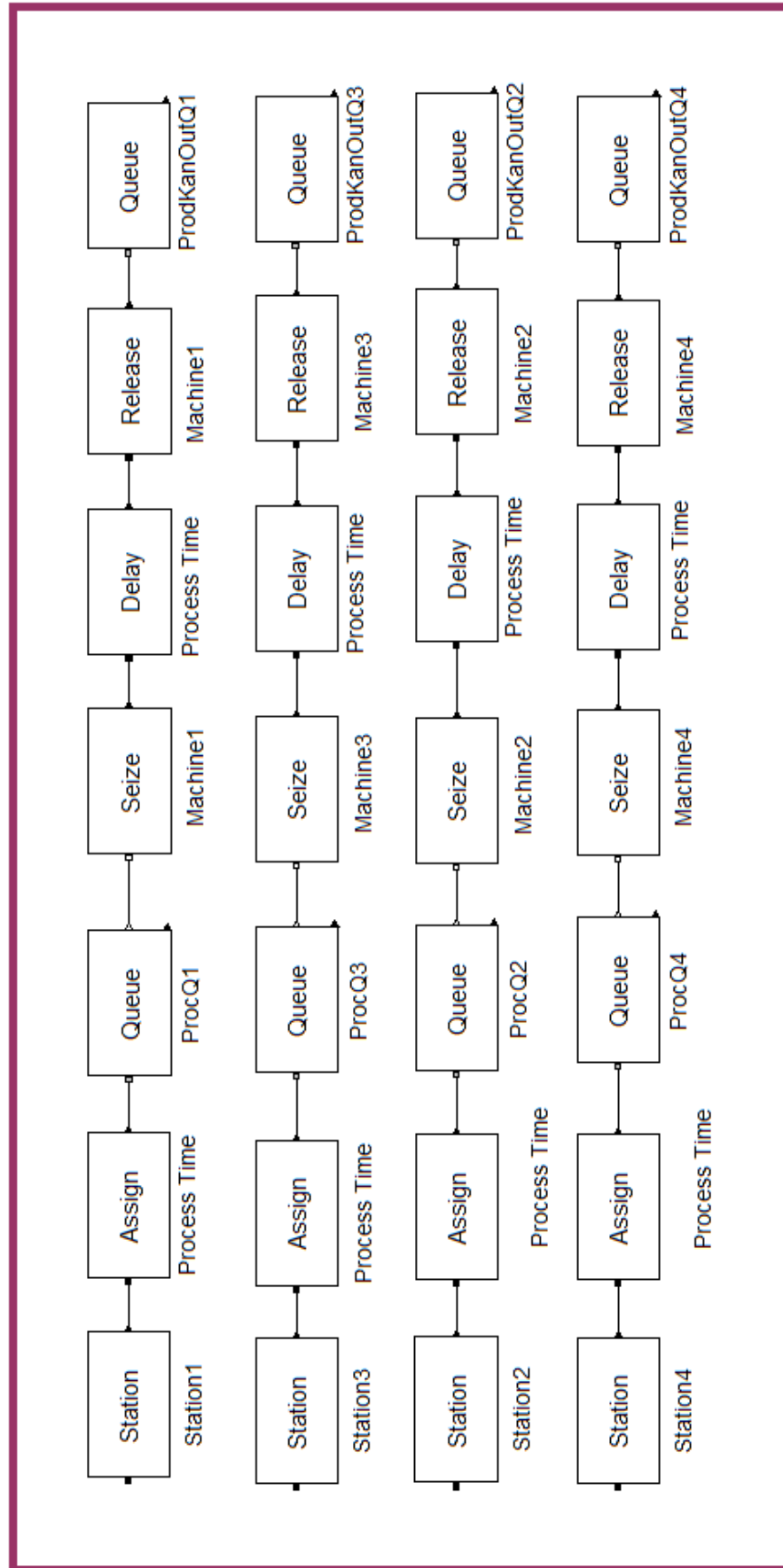
## EK1: MODEL GÖRÜNTÜLERİ

### Taleplerin sisteme gelişi



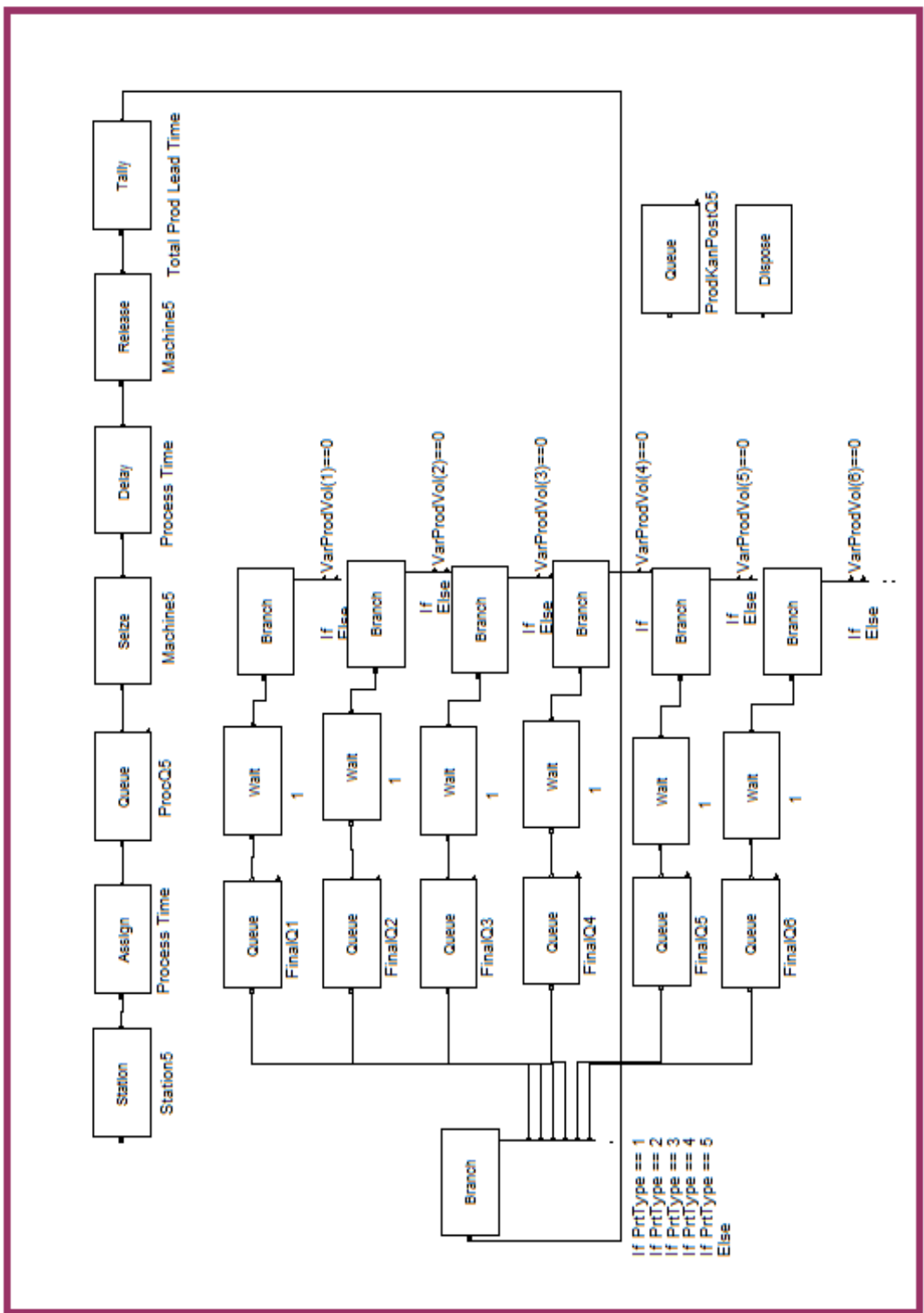
1, 2, 3 ve 4. istasyon

