

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan BARIŞ ERGE

**SÜREKLİ POLİMERİZASYON İŞLETMELERİNDE
ÜRÜN GEÇİŞ MİKTARININ OPTİMİZASYONU**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL PLANLAMA SÜRECİNDE KENT FORMUNDAKİ
DEĞİŞİMLERİN DİYARBAKIR KENTİ ÖRNEĞİNDE ARAŞTIRILMASI**

Erhan BARIŞ ERGE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez .../.../2011..Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Ali KOKANGUL
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Rızvan EROL
ÜYE

.....
Doç. Dr. Nihat ÇELİK
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMM2010YL38

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜREKLİ POLİMERİZASYON İŞLETMELERİNDE GEÇİŞ ÜRÜN MİKTARININ OPTİMİZASYONU

Erhan Barış ERGE

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Ali KOKANGUL
Yıl : 2011, Sayfa : 67
Jüri : Doç. Dr. Ali KOKANGUL
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Doç. Dr. Nihat ÇELİK

Taleplerde yaşanan belirsizlik ve ürün tiplerinin fazla olması üretim maliyetlerinin önemini bir kez daha ortaya çıkartmıştır. Sürekli polimerizasyon işletmelerinde, ürünler arası geçiş işlemi sırasında ürün geçiş süresine, ürün tipine ve çalışılan kapasiteye bağlı olarak geçiş ürünü diye adlandırılan hiçbir kalite sepeğine (müşteri limitine) uymayan ürünler oluşmaktadır. Üretimin sürekli olması sebebiyle ortaya çıkan bu ürün katlanılması gereken zorunlu bir üründür.

Bu tez çalışmasında ürün geçiş sırasının planlaması ile ürün geçişlerinin minimum düzeyde olması amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında toplam stok miktarları ve sipariş bekleme süreleri de performans kriterleri olarak takip edilecektir.

Önerilen yeni metodoloji, toplam stok miktarı ve toplam sipariş bekleme süreleri ve geçiş ürün miktarının birbirine bağlı olarak optimize edilmesini amaçlamaktadır. Simülasyon ve 6 Sigma tekniklerinin kombine edilmesi ile ortaya çıkan metodolojinin geçerliliğinin testi amacıyla, sürekli polimerizasyon işletmesinden alınan gerçek veriler kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimer, Kapasite Planlama, Simülasyon, Sürekli Polimerizasyon, Limit Dışı

ABSTRACT

MSc THESIS

<p style="text-align: center;">AMOUNT OF OFF GRADE OPTIMIZATION IN THE CONTINUOUS POLYMERIZATION BUSINESSES</p>
--

Erhan Barış ERGE

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ali KOKANGUL
Year: 2011, Pages: 67

Jury : Assoc. Prof. Dr. Ali KOKANGUL
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Assoc. Prof. Nihat ÇELİK

Uncertainty in demand and product types being excessive brought the importance of production costs out once again. In the continuous polymerization, during the transition process between the product, productions that comply with none of the quality spectrum and named as transition product depending on product transition time, product type and working capacity brought out. The resulting product is to bear because of the continuous process.

In this thesis study, planning of product transition sequence, determining the minimum working transition level are aimed. Within the scope of this study the total amount of stock and order waiting time are followed as performance criterion. Recommended new methodology is aimed to optimize the total amount of stock, total order waiting time and amount of transition product by depending in each other. It is used the real data that is obtained from continuous polymerization businesses with the aim of testing the methodology that brought out by combining Simulation and 6 Sigma techniques.

Key words: Polymer, Capacity Planning, Simulation, Continuous Polymerization, Off-Grade

TEŞEKKÜR

Öğrenim süresince her konuda yardımcı olan ve tezin yürütülmesinde yol gösteren danışman hocam Doç.Dr.Ali KOKANGÜL'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalışmama katkıları olan arkadaşlarım Metin Özşahin ve Yusuf Kuvvetli' ye vermiş oldukları destek için teşekkür ederim.

Çalışma süresince her konuda desteğini esirgemeyen aileme ve Yrd. Doç Serap Akcan' a teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Polimerizasyon.....	1
1.2. Problemin Tanımı.....	3
1.3. Çalışmanın Amaçları.....	4
1.4. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar.....	5
1.4.1. Kapsam.....	5
1.4.2. Varsayımlar.....	6
1.5. Çalışmanın Aşamaları.....	6
1.6. Özgün Katkıları.....	7
1.7. Tez Organizasyonu.....	8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. MATERYAL VE METOD.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Veriler.....	13
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar.....	14
3.2. Metod.....	15
3.2.1. Çalışmada Kullanılan Metodlar.....	15
3.2.2. Sistemin Tanımı.....	16
3.2.3. Altı Sigma Metodolojisi.....	17
3.2.3.1. Altı Sigma İlkeleri.....	18
3.2.4. Süreç Akış Haritası.....	19
3.2.5. Sebep Sonuç Matrisi.....	20

3.2.6. Hata Türü Etkileri Analizi.....	22
3.2.6.1. FMEA Tekniğinde Kullanılan Yardımcı Elemanlar	23
3.2.7. Ürün Ailesinin Optimizasyonu.....	26
3.2.8. İstatistiksel Analiz	28
3.2.8.1.Olasılık Dağılımlarının Seçimi.....	28
3.2.9. Simülasyon Çalışması.....	30
3.2.9.1.Olasılık Dağılımlarının Tanıtılması.....	33
3.2.9.2.Kısıtların Belirlenmesi.....	34
3.2.9.3.Geçiş Ürün Matrisinin Tanıtılması.....	35
3.2.9.4.Stokların Oluşturulması	36
3.2.9.5.Sipariş Bekleme Sürelerinin Hesaplanması	37
3.2.9.6.Simülasyon İş Akışı.....	37
3.2.9.7.Simülasyon Çıktılarının Analizi	38
3.2.9.7.(a)Simülasyon Uzunluğu	38
3.2.9.7.(b)Isınma Periyodu	38
3.2.9.7.(c)Replikasyon Sayısının Belirlenmesi.....	39
3.2.9.8.Performans Kriterlerinin Belirlenmesi	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. İstatistiksel Veri Analizi	41
4.1.1. Üretim ve Sipariş Verilerinin Pareto Analizi	41
4.1.2. Ürün Sipariş Dağılımları.....	42
4.1.2.1.Gün Bazında Siparişlerin Geliş Dağılımları	43
4.1.2.2.Gün Bazında Siparişlerin Miktar Dağılımları.....	43
4.1.3. Ürün Üretim Dağılımları.....	44
4.1.3.1.Gün Bazında Ürünlerin Üretim Miktar Dağılımları.....	44
4.2. Simülasyon Modelleme	45
4.2.1. Simülasyon Çıktılarının Analizi.....	46
4.2.2. Üretim Politikaları	49
4.2.3. Simülasyon Analizinin Doğrulanması	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
5.1. Çalışma Özeti.....	55

5.2. Sonuçlar	56
5.2.1 Üretim Stratejilerine Göre Geçiş Oranlarının Karşılaştırılması.....	56
5.2.2 Üretim Stratejilerine Göre Stok Oranlarının Karşılaştırılması.....	57
5.2.3 Üretim Stratejilerine Göre Sipariş Bekleme Sür. Karşılaştırılması..	58
5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler	60
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Sebep Sonuç Matrisi.....	21
Çizelge 3.2. Htea Eski ve Yeni Düşünce Karşılaştırılması.....	23
Çizelge 3.3. Htea Kolon Başlıkları	24
Çizelge 3.4. Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA)	25
Çizelge 3.5. Ürün Geçiş Matrisi	26
Çizelge 4.1. Sipariş Geliş Dağılım İstatistikleri	43
Çizelge 4.2. Sipariş Miktar Dağılım İstatistikleri.....	44
Çizelge 4.3. Üretim Miktar Dağılım İstatistikleri	44
Çizelge 4.4. Geçiş Ürün Miktarı & Sipariş Bekleme Süresi & Toplam Stok.....	45
Çizelge 4.5 Replikasyon Sayısı	48
Çizelge 4.6. Mevcut Durumda Meydana Gelen Toplam Bekleme Süresi, Geçiş Ürün Miktarları ve Toplam Stok Miktarları	49
Çizelge 4.7. I. Strateji Sonucu Meydana Gelen Toplam Bekleme Süresi, Geçiş Ürün Miktarları ve Toplam Stok Miktarları	50
Çizelge 4.8. II. Strateji Sonucu Meydana Gelen Toplam Bekleme Süresi, Geçiş Ürün Miktarları ve Toplam Stok Miktarları	52
Çizelge 5.1. Üretim Stratejilerinin Maliyete Etkisi Bakımından Karşılaştırılması.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Sürekli Polimerizasyon İşletmesi.....	2
Şekil 1.2. Geçiş Ürün Miktarının Zamana Bağlı Grafiği.....	4
Şekil 2.1. Parti Tipi ve Sürekli Üretim Karşılaştırması	10
Şekil 2.2. Geçiş Sürelerine Bağlı Ürün Geçiş Matrisi	11
Şekil 3.1. Polimerizasyon İşletmesi Süreç Akış Haritası.....	20
Şekil 3.2. Sebep Sonuç Matrisi Pareto Analizi	22
Şekil 3.3. Optimizer Programı Geçiş Ürün Matrisi	27
Şekil 3.4. Optimizer Programı Optimizasyon Ekranı.....	27
Şekil 3.5. Arena Simülasyon Programı Optimizasyon Ekranı.....	31
Şekil 3.6. Simülasyon İş Akış Diyagramı.....	32
Şekil 3.7. Sipariş Geliş Dağılımlarının Create Bloğu İçerisine Tanıtımı	33
Şekil 3.8. Sipariş Miktar Dağılımlarının Assign Bloğu İçerisine Tanıtımı	34
Şekil 3.9. Negatif Stok Kontrolünün Hold Fonksiyonuna Tanıtımı.....	35
Şekil 3.10. Geçiş Ürün Matrisinin Assign Bloğuna Tanıtımı	35
Şekil 3.11. Geçiş Ürün Matrisinin Simülasyon Programına Tanıtımı.....	36
Şekil 3.12. Stok Miktarlarının Assign Bloğuna Tanıtımı	36
Şekil 3.13. Sipariş Bekleme Sürelerinin Assign Bloğu İçerisine Tanıtımı.....	37
Şekil 4.1. Ürünlerin Sipariş Miktarlarına Göre Pareto Analizi.....	41
Şekil 4.2. Ürünlerin Üretim Miktarlarına Göre Pareto Analizi.....	42
Şekil 4.3. İşletme Kullanım Oranı İçin Isınma Periyodu.....	46
Şekil 4.4. Ürün Aile Sırasının Karar Mekanizmaları İle Gösterimi	50
Şekil 4.5. Optimizer Programının Sonuç Ekranı	51
Şekil 4.6. İki Örnek Karşılaştırması Kutu Grafiği.....	53
Şekil 5.1. Üretim Stratejilerine Göre Geçiş Oranlarının Karşılaştırılması	56
Şekil 5.2. Üretim Stratejilerine Göre Stok Oranlarının Karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.3. Üretim Stratejilerine Göre Ort. Sip. Bekleme Sür. Karşılaştırılması.....	58
Şekil 5.4. Aileye Göre Toplam Kuyrukta Bekleme Süresi.....	58
Şekil 5.5. Optimizer'a Göre Toplam Kuyrukta Bekleme Süresi.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

TPA	: Baz çifti
PET	: Poli Etilen Tereftalat
DMT	: Dimetil tereftalat
TPA	: Tereftalik asit
BP	: Batch Polimerization
CP	: Continuous Polimerization
KEG	: Kirli Glikol
MEG	: Mono Etilen Glikol
H ₂ O	: Su
HTEA	: Hata Türü Etkileri Analizi
FMEA	: Failure Mode Effect Analysis
OKB _a	: Aileye Göre Ortalama Kuyrukta Bekleme Zamanı
OKB _o	: Optimizer' a Göre Ortalama Kuyrukta Bekleme Zamanı
FIFO	: First in First Out
DOE	: Design of Experiment

1. GİRİŞ

1.1. Polimerizasyon

Elyaf (Staple) -İplik (POY) - Resin (Cips) ürünlerinin görünüş ve kullanım alanları farklı olsa da hepsinin kimyasal olarak tek bir adı vardır: “PET” “Poli Etilen Tereftalat”

“PET”, bir polimerdir. “Polimer” kelimesi, Yunanca “polimeros” yani “çok parçalı, çok bireyli” anlamındadır. Polimerler, tekrarlanır birimlerden oluşan büyük moleküller içerirler. Tekrarlanan büyük moleküllere “Monomer” veya zincir uzunluğu biraz fazla ise “Oligomer” denir. Monomerlerin yüzlerce ve binlercesi bir araya gelerek birbirlerine zincirler halinde bağlanırlar ve polimerleri meydana getirirler, bu kimyasal reaksiyona “Polimerizasyon” adı verilir. (Tübitak Bilm ve Teknik Dergisi, 1995).

n Monomer .. [Polimer]_n

n Oligomer .. [Polimer]_n

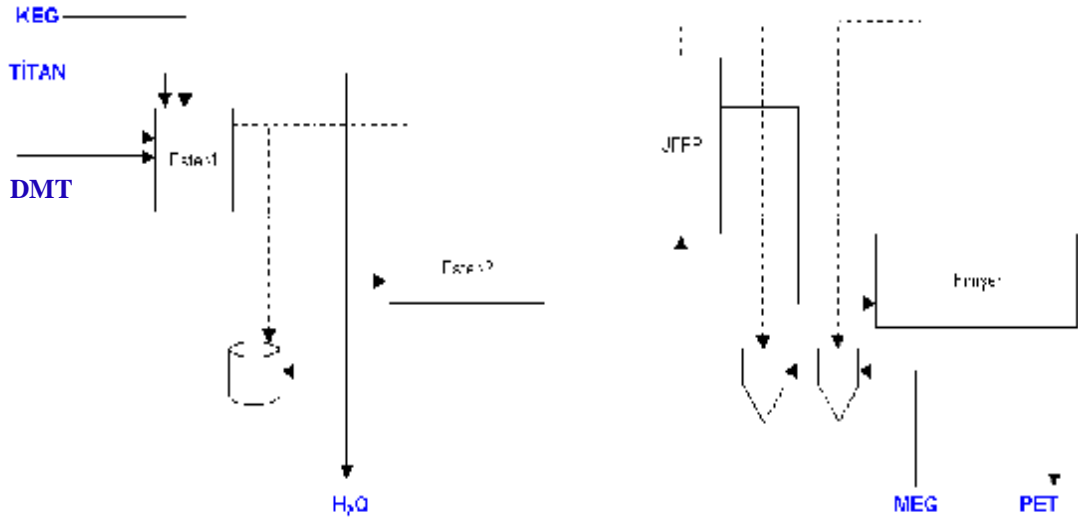
PET polimeri “Esterleşme” ve “Polimerleşme” olmak üzere 2 basamaklı reaksiyon serisi ile elde edilir: Önce esterleşme reaksiyonu ile monomer/oligomer üretilir, daha sonra polimerleşme süreci başlar. Bu reaksiyon için 2 çeşit hammadde kullanılabilir: DMT (Dimetil tereftalat), TPA (Tereftalik asit)

Polimerizasyon işlemlerinde iki tip süreçten bahsedebiliriz. Bu süreçler kesikli ve sürekli üretim şekillerine göre ayrılmaktadır.

1. Batch Polimerization: Kesikli (BP)
2. Continuous Polimerization: Sürekli (CP)

Sürekli polimerizasyonda (CP) üretilen polimer, süreç kesintiye uğramadan, sıvı olarak iplik, elyaf ve cips üretiminde kullanılır. Bu nedenle sürekli polimerizasyonlar kesikli polimerizasyona (BP) göre daha az enerji ve işçilik

kullanırlar. Kalite daha yüksek olur. Bu uygulama sürekli polimerizasyon cips üretimi olarak ele alınmıştır.



Şekil 1.1. Sürekli Polimerizasyon İşletmesi

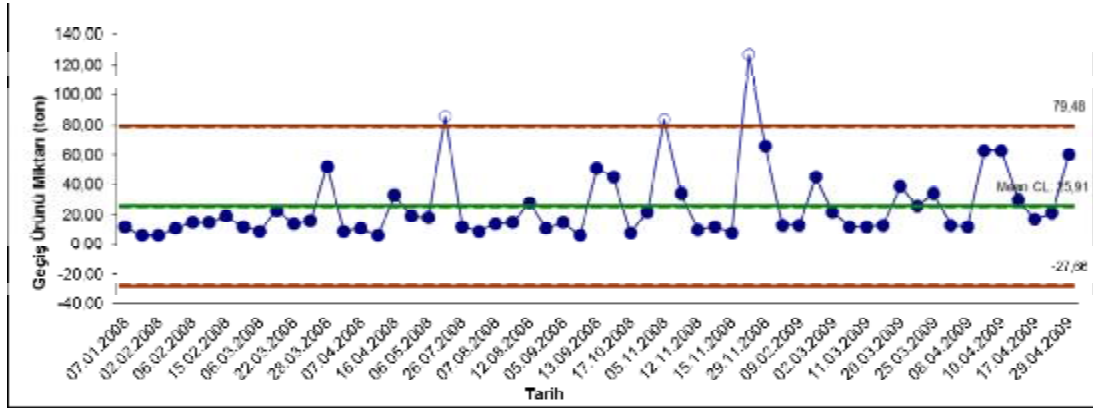
DMT’li Sürekli Polimerizasyonlarda (CP), PET polimerini üretmek için birbirine seri bağlı 3 adet reaktör (Reaksiyon kabı) bulunur. 1.reaktör “Esterleşme“ reaktörü, diğer 2’si “Polimerizasyon“ reaktörleridir. (Dupondsa eğitim notları, 2003)

Bu iki süreci tetikleyen en büyük etken müşterilerin talepleridir. Talep edilen ürünlerin teknolojik alt yapıları ve miktarları üretim şekillerinde ayrışmalara sebep olmaktadır. Kesikli polimerizasyon (Batch Polimerization) üretimi yapan işletmeler düşük kapasitelerde çalışmaktadır. Sürekli polimerizasyon işletmeleri ise kesikli işletmelere kıyasla daha yüksek kapasitelerde çalışmaktadır. Sonuç olarak yüksek kapasitede çalışan sürekli polimer işletmelerinde ürün geçişleri sırasında oluşacak ikinci kalite ürün miktarı, ürün geçiş süresinin uzunluğuna bağlı olarak kesikli üretim yapan işletmelere oranla daha yüksek olacaktır. Günümüzdeki rekabet koşullarında işletmeler pazar ihtiyaçlarını olabildiğince hızlı karşılamak zorundadır. Üretim esnekliğinin beraberinde getirdiği kalite varyasyon problemi, göz önünde bulundurulması gereken en önemli konuların başına gelmektedir. Bu çalışma, geçiş ürün miktarını minimize edilerek üretim verimliliğini maksimize edilmesini ve pazar taleplerine mümkün olduğunca hızlı cevap verilmesini amaçlamıştır.