## Operations On Machines in a Serial Line



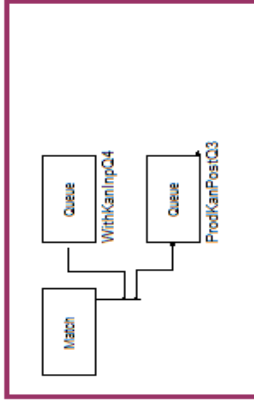
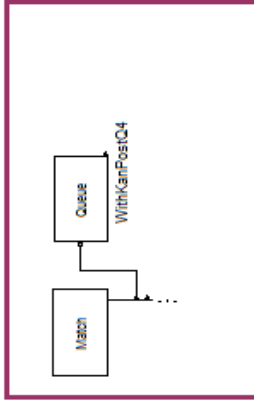
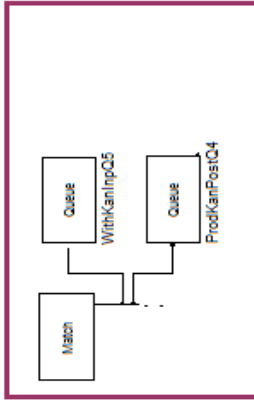
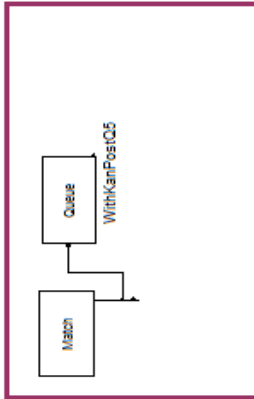
5. istasyon

Operations On Machines in a Serial Line

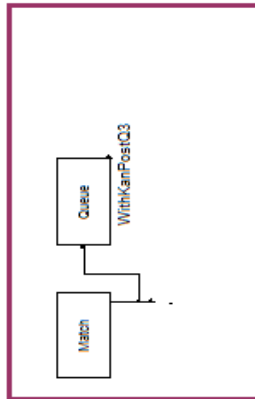


## Kanban postaları

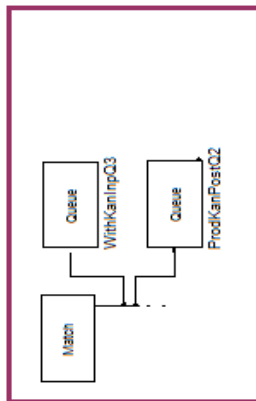
Prod Kan Post Q 5 & With Kan Inp Q 5 With Kan Post Q 5 & Prod Kan Out Q 4 With Kan Post Q 4 & With Kan Inp Q 4 With Kan Post Q 4 & Prod Kan Out Q 4



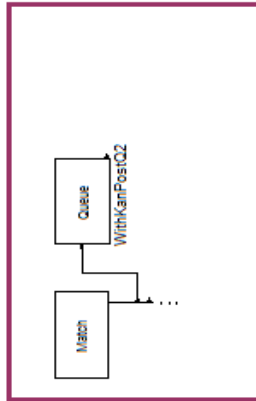
Prod Kan Post Q 3 & With Kan Inp Q 3



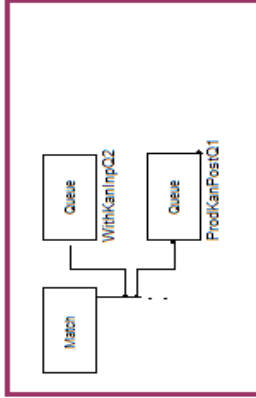
With Kan Post Q 3 & Prod Kan Out Q 2



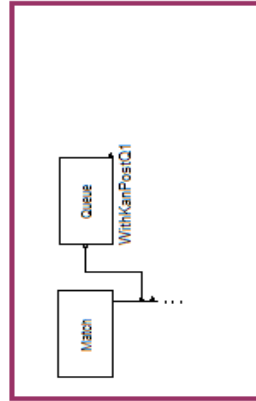
Prod Kan Post Q 2 & With Kan Inp Q 2



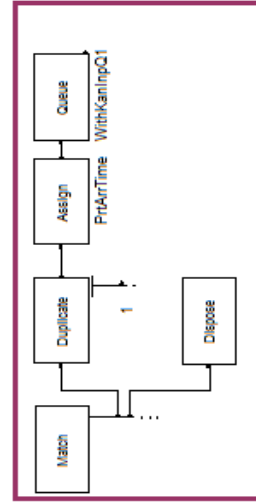
With Kan Post Q 2 & Prod Kan Out Q 1



Prod Kan Post Q 1 & With Kan Inp Q 1

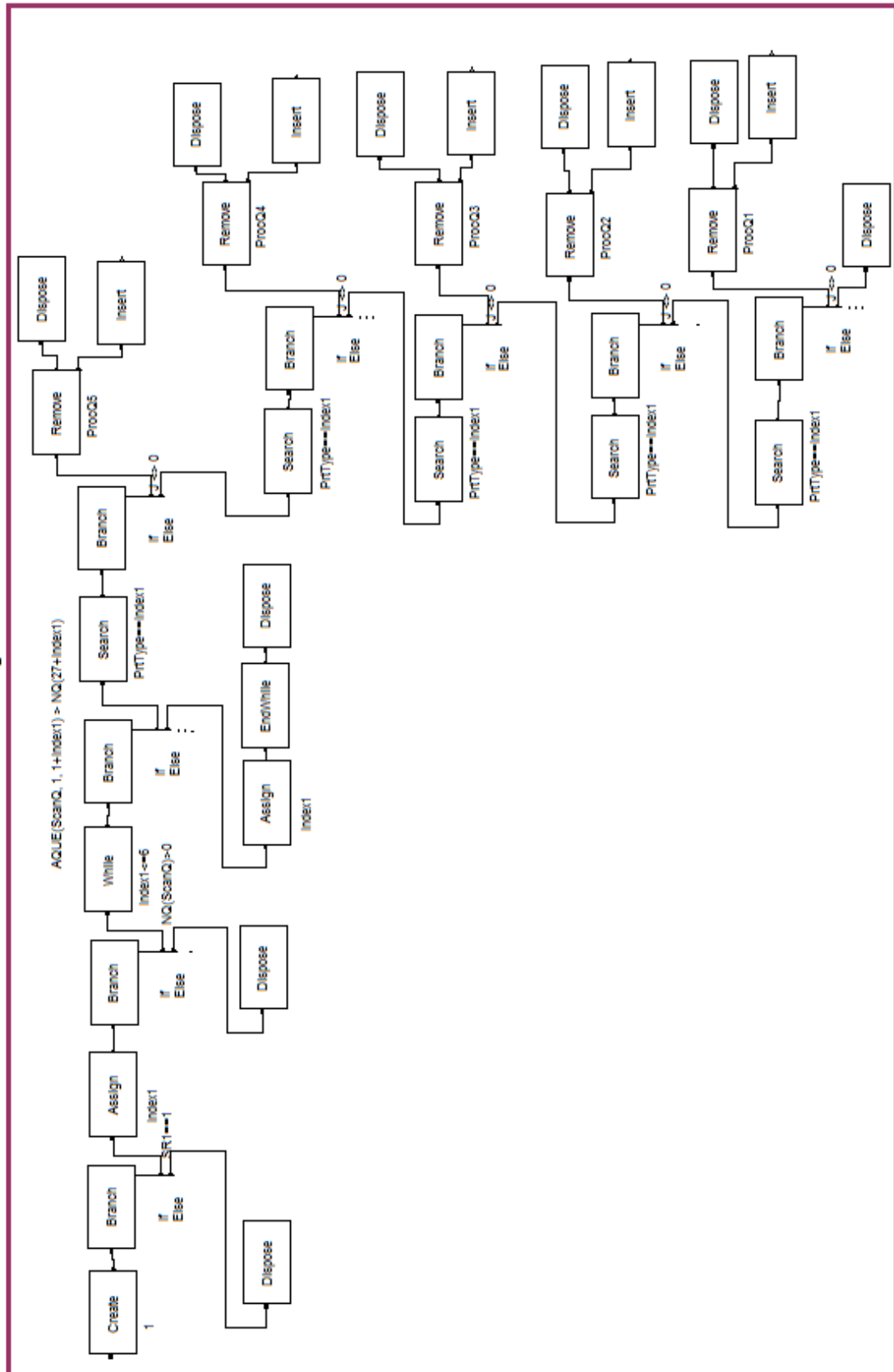


With Kan Post Q 1 & Supplier Raw Mat Q



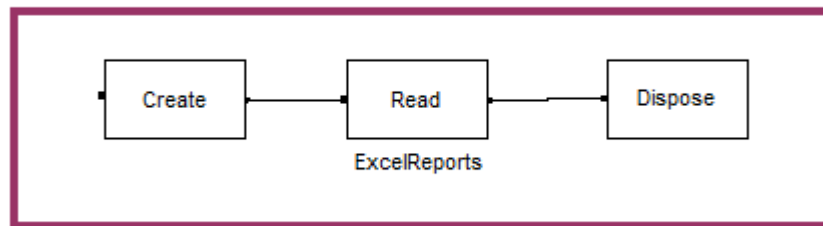
### Maksimum Öncelik (MksÖ) kuralı

Scheduling Rule 1

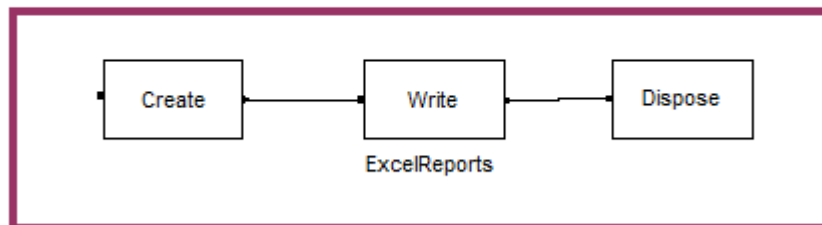


## Excel'den okuma/ Excel'e yazma

### Reading from Excel Spreadsheet



### Writing to Excel Spreadsheet



## EK 2: MODEL DOSYASI

```

0$          CREATE,          1,0.01:Demand
Interval:MARK (DmndArrTime):NEXT(18$);

18$          ASSIGN:          ProdVol(1)=EPV(1):
                                ProdVol(2)=EPV(2):
                                ProdVol(3)=EPV(3):
                                ProdVol(4)=EPV(4):
                                ProdVol(5)=EPV(5):
                                ProdVol(6)=EPV(6):
                                ETPT=
                                MX(1,
MPT(1)*ProdVol(1)+MPT(2)*ProdVol(2)+MPT(3)*ProdVol(3)+MPT(4)*ProdVol(4)+MPT(5)
*ProdVol(5)+MPT(6)*ProdVol(6)):
                                Due Date=TNOW+ETPT*Allow Fctr:
                                Crtcl Ratio=(Due Date - TNOW) / ETPT:
                                Min Slack Time=Due Date - ETPT - TNOW;

43$          BRANCH,          1:
                                If,
                                ProdVol(1)==0 && ProdVol(2)==0 && ProdVol(3)==0
&& ProdVol(4)==0 && ProdVol(5)==0 && ProdVol(6)==0,
                                44$,Yes:
                                Else,45$,Yes;

44$          DISPOSE:          No;

45$          COUNT:          Gnrted Dmnds,1;
19$          DUPLICATE:       ProdVol(1),20$:
                                ProdVol(2),21$:
                                ProdVol(3),22$:
                                ProdVol(4),23$:
                                ProdVol(5),24$:
                                ProdVol(6),58$:NEXT(dq);

dq           QUEUE,          ScanQ;
31$          SCAN:

                                ProdVol(1) <= NQ(FinalQ1) && ProdVol(2) <=
NQ(FinalQ2) && ProdVol(3) <= NQ(FinalQ3) && ProdVol(4) <= NQ(FinalQ4) &&
ProdVol(5) <= NQ(FinalQ5) && ProdVol(6) <= NQ(FinalQ6);
34$          ASSIGN:          VarProdVol(1)=ProdVol(1):
                                VarProdVol(2)=ProdVol(2):
                                VarProdVol(3)=ProdVol(3):
                                VarProdVol(4)=ProdVol(4):
                                VarProdVol(5)=ProdVol(5):
                                VarProdVol(6)=ProdVol(6);

32$          SIGNAL:          1;
35$          COUNT:          CmPLSd Dmnds,1;
36$          TALLY:          Total Demand Satisfaction Lead
Time,INT(DmndArrTime),1;
37$          TALLY:          Time Between Satisfied Demand,BET,1;
46$          ASSIGN:          Tardiness=MX(0, TNOW-Due Date);
48$          TALLY:          Tardiness of Demands,Tardiness,1;
49$          COUNT:          Trdy Dmnds,MN(1, Tardiness);
33$          DISPOSE:          No;

20$          ASSIGN:          PrtType=1:NEXT(pkpq5);

pkpq5       QUEUE,          ProdKanPostQ5:DETACH;
21$          ASSIGN:          PrtType=2:NEXT(pkpq5);

22$          ASSIGN:          PrtType=3:NEXT(pkpq5);

23$          ASSIGN:          PrtType=4:NEXT(pkpq5);

24$          ASSIGN:          PrtType=5:NEXT(pkpq5);

```



```

58$          ASSIGN:          PrtType=6:NEXT(pkpq5);

          MATCH,              PrtType:
                                pkpq5,wkpq5:
                                wkiq5,s5;
wkpq5        QUEUE,          WithKanPostQ5:DETACH;

s5           STATION,        Station5;
57$          ASSIGN:        Process Time=Proc Time(PrtType);
PQ5          QUEUE,          ProcQ5;
7$           SEIZE,          1,Other:
                                Machine5,1:NEXT(8$);

8$           DELAY:          Process Time,,Other:NEXT(9$);

9$           RELEASE:        Machine5,1;