1.2. Problemin Tanımı

Rekabet ve rekabetçilik temel ilkesi üzerine inşa edilmemiş organizasyonlar, buldukları çevrede rakiplerine göre üstün durumda olsalar dahi, zaman içerisinde göreceli olarak gerilemeye hatta yok olmaya mahkûmdurlar (Porter, 2000). Bir organizasyonun geleceğini yönlendirebilmesi için “nasıl daha mükemmel olabileceğinin” yollarını araması gerekmektedir. 1995 yılında Avrupa Topluluğu ile gümrük birliğine gidilmesi; diğer taraftan da başta Çin olmak üzere uzak doğu ülkelerinin giderek rekabette ağırlıklarını hissettirmeleri ve bu ülkelerde yaşanan ekonomik krizler, Türk şirketlerinde rekabetçiliği zorunlu hale getirmektedir. Bu durum özellikle ülkenin kimya ve tekstil sektöründe etkisini göstermiştir.

Kimya sektöründe bulunan firmaların pazarda rekabet avantajı yaratabilmesi için maliyetlerini düşürerek daha düşük maliyette üretim yapabilmesi kaçınılmazdır. Firmaların varlığını sürdürebilmeleri ancak kaliteli ürünleri zamanında ve düşük maliyetlerde üretebilmesine bağlıdır. İşletmelerdeki üretim planlamasının en büyük girdisi pazar talebidir. Pazar hakkında doğru bilgiye ne kadar kısa sürede ulaşabilirse, üretim planlaması da aynı oranda sağlıklı yapılabilmektedir. Fakat günümüzde işletmeler için en büyük problem, pazar hakkında doğru bilgiye istenilen zamanda ulaşamamasıdır. Belli bir hata payı içeren bilginin sistematik şekilde işlenerek, sonucunda çeşitli politikaların ve aksiyonların oluşturulmasına planlama diyebiliriz. Bu tez çalışmasında pazar talebine göre ürün geçişinin optimum şekilde planlanarak ürün geçiş miktarının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Buna göre geçiş ürünü miktarının temel bileşenleri ürünlerin talep miktarı, talep sıklığı, üretim sırası (product wheel) ve ürünler arası geçiş süresidir. Bu planlama uygulamasının ülke sanayisine ve planlama alanında çalışan mühendislere yol gösterecek bir kaynak olması en büyük beklentimizdir.



Şekil 1.2.Geçiş Ürün Miktarının Zamana Bağlı Grafiği

Problemin operasyonel dilde anlatımı şu şekilde özetlenebilir. Sürekli polimerizasyon işletmesinin 2008 Ocak ayından 2009 Haziran ayına kadar olan sürede farklı spesifikasyonlara (müşteri limitleri) sahip yedi tip ürünün üretilmesi esnasında geçiş ürünü diye adlandırılan ve hiçbir müşterinin spesifikasyon limitlerine uymayan ürünlerin üretilmesidir.

Ürün geçişi gerçekleştiği dönemlerdeki geçiş ürün miktarlarının dağılımları incelendiğinde zamanla hem değişkenlik hem de artan bir eğilim gözlemlenmektedir. (Bkz.Şekil1.2)

Stratejik Kararlar: Stratejik kararlar, uzun vadede değiştirilmesi güç olan ve değiştirildiğinde yüksek maliyetlere sebep olan kararlardır. Bu sebeple, stratejik kararlar sistemin uzun vadede çok fazla değişikliğe ihtiyaç duymayacağı, ya da değişen koşullara karşı daha esnek olacak şekilde planlanmalıdır. Yapılan çalışmalarda stratejik kararlar alınmasını gerektiren problem, mevcut ürün ailesinin değiştirilmesi ve fayda maliyet analizi yapılarak üretimin ilk giren ilk çıkar (FIFO) sistemi dışında önerilen yeni ürün ailesine göre yapılması konusunda olmuştur (Nuşin, 2007).

1.3. Çalışmanın Amaçları

Bu araştırma ile ürün geçiş miktarının minimize edilerek maliyet avantajı sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Optimum ürün geçiş sırasının (product wheel) belirlenmesi
2. Ürün geçiş miktarının azaltılması
3. Toplam sipariş bekletme sürelerinin düşürülmesi
4. Toplam stok miktarlarının azaltılması

1.4. Çalışmanın Kapsamı ve Varsayımlar

Sürekli polimerizasyon işletmesine gelen 7 tip ürün siparişlerine göre üretim ve ürün geçişinde oluşan geçiş ürün miktarları incelenerek bu miktarların farklı senaryolara göre minimize edilmesi amaçlanmıştır.

1.4.1 Kapsam

- i. Stratejilerin Belirlenmesi: Seçilen polimerizasyon işletmesine gelen taleplerin dağılımları analiz edildikten sonra telef ve ikinci kalite miktarlarını minimize ederek maliyetlerin düşürülmesini amaçlayan ve işletme yönetimi tarafından uygulanabilir stratejiler belirlenmiştir.
- ii. Simülasyon Modelinin Kurulması: Belirlenen politikaların test edilmesi amacıyla polimerizasyon işletmesine gelen taleplere uygun olarak simülasyon modeli uygulanacaktır. Simülasyon modelinde, işletme yönetiminden elde edilen veriler istatistiksel olarak incelenerek müşteri talepleri ve üretim miktarları karakterize edilecek ve performans kriterleri belirlenecektir. Farklı ürün geçiş stratejilerinde ikinci kalite ve geçiş ürün miktarları incelenmiştir.
- iii. Matematiksel Modelleme: Farklı kısıtlar ve amaçlar altında üç farklı strateji denenmiş ve elde edilen performans kriterlerine göre en uygun stratejiye karar verilmiştir.

1.4.2. Varsayımlar

Bu çalışma ile sürekli polimer işletmesinde 2008 –2009 yıllarında üretilen ürünler incelenmiştir. Çalışma süresince satış, pazarlama, planlama ve üretim birimlerinden gerekli veriler alınmıştır.

Elektronik ortamda incelenecek olan veriler:

- i. Talep edilen ürün tipleri
- ii. Talep edilen ürün miktarları
- iii. Talep edilen ürünlerin üretim miktarları
- iv. Ürün geçişleri sırasında oluşan geçiş ürünü miktarları
- v. Mevcut ürün ailesine uygun olarak gerçekleştirilen üretim sonucu oluşan geçiş ürün miktarları
- vi. Mevcut ürün ailesine uygun olmadan gerçekleştirilen üretim sonucu oluşan geçiş ürün miktarları
- vii. İşletmenin günlük çalışma kapasitesi değişmesine rağmen 150 t/gün olarak alınmıştır.
- viii. 2007 - 2008 yılları arasında hammadde fiyatları paraksilen üzerinden baz alınmıştır.
- ix. Dolar kuru $1\$ = 1,8$ TL olarak değerlendirilmiştir
- x. Mevcut durumda siparişler ilk giren ilk çıkar (FIFO) stratejisine göre değerlendirilmiştir.

1.5. Çalışmanın Aşamaları

Çalışmanın amaçlarına ulaşabilmesi için aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilecektir;

- i. Çalışmanın yapılacağı polimer işletmesinin belirlenmesi
- ii. Problemin ortaya konması: Polimer işletmesi yöneticileri ve çalışanlarıyla birlikte problem tanımlanacaktır.

- iii. Literatürün incelenmesi ve değerlendirilmesi: Problem ile ilgili yapılan çalışmalar eleştirel bir gözle incelenecek, çalışma amaçları ortaya konacak, eksiklikleri vurgulanacak ve yapılacak çalışmanın orijinal katkıları belirlenecektir.
- iv. Simülasyon modelinin kurulması: Politikalara uygun simülasyon modelleri oluşturulacaktır. Simülasyon modellerinde kullanılacak kontrol parametreleri, parametre değerleri, ısınma süreleri ve replikasyon sayıları belirlenecektir.
- v. Deneylerin Yapılması: Geçmiş verilerden elde edilecek deney setleriyle simülasyon çalıştırılacaktır. Elde edilecek sonuçlar grafikler halinde özetlenecektir.
- vi. Karşılaştırmalar ve Sonuçların Değerlendirilmesi: Elde edilen simülasyon sonuçları; istatistiki olarak ve uzman görüşüne başvurarak pratik açıdan değerlendirilecektir. Kullanılan yöntemlerin güçlü ve zayıf yanları belirlenecektir.
- vii. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler: Bu çalışmanın üzerine yapılabilecek çalışmalar için çözüm önerileri belirtilecektir.

1.6. Özgün Katkıları

Bu tez çalışmasında, bu konuda daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak

- i. Literatürden farklı olarak simülasyon yöntemi ile birlikte problemin tanımlama safhasında 6 sigma projelerinde problem çözme teknikleri olarak kullanılan balık kılıçığı, hata türü etkileri analizi (HTEA) ve sebep sonuç matrisi teknikleri kullanılmıştır.
- ii. Ürün geçiş ailesini minimum düzeyde geçiş ürün verebilmesi amacıyla Delphi yazılımı kullanılarak optimizasyon programı tasarlanmıştır.
- iii. Sistemin performansını etkileyen faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri de incelenmiştir. Böylece daha gerçekçi bir model elde edilmiştir.
- iv. Etkili faktörleri bilgisayar yardımıyla üç farklı simülasyon modelinde test edilmiş; böylece sistemin farklı durumlardaki tepkisi ölçülebilmektedir.

- v. Gerçek bir sisteme ait veriler kullanıldığı için verilerin kendi içindeki rastgeleliği ve yansızlığı doğal olarak sağlanmış; sistem bu hata olasılığından korunmuştur.
- vi. 6 Sigma teknikleri ve simulasyon çalışmasının bu proje kapsamında birlikte uygulanması çalışmaya özgünlük katmıştır.
- vii. Ürünler arası geçiş süresine yönelik optimizasyon çalışmaları ağırlıklı olarak parti tipi üretimlerde görülmektedir. Sürekli prosesler için ürünler arası geçiş süresi optimizasyonuna yönelik fazla çalışmanın olmaması, bu çalışmayı özgün kılmıştır.

1.7. Tez Organizasyonu

Tezin bundan sonraki bölümlerinde şu açıklamalara yer verilmiştir;

- i. İkinci bölümde, bu konuda ve benzer konularda yapılan önceki çalışmaların genel değerlendirilmesi anlatılmıştır.
- ii. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan veriler ve çalışma amaçlarına gerçekleştirmek için kullanılacak yöntemlerden bahsedilmiştir. Çalışmanın incelendiği sistemin karakteristik özellikleri incelenerek detaylı açıklamalarda bulunulmuştur. Metot olarak simülasyon ve matematiksel modelleme uygulanmıştır
- iii. Dördüncü bölümde, seçilen metotların probleme uygulandığında elde edilen veriler yorumlanmıştır.
- iv. Beşinci ve son bölümde araştırmanın en önemli sonuçları sıralanmış ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ülkemizde üretim alanında yapılan ürün geçiş maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar, üretim esnasında kullanılan ekipmanların değişim sürelerinin kısaltılması üzerine odaklanmıştır. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak sürekli akış sistemleri dışında olup parti tipi (batch) sistemlere özgü üretim sistemlerinde uygulanmıştır. Özellikle montaj hatlarında ve kalıp değişimi gerektiren süreçlerde kalıp değişim sürelerinin veya hat değişim sürelerinin kısaltılması ile ilgili birçok çalışma bulabiliriz.

Kimya sektörü için dünya genelinde ürün geçiş süresinin kısaltılması veya ürün geçişi sırasında ortaya çıkan ikinci kalite miktarının azaltılması üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde kalite verimliliklerini artırılmasına yönelik;

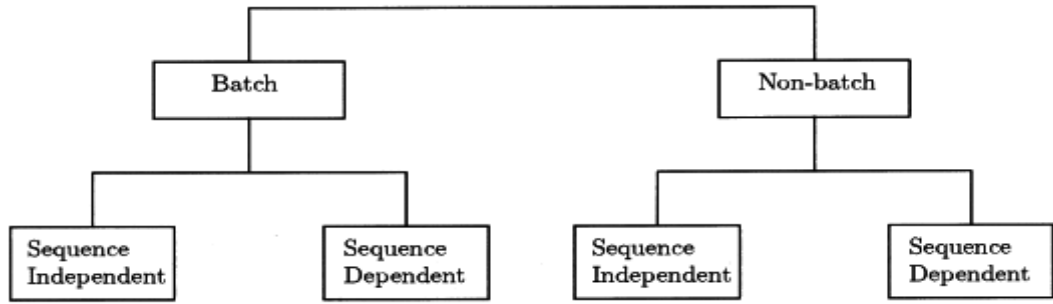
Joly (2003), asfalt üretim projesinde kısa dönemli çizelgeleme problemini vaka çalışması olarak yayınlamışlardır. Bu çalışmada çizelgeleme problemi 8 farklı nihai ürün için formülize edilmiştir. Yazar bu çalışmada problemi karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) ve karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) olmak üzere iki farklı şekilde formülize etmiştir.

Çizelgeleme problemi, Floudas ve Lin (2004), tarafından da parti ve sürekli zaman dilimlerine bölünerek formülize edilmiştir.

McAuley ve MacGregor (1992), üç polietilen ürününün geçişleri için kendi sistemlerini geliştirmişleridir. Bu sistem geçiş sırasında ortaya çıkan limit dışı üretim miktarını engellemektedir. Benzer çalışma Van Brempt tarafından da yapılmıştır.

Ali Allahverdi ve ark (1997), Hazırlık Zamanının Azaltılması ile ilgili yapılan çalışmada üretim planlama ve takvimeleme (Scheduling) kaynaklı hazırlık zamanı ile ilgili problemleri üç farklı kategorilerde incelemiştir.

- Parti ve Sürekli Sistemler
- Sıralamaya bağımlı ve sıralamadan bağımsız hazırlık
- Atölye durumuna göre
 - Paralel tasarım, Tekli Tasarım, Akış Tipi (Flowshops), Atölye Tipi (job shops)



Şekil 2.1. Parti tipi ve sürekli üretim karşılaştırması

Babu ve ark. (2007), tarafından yapılan çalışmada polietilen trefitelat (PET) üretimi için simülasyon ve optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyonun amaç fonksiyonu olarak asit ve vinil uç gruplarının minimizasyonu amaçlanmıştır. Beş farklı durum için amaç fonksiyonu incelenmiştir. Daha sonra Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması (NSGA) ile çözüm bulunmuştur.

Dr. Tamer Eren (2009), tarafından yapılan çalışmada iki ölçütlü zamana bağımlı öğrenme etkili çizelgeleme problemi üzerinde durulmuştur. Ele alınan performans ölçütleri maksimum erken bitirme ve geciken iş sayısıdır. Maksimum erken bitirme ölçütü, işlerin erken bitmesinden kaynaklanan maliyetleri (stok taşıma maliyeti vb.) önlenmektedir

Santos, Karma tamsayı programlama (Mixed Integer Linear Problem - MILP) modeli ile ürün geçiş optimizasyonu konusunda çalışmalarda bulunmuştur.

Prata ve ark (2005), Yapmış oldukları çalışmada sürekli polimerizasyon üretim ve işlem süresinin optimizasyonu konusunda çalışmalarda bulunmuştur.

Ou Tang (2002), Yapmış oldukları çalışmada müşterinin taleplerini analiz ederek ürün geçiş sırasının optimizasyonu üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Master Production Schedule (MPS) olarak adlandırdığı yöntemle üretim planlamasını oluşturmuştur. MPS nin çıkış noktası müşteri talepleridir. Belirsiz müşteri talepleri stokastik modellerle açıklanmıştır.

Adrian Prata (2007), Yapmış oldukları çalışmada sürekli polimerizasyon reaktörlerinde kalitelendirme süreci için dinamik optimizasyon ve çizelgeleme yöntemi kullanmışlardır.

David L. ve ark. (2005), Yüksek kapasiteli sürekli üretim sistemlerinde ürün geçiş sürelerine bağımlı olarak matris oluşturulmuş ve bu matrise bağımlı olarak en uygun ürün ailesi geliştirilmiştir.

Ürün Geçiş Matrisi

		Ürün Geçiş Süresi (Saat)									
		T ₀									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
A	-	1	2	3	2	2	1	1	3	4	
B	1	-	1	1	8	5	6	8	8	5	
C	2	1.5	-	8	7	4	7	10	9	10	
D	3	3.7	2	-	5	6	8	7	6	5	
E	2	9	9	10	-	10	1	4	4.5	10	
F	2	5	3	6	0.5	-	5	5	3	5	
G	1	7	5	8	2	3	-	4	0.5	8	
H	1	6	8	9	3	5	9	-	10	2	
I	3	8	9	5	7	9	10	8	-	1.5	
J	4	6	10	3.2	10	5	6	2.5	1	-	

Şekil 2.2. Geçiş Sürelerine Bağlı Ürün Geçiş Matrisi

Karlılığı maksimize edebilmek için üç performans kriteri belirlemiştir.

- Ekonomik üretim büyüklüğü
- Ortalama sok
- Optimum ürün ailesi

Literatürün Değerlendirilmesi: Tez konumuzun bu çalışmalardan en büyük farklılığı kullanılan sistematik ve projenin kapsamıdır. Atıfta bulunulan makalelerin kapsamında üretim sırasında oluşan kısıtlara odaklanıldığı görülmektedir. Literatürde Sistematik olarak 6 Sigma metodolojisi yerine doğrusal veya doğrusal olmayan programlama sistemi ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Sürekli polimerizasyon konusunda planlama odaklı ürün geçiş optimizasyon çalışması hem kullanılan metod olarak (6 sigma metodolojisi) hem de kapsam olarak ülkemiz için yeni bir çalışma niteliği taşımaktadır.

Ülkemizde üretim alanında yapılan ürün geçiş maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar, üretim esnasında kullanılan ekipmanların değişim sürelerinin kısaltılması üzerine odaklanmıştır. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak sürekli akış

sistemleri dışında olup parti tipi (batch) sistemlere özgü üretim sistemlerinde uygulanmıştır. Özellikle montaj hatlarında ve kalıp değişimi gerektiren süreçlerde kalıp değişim sürelerinin veya hat değişim sürelerinin kısaltılması ile ilgili birçok çalışma bulabiliriz.

3. MATERYAL VE METOD

Kapsam bölümünde bahsedilen girdi ve çıktı değişkenlerinin analizleri için 6 Sigma metodolojisi uygulanmıştır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar literatür araştırması kapsamında incelenmiştir. Bu çalışmada, talebin rastsal değiştiği ve buna bağlı olarak üretim miktarının da rastsal değiştiğini ve geçiş ürün miktarının, toplam stok miktarının ve toplam sipariş bekleme sürelerinin karar değişkeni olduğu durum için hem stokastik metotların hem de deterministik metotların kombinasyonundan oluşan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir.

3.1. Materyal

Talep tahminine dayalı geçiş ürün miktarının minimize edildiği bu çalışmada taleplerin doğru şekilde belirlenmesi ile ihtiyaç duyulan ürün geçişi sayısı ve miktarı tespit edilmiştir. Minimum geçiş ürünü oluşturacak ürün ailesinin (Product Wheel) belirlenmesinde iki yıllık gerçek verilerle çalışılmanın sağlıklı sonuçlar doğuracağı düşünülmüştür. Bu amaçla, çalışma kapsamına uygun olarak Adana ilinde faaliyet gösteren günlük 160 ton üretim kapasiteli sürekli polimerizasyon işletmesi seçilmiştir. Belirlenen işletme; günlük maksimum 180 ton kapasiteli bir işletmedir. Bu çalışmada yedi tip ürününün iki yıllık üretim ve sipariş verileri dikkate alınmıştır.