47$          TALLY:          Total Prod Lead Time,INT(PrtArrTime),1;
25$          BRANCH,        1:
                                If,PrtType == 1,fq1,Yes:
                                If,PrtType == 2,fq2,Yes:
                                If,PrtType == 3,fq3,Yes:
                                If,PrtType == 4,fq4,Yes:
                                If,PrtType == 5,fq5,Yes:
                                Else,fq6,Yes;
fq1          QUEUE,          FinalQ1;
26$          WAIT:          1,VarProdVol(1);
38$          BRANCH,        1:
                                If,VarProdVol(1)==0,fq1,Yes:
                                Else,exit,Yes;
exit         DISPOSE:        No;

fq2          QUEUE,          FinalQ2;
27$          WAIT:          1,VarProdVol(2);
39$          BRANCH,        1:
                                If,VarProdVol(2)==0,fq2,Yes:
                                Else,exit,Yes;

fq3          QUEUE,          FinalQ3;
28$          WAIT:          1,VarProdVol(3);
40$          BRANCH,        1:
                                If,VarProdVol(3)==0,fq3,Yes:
                                Else,exit,Yes;

fq4          QUEUE,          FinalQ4;
29$          WAIT:          1,VarProdVol(4);
41$          BRANCH,        1:
                                If,VarProdVol(4)==0,fq4,Yes:
                                Else,exit,Yes;

fq5          QUEUE,          FinalQ5;
30$          WAIT:          1,VarProdVol(5);
42$          BRANCH,        1:
                                If,VarProdVol(5)==0,fq5,Yes:
                                Else,exit,Yes;

fq6          QUEUE,          FinalQ6;
59$          WAIT:          1,VarProdVol(6);
60$          BRANCH,        1:
                                If,VarProdVol(6)==0,fq6,Yes:
                                Else,exit,Yes;

          MATCH,              PrtType:
                                pkoq4,wkiq5:
                                wkpq5,pkpq4;
wkiq5        QUEUE,          WithKanInpQ5:DETACH;
pkpq4        QUEUE,          ProdKanPostQ4:DETACH;
          MATCH,              PrtType:
                                pkpq4,wkpq4:
                                wkiq4,s4;
wkpq4        QUEUE,          WithKanPostQ4:DETACH;

s4           STATION,        Station4;

```

```

56$      ASSIGN:      Process Time=Proc Time (PrtType);
PQ4      QUEUE,       ProcQ4;
4$       SEIZE,       1,Other:
                          Machine4,1:NEXT (5$);

5$       DELAY:      Process Time,,Other:NEXT (6$);

6$       RELEASE:    Machine4,1;
pkoq4    QUEUE,       ProdKanOutQ4:DETACH;
          MATCH,      PrtType:
                          pkoq3,wkiq4:
                          wkpq4,pkpq3;
wkiq4    QUEUE,       WithKanInpQ4:DETACH;
pkpq3    QUEUE,       ProdKanPostQ3:DETACH;
          MATCH,      PrtType:
                          pkpq3,wkpq3:
                          wkiq3,s3;
wkpq3    QUEUE,       WithKanPostQ3:DETACH;

s3       STATION,    Station3;
55$     ASSIGN:      Process Time=Proc Time (PrtType);
PQ3      QUEUE,       ProcQ3;
13$     SEIZE,       1,Other:
                          Machine3,1:NEXT (14$);

14$     DELAY:      Process Time,,Other:NEXT (15$);

15$     RELEASE:    Machine3,1;
pkoq3    QUEUE,       ProdKanOutQ3:DETACH;
          MATCH,      PrtType:
                          pkoq2,wkiq3:
                          wkpq3,pkpq2;
wkiq3    QUEUE,       WithKanInpQ3:DETACH;
pkpq2    QUEUE,       ProdKanPostQ2:DETACH;
          MATCH,      PrtType:
                          pkpq2,wkpq2:
                          wkiq2,s2;
wkpq2    QUEUE,       WithKanPostQ2:DETACH;

s2       STATION,    Station2;
54$     ASSIGN:      Process Time=Proc Time (PrtType);
PQ2      QUEUE,       ProcQ2;
10$     SEIZE,       1,Other:
                          Machine2,1:NEXT (11$);

11$     DELAY:      Process Time,,Other:NEXT (12$);

12$     RELEASE:    Machine2,1;
pkoq2    QUEUE,       ProdKanOutQ2:DETACH;
          MATCH,      PrtType:
                          pkoq1,wkiq2:
                          wkpq2,pkpq1;
wkiq2    QUEUE,       WithKanInpQ2:DETACH;
pkpq1    QUEUE,       ProdKanPostQ1:DETACH;
          MATCH,      PrtType:
                          pkpq1,wkpq1:
                          wkiq1,s1;
wkpq1    QUEUE,       WithKanPostQ1:DETACH;

s1       STATION,    Station1;
53$     ASSIGN:      Process Time=Proc Time (PrtType);
PQ1      QUEUE,       ProcQ1;
1$       SEIZE,       1,Other:
                          Machine1,1:NEXT (2$);

2$       DELAY:      Process Time,,Other:NEXT (3$);

3$       RELEASE:    Machine1,1;

```



```
87$          REMOVE:      Else, 94$, Yes;  
88$          DISPOSE:     J, ProcQ1, 91$;  
91$          INSERT:      PQ1, 1;  
94$          DISPOSE:     No;  
71$          ASSIGN:      Index1=Index1+1;  
68$          ENDWHILE;  
70$          DISPOSE:     No;  
93$          DISPOSE:     No;  
97$          DISPOSE:     No;  
98$          CREATE,      1, TFIN:, 1:NEXT (99$);  
99$          WRITE,       ExcelReports, RECORDSET (Writing) :  
                                DAVG (1) ,  
                                DAVG (2) ,  
                                DMAX (3) ,  
                                DMAX (4) ,  
                                TAVG (1) ,  
                                TAVG (2) ,  
                                TAVG (3) ,  
                                TAVG (4) ,  
                                TMAX (4) ;  
100$         DISPOSE:     No;  
101$         CREATE,      1, 0:, 1:NEXT (103$);  
103$         READ,        ExcelReports, RECORDSET (Reading) :;  
102$         DISPOSE:     No;
```