3.1.1.Çalışmada Kullanılan Veriler

Herhangi bir üründen diğerine geçiş sırasında ortaya çıkan geçiş miktarı ürünlerin üretim sıklık ve talep geliş dağılımına bağlıdır. Bu verilerin dışında mevcut toplam stok miktarı ve toplam sipariş bekleme süresi üretim miktarına bağlıdır. Dolayısı ile bu çalışmada takip edilecek olan karar değişkenlerinin zamanla değişiminin belirlenmesi için geçmiş yıllara ait aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulacaktır;

- i. Talep edilen ürün tipleri
- ii. Talep edilen ürün miktarları
- iii. Talep edilen ürünlerin üretim miktarları
- iv. Ürün geçişleri sırasında oluşan geçiş ürünü miktarları.
- v. Mevcut ürün ailesine uygun olarak gerçekleştirilen üretim sonucu oluşan geçiş ürün miktarları
- vi. Mevcut ürün ailesine uygun olmadan gerçekleştirilen üretim sonucu oluşan geçiş ürün miktarları

3.1.2.Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

İşletmede üretilen tüm birinci kalite ve geçiş ürünleri Excel formatında toplanmıştır. Ürünlerin sipariş gelişleri ve üretimleri rastsal olmaktadır. Bu verilerin olasılık dağılımlarının belirlenebilmesi için Minitab16 istatistiksel paket programı kullanılmıştır.

Minitab, Microsoft® Windows® işletim sisteminde kullanılan ve kolon bazlı çalışan bir istatistiksel yazılımdır. Temel olarak oturma penceresi, çalışma sayfaları, grafik pencereleri gibi alt bileşenlerden oluşmaktadır. Başta 6 Sigma olmak üzere endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

En uygun yolu bulabilmek için iki farklı strateji çalışılmıştır. En az ürün geçişi elde edebilmek amacıyla Delphi ortamında üretim sıralarını belirleyen optimizasyon programı yazılmıştır.

Delphi, programlama dilinin, temeli Pascal dilidir. Özellikle nesne yönelimli programlama anlayışıyla yapılandırılmış Turbo Pascal dilinin görsel sürümü denilebilir. Borland firması tarafından geliştirilmektedir. Win32 ve .NET platformları üzerinde yazılım geliştirmeye olanak sağlar. Delphi programlama dili nesne yönelimli bir dil olduğu için eklenen bütün nesnelerin (Formlar da dâhil) kodlarını oluşturur. Bu kodları "Unit" ler içerisinde barındırır.

Belirlenen ürünlerin üretim ve sipariş sıklıkları ve miktar dağılımlarını kullanarak ortaya konulan politikalara yönelik simülasyon modelleri Arena 9.0 paket programının deneme sürümü ile oluşturulmuştur.

Arena; tedarik zinciri, üretim, süreçler, lojistik, dağıtım, depolama ve servis sistemleri ile ilgili önemli ve karmaşık yeniden-tasarımlardaki değişimlerin etkisini analiz etmek için Rockwell Software şirketi tarafından tasarlanmış bir simülasyon modelleme yazılımıdır. Windows ortamında çalışmaktadır. İçerdiği başlıca stratejiler;

- i. Malzeme taşıma komponentlerini içeren herhangi bir üretim sisteminin detaylı analizi,
- ii. Kompleks müşteri servis ve müşteri yönetim sistemlerinin analizi,
- iii. Depolama, nakliye ve lojistik sistemlerini içeren global tedarik zinciri analizi,
- iv. Maliyetler, üretim miktarı, çevrim zamanları, kullanımlar gibi anahtar metrikler temelinde sistem performansı tahmini,
- v. Kaynak kullanımı aşımında ve kuyruk yapılarındaki darboğazların belirlenmesi,
- vi. Personel, ekipman ya da malzeme ihtiyaç planlamasıdır (Arena User's Guide, 2004).

Simülasyon modeli sonucunda elde edilen değerler Minitab16 paket programı yardımıyla üretim miktarına bağlı olarak toplam stok miktarı ve toplam sipariş bekleme süreleri optimize edilmiştir.

3.2 Metod

3.2.1 Çalışmada Kullanılan Metodlar

Bu Çalışma 6 Sigma Projesi kapsamında irdelenmiştir. 6 Sigma metodolojisinin kendine özgü bir hiyerarşisi bulunmaktadır. Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol olmak üzere beş ana safhadan oluşur. Tanımlama safhasının ilk adımı problemin tanımlanmasıdır.

Problem Tanımı ve kök sebeplerin bulunması için Sebep Sonuç Matrisi ve hata türü etkileri analizi (HTEA) yapılmıştır. Problemi etkileyen gerekli veriler toplanmıştır.

Ölçüm safhasında çıktı metriğinin yeterlilik analizi yapılmış ve süreç akış haritası çizilmiştir.

Analiz bölümünde kullanılacak olan istatistiksel analizler belirlenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Olasılık dağılımları için Anderson Darling ve Kolmogorov-Simirnov testleri kullanılarak üretim ve talep sıklıkları, üretim ve sipariş miktarlarının olasılık dağılımları belirlenmiştir.

İyileştirme safhasında geçiş ürün miktarını minimize edecek en kısa yolun bulunması için mevcut durum hariç iki farklı üretim politikaları geliştirilmiştir. Bu politikaları test edebilmek için Arena simülasyon programı kullanılmıştır. Geçiş ürün miktarı toplam stok miktarı ve toplam sipariş bekleme süresi en düşük olan politika tercih edilmiştir.

Üretim politikaları içerisinde geçiş ürün miktarını minimize edecek ürün ailesini bulabilmek için Delphi paket programından destek alınmıştır. Optimizer diye isimlendirmiş olduğumuz Delphi programının vermiş olduğu sonuca göre simülasyon programında uygulanmış ve sonuçlar diğer politikalar ile karşılaştırılmıştır.

Geçiş ürün miktarına ek olarak ortalama stok miktarı ve ortalama sipariş karşılama süreleri de analiz edilmiştir.

3.2.2. Sistemin Tanımı

Ele alınan üretim ve sipariş sisteminde, birbirinden bağımsız 7 farklı tipte ürünün gelişleri ve üretimleri olmaktadır. Üretim hızı ortalama günlük üretim miktarı olan 150 ton/gün' e set edilmiştir.

Üretim sistemi bir sürekli polimerizasyon işletmesinden oluşmaktadır. Bu işletmede aynı anda 2 farklı ürün üretilmemektedir. 7 farklı ürünün üretilmesi için üretimlerin belirli bir sırada ve birbirlerini bekleyen bir yapıda üretilmesi gerekmektedir. Bu sıra mevcut durumda siparişlerin gelişlerine göre belirlenmektedir.

Ürün siparişlerinin üretim sırasına göre işletmede geçiş ürünü diye adlandırdığımız hiçbir ürün spesifikasyonuna uymayan (kalitelendirilemeyen)

ürünler oluşmaktadır. Bu geçiş ürün miktarı, her bir üründen diğerine geçiş sırasına göre değişim göstermektedir. Geçiş ürün miktarı ve kalitesi, geçilen ürün tiplerine ve kullanılan kimyasal tiplerine göre farklılık gösterebilmektedir. Geçiş ürünleri belli dönemlerde ikinci kalite olarak ayrılmakta ve müşterinin talep etmesi durumunda birinci kalite fiyatından daha düşük bir fiyatta satılmakta ya da işletmenin farklı proseslerinde yeniden işlenebilmektedir. Aksi durumda ziyan olarak ayrılmaktadır. Proje kapsamında farklı ürün tiplerinden geçiş durumlarına göre ürün geçiş miktarları dikkate alınmış ve herhangi bir kalitelendirme yapılmamıştır.

Farklı üretim politikaları ile geçiş ürün miktarları minimize edilebilmektedir. Fakat bu stratejileri uygularken ortalama stok miktarı ve ortalama sipariş bekleme süreleri gibi diğer performans kriterlerini de takip etmek gerekmektedir.

Geçmiş yıllarda geçiş ürün miktarını azaltmak için üretim sırası veya diğer adıyla ürün ailesi oluşturulmuş fakat siparişlerin beklememesi ve müşteriye daha hızlı cevap verilebilmesi amacıyla ilk giren ilk çıkar (FIFO) üretim politikasına geçilmiştir. Çalışmamızda geçmiş dönemde oluşturulan ürün ailesi de test edilmiştir.

3.2.3. Altı Sigma Metodolojisi

Uygulanacak olan 6 Sigma metodolojisi 5 ana safhadan oluşmaktadır.

- i. *Tanımlama (Define)*: Bu safhada problemin tanımı ve kapsamı belirleme amaçlı analizler uygulanır. Analizler: SIPOC analizi, sebep sonuç matrisi, süreç haritası ve balık kılıcı analizi
- ii. *Ölçme (Measure)*: Bu safhada kullanılacak olan verilerin güvenilirliği ve süreç yeterlilik analizleri uygulanır. Analizler: Yeterlilik Analizi (Capability Analysis), Gage R&R.
- iii. *Analiz (Analyze)*: Bu safhada istatistiksel ve tecrübeye dayalı önceliklendirme analizleri uygulanır. Analizler: Dağılım uydurma analizleri (Parametrik ve parametrik olmayan dağılımlar), Hipotez testleri (T test, Anova, regresyon...), Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA).
- iv. *İyileştirme (Improve)*: Bu safhada süreçlerin karakterize ve optimize edilmesi amaçlı analizler uygulanır. Analizler: DOE, Response surface, Simülasyon.

- v. *Kontrol (Control)*: Bu safhada iyileştirilen parametreler kontrol kartları ile takip edilmesi amaçlanır. X-bar, n, p kontrol grafikleri başlıca örnekleridir.

3.2.3.1. Altı Sigma İlkeleri

6 Sigma yaklaşımının temel ilkeleri şunlardır:

- i. *Gerçek Müşteri Odağı*: 6 Sigma da performans ölçümü müşteri ile başlamaktadır. İyileştirmeler müşteri tatmini ve değeri üzerindeki etkileri ile tanımlanır.
- ii. *Verilere Dayalı Yöntem*: Hem sonuçları hem de süreçleri izleyen etkili bir ölçüm sistemine sahiptir. Bu yüzden 6 Sigma' ya dayalı karar vermek ve çözüm üretebilmek için yöneticilerin hangi veri ve bilgilere ihtiyaçlarının oldukları ile bu veri ve bilgileri en fazla nasıl yarar sağlayarak kullanabileceklerini cevaplamaları gerekmektedir.
- iii. *Süreç Odağı*: 6 Sigma' da süreç faaliyetin olduğu yer olmaktadır. 6 sigma ile elde edilen tüm kazanımlar süreçlerin müşteriye değer sağlamak için kullanılması ile gerçekleştirilmiştir.
- iv. *Proaktif Yöntem*: “Proaktif” kavramı çoğunlukla “reaktif” kavramının tersi olarak düşünülür ve olaylardan önce harekete geçme anlamı taşır. Gerçek dünyada ise proaktif yönetim başarı için kritik iş alışkanlıkları ile ilgilidir; iddialı hedefler oluşturmak, bunları sık sık gözden geçirmek, açık politikalar geliştirmek, problemlerin önlenmesine odaklanmak, kör bir şekilde işleri nasıl yaptığımızı savunmak yerine, işleri niçin böyle yaptığımızı sorgulamaktır. Altı Sigma reaktif alışkanlıkların yerini dinamik, ihtiyaçlara gerçekten cevap veren proaktif bir yönetim tarzının almasını sağlayacak araç/yöntem ve uygulamaları içerir.
- v. *Sınırsız İşbirliği*: Şirketin tedarikçileri, müşterileriyle ve şirket çalışanlarının da birbirleriyle kuracakları işbirliğinin getireceği fırsatlar büyüktür. Altı Sigma insanların büyük resimdeki yerlerini görmelerini ve faaliyetler arasındaki ilişkileri anlamalarını sağlayarak iş birliği fırsatlarını artırır. Altı Sigma'daki sınırsız işbirliği karşılıksız fedakarlık anlamında değildir. Bununla birlikte son

kullanıcıların gerçek ihtiyaçlarının ve süreçler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını gerektirir. (www.donusumkonagi.net)

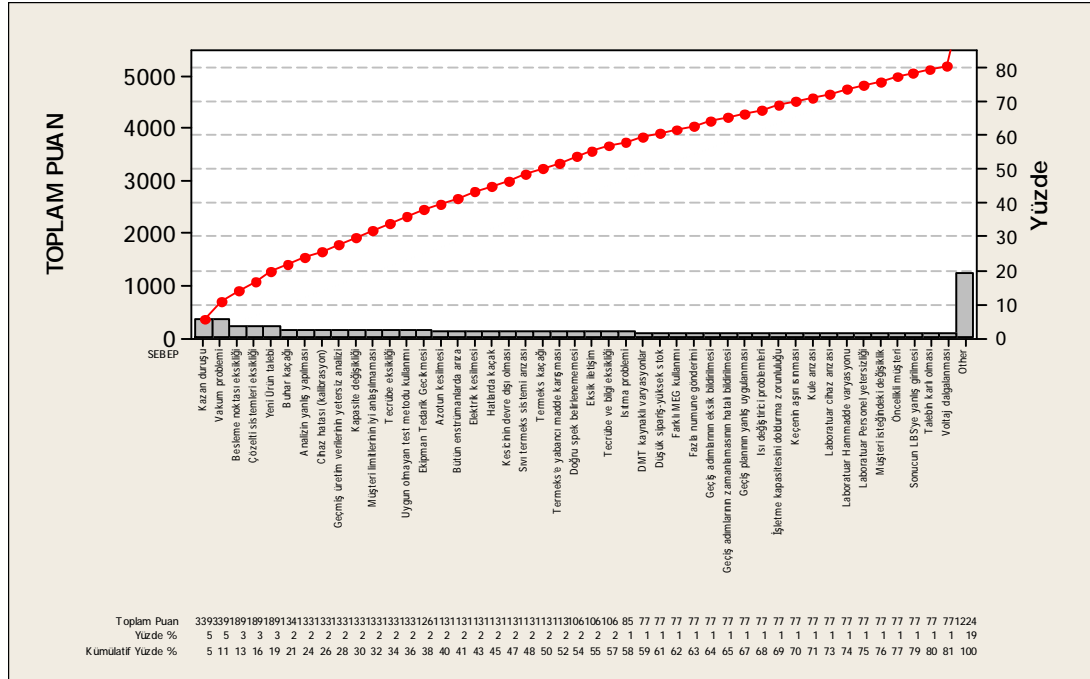
3.2.4. Süreç Akış Haritası

Süreç haritası, bir süreçte yapılan işlerin ve işin akışının kolayca anlaşılmasını sağlayan ve süreci görsel hale getiren diyagramdır. Süreç haritası, süreçteki tanımlanan aktiviteleri ve karar noktalarını gösterir. Bu sayede belirlenen organizasyonel hedeflere göre sürecin hangi aşamaları değiştirilmeli, hangi aşamaları desteklenmeli ve hangi adımları ortadan kaldırılmalı kararları alınabilir. (<http://barpat.pau.edu.tr/surecyonetimi>)

Şekil 3.1. deki süreç akış haritasına göre üretim süreci, müşteri talebi ile başlamaktadır. Tanımlama aşamasında kullanılan süreç haritası yönteminde karar mekanizmleri baklava dilimleri ile gösterilmiştir. Geçiş ürünlerinin oluştuğu adımlar, projenin odaklanması gereken adımları olup koyu renkle gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Sebep Sonuç Matrisi

No	SÜREÇ ADIMI	SEBEP	ÇIKTILAR			TOPLAM
			Ağırlık			
			9	5	7	
			Ürün Geçiş Sayısı	Ürün Geçiş Sırası	Ürün Geçiş Süresi	
1		Üretim teyitlerinin geç verilmesi	5	5	0	70
2		Üretim teyitlerinin yanlış verilmesi	5	5	0	70
3		SAP'nin güncel olmaması	5	5	0	70
4		Yeniden paketleme	5	5	0	70
5		Harmanlama yapılması	5	5	0	70
6		Stoktaki ürünün korunamaması	5	5	0	70
7		Malzemenin stokta olmaması	5	5	0	70
8		Malzemenin uygunsuzluğu	5	5	0	70
9		Uygunluk analizinin uzun sürmesi	1	1	0	14
10		Ani malzeme talebi	1	1	0	14
11		Yeni malzeme talebi	1	1	5	49
12		Sık malzeme değişimi	1	1	5	49
13		DMT kaynaklı varyasyonlar	1	1	9	77
14		Belirlenmiş MEG kaynakları dışında MEG kullanımı	1	1	9	77
15	Müşteri talebinin alınması	Düşük sipariş-yüksek stok	1	1	9	77
16	Ürün Stok Kontrolü	Yüksek sipariş-düşük stok	1	1	9	77
17		Periyodik bakım eksikliği	0	0	5	35
18		Ekipmanın eskimesi/yıpranması	0	0	5	35
19		Uygun olmayan ekipman malzemesi	0	0	5	35
20		Uygun olmayan ekipman kullanımı	0	0	5	35
21		Geçmiş üretim verilerinin yetersiz analizi	5	5	9	133
22		Müşteri spesifikasyonunun iyi anlaşılabilmesi	5	5	9	133
23		Kapasite değişikliği	5	5	9	133
24		Teçrübe eksikliği	5	5	9	133
25		Geçiş adımlarının eksik bildirilmesi	1	1	9	77
26		Geçiş adımlarının zamanlamasının hatalı bildirilmesi	1	1	9	77
27		Geçiş planının yanlış uygulanması	1	1	9	77
28		Çözümlenemeyen sorunların eksikliği	9	9	9	189
29		Besleme noktası eksikliği	9	9	9	189
30		Ekipman Tedarik Gecikmesi	9	9	0	126
31		Hızlı personel değişimi	0	0	5	35
32		Teçrübeli eleman kaybı	0	0	5	35
33		Hızlı teknoloji değişikliği	0	0	1	7
34		İşgücü maliyeti	1	1	1	21
35		İşgücü planlamasının hatalı yapılması	1	1	1	21
36		Fazla numune gönderimi	1	1	9	77
37		Laboratuvar Personel yetersizliği	1	1	9	77
38		Laboratuvar cihaz arızası	1	1	9	77
39		Analizin yanlış yapılması	5	5	9	133
40		Sonucun LBS'ye yanlış girilmesi	1	1	9	77
41		Uygun olmayan test metodu kullanımı	5	5	9	133
42		Cihaz hatası (kalibrasyon)	5	5	9	133
43		Laboratuvar Hammaddede varyasyonu	1	1	9	77
44		Sıvı termeks sistemi arızası	5	1	9	113
45		Kazan duruşu	5	1	9	113
46		Termeks kaçağı	5	1	9	113
47		Termeks'e yabancı madde karışması	5	1	9	113
48		Isıtma problemi	5	1	5	85
49		Buhar kaçağı	5	1	5	85
50		Vakum problemi	5	1	9	113
51		Kazan duruşu	5	1	9	113
52		Isı değiştirici problemleri	1	1	9	77
53		Vakum problemi	5	1	9	113
54		Kesicinin devre dışı olması	5	1	9	113
55		Keçenin aşırı ısınması	1	1	9	77
56		Hatlarda kaçak	5	1	9	113
57		Kule arızası	1	1	9	77
58		Elektrik kesilmesi	5	1	9	113
59		Voltaj dalgalanması	1	1	9	77
60		Azotun kesilmesi	5	1	9	113
61		Bütün enstrümanlarda arıza	5	1	9	113
62		Hava kaçağı	1	1	5	49
63		Buhar kaçağı	1	1	5	49
64		Vakum problemi	5	1	9	113
65		Kazan duruşu	5	1	9	113
66		İşletme kapasitesini doldurma zorunluluğu	5	5	1	77
67	Müşteri Talebinin Alınması, Üretim Planı	Talebin karlı olması	5	5	1	77
68		Öncelikli müşteri	5	5	1	77
69	Müşteri Talebinin Alınması, Üretim Planı	Müşteri isteğindeki değişiklik	5	5	1	77
70	Müşteri Talebinin Alınması, Üretim Planı	Yeni Ürün talebi	9	9	9	189
71		Doğru spek belirlenememesi	9	5	0	106
72	Müşteri Talebinin Alınması, Üretim Planı	Eksik iletişim	9	5	0	106
73		Teçrübe ve bilgi eksikliği	9	5	0	106
74	Yükleme Planı	Yükleme planı değişikliği	1	5	0	34
75	Müşteri Talebinin Alınması, Üretim Planı	Yetersiz satış miktarı	1	1	5	49
76	Tüm Süreç	Üst yönetimin yüksek beklentileri	5	5	0	70
		Çıktılar için Toplam	269	197	432	



Şekil 3.2. Sebep Sonuç Matrisi Pareto Analizi

Sebep sonuç matrisindeki sebeplerin %80'lik bölümü Pareto analizi ile önceliklendirilmiştir. Önceliklendirilen sebepler hata türü etkileri analizine (HTEA) aktarılmıştır.