**EK 3: DENEY DOSYASI**

```

PROJECT,      "JIT Production System", "Saadettin Erhan
Kesen", , Yes, No, No, No, No, No, No, No, No, No, No;

ATTRIBUTES:   1, PrtArrTime, DATATYPE (Real) :
               2, ProdVol (6) , DATATYPE (Real) :
               ETPT, DATATYPE (Real) :
               Min Slack Time, DATATYPE (Real) :
               Due Date, DATATYPE (Real) :
               PrtType, DATATYPE (Real) :
               Tardiness, DATATYPE (Real) :
               DmndArrTime, DATATYPE (Real) :
               Process Time, DATATYPE (Real) :
               Crtcl Ratio, DATATYPE (Real) ;

FILES:        1, ExcelReports,
               "C:\Users\SaadettinKesen\Desktop\Calismalarim\Tez
ogrencileri\Mine Saygili YL\Deneyler\deneyler2003.xls", MSExcel, ,
               Ignore, , Hold, RECORDSET (Writing, "Select * from
[WExp1$F2:N5000]", 1), RECORDSET (Reading, "Select * from [RExp1$B2:M5000]", 1) ;

VARIABLES:    1, # of kanban, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) , 2:
               VarProdVol (6) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-
None") , DATATYPE (Real) :
               VPV (10) , CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               Ser Rate, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               CV, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) , 0.1:
               SR1, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) , 0:
               MTR, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) :
               Index1, CLEAR (System) , CATEGORY ("None-None") , DATATYPE (Real) ;

SEEDS:        1, , Common:
               2, , Common:
               3, , Common:
               4, , Common:
               5, , Common:
               6, , Common:
               7, , Common:
               8, , Common:
               9, , Common:
               10, , Common:
               11, 12345, Common:
               12, 23456, Common:
               13, 34567, Common;

QUEUES:       1, ProdKanOutQ1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               2, ProdKanOutQ2, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               3, ProdKanOutQ3, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               4, ProdKanOutQ4, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               6, ProdKanPostQ1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               7, ProdKanPostQ2, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               8, ProdKanPostQ3, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               9, ProdKanPostQ4, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               10, ProdKanPostQ5, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               11, WithKanPostQ1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               12, WithKanPostQ2, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               13, WithKanPostQ3, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               14, WithKanPostQ4, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               15, WithKanPostQ5, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               16, WithKanInpQ1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               17, WithKanInpQ2, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               18, WithKanInpQ3, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               19, WithKanInpQ4, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               20, WithKanInpQ5, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :
               21, ProcQ1, FirstInFirstOut, , AUTOSTATS (Yes, , ) :

```

```

22,ProcQ2,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
23,ProcQ3,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
24,ProcQ4,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
25,ProcQ5,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
26,ScanQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
27,SupRawMatQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
28,FinalQ1,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
29,FinalQ2,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
30,FinalQ3,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
31,FinalQ4,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
32,FinalQ5,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
33,FinalQ6,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,);

RESOURCES:
1,Machine1,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
2,Machine2,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
3,Machine3,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
4,Machine4,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
5,Machine5,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,);

STATIONS:
1,Station1,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
2,Station2,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
3,Station3,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
4,Station4,,,,AUTOSTATS(Yes,,):
5,Station5,,,,AUTOSTATS(Yes,,);

COUNTERS:
1,CmPLSd Dmnds,,Replicate:
2,Trdy Dmnds,,Replicate:
3,Gnrtd Dmnds,,Replicate:

TALLIES:
1,Total Demand Satisfaction Lead Time:
2,Time Between Satisfied Demand:
3,Total Prod Lead Time:
4,Tardiness of Demands:
Flow
Time,"C:\Users\SaadettinKesen\Desktop\flowtime.dat",DATABASE(,"User
Specified",);

DSTATS:
1,(NR(1)+NR(2)+NR(3)+NR(4)+NR(5))/(MR(1)+MR(2)+MR(3)+MR(4)+MR(5)),Utilization
of Line:
2,NQ(1)+NQ(2)+NQ(3)+NQ(4)+NQ(16)+NQ(17)+NQ(18)+NQ(19)+NQ(20)+NQ(28)+NQ(29)+NQ(
30)+NQ(31)+NQ(32),Total WIP Length:
3,MTR,Throughput Rate:
4,Ser Rate,Service Rate:

OUTPUTS:
DAVG(1),,Mean Utilization of Line:
TAVG(1),,Mean Total Demand Satisfaction Lead Time:
DAVG(2),,Mean Total WIP Length:
TAVG(2),,Mean Time Between Satisfied Demand:
TAVG(3),,Mean Total Prod Lead Time:
TAVG(4),,Mean Tardiness of Demands:
DMAX(3),,Mean Throughput Rate:
DMAX(4),,Mean Service Rate:
TMAX(4),,Maximum Tardiness of Demands;

REPLICATE,
20,,MinutesToBaseTime(43200),Yes,Yes,,,,24,Minutes,No,No,,,Yes,No;

ARRIVALS:
WKIQ5P1 Arrival,Queue(20),Time(0.1),V(1),PrtType=1:
PKOQ3P5 Arrival,Queue(3),Time(0.1),V(1),PrtType=5:
FinalQP6 Arrival,Queue(33),Time(0.1),V(1),PrtType=6:
WKIQ1P4 Arrival,Queue(16),Time(0.1),V(1),PrtType=4:

```

PKOQ1P2 Arrival, Queue (1), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 PKOQ4P2 Arrival, Queue (4), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 WKIQ3P6 Arrival, Queue (18), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 WKIQ2P1 Arrival, Queue (17), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 PKOQ3P4 Arrival, Queue (3), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 WKIQ1P3 Arrival, Queue (16), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 WKIQ4P3 Arrival, Queue (19), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 PKOQ4P1 Arrival, Queue (4), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 WKIQ3P5 Arrival, Queue (18), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 FinalQP5 Arrival, Queue (32), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 WKIQ4P2 Arrival, Queue (19), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 PKOQ2P6 Arrival, Queue (2), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 PKOQ1P1 Arrival, Queue (1), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 SRMQP6 Arrival, Queue (27), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 PKOQ3P3 Arrival, Queue (3), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 FinalQP4 Arrival, Queue (31), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 WKIQ1P2 Arrival, Queue (16), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 PKOQ2P5 Arrival, Queue (2), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 SRMQP5 Arrival, Queue (27), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 WKIQ3P4 Arrival, Queue (18), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 PKOQ3P2 Arrival, Queue (3), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 WKIQ2P6 Arrival, Queue (17), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 WKIQ1P1 Arrival, Queue (16), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 WKIQ5P6 Arrival, Queue (20), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 WKIQ4P1 Arrival, Queue (19), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 WKIQ3P3 Arrival, Queue (18), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 WKIQ5P5 Arrival, Queue (20), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 FinalQP3 Arrival, Queue (30), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 PKOQ2P4 Arrival, Queue (2), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 SRMQP4 Arrival, Queue (27), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 PKOQ1P6 Arrival, Queue (1), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 PKOQ4P6 Arrival, Queue (4), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 PKOQ3P1 Arrival, Queue (3), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 FinalQP2 Arrival, Queue (29), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 WKIQ2P5 Arrival, Queue (17), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 PKOQ2P3 Arrival, Queue (2), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 SRMQP3 Arrival, Queue (27), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 WKIQ3P2 Arrival, Queue (18), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 PKOQ4P5 Arrival, Queue (4), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 WKIQ2P4 Arrival, Queue (17), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 WKIQ5P4 Arrival, Queue (20), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 WKIQ4P6 Arrival, Queue (19), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 WKIQ3P1 Arrival, Queue (18), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 PKOQ1P5 Arrival, Queue (1), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 WKIQ5P3 Arrival, Queue (20), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 FinalQP1 Arrival, Queue (28), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 PKOQ2P2 Arrival, Queue (2), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 WKIQ1P6 Arrival, Queue (16), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 SRMQP2 Arrival, Queue (27), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 PKOQ1P4 Arrival, Queue (1), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 PKOQ4P4 Arrival, Queue (4), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 WKIQ2P3 Arrival, Queue (17), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 PKOQ3P6 Arrival, Queue (3), Time (0.1), V(1), PrtType=6:  
 PKOQ2P1 Arrival, Queue (2), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 WKIQ1P5 Arrival, Queue (16), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 SRMQP1 Arrival, Queue (27), Time (0.1), V(1), PrtType=1:  
 WKIQ4P5 Arrival, Queue (19), Time (0.1), V(1), PrtType=5:  
 PKOQ4P3 Arrival, Queue (4), Time (0.1), V(1), PrtType=3:  
 WKIQ2P2 Arrival, Queue (17), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 WKIQ5P2 Arrival, Queue (20), Time (0.1), V(1), PrtType=2:  
 WKIQ4P4 Arrival, Queue (19), Time (0.1), V(1), PrtType=4:  
 PKOQ1P3 Arrival, Queue (1), Time (0.1), V(1), PrtType=3;

EXPRESSIONS: 1, Demand Interval, DATATYPE(Native), UNIF(20, 40, 1):

EPV(6), DATATYPE(Native), DISC(1, 0, 2), DISC(1, 0, 3), DISC(.25, 0, .50, 1, .75, 2, 1, 3,  
 4), DISC(.25, 0, .50, 1, .75, 2, 1, 3, 5),  
 DISC(1, 0, 6), DISC(1, 0, 7):

```
Allow Fctr, DATATYPE(Native), UNIF(.5, 1.0, 7):  
MPT(6), DATATYPE(Native), 2, 4, 6, 8, 10, 12:  
Proc Time(6), DATATYPE(Native), NORM(MPT(1),  
CV*MPT(1), 8), NORM(MPT(2), CV*MPT(2), 9), NORM(MPT(3), CV*MPT(3), 10),  
NORM(MPT(4), CV*MPT(4), 11), NORM(MPT(5),  
CV*MPT(5), 12), NORM(MPT(6), CV*MPT(6), 13);  
  
ENTITIES: 1, Demand, , 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, AUTOSTATS(Yes, , );
```





## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mümüne SERT  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Seydişehir/KONYA - 01.01.1993  
**Telefon** : 0553 490 2644  
**Faks** : -  
**e-mail** : mine.sygl@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Muhittin Güzelkılınç Lisesi	2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2015
Yüksek Lisans	: -	
Doktora	: -	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2015	Solimpeks Güneş Enerji San.	Kalite Güvence Sorumlusu
2015-2018	Yenmak Motor Gömlek Tic. San. Aş.	Kalite Yönetim Sorumlusu

### UZMANLIK ALANI

Kalite Sistemi, Toplam Kalite Yönetimi, IATF 16949 Sistem Yönetimi, Tam Zamanında Üretim Sistemi

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR\*

Tam Zamanında Üretim Felsefesine Dayalı Seri Hattın Simülasyon Tekniğiyle Performans Analizi (2018)