3.2.6. Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA)

Firmalar piyasada rekabet edebilmeleri için, çeşitli operasyonlardaki hatalarını önlemek veya risklerini azaltmak mecburiyetindedirler. FMEA veya HTEA; sistem, tasarım, proses veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirilmesini ve bu tür hataların sürekli azaltılmasını hedefleyen özel bir metodolojidir.

Hataların önlenmesine yönelik olan çalışmalarda eski ve yeni düşünce sistemleri karşılaştırıldığında şu durum ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.2. Eski ve Yeni Düşünce Karşılaştırması

Eski Düşünce	Yeni Düşünce
Iskarta(hurda)ların gözlenmesi	Iskarta(hurda)ların önüne geçilmesi
Güvenirliğin ortaya konulması	Güvensizliğin azaltılması
Problemlere çözüm üretilmesi	Problemlerin önlenmesi

HTEA önce ABD de 1950’li yılların başında uçuş kontrol sistemlerinin kontrolünde kullanılmaya başlanmış ve 1960’dan sonra havacılıkta sistemli olarak uygulanmıştır. NASA tarafından 1960-1965 yılları arasında aya insan indirme (APOLLO) projesinde denenmiştir. 1965-1970 yılları arasında ABD’de Silahlı Kuvvetlerde kullanılmıştır. Endüstride ilk kullanım Japon NEC firması tarafından başlatılmış, daha sonra otomotiv ve tekstil sektöründe yaygın uygulama alanı bulabilmiştir. FMEA yönteminin uygulanabilmesi için aşağıda yer alan dört ön şartın herkes tarafından anlaşılması ve izlenmesi gerekmektedir.

- 1- Öncelikle müşteri belirlenmelidir,
- 2- İncelenen fonksiyon ve amaç herkes tarafından bilinmelidir,
- 3- Problemlerin önceliği belirlenmelidir,
- 4- Düzeltici faaliyetlerde devamlı iyileşme sağlanmalıdır.

3.2.6.1. HTEA Tekniğinde Kullanılan Yardımcı Elemanlar

HTEA tekniğinde kullanılan yardımcı elemanlardan bazıları şunlardır:

Hata Modu: Sistemlerde arıza veya hatalara neden olan mekanizmalar bir bütünlük içerisinde meydana gelen rastsal veya doğal olaylar olabilir. Örneğin; bir otomobil lastiğinde patlak ya da yan yüzey kusurları gibi. Ayrıca bir sistemin ayrı ayrı parçaları olabilir. Örneğin; bir bilgisayarın değişik ünitelerindeki (hafıza, disk driver veya klavye v.s.) hatalar olabilir. Hataların mekanizmalara veya sebep olan parçalara göre ayrı ayrı ele almak ve sonra hataların bağımsız olması koşuluyla, sistemin güvenilirliğini genellemek, parça hatalarına göre inceleyip, önlem almak

olasıdır. Bunlara hata modları denilmekte ve hata sebepleri ile karıştırılmaması gerekmektedir.

Hataların Etkisi: Gerçekleşmesi olası hatalar üzerinde çalışarak, hata veya hataların üretim prosesi, servis veya diğer parçalara yansımaları ve tümünün performansı üzerindeki etkisi belirlenir.

Hataların Kritikliği: Proseste potansiyel hatalar araştırılarak ürünün farklı parçaları üzerindeki hatalar izlenerek, güvenlik riski ve toplam fonksiyonu üzerindeki şiddeti tespit edilir.

HTEA üretimin operasyonunda, dizaynı her aşamasında, gelişiminde veya ürünün kullanımında uygulanabilir. Henüz daha dizayn aşamasında meydana çıkması olası hataların etkilerine karar verilerek sebeplerin ortadan kaldırılmasıdır. Ürünün her parçası için bu yöntemi kullanmak ekonomik değildir. Ancak ürünün kritik operasyon belirlenip, metod yalnızca onlar için kullanılmalıdır.

ABD ve Japonya da çok etkin olarak uygulanmakta olan HTEA çizelgesi hazırlanır. Bu çizelgede firmaların üretim sistemlerine uygun detaylar vardır. Firmalar kendilerine en uygun çizelgeyi hazırlarlar. Aşağıda basit bir HTEA çizelgesi görülmektedir.

Çizelge 3.3. HTEA Kolon Başlıkları

Proses/ Fonksiyonlar	Muhtemel Hata Modu	Hatanın Etkileri	P	S	D	C	Önlemler
-------------------------	-----------------------	---------------------	---	---	---	---	----------

Yukarıdaki çizelgede P, S, D, C, harfleriyle gösterilen sembollerin anlamları şunlardır:

P: Her bir hata modunun oluşma olasılık değeri (1 ile 10 arası bir değer)

S: Hatanın ne kadar önemli olduğunun değeri (1 ile 10 arası bir değer)

D: Üretim veya servisten önce, müşteri tarafından henüz kullanılmadan, hataların keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesidir. (1 ile 10 arası bir değer).

RÖN: Her hatanın etkilerine göre sıralanması, düzenlenmesi veya öncelikli risk olasılığına göre derecelendirilmesi prensibine göre belirlenir. RÖN değeri P, S ve D değerlerinin çarpımıyla elde edilir.

$$RÖN = P(\text{olasılık}) \times S(\text{şiddet}) \times D(\text{fark edilebilirlik})$$

Toplam kalite kontrolü anlayışı içerisinde, HTEA analizi, bütün yeni parçalar üzerinden değişiklik yapılmış veya yeni şartlar altında kullanılan ve devam edecek parçalara uygulanmalıdır.

FMEA analizi, parçalar üzerinde bütün tesir ve etkileri hesaba katan, araştırma ve geliştirme bölümü tarafından yapılan dizayn hesaplarının gösterimi ile alakalıdır. Yöntemin ilgilendiği hatalar şu sebeplerden meydana gelir; kırılmalık, deformasyon, eskimişlik, çatlakların çoğalması, titreşim, sızıntı, ani duruşlar, korozyon/aşınma, kısa devreler vb.

Çalışmalarda hedef kitle müşteridir. HTEA analizi yardımıyla kritik durumlar önceden sezilerek önlemler geliştirilir ve böylece kritik durumların artış olasılığı giderilir. Tüketici yanılmamalıdır. Ürünün güvenilirliğini veya uygunluğunu azaltmayan bir takımın hataların dahi tüketici tarafından fark edilmesi önemlidir.

(www.altisigma.com)

Çizelge 3.4. Hata Türü Etkileri Analizi

Proses	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkileri	Potansiyel Sebepler	RÖN	Belirlenen Aksiyon	Sorumlu
Müşteri Talebinin Alınması, Üretim Planı	Yeni ürün talebinin ani ve plansız gelmesi	Ürün geçiş sayısının artması, süresinin değişmesi ve sıranın bozulması	Müşterilerden gelen yeni talepler ve bu taleplerin kabul edilmesi	720	Yeni ürün talebinin aylık üretim planı içerisinde ürün geçiş sırasına göre en uygun yere koyulması. Ani olarak üretime aktarılmaması	Üretim Planlama
Geçiş planı	Tecrübe eksikliğinden dolayı geçiş planını doğru hazırlanamama	Geçiş süresinin uzaması	Sık personel değişimi	648	Geçiş planı hazırlanması için eğitim verilmesi	İşletme Müdürü
Geçiş planı	Kapasite değişikliği	Farklı kapasitede geçiş planının ayarlanamaması	Yüksek/düşük stok	576	Bir personelin aynı görevde kalması için gerekli minimum sürenin belirlenmesi Üretimin 150 ton/günde sabit tutulması	İşletme Müdürü Üretim Planlama
Geçiş planı	Geçmiş üretim verilerinin yetersiz analizi	Geçiş süresinin uzaması	Tecrübe eksikliği	512	Bir geçiş yaparken benzer geçişlerdeki geçmiş SCC ve geçiş planı verilerinin incelenerek yeni planın ve SOChin hazırlanması	Geçişten sorumlu mühendis
Üretim planı, geçiş	Çözümleri sistemleri eksikliği (tank, pompa, oto.vana, akışmetre, ısıtma vs.)	Çözümlerin uygun hazırlanmaması ve kalitenin bozulması	Yeni bir kimyasal içeren ürün talebi	504	Yeni ürün talebinin gelmesi ile üretime geçiş arasında gerekli ekipman revizyonlarının yapılması için uygun zamanın koyulması	Üretim Planlama

3.2.7. Ürün Ailesinin Optimizasyonu

Yedi tip ürün ailesinin minimum geçiş ürünü üretecek şekilde optimize edilebilmesi için iki yıllık geçmiş verilerden yararlanılmıştır. Bu verilere göre bugüne kadar yedi ürünün birbirleri arasındaki geçiş sırasında meydana gelen geçiş ürün miktarlarının (ton) ortalamaları kayıt altına alınarak matris tablo oluşturulmuştur. (Bkz. Çizelge 3.5.) Bu tabloya göre iki farklı strateji oluşturulmuş ve bu iki strateji Arena ortamında simüle edilerek sonucunda oluşan geçiş ürün miktarları karşılaştırılmıştır.

Stratejiler: Mevcut durumda sürekli polimerizasyon işletmesi müşteri taleplerini hızlı bir şekilde karşılayabilmesi için üretim politikasını ilk giren ilk çıkan (FIFO) politikasına göre yapmaktadır. Bu durumda sipariş bekleme süreleri beklenenden daha kısa olmasına rağmen üretim için herhangi bir kısıt bulunmamasından dolayı geçiş ürün miktarları yüksek olmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermeye yönelik aşağıdaki politikalar gerçekleştirilmiş ve simulasyon programında test edilmiştir

- i. Şekil 3.4. teki matris tablo kullanılarak Delphi ortamında geçiş ürününü minimize edecek bir optimizasyon programı tasarlanmıştır.
- ii. İşletmenin önermiş olduğu ürün ailesine göre üretim politikası oluşturulmuştur.

Çizelge 3.5. Ürün Geçiş Matrisi

son	A	B	C	D	E	F	G
A	-	35,53333*	22	38,75	13	14	17,8
B	33,12	-	26	20	21,33333	16,5	26,5
C	14	31,76667	-	13,05	13	14	14
D	41,6	161	13,35	-	10,8	25,6	14
E	14	27	14	42,15	-	14	14
F	13	16,5	13	26,4	12,8	-	14
G	10	38,5	13	13	13	14	-

Optimizer Programı: Bu program Delphi tabanlı olarak yazılmıştır. İlk açılan ekranda yedi tip ürünlerin bugüne kadar birbirleri arasında yapmış oldukları geçiş miktarları tanıtılmıştır. İleriki yıllarda geçiş miktarlarının değişkenlik gösterebilmesi

olasılığıyla bu tablo dinamik olarak tanıtılmıştır. Tabloda ürün tipleri alfabe yerine rakam olarak tanıtılmıştır. Örnek. A yerine 1 ve B yerine 2 kullanılmıştır.

*Ürün geçiş matrisindeki değerler ton olarak belirtilmiştir.

Geçiş Matrisi	1	2	3	4	5	6	7
1	0	35,5	22	38,7	13	14	17,8
2	33,1	0	26	20,2	21,3	14	26,5
3	14	31,7	0	13,0	13	14	14
4	41,6	16,1	13,3	0	10,8	25,6	14
5	14	27	14	42,1	0	14	14
6	13	16,5	13	26,4	12,8	0	14
7	10	38,5	13	13	14	14	0

Şekil 3.3. Optimizer Programı Geçiş Ürün Matrisi

Yukarıdaki matrise göre algoritmanın çalışma şekli aşağıda anlatılmıştır.

	1	2	3	4	5	6	7	Geçiş
1	5	3	4	7	6	2		84,5
2	6	5	1	7	3	4		84,6
3	5	1	6	7	4	2		229
4	5	1	6	3	7	2		104,
5	1	6	3	4	7	2		106,
6	5	1	7	3	4	2		231,
7	1	5	3	4	6	2		92,1

Optimum Ürün Geçisi: 1-5-3-4-7-6-2
Optimum Geçiş Mikti. 84,55

Şekil 3.4. Optimizer Programı Optimizasyon Ekranı

İlk kolon başlangıç ürününü göstermektedir. Başladığı ürüne göre en az geçiş ürünü ile tüm ürünlerin üretimi amaçlanmıştır. Programı çalıştırabilmek için “Optimizasyon Ekranı” tuşuna tıklatılarak en az geçiş ürünü veren model belirlenir.

Optimizasyon programının bulduğu sonuç 1-5-3-4-7-6-2 şeklindedir. Üretim eğer 1 yani A ürünü ile başlarsa matrise göre en az geçiş ürünü verecek olan bir sonraki üretilmesi gereken E (13 ton) ürünüdür. E ürününden sonra geçilecek ürün C (14 ton) ürünüdür. C ürününden sonra sırayı D (13,05 ton) ürünü alır. D ürününden sonra G (14 ton) ürünü, G ürününden sonra F (14 ton) ürünü ve son olarak B (16,5 ton) ürünü üretilir. Üretim bu yolu izlerse en az geçiş ürününü (84,5 ton) üretecektir. Eğer farklı ürünler ile başlarsa her bir başlangıç ürünü için en kısa yollar belirlenmiştir.

Optimizasyon programının ve diğer üretim politikalarının Arena simülasyon programında denenebilmesi için istatistiksel analizlere (dağılımların belirlenmesine) ihtiyaç vardır.

3.2.8. İstatistiksel Analiz.

3.2.8.1. Olasılık Dağılımlarının Seçimi

Çalışmanın yapılabilmesi için ürün tiplerinin üretim ve sipariş miktarlarına ait veriler değerlendirilmiştir. Değerlendirilen verilerin hangi dağılıma uyduğunu belirlemek için “Minitab 16” istatistik paket programı kullanılmıştır.

Veriler Anderson Darling uyum iyiliği testleri kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve bu testler sonucunda en uygun olasılık dağılımı belirlenerek kullanılmıştır

Anderson-Darling sınaması bir örneklem verisinin tam olarak belirlenmiş bir olasılık dağılımı gösteren bir ana küleden gelip gelmediğinin sınanması için kullanılır. Verilmiş N büyüklük sayıda bir örneklem veri serisi, yani $\{X_1, \dots, X_N\}$, kullanılır. Bu serinin sınanması için hangi olasılık dağılımından geldiğinin ve bu olasılık dağılımını tam olarak belirleyen parametre değerinin veya parametreler değerlerinin verilmesi gerekir.

Anderson-Darling sınaması için sıfır hipotez, her türden uygunluk iyiliği sınaması gibi, örneklem verilerin için tüm parametre değerleri ile iyice belirlenen olasılık dağılımlı ana küleden geldiğidir. Bu sıfır hipotezin çok sınırlı olduğuna dikkat çekilmelidir. Ancak verilmiş parametre veya parametreler için olasılık

dağılımı uygulanması incelenmektedir. Eğer sıfır hipotez sınama sonucu ret edilirse, verilerin parametre(ler) ile belirlenmiş dağılıma uymadığı sonucuna varılır. Tekrar edilmelidir ki genel olarak belli bir dağılım ret edilmemektedir; sadece belli parametresi olan dağılım ret edilmektedir.

Elde edilen veriler en küçük değerden en büyük değere kadar bir sıraya konulur. Bu sıraya konulmuş veriler, yani $\{Y_1 < \dots < Y_N\}$, bir sınama istatistiğinin hesaplanması için kullanılır. Parametresi veya parametreleri verilmiş olasılık dağılımı için kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılarak bir sıra F değerleri bulunur. Bu iki seri kullanılarak önce şu S toplamı elde edilir.

$$S = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln (1 - F(Y_{N+1-k}))]. \quad (3.1)$$

Bu toplam kullanılarak Anderson-Darling istatistiği A^2 değeri yani

$$A^2 = N - S \quad \text{elde edilir.}$$

Sıfır hipotezde belirtilen olasılık dağılımına göre, elde edilen A^2 değerinin belirli bir sabitle (çok kere örneklem hacmi 'N' e bağlı olarak) çarpılması gerek ve bu değiştirilmiş Anderson-Darling istatistiği A^{*2} adı altında sınama istatistiği olarak kullanılır.

A^{*2} sınama istatistiği belirlenen teorik olasılık dağılımı için p-değeri bulmak için kullanılır. Hesaplanmış p-değeri eğer %1 veya %5 olan anlamlılık seviyesinden büyük ise sıfır hipotez kabul edilir ve örneklem verisi belirlenen olasılık dağılımına uyduğu sonucuna varılır. Ancak bu p-değeri bulma işlemi bir olasılık dağılımı simülasyonu gerekeceği için özel bilgisayar kullanımı gerektirir (US NIST İstatistik Elkitabı)

Kolmogorov –Smirnov testi ile aynı şekilde gözlenen frekanslar ile beklenen frekansların uygun olup olmadığı araştırılır. Ancak yöntem farklılık göstermektedir. Gözlenen ve beklenen değerlerin kümülatif nispi frekansları arasındaki mutlak farkın en büyüğü elde edilir. $D > K$. D ise yani mutlak farkın en büyüğü kritik değerden

büyük ise gözlenen frekansların (F_0) beklenen frekanslara (F_e) uygun olmadığına α önem seviyesinde karar verilir.

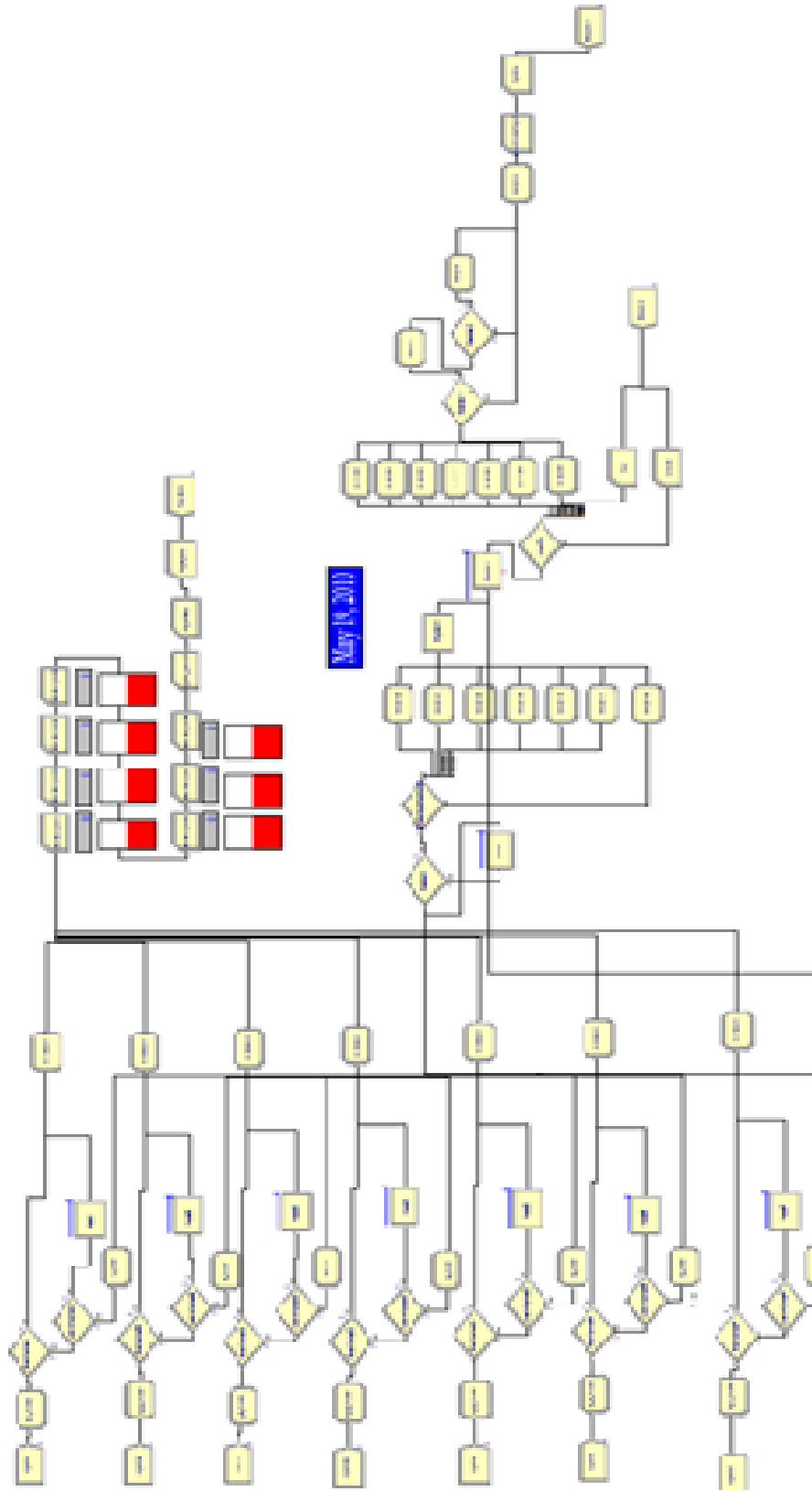
$$D = \max |F_0 - F_e| \quad (3.2)$$

İşletme kayıtlarından 2 yıllık geriye dönük verilere ulaşılmış ve veriler, Minitab (sürüm 16) istatistik paket programı incelenmiş ve %95 güvenilirlikle yedi ürün için talep edilen miktarların ve üretilen üretim miktarlarının dağılımları belirlenmiştir. Ürün miktarları ve talep sıklık dağılımlarının farklı sürekli dağılımlara uyduğu bulgular bölümünde açıklanmıştır. (Bkz. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2., Çizelge 4.3, Çizelge 4.4)

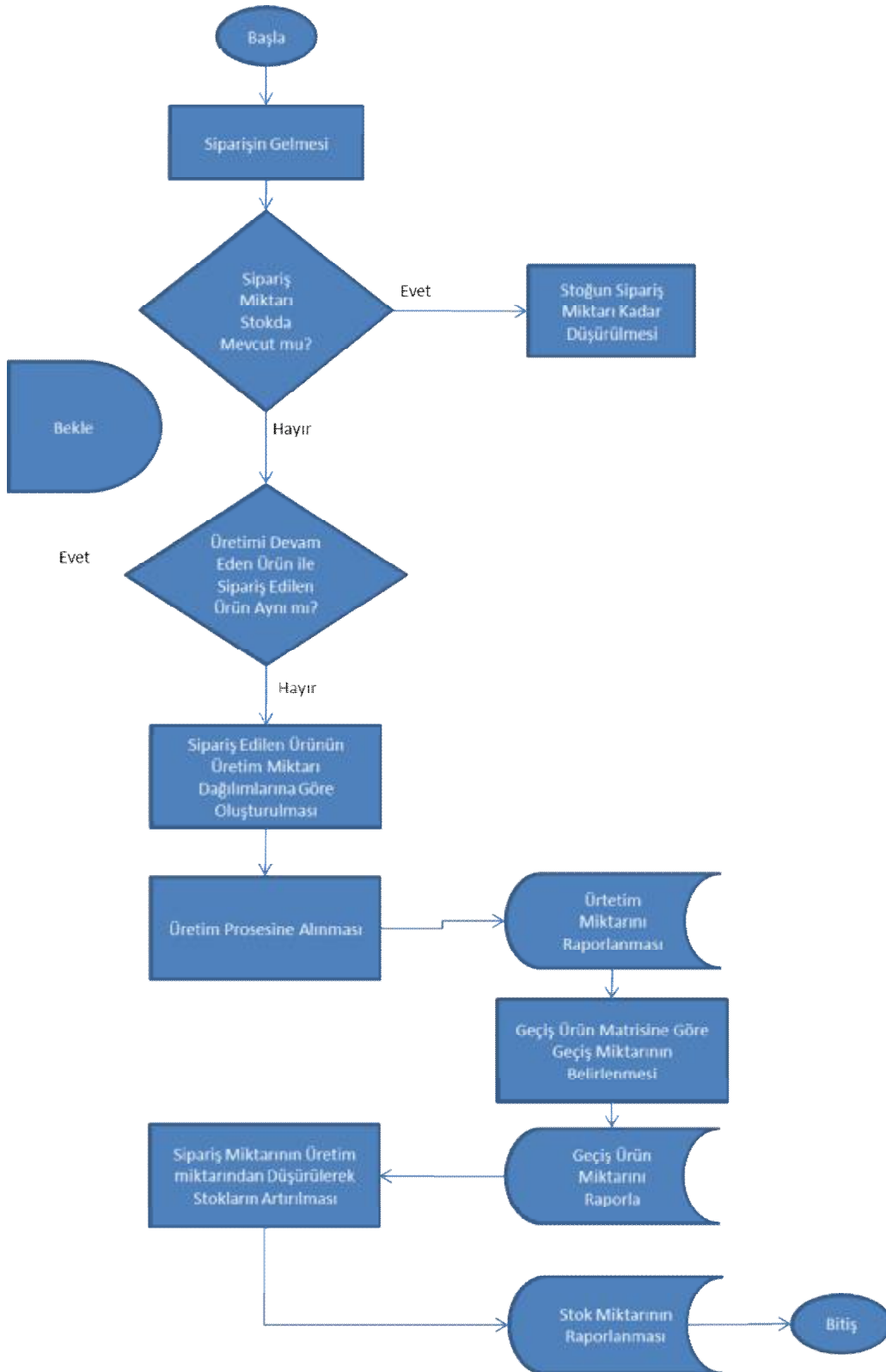
3.2.9. Simülasyon Çalışması

Simülasyonun kavram olarak birçok tarifi bulunmaktadır. Genel olarak, gerçek sistemi işleyen bir model olarak tanımlanır. Gerek ekonomi, gerek sanayi bazında karşılaşılan problemler o denli karmaşık olabilmekte ki ne deneysel olarak incelemek ne de kesin matematiksel bir çözüme ulaşmak mümkün olabilmektedir (A.Durusoy, 2007).

Çalışmada kullanılan simülasyon programı üretim ve sipariş olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümleri tetikleyen sipariş gelişleridir. Her iki bölümde de üretim ve talep miktar dağılımları farklılık göstermektedir.



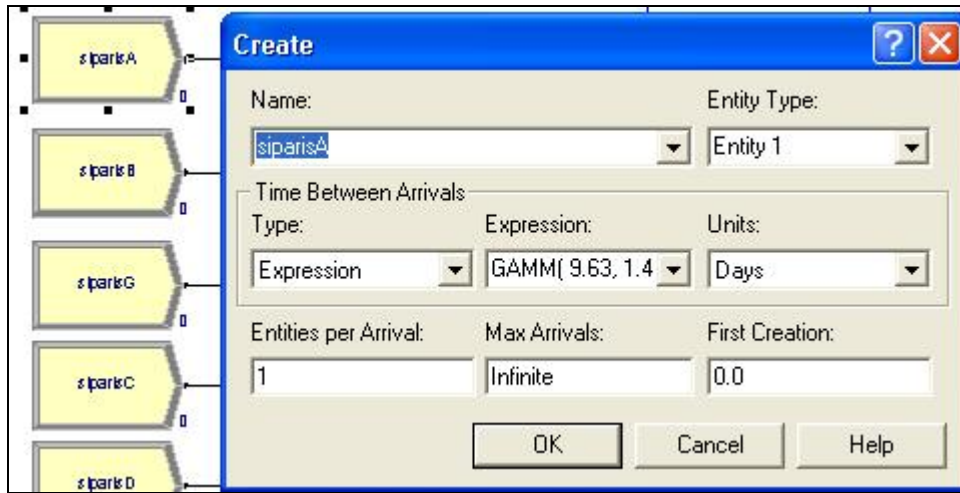
Şekil 3.5. Arena Simülasyon Programı Optimizasyon Ekranı



Şekil 3.6. Simülasyon İş Akış Diyagramı

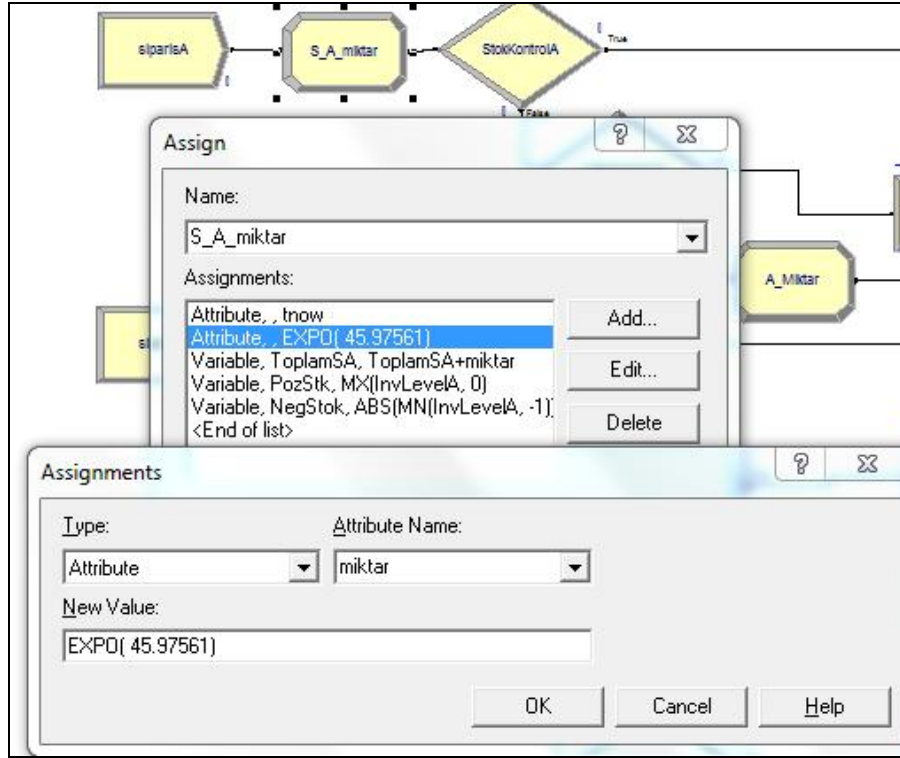
3.2.9.1. Olasılık Dağılımların Tanıtılması

Sipariş Gelişlerinin Oluşturulması: Sipariş verilerinin istatistiksel olarak incelenmesi sonucunda her bir düzeydeki ürün gelişlerinin gün bazında farklı dağılımlara ulaştığı gözlemlenmiştir. (Bkz. Çizelge 4.1) Gelişler Create bloğunda tanımlanmıştır.



Şekil 3.7. Sipariş Geliş Dağılımlarının Create Bloğu İçerisine Tanıtımı

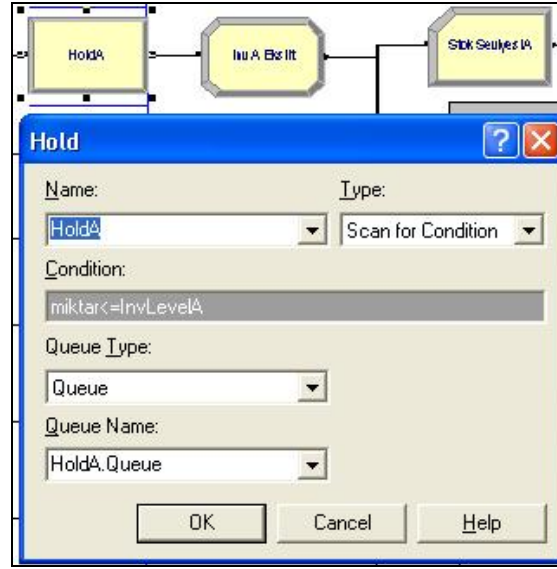
Sipariş Miktarlarının Oluşturulması: Sipariş verilerinin istatistiksel olarak incelenmesi sonucunda her bir düzeydeki sipariş miktarlarının farklı dağılımlara ulaştığı gözlemlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.2). Miktar dağılımları Assign blokları içerisinde tanımlanmıştır.



Şekil 3.8. Sipariş Miktar Dağılımlarının Assign Bloğu İçerisine Tanıtımı

3.2.9.2. Kısıtların Belirlenmesi

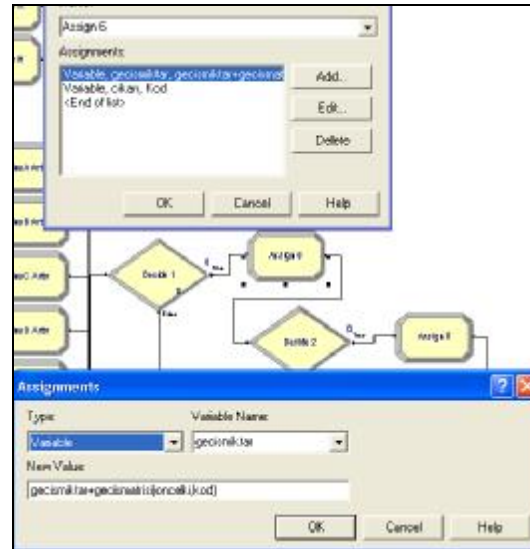
Negatif Stok Kontrol Kısıdı: Sipariş miktarının stok miktarından fazla olması durumunda stok miktarını eksi duruma geçmesini önlemek için koşullu hold fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Negatif Stok Kontrolünün Hold fonksiyonuna tanıtımı

Üretim Gelişlerinin Oluşturulması: Üretim verilerinin istatistiksel olarak incelenmesi sonucunda her bir düzeydeki ürünlerin üretim sıklıklarının gün bazında farklı dağılımlara ulaştığı gözlemlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.3).

3.2.9.3. Geçiş Ürün Matrisinin Tanıtılması



Şekil 3.10. Geçiş Ürün Matrisinin Assign Bloğuna Tanıtımı

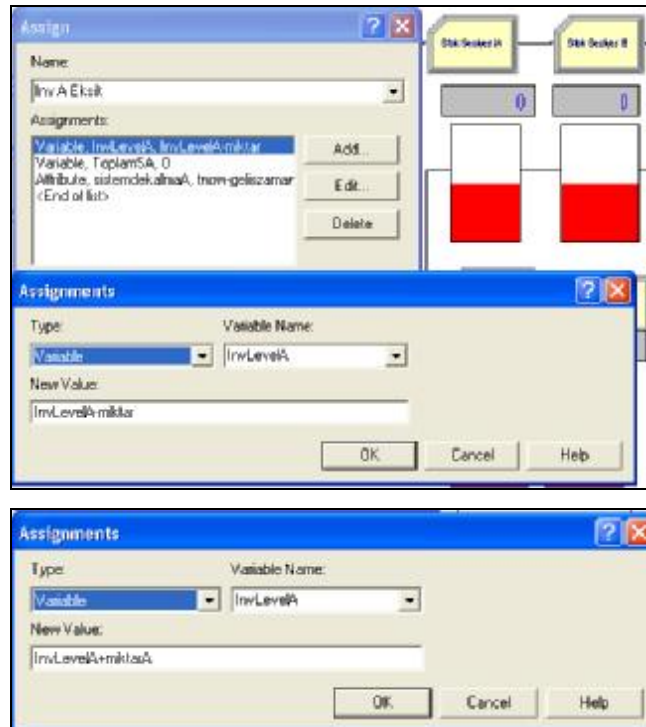
Geçiş ürün matrisini simülasyon programında tanıtabilmek amacıyla matris formatında “gecismatrisi” adında değişken (variable) tanımlanmıştır. Matris içerisindeki rakamlar geçiş miktarlarının ton olarak değerleridir (Bkz. Şekil 3.11).

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	35.53	22	38.75	13	14	17.8
2	33.12	0.0	26	20	21.33	16.5	26.5
3	14	31.76	0.0	13.05	13	14	14
4	41.6	161	13.35	0	10.8	25.6	14
5	14	27	14	42.175	0.0	14	14
6	13	16.5	13	26.4	12.8	0	14
7	10	38.5	13	13	14	14	0

Şekil 3.11. Ürün Geçiş Matrisinin Simülasyon Programına Tanıtımı

3.2.9.4. Stokların Oluşturulması

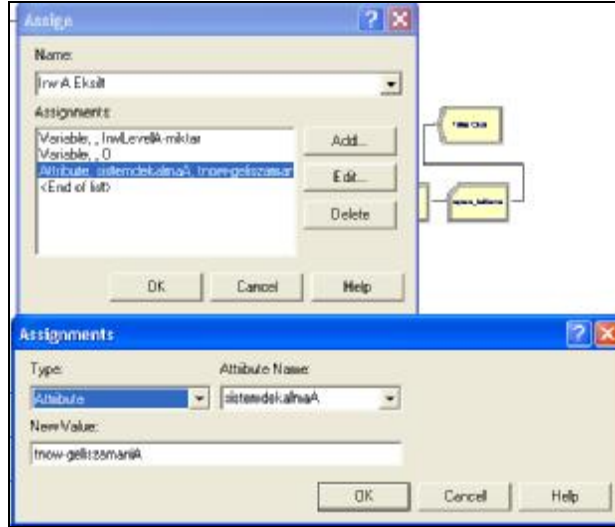
Üretim ve sipariş miktarlarına göre stoklar değişim göstermektedir. Her bir sipariş stokları azaltıcı yönde ve her bir üretim miktarı ise stokları artırıcı yönde etki göstermektedir.



Şekil 3.12. Stok Miktarlarının Assing Bloğuna Tanıtımı

3.2.9.5. Sipariş Bekleme Süresinin Hesaplanması

Sipariş verilerinin sisteme girmesi ve çıkması arasında geçen sürenin gün bazında hesaplanmasıdır.



Şekil 3.13. Sipariş Bekleme Süresinin Assign Bloğu İçerisine Tanıtımı

3.2.9.6. Simülasyon İş Akışı

Geliştirilen simülasyon modeli, Polimerizasyon işletmesi' nden elde edilen bilgiler ve veriler analiz edilerek oluşturulmuştur. Model kurulurken izlenen iş akışı şöyledir;

- i. Ürünlerin; sipariş hızı ve miktarları belirlenerek sisteme dahil edilmesi
- ii. Siparişlerin stok kontrolü yaparak sisteme dahil edilmesi
- iii. Ürünlerin miktarları belirlenerek sisteme dahil edilmesi
- iv. Ürünlerin üretim sırasına göre ürün geçişinin hesaplanması
- v. Performans kriterlerinin hesaplanması

3.2.9.7. Simülasyon Çıktılarının Analizi

3.2.9.7 (a) Simülasyon Uzunluğu

Simülasyon uzunluğu, performans kriterlerinin hesaplanabilmesi için simülasyon modelinin çalıştırıldığı süredir. Simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşme vardır (Tsiantos ve ark.). Bu nedenle çalışmada replikasyon sayısının yeterliliği test edilmiştir.

3.2.9.7 (b) Isınma Periyodu

Isınma periyodu, sistemin durağan duruma ulaşana kadar geçen zamandır. Çalışmada ısınma periyodunun hesaplanmasında ‘Welch Grafik Yöntemi’ kullanılmıştır. Welch Grafik Yönteminin adımları aşağıda sıralandığı gibidir (Law ve Kelton, 1991) :

- Simülasyon uzunluğu ‘m’ olan ‘n’ replikasyon çalıştırılır. m, yeterince büyük ve $n \geq 5$ olmalıdır.
- Y_{ji} : j-inci replikasyondaki i-inci gözlem ($j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$) için her bir replikasyonda oluşan gözlemlerin ortalamaları (Y_{ji}) hesaplanır.

Daha sonra replikasyon ortalamaları (\bar{Y}_i) ;

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.3)$$

formülü ile hesaplanır.

- Replikasyon ortalamaları bulunduktan sonra, replikasyon ortalamalarının hareketli ortalamaları $\bar{Y}_i(w)$ bulunur. Burada w ağırlık değeridir. $w \leq m/4$ (Mahajan ve Ingalls, 2004) veya $w \leq m/2$ (Law ve Kelton, 1991) olmak üzere replikasyon ortalamalarının hareketli ortalamaları hesaplanır.

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{Y}_{i+s}}{2w+1} \quad i = w+1, w+2, \dots, m-w \text{ için} \quad (3.4)$$

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{Y}_{i+s}}{2i-1} \quad i = 1, 2, \dots, w \text{ için} \quad (3.5)$$

- Bu hesaplamalardan elde edilen değerler grafikte yerine konur ve sistemin durağan duruma ne zaman ulaştığı anlaşılır. Grafikte durağanlaşmanın başladığı nokta ısınma periyodu olarak kabul edilir

3.2.9.7 (c) Replikasyon Sayısının Belirlenmesi

Çalışmada replikasyon sayısı belirlenirken ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ ve ‘Bağıl Hata (g) Formülü’ kullanılmıştır.

Bağıl hata ile replikasyon sayısının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Law ve Kelton, 1991):

$$n_r^*(g) = \min \left\{ i \geq n : \frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/i}}{|X(n)|} \leq g' \right\} \quad (3.6)$$

$$g' = \frac{g}{(1+g)} : \text{düzeltmiş bağıl hatadır,}$$

Yukarıdaki formülde;

n: Başlangıçta yapılan replikasyon sayısını,

i: Gerekli replikasyon sayısını,

$\bar{X}(n)$: Başlangıçta yapılan n replikasyonun ortalamasını,

$S(n)$: Başlangıçta yapılan n replikasyonun standart sapmasını,

α : Önem düzeyini ve

γ : Bağıl hata değerini göstermektedir.

Replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta en az 10 replikasyon

yapılmalıdır (Chung, 2004).

Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin, hem de bağıl hata (γ) değerinin %1-%5 arasında olması tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 1991).

$i = n$ için değerleri yukarıdaki formülde yerine koyduğumuzda bulduğumuz değer, γ değerinden küçük veya eşit ise başlangıç replikasyon sayısı yeterlidir. Aksi takdirde 'i' değerini arttırarak formülde yeni değerler hesaplanır ve gerekli replikasyon sayısı bulunur.

3.2.9.8. Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

İşletmenin 7 tip ürünü üretim sisteminin yeterliliği için 3 performans kriteri belirlenmiştir.

Geçiş Ürün Miktarı: 7 tip ürünün üretim dağılımlarına (Bkz. Çizelge 4.3) göre ürün geçiş matrisine girmektedir (Bkz. Şekil 3.13). Geçiş ürün miktarı ürünün üretim sipariş miktarlarından bağımsız bir metriktir. Geçiş ürün miktarını ürün ailesi diğer adıyla üretim politikaları belirlemektedir.

Geçiş ürün miktarı fabrika yönetimi tarafından düşük tutulması istenmektedir. Bu sayede üretim maliyetleri düşürülmüş olacaktır. Fakat pazarlama tarafından bakıldığında siparişler müşterinin istediği zamanda ve minimum stok miktarı ile iletilmek istenecektir. Bu durumda her iki taraf için optimum değerlerin bulunması gerekmektedir.

Sipariş Bekleme Süresi: Gelen siparişin sisteme girmesi ve sistemden çıkması arasındaki farklılığa eşittir. Her bir ürünün sipariş sıklığına göre değişim göstermektedir. (Bkz. Şekil 3.15.)

Toplam Stok Miktarı: Sipariş ve üretim hızı ile miktarına bağlı dinamik olarak değişmektedir. Toplam stok miktarı aynı zamanda minimum sipariş karşılama miktarına bağlı olarak da değişim göstermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

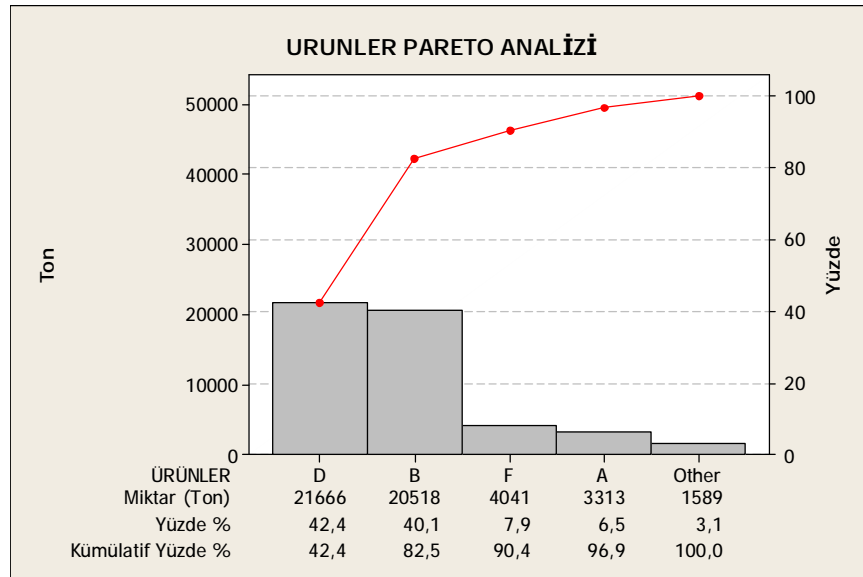
4.1. İstatistiksel Veri Analizi

Sipariş ve üretim verilerinin olasılık dağılımlarını bulabilmek için sürekli ve kesikli dağılımlara uygunluk durumları hipotez testleri ile test edilmiş ve önem düzeyine göre uygun dağılımlara karar verilmiştir.

Ürünlerin sipariş ve üretim miktarlarının önceliklendirmek amacıyla pareto analizi kullanılmıştır. Bu analizde amaç iki yıllık dönemde en fazla siparişi alınan ve üretilen ürün miktarlarının bulunmasıdır.

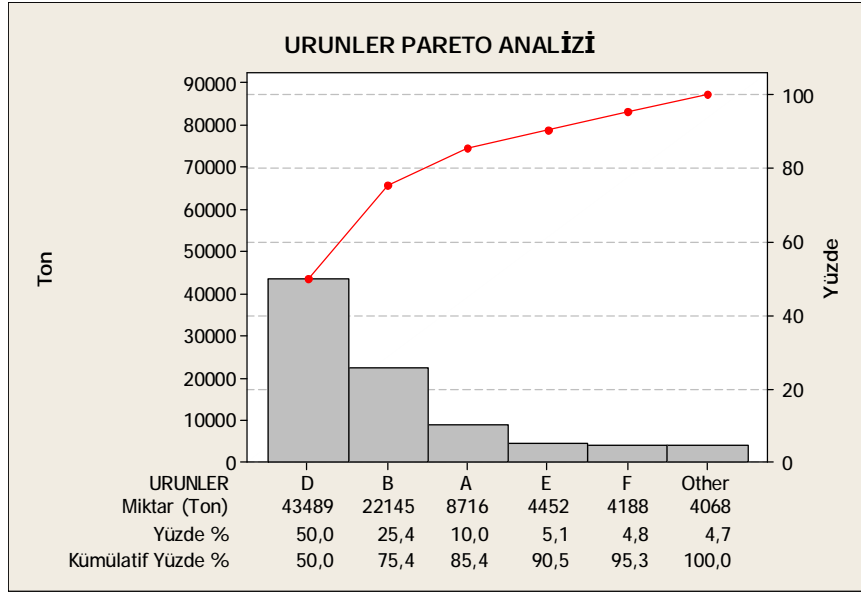
4.1.1. Üretim ve Sipariş Verilerinin Pareto Analizi

Sürekli polimerizasyon işletmesine ait üretim bilgilerinin analiz edilebilmesi için en çok üretimi yapılan yedi ürün tipinin 2009 ocak ve 2010 mart ayları arasında ait sipariş ve üretim verileri incelenmiştir. Ürün tiplerinin üretim dağılımı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ürünlerin Sipariş Miktarlarına Göre Pareto Analizi

Sipariş verilerine göre en fazla siparişi alınan ürünler sırasıyla D, B ve F ürünleridir. D ürünü 21.666 tonla toplam siparişin %42'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. D,B F ve ürünleri birlikte toplam siparişin %96,9' luk bölümünü oluşturmaktadır.(Bkz. Şekil 4.1.)



Şekil 4.2. Ürünlerin Üretim Miktarlarına Göre Pareto Analizi

Üretim verilerine göre en fazla üretim sırasıyla D, B ve A ürünlerinde gerçekleşmiştir. D ürünü 43.489 tonla toplam üretimin %50'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. D,B,A,Eve F ve ürünleri birlikte toplam üretimin %95,3'lük bölümünü oluşturmaktadır. (Bkz. Şekil 4.2.)

4.1.2. Sipariş Dağılımları

Anderson-Darling ve Kolmogrow Simirnov testleri farklı dağılım uygunluklarını karşılaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Sipariş ve üretim verilerinin olasılık dağılımlarını bulabilmek için her bir ürün tipi için aşağıdaki hipotezler test edilmiş ve H_0 hipotezinin kabul edildiği durumlar ele alınmıştır. Dağılımların uygunluk durumlarına karar verebilmek amacıyla önem seviyesi (p) en büyük olan dağılım tercih edilmiştir. Dağılım uygunluk hipotezleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

H_0 : Veriler belirlenen dağılıma uygunluk göstermektedir.

H_1 : Veriler belirlenen dağılıma uygunluk göstermemektedir.

Hipotez testleri sonucunda elde edilen parametreler Arena simülasyon programında değerlendirilmiştir.

4.1.2.1. Gün Bazında Siparişlerin Geliş Dağılımları

Ürünlerin siparişlerinin gelişleri arasındaki süre günlük olarak kayıt altında tutulmaktadır. Bu süreler Minitab16 istatistik paket programı ile analiz edildiğinde test istatistiği 0.05'ten büyük ($p > 0.05$) dağılımlar dikkate alınarak dağılım parametreleri simülasyon programında değerlendirilmiştir. Dağılımlar Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Sipariş Geliş Dağılım İstatistikleri

Ay	Test İstatistiği (AD-KS)	Önem seviyesi(p)	Dağılım	Parametre
A	0,510 (AD)	0,224	Gamma	$\alpha=1,612 \beta=8,665$
B	0,610 (AD)	0,134	Gamma	$\alpha=1,612 \beta=17,508$
C	0,762 (AD)	0,054	Gamma	$\alpha=1,806 \beta=19,12$
D	0,481 (AD)	0,229	Weibull	$\alpha=0,874 \beta=18,068$
E	0,270 (AD)	0,836	Expo	$\mu=95,857$
F	0,573 (AD)	0,166	Gamma	$\alpha=0,7727\beta=10,63$
G	0,357 (AD)	0,250	Weibull	$\alpha=0,6572\beta=20,33$

4.1.2.2. Gün Bazında Siparişlerin Miktar Dağılımları

Gelen ürün siparişlerin miktarları ton olarak kayıt altında tutulmaktadır. Sipariş miktar dağılımları Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Sipariş Miktar Dağılım İstatistikleri

Ay	Test İstatistiği (AD-KS)	Önem seviyesi(p)	Dağılım	Parametre
A	0,561 (AD)	0,411	Expo	$\mu=45,9756$
B	0,570 (AD)	0,120	Norm	$\mu=890,79 \sigma=553,74$
C	0,364 (AD)	0,384	Norm	$\mu=96,37 \sigma=66,43$
D	0,804 (AD)	0,199	Expo	$\mu=515,864$
E	0,380 (AD)	0,310	Weibull	$\alpha=0,50316\beta=9,0164$
F	0,399 (AD)	0,517	Expo	$\mu=112,816$
G	0,543 (AD)	0,377	Expo	$\mu=30,16$

4.1.3. Üretim Dağılımları

Ürünlerin üretim kayıtları Minitab16 istatistik paket programı ile analiz edildiğinde test istatistiği 0.05'ten büyük ($p > 0.05$) dağılımlar dikkate alınmıştır. Dağılımlar Çizelge 4.4 'de görülmektedir.

4.1.3.1. Gün Bazında Ürünlerin Üretim Miktar Dağılımları

Üretimi yapılan ürünlerin miktarları ton olarak kayıt altında tutulmaktadır. Üretim miktar dağılımları Çizelge 4.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Üretim Miktar Dağılım İstatistikleri

Ay	Test İstatistiği (AD-KS)	Önem seviyesi (p)	Dağılım	Parametre
A	0,330 (AD)	0,295	Norm	$\mu=968,41 \sigma=488,937$
B	0,181 (AD)	0,250	Weibull	$\alpha=1,418\beta=1432,73$
C	0,675 (AD)	0,05	Norm	$\mu=319,77 \sigma=111,26$
D	0,408 (AD)	0,250	Weibull	$\alpha=1,399\beta=1589,702$
E	0,385 (AD)	0,311	Gamma	$\alpha=7,513\beta=65,83$
F	0,219 (AD)	0,710	Norm	$\mu=698,05 \sigma=394,48$
G	0,353 (AD)	0,327	Norm	$\mu=170,43 \sigma=76,55$

4.2. Simülasyon Modelleme

İstatistiksel analizler sonucunda elde etmiş olduğumuz parametrelerin olasılık dağılımları ve dağılım parametreleri metod bölümünde oluşturulan simülasyon modelinde dikkate alınmıştır. Oluşturulan simülasyon modeli, Arena 10.0 öğrenci sürümünde tasarlanmıştır. Simülasyonun uygulandığı bilgisayarın donanım özellikleri arasında WindowsXp işletim sistemi ve 1 gb ram bulunmaktadır. Simülasyonun çözüm süresi 45 saniye sürmektedir.

Oluşturulan simülasyon modeli sayesinde ürünlerin geliş ve üretim dağılımları ile sipariş dağılımlarına göre geçiş ürünü miktarları belirlenmiş ve farklı üretim politikaları oluşturulmuştur. Simülasyon modelinde öncelikli performans kriteri geçiş ürün miktarıdır.

Geçiş ürün miktarının minimize ederken bakılması gereken ikincil performans kriterleri ise toplam stok miktarı ve toplam sipariş bekleme süreleridir. Toplam stok miktarı, simülasyon sonunda yedi tip ürünün stok miktarlarının toplanması ile birlikte oluşmaktadır. Toplam sipariş bekleme süresi ise siparişin oluştuğu zamandan siparişin karşılandığı süreye kadar geçen zamanların toplamıdır. Sipariş bekleme süreleri de stok miktarlarına benzer bir şekilde ürün bazlı hesaplanmaktadır.

Çizelge4.4.Geçiş Ürün Miktarı & Sipariş Bekleme Süresi&Toplam Stok

Performans Kriteri	Ortalama	Min Ortalama	Max Ortalama
Toplam Geçiş Miktarı (Ton)	525	248	972
Ortalama Sipariş Bekleme (Gün)	0	0	0
Toplam Stok Miktarı (Ton)	2,763	848	5,216

Simülasyon analizinde mevcut durum hariç olmak üzere iki farklı strateji analiz edilmek istenilmiştir.

4.2.1. Simülasyon Çıktılarının Analizi

Kurulan herhangi bir simülasyon modelinin sağlıklı sonuçlar vermesi için simülasyon çıktıların analizinin yapılması gerekmektedir.

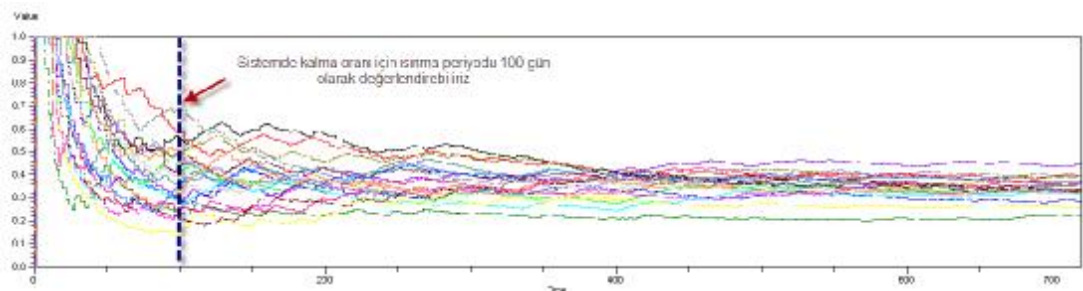
Simülasyon Uzunluğu: Spesifik paket programları yardımıyla istatistiksel olarak elde edilen sipariş gelişlerinin ve miktarlarının olasılık dağılımları,

Üretim geliş ve miktar olasılık dağılımları, hasta yatış sürelerinin olasılık dağılımları ve geçiş ürün miktarları simülasyon modellerine yansıtılmıştır.

Hastane kayıtlarında veriler yıllık bazda incelenmektedir. Bu nedenle, ilk simülasyon modelinde simülasyon uzunluğu 365 gün alınarak sistemi en iyi şekilde temsil edeceği düşünülmüştür.

Isınma Periyodu: Sistemin durağan duruma ulaşmasında bir diğer ölçüt ısınma süresinin yeterliliğidir. Isınma periyodunun hesaplanmasında ‘Welch Grafik Yöntemi’ kullanılmıştır. Simülasyon modelinde işletme kullanım oranı performans kriteri dikkate alınarak ‘Welch Grafik Yöntemi’ ile hesaplanan ısınma periyodu Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Şekil 4.3’de y eksenini işletme kullanım oranını, x eksenini simülasyonun çalıştığı süreyi göstermektedir. Sistemin durağan duruma ulaşması için ısınma periyodunun 100 gün alınmasının yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. İşletme Kullanım Oranı İçin Isınma Periyodu

Replikasyon Sayısı: Performans kriteri olarak işletme kullanım oranı seçilmiş ve $\varepsilon = \%5$ hata payına sahip yeterli replikasyon sayısı hesaplanmıştır.

$$N(m) = [S(m) t_{m-1, 1-\alpha/2} / (\bar{X}(m) \varepsilon)]^2 \quad (4.1)$$

m başlangıç replikasyon sayısı olmak üzere $S(m)$ standart sapma ve $\bar{X}(m)$ ortalama değerleri bulunur, t tablo değeri ve ε hata oranı formülde (Bkz.Formul 1) yerine yazılarak gerekli replikasyon sayısı hesaplanır. Standart sapma, ortalama ve replikasyon sayıları Çizelge 4.6 'da sunulmuştur.

Tsiantos ve arkadaşlarının yaptığı (<http://magnet.atp.tuwien.ac.at/publications/preprint/tsiantos/hercma01/hercma2001>) çalışmada simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşin olduğu belirtilmiştir. Simülasyon uzunluğu ile replikasyon sayısı arasında ödünleşin olduğu düşüncesiyle replikasyon sayısının yeterliliği test edilmiştir.

Replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta en az 10 replikasyon yapılmalıdır (Chung, 2004). İlk modelde replikasyon sayısının belirlenmesi için başlangıçta 20 replikasyon yapılmış ve performans kriteri olarak işletme kullanım oranı ve geçiş ürün miktarları seçilmiştir. Replikasyon sayısının belirlenmesi için 'Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi' ve 'Bağlı Hata (ε) Formülü' kullanılmıştır. Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin hem de bağlı hata (ε) değerinin %1 - %5 arasında olması tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 1991). Çizelge 4.6'da de görüldüğü gibi düzeltilmiş bağlı hata değeri (ε) 0.05 ve önem düzeyi değeri (α) 0.05 alınarak her bir düzey için gerekli replikasyon sayıları hesaplanmıştır. Sistemin durağan duruma ulaşması için işletme kullanım oranına göre 23, toplam geçiş ürünü miktarına göre 48 adet replikasyonun yeterli olduğu söylenebilir. Simülasyon modeli 50 replikasyon için çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.5.Replikasyon Sayısı

Replikasyon	İşletme Kullanım Oranı	Geçiş Miktarı (ton)
Rep1	0,85	804
Rep2	0,68	847,7
Rep3	0,73	1090,31
Rep4	0,71	580,27
Rep5	0,64	724,95
Rep6	0,65	902,36
Rep7	0,62	751,55
Rep8	0,65	812,67
Rep9	0,62	759,9
Rep10	0,47	651,63
Rep11	0,8	712,58
Rep12	0,55	650,49
Rep13	0,69	682,54
Rep14	0,66	884,62
Rep15	0,6	777,18
Rep16	0,69	944,3
Rep17	0,63	882,64
Rep18	0,72	933,33
Rep19	0,71	702,62
Rep20	0,69	494,67
Ortalama	0,668	779,5155
Std	0,081924227	139,2293642
STdHata	0,018318814	31,13263228
Oran	0,027423374	0,039938439
Replikasyon Sayısı	22,64306584	48,02591199

Standart Hata: Standart hata, bir popülasyondan seçilen örneklerin popülasyonu ne kadar iyi temsil ettiğini göstermektedir. Simülasyon modelinde 50 replikasyon için işletme kullanım oranlarının ve geçiş ürün miktarlarının standart hatası Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

İşletmenin kullanım oranı ve geçiş ürün miktarlarının 50 replikasyon için ortalaması elde edilir. Her replikasyonun ortalamadan farkı ile işletme kullanım oranlarının ve geçiş ürün miktarlarının standart sapmaları hesaplanır. Standart sapma değerlerinin replikasyon sayısının kök değerine bölünmesi ile standart hata elde edilir.

4.2.2. Üretim Stratejileri

İşletmenin performans kriterlerini istenilen düzeylerde tutabilmek için simülasyon programı üzerinde farklı üretim stratejileri gerçekleştirilmiştir.

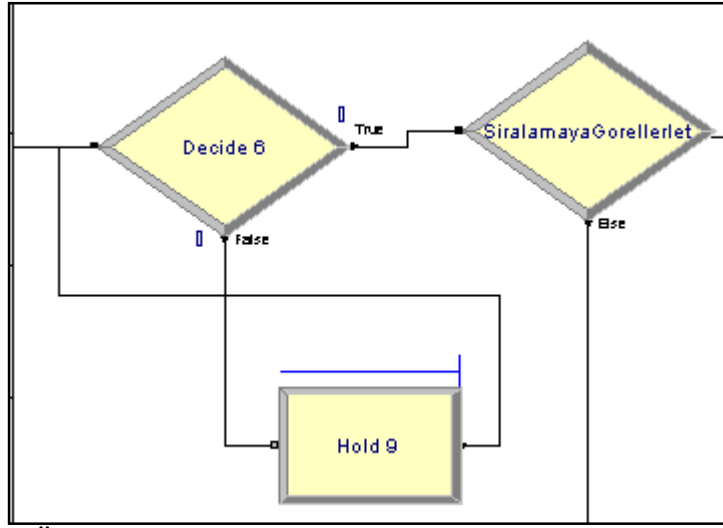
İşletmedeki Mevcut Üretim Stratejisi: Bu stratejide ürünler FIFO mantığında üretilmektedir. Gelen siparişler talep dağılımlarına göre herhangi bir kural konulmadan ilk gelen siparişe göre üretilmektedir. İlk sipariş edilen ürün miktarı stok miktarından fazla ise sipariş üretime geçmektedir. Simülasyon çalıştırıldığı zaman bir yıl sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.6.Mevcut durumda meydana gelen toplam bekleme süresi, geçiş ürün miktarları ve toplam stok miktarları

Toplam Stok (Ton)	Geçiş Miktarı (Ton)	Toplam Üretim (Ton)	Geçiş Oranı (Geçiş Miktarı / Top. Üretim)	Stok Oranı (Stok Miktarı / Top. Üretim)	Ort. Sipariş Bekleme Süresi (Gün)
2.763	525	18.640	0,028	0,148	0

Üretim sırası ile ilgili herhangi bir değişiklikte bulunulmaması durumunda yıllık toplam geçiş ürün miktarı 525 ton, toplam stok 2.763 ton ve ortalama sipariş bekleme süresi 0 olarak bulunmuştur. Geçiş miktarının toplam üretime oranı 0,028, stok miktarının toplam üretim miktarına oranı 0,148 olarak bulunmuştur.

I. Strateji İçin : Ürün Ailesine Göre Üretim: Son 5 yıldır kullanılan fakat günümüzde kullanılmayan bir stratejidir. Bu stratejide ürünler işletmenin öngördüğü ürün ailesine göre üretilmektedir. Bu uygulama için simülasyon modeline yeni bir karar prosesi eklenmiştir. Karar prosesi ürünleri F-G-E-D-B-A sırasına göre üretilmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.4.Ürün aile sırasının karar mekanizmaları ile gösterimi

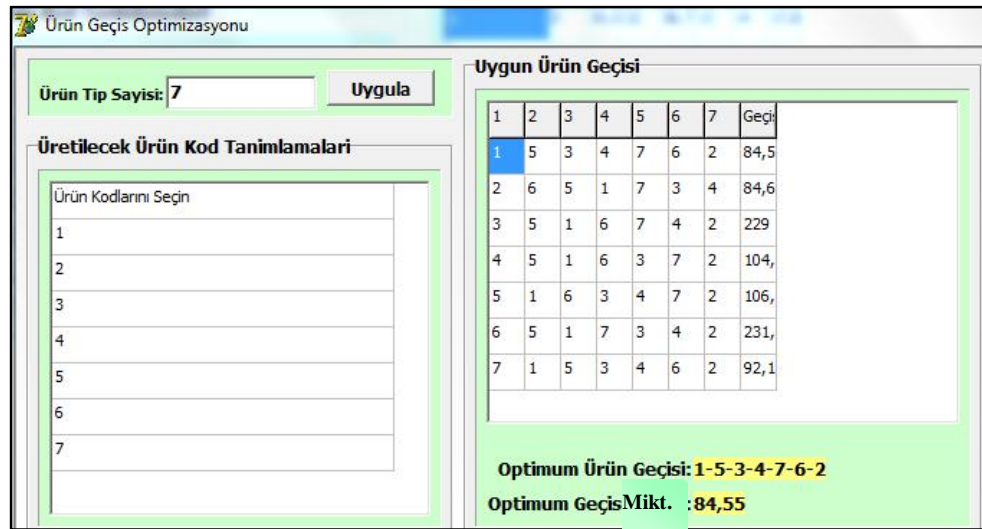
Yukarıdaki kurala göre oluşturulan simülasyon analizinde ürünlerin dağılım sonuçlarından bağımsız olarak belirlenen sıraya göre üretim yapılmaktadır. Bu sıranın uygulanabilmesi için Hold fonksiyonu kullanılmıştır. Bu strateji sonucunda geçiş ürün miktarları, stoklar ve sipariş bekleme süreleri aşağıdaki gibi değişmektedir.

Çizelge 4.7.I. Strateji Sonucu meydana gelen ortalama bekleme süresi, geçiş ürün miktarları ve toplam stok miktarları

Toplam Stok (Ton)	Geçiş Miktarı (Ton)	Toplam Üretim (Ton)	Geçiş Oranı (Geçiş Miktarı / Top. Üretim)	Stok Oranı (Stok Miktarı / Top. Üretim)	Ort. Sipariş Bekleme Süresi (gün)
1.480	232	21.112	0,011	0,070	593

Üretim sırasını işletmenin öngörmüş olduğu sıralamaya göre yaparsak yıllık toplam geçiş ürün miktarı 232 Ton, toplam stok miktarı 1.480 ton ve ortalama sipariş bekleme süresi 593 gün olarak bulunmuştur. Geçiş miktarının toplam üretime oranı 0,011, stok miktarının toplam üretim miktarına oranı 0,07 olarak bulunmuştur.

II. Strateji:Optimezer Programına Göre:Bu stratejiye göre toplamda en az geçiş ürününü veren ürün ailesi bulunmuş ve simülasyon ortamında bu aile denenmiştir. En az geçiş ürün miktarını bulabilmek için Delphi ortamında optimizasyon programı tasarlanmıştır. Çalışma prensibi metod bölümünde ayrıntılı olarak anlatılan bu program başlangıç ürünlerine göre geçiş matrisine uygun olarak en az geçiş ürünü üreten ürün ailesini bulmaktadır.



Şekil 4.5.Optimizer programının sonuç ekranı

Programın önerdiği ürün ailesi numaralar ile gösterilmiştir. 1-5-3-4-7-6-2 numaraları ile adlandırılan geçişler A-E-C-D-G-F-B sıralamasını göstermektedir. Bu sıralamaya göre programın vermiş olduğu ürün geçiş miktarı 84,55 ton olarak hesaplanmıştır. Bu üretim sırasına göre performans kriterleri çizelge 4.8.' deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. II. Strateji Sonucu meydana gelen toplam bekleme süresi, geçiş ürün miktarları ve toplam stok miktarları

Toplam Stok (ton)	Geçiş Miktarı (Ton)	Toplam Üretim (Ton)	Geçiş Oranı (Geçiş Miktarı / Top. Üretim)	Stok Oranı (Stok Miktarı / Top. Üretim)	Ort. Sipariş Bekleme Süresi (Gün)
1.187	68	23.803	0,003	0,050	26,57

Üretim sırasını optimizasyon programının öngörmüş olduğu sıralamaya göre yaparsak yıllık toplam geçiş ürün miktarı 68 ton, toplam stok 1187 ton, ikinci kalite miktarı 346 ton ve ortalama sipariş bekleme süresi 26,57 gün olarak bulunmuştur. Geçiş miktarının toplam üretime oranı 0,003, stok miktarının toplam üretim miktarına oranı 0,05 ve 2. Kalite miktarının toplam üretim miktarına oranı 0,015 olarak bulunmuştur.

4.2.3. Simülasyon Analizinin Doğrulanması

Doğrulama deneyi için simülasyon sonucunda elde edilen bir karar değişkeni ile gerçek hayattaki değerinin ikili karşılaştırılması gerekmektedir. İstatistiksel olarak bu karşılaştırmayı iki örneklem ortalama karşılaştırması ile yapabiliriz. İkinci kalite miktarının gerçek değerleri ile 50 replikasyon sonucunda oluşan simülasyon değerleri iki örneklem t-test ile ortalamaları karşılaştırılmış ve ortalamalar arasında farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır.

Two-sample T for DATA2

repN	Mean	StDev	SE Mean	
104Gerçek	98	63,5	60,1	6,1
104s50rep	50	62,2	38,3	5,4

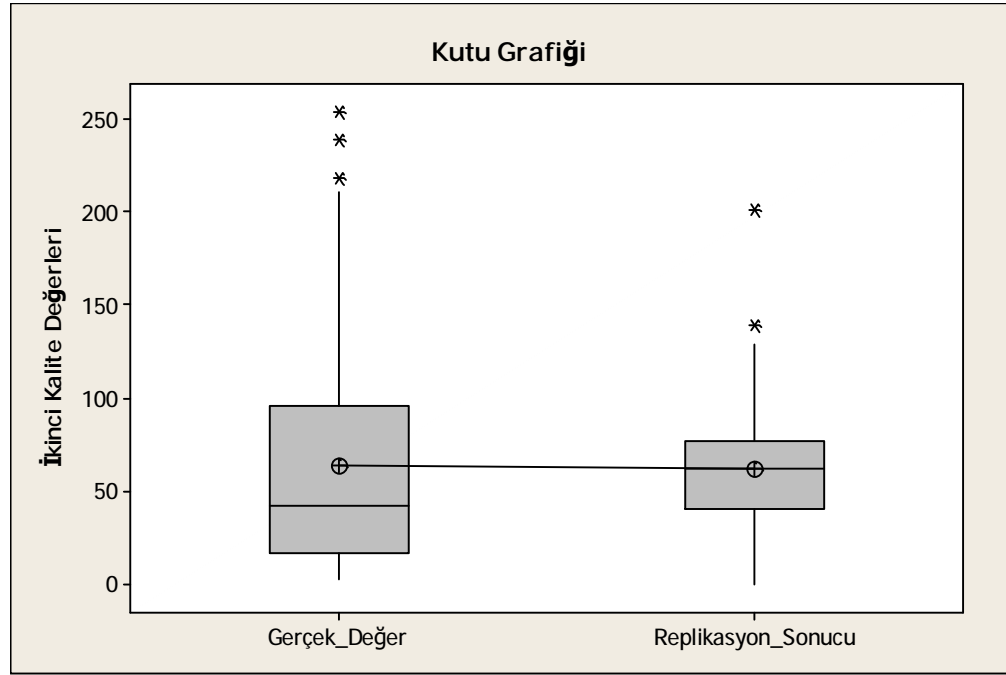
Difference = mu (104Gerçek) - mu (104s50rep)

Estimatefordifference: 1,24

95% CI fordifference: (-14,85; 17,32)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,15 P-Value = 0,879

Minitab analiz sonucuna göre p anlamlık düzeyinin 0,05' ten büyük olması sebebiyle ($P=0,879>0,05$) gerçek değerlerin ortalamaları ile simülasyon sonucunda oluşan ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.



Şekil 4.6. İki Örneklem Karşılaştırması Kutu Grafiği

Şekil 4.6' da iki örneklem karşılaştırması kutu grafiği ile gösterilmiştir. Ortalamaların eşit olduğu görsel olarak bu grafik ile gösterilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışma Özeti

Bu çalışmada 150 ton/gün kapasiteli sürekli polimer işletmesine bağlı 7 ürün tipinin üretim ve sipariş verileri kullanılmıştır. Çalışmanın amacı üretim sırasında bir üründen diğer ürüne geçiş sırasında geçiş süresine bağlı olarak oluşan ve hiçbir müşteri limitlerine uymayan ürün miktarının azaltılmasıdır. Geçiş ürünü diye adlandırılan bu ürün geçiş yapılan ürün tipine göre değişiklik göstermektedir.

Sürekli Polimerizasyon işletmelerinde farklı üretim politikaları ile doğru zamanda doğru üretim sırası uygulanarak kalitenin artırılması, stokların azaltılması ve maliyetlerin düşürülmesi ile ülkemizdeki yerli firmaların pazar koşullarında rekabet edebilmesi sağlanacaktır.

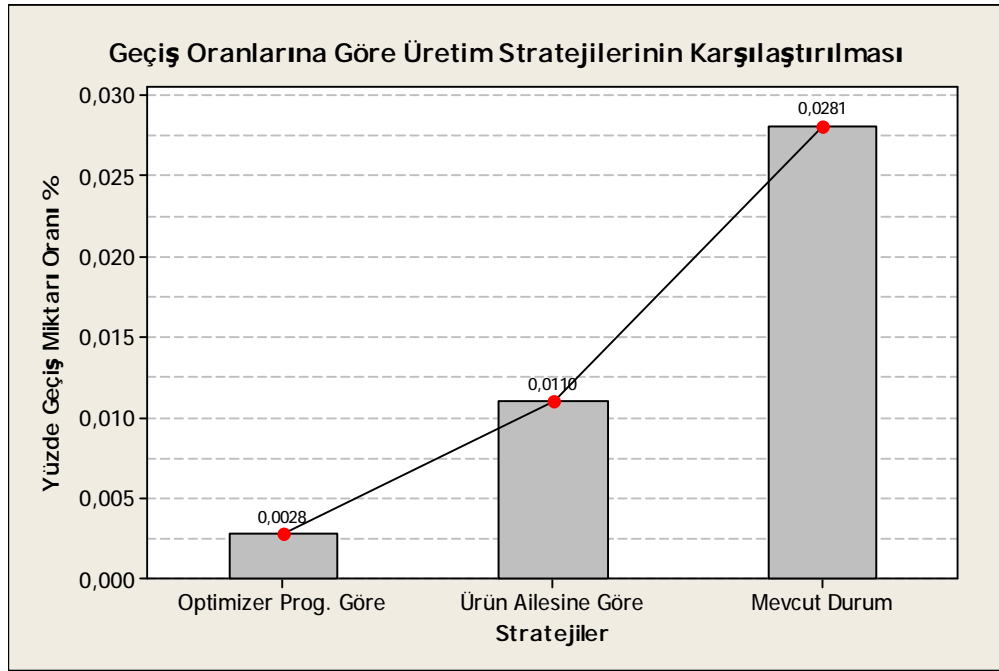
Literatürde üretim optimizasyonu konusunda oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Ancak sürekli polimerizasyon işletmesinde yapılan çalışmaya benzer bir çalışma bulunmamaktadır. İncelenen çalışmaların büyük bir çoğunluğunda matematiksel model kullanılmaktadır. Yaptığımız çalışmada simülasyon ve 6 sigma teknikleri kullanılmıştır. Literatürde 6 Sigma tekniklerinin belli araçlarını kullanan çalışmalar olmasına rağmen, simülasyon ve 6 Sigma metodolojisinin birlikte kullanıldığı çalışma sayısı azdır.

Ürün bazında geçiş ürün miktarları dışında toplam stok miktarı ve toplam sipariş bekleme süreleri de çalışmada incelenen diğer performans kriterleridir. Mevcut durum dâhil olmak üzere geçiş ürün miktarını belirleyen 3 farklı strateji geliştirilmiştir. Her bir strateji için simülasyon modeli kurulmuş ve performans kriterlerinin değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmış ve yönetimin ağırlık vermiş olduğu performans kriterine göre üretim stratejileri tercih edilmiştir.

5.2. Sonuçlar

Mevcut süreç dahil olmak üzere 3 farklı strateji için oluşturulan simülasyon ile gerçek sistemdeki akış modellenmiş ve kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. Başlangıçta simülasyon modeli, mevcut sürece uygun olarak ilk giren ilk çıkar (FIFO) üretim stratejisine göre çalıştırılmıştır. Önerilen üretim stratejileri ise ürün ailesi ve optimizer programına göre oluşturulmuştur.

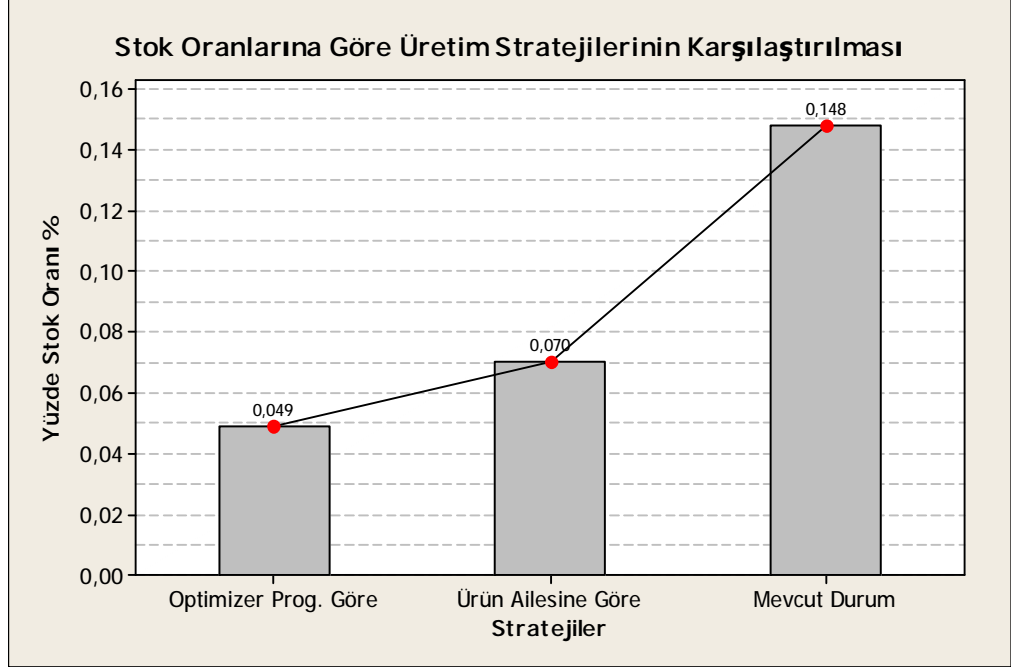
5.2.1. Üretim Stratejilerine Göre Geçiş Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 5.1. Üretim Stratejilerine Göre Geçiş Oranlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.1’de üç üretim stratejisi geçiş ürün miktarının toplam üretim miktarına oranı bakımından karşılaştırılmıştır. Optimizer programının sonucuna göre 23.803 ton toplam üretime karşılık 68 ton geçiş ürünü oluşmuştur. Bu değerlere göre 0,0028 ile en düşük geçiş oranı optimizer programının sonucuna göre belirlenen üretim sırasına göre olduğu bulunmuştur.

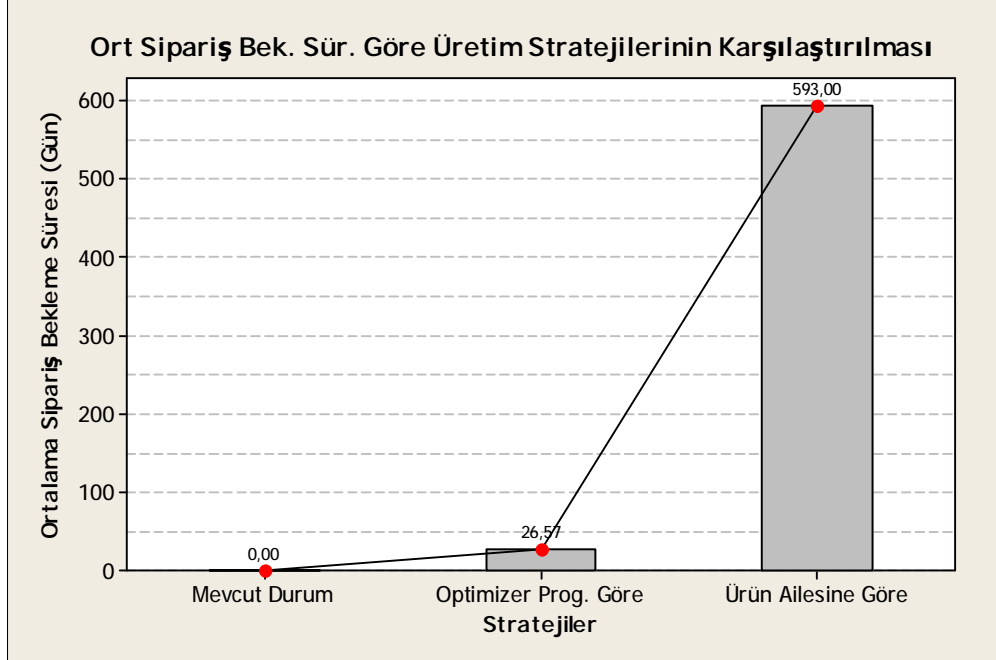
5.2.2. Üretim Stratejilerine Göre Stok Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 5.2. Üretim Stratejilerine Göre Stok Oranlarının Karşılaştırılması

Şekil 5.2’de üç üretim stratejisi stok miktarının toplam üretim miktarına oranı bakımından karşılaştırılmıştır. Optimizer programının sonucuna göre 23.803 ton toplam üretime karşılık 1,187 ton toplam stok oluşmuştur. Karşılaştırılma sonucunda 0,049 oranı ile en düşük stok oranının optimizer programının sonucuna göre belirlenen üretim sırasına göre olduğu bulunmuştur.

5.2.3. Üretim Stratejilerine Sipariş Bekleme Sürelerinin Karşılaştırılması



Şekil 5.3. Üretim Stratejilerine Göre Ort. Sip. Bekleme Sür. Karşılaştırılması

Şekil 5.3’de üç üretim stratejisi ortalama sipariş bekleme süreleri bakımından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılma sonucunda, en fazla bekleme zamanının 593 gün ile ürün ailesine göre yapılan üretimde olduğu görülmektedir. Ürün ailesine göre üretim sırasında 593 gün kuyrukta beklemenin 97,25 günü, aileye göre üretim sırasının beklenmesi sebebiyle kaynaklanmaktadır. Hesaplama yöntemi OKBa formülünde açıklanmıştır

Kuyruk Adı	Toplam Kuyrukta Bekleme Süresi (Gün)
AileBekleme.Queue	680.76

Şekil 5.4. Aileye Göre Toplam Kuyrukta Bekleme Süresi

Aileye Göre Ortalama Kuyrukta Bekleme Zamanı (OKBa): Toplam kuyrukta bekleme zamanının (680,76 gün) ürün sayısına (7) bölünmesi ile bulunur.

$$OKBa = 680,76 / 7 = 97,25 \text{ gün} \quad (5.1)$$

İkinci en düşük ortalama sipariş bekleme süresinin ise, 26 gün ile optimizer programının sonucunda önerilen üretim sırasına göre olduğu bulunmuştur (Bkz. Şekil 5.4). Optimizer'a göre üretim sırasında 26 gün toplam bekleme süresinin 10,5 günü, optimizer'a göre üretim sırasının beklenmesi sebebiyle kaynaklanmaktadır. Hesaplama yöntemi OKB_o formülünde açıklanmıştır

Kuyruk Adı	Toplam Kuyrukta Bekleme Süresi (Gün)
HoldA.Queue	0.4494
HoldD.Queue	0.2438
HoldG.Queue	0.02720929
OptimizerBekleme.Queue	73.5383

Şekil 5.5. Optimizer' a Göre Toplam Kuyrukta Bekleme Süresi

Optimizer'a Göre Ortalama Kuyrukta Bekleme Zamanı (OKB_o): Toplam kuyrukta bekleme zamanının (73,5 gün) ürün sayısına (7) bölünmesi ile bulunur.

$$OKB_o = 73,5 / 7 = 10,5 \text{ gün} \quad (5.2)$$

Mevcut durum üretim stratejisi ilk giren ilk çıkar (FIFO) üretim stratejisi ile yönetilmesi sebebiyle, en düşük ortalama sipariş bekleme süresine sahip üretim stratejisidir. (Bkz. Şekil 5.4).

Sonuç olarak üç strateji içerisinde ortalama geçiş ürün oranı ve ortalama stok oranı bakımından optimizer programının öngördüğü üretim sırası tercih edilmelidir. Ortalama sipariş bekleme süreleri bakımından ise mevcut durum üretim stratejisi tercih edilmelidir.

Çalışmanın çıkış noktasının ürün geçiş oranının düşürülmesi olması sebebiyle geçiş ürün miktarının işletme maliyetine etkisi değerlendirilmiştir. Maliyet hesabı için 2007 ve 2008 yılı hammadde fiyat ortalamaları baz alınmıştır (<http://www.fibre2fashion.com/textile-market-watch/paraxylene-px-price-trends-industry-reports.asp>).

Çizelge 5.1. Üretim Stratejilerinin Maliyete Etkisi Bakımından Karşılaştırılması

	Geçiş Ürün Miktarı (Ton)	Maliyet
Mevcut Durum	525,29	850.969,80 TL
Ürün Ailesine Göre	232,40	376.488,00 TL
Optimizer' a Göre	67,61	109.528,20 TL
*Hammadde Fiyatı	1.620,00 TL	

Üç üretim stratejisi sonucunda mevcut durum üretim stratejisi 525,29 ton geçiş ürün miktarı ile en fazla geçiş ürünü veren üretim stratejisi olmuştur. Bu miktarın üretime olan maliyeti 850.969 TL'dir. Ürün ailesine göre yapılan üretim stratejisi sonucunda 232,4 ton geçiş ürünü oluşmuştur. Bu miktarın üretime olan maliyeti 376.488 TL'dir. Optimizer' a göre yapılan üretim stratejisi sonucunda 67,61 ton geçiş ürünü oluşmuştur. Bu miktarın üretime olan maliyeti 109.528 TL'dir. Bu üç strateji arasından üretime olan maliyet etkisi en düşük olan optimizer programının önermiş olduğu üretim stratejisi tercih edilmelidir (Bkz. Çizelge 5.1).

* Hammadde maliyeti 900 \$ ve dolar kuru 1800 TL olarak hesaplanmıştır.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

İleride yapılacak çalışmalarda;

- i. Müşteri memnuniyet indeksi geliştirilerek sipariş bekleme sürelerinin maliyete olan etkisi araştırılabilir. Sipariş bekleme süreleri, toplam stok ve geçiş ürün miktarlarının aynı skalada değerlendirilerek optimize edilmesi daha sağlıklı sonuçlar doğuracaktır.
- ii. Çalışmada üretim hızı sabit alınmıştır. Üretim hızının ürün tipinden bağımsız olmasına rağmen işletme politikalarına göre üretim kapasitesi belli dönemlerde artış ve azalış göstermektedir. İleriki çalışmalarda üretim hızı değişken olarak alınabilir.

- iii. Bazı ürünlerin veri sayılarının az olması sebebiyle mevsimsel etkileri az olmuştur. İlerleyen dönemlere veri sayısının ve mevsim periyodunun artması ile zaman serisi analizleri yapılabilir.
- iv. Aynı maliyet fonksiyonu altında üç farklı üretim sisteminin üretim maliyetlerine etkisini araştırmak amacıyla, matematiksel model yaklaşımı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- ALLAHVERDİ, A., ALDOWAISAN, T., GUPTA, J., (1997). A review of scheduling research involving setup considerations. *Omega, Int.Journal of Managment Sci.*, 27:219–239
- ANDERSON, JR.,T.W. DARLİNG,D.A. (1952). Asymptotic theory of certain 'goodness-of-fit' criteria based on stochastic processes, *Annals of Mathematical Statistics*, 23:193–212
- COOKE, D., ROHLEDER, T., (2006). Inventory evaluation and product slate managemnt in large-scale contiuous process industries. *Journal of Operations Management*, 24:235-249
- CUBİLLOS, A., ACUÑA, G., AND LİMA, L., (2007). Real-time process optimization based on grey-box neural models. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24, 03:433-443
- DOĞAN, Ü., (2008). Altı Sigma, Dokuz Eylül Üniversitesi İktistadi İdari Bilimler Fakultesi, İzmir.
- DUPONDSA EĞİTİM NOTLARI, (2003). Polimer proses problemleri.
- FIBER FASHION, (2011). Paraxylene price trends. Web: <http://www.fibre2fashion.com/textile-market-watch/paraxylene-px-price-trends-industry-reports.asp>
- FLOUDAS, C. A., & Lin, X. X. (2004). Continous-time versus discrete-time approaches for scheduling of chemical processes. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 2109–2129.
- _____, (2005). Mixed-integer linear programming in process scheduling. Modeling, algorithms and applications. *Annals of Operations Research*, 139:131–162.
- GOUBERGEN, V., SHERALI, H., LANDEGHEM H., (2008). A quantitative approach for scheduling activities to reduce set-up in multiple machine lines, *European Journal of Operational Research*, 187:1224–1237
- _____,(2002). Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*,18:205–214

- HERRMANN, W., CHINCHOLKAR, M., (2001). Reducing Throughput Time During Product Design, *Journal of Manufacturing Systems*, 20, 6:416-428.
- JOLY, M., & PINTO, J.M., (2003). Mixed-Integer programming techniques for the scheduling of fuel oil and asphalt production. *Chemical Engineering Research and Design*, 81:427-447.
- KADİPASAOĞLU, S., CAPTAİN, J. AND JAMES, M., (2008). Polymer supply chain management, *Int. J. Logistics Systems and Management*, 4, 2:233-253.
- LİBEROPOULOS, G., KOZANİDİS, G., HATZİKONSTANTİNOU, O., (2009). Production scheduling of a multi-grade PET resin plant. *Computers and Chemical Engineering*, 1-14.
- MCAULEY, K. B., & MACGREGOR, J. F. (1992). Optimal grade transitions in a gas phase polyethylene reactor. *AIChE Journal*, 38, 10:1564-1576.
- MENDEZ, C. A., CERDA, J., & GROSSMANN, I. E. (2006). State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. *Computers and Chemical Engineering*, 15, 913-946.
- NYSTROM, R., FRANKE, R., HARJUNKOSKI, I., KROLL, A.,(2005). Production campaign planning including grade transition sequencing and dynamic optimization. *Computers and Chemical Engineering*, 29:2163-2179
- _____, (2006). Production optimization for continuously operated processes with optimal operation and scheduling of multiple units. *Computers and Chemical Engineering*, 30:392-406
- OLDENBURG, J., MARQUARDT, W., PRATA, A., KROLL, A., (2008). Integrated scheduling and dynamic optimization of grade transitions for a continuous polymerization reactor. *Computers and chemical engineering*, 32:463-476
- _____, (2007). Dynamic predictive scheduling of operational strategies for continuous processes using mixed-logic dynamic optimization. *Computers and chemical engineering*, 31:574-587
- PORTER M. E., & HARRİGAN, K.,(1993) Gerileyen ekonomiler için stratejiler, *Harvard Business Review*, 87-103.
- _____, (2000). Rekabet, *Harvard Business Review*, 24-29.

- RICHARDS, R., CONGALIDIS, P.,(2006). Measurement and control of polymerization reactors. *Computers and Chemical Engineering*, 30:1447–1463.
- SIROHI, A., CHOI, Y., (1996). On-Line Parameter Estimation in a Continuous Polymerization Process. *Ind. Eng. Chem. Res*, 35:1332-1343
- STEPHENS, M.A., (1974). EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 69:730–737
- U.S. PATENT, (2008), Method for reducing off-grade product production during reaction transitions.
- VAN BREMPT, W., VAN OVERSCHEE, P., BACKX, T., LUDLAGE, R., HAYOT, P., OOSTVOGELS, L., (2003). Economically optimal grade change trajectories: Application on a Dow polystyrene process model. In *Proceedings of the American Control Conference*, 5411–5416.
- TÜBİTAK BİLM VE TEKNİK DERGİSİ, (1995). Pet polimer teknolojisi
- WOZNY, G., LI, P., (2000). Planning and optimization of dynamic plant operation. *Applied Thermal Engineering*, 20:1393-1407

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Balıkesir'in Edremit ilçesinde doğdu. 2003 yılında Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi İstatistik Bölümünden mezun oldu. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başlamıştır.

2004 – 2006 yıllarında Bilişim LTD. şirketinde veri tabanı uzmanı olarak çalışmıştır. 2006 – 2011 yılları arasında SASA Fabrikasında iş geliştirme ve sürekli iyileştirme uzmanı olarak görev yapmıştır. Şuan SPAC Ltd. şirketinde Yalın 6 Sigma danışmanı olarak görev yapmaktadır.