



T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

KUSURLU ÜRÜN, TAMİR VE STOKSUZLUK DURUMU
ALTINDA TARAMA HIZININ ÜRETİM HIZINDAN KÜÇÜK
OLDUĞU EKONOMİK ÜRETİM MİKTARI MODEL
ÖNERİLERİ

Pınar ARSLAN
1240201579

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Abdullah EROĞLU

ISPARTA – 2024



**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI**





T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ



YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum **“Kusurlu Ürün, Tamir ve Stoksuzluk Durumu Altında Tarama Hızının Üretim Hızından Küçük Olduğu Ekonomik Üretim Miktarı Model Önerileri”** adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

Pınar ARSLAN
17.01.2024



T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU
BEYAN BELGESİ



SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
Adı-SOYADI	Pınar ARSLAN
Öğrenci Numarası	1240201579
Enstitü Ana Bilim Dalı	İşletme
Programı	
Programın Türü	() Tezli Yüksek Lisans (X) Doktora
Danışmanının Unvanı, Adı-SOYADI	Prof. Dr. Abdullah EROĞLU
Tez Başlığı	Kusurlu Ürün, Tamir ve Stoksuzluk Durumu Altında Tarama Hızının Üretim Hızından Küçük Olduğu Ekonomik Üretim Miktarı Model Önerileri
Turnitin Ödev Numarası	2265032737

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmasının a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana Bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 70 sayfalık kısmına ilişkin olarak, 26/12/2023 tarihinde tarafımdan Turnitin adlı intihal tespit programından Üniversitemiz Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönergesininin 14 üncü maddesinde yer alan filtrelemeler uygulanarak alınmış olan ve ekte sunulan rapora göre, tezin/dönem projesinin benzerlik oranı;

Kaynakçalar hariç, alıntılar dahil, 10 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç;
% 11'tir.

Danışman tarafından uygun olan seçenek işaretlenmelidir: (x) Benzerlik oranları belirlenen limitleri aşmıyor ise; Yukarıda yer alan beyanın ve ekte sunulan Tez Çalışması Orijinallik Raporu'nun doğruluğunu onaylarım. () Benzerlik oranları belirlenen limitleri aşıyor, ancak tez/dönem projesi danışmanı intihal yapılmadığı kanısında ise; Yukarıda yer alan beyanın ve ekte sunulan Tez Çalışması Orijinallik Raporu'nun doğruluğunu onaylar ve Uygulama Esasları'nda öngörülen yüzdelik sınırlarının aşılmasına karşın, aşağıda belirtilen gerekçe ile intihal yapılmadığı kanısında olduğumu beyan ederim.

Gerekçe:

Benzerlik taraması yukarıda verilen ölçütlerin ışığı altında tarafımca yapılmıştır. İlgili tezin orijinallik raporunun uygun olduğunu beyan ederim.

17/01/2024

Prof. Dr. Abdullah EROĞLU

(ARSLAN, Pınar, *Kusurlu Ürün, Tamir ve Stoksuzluk Durumu Altında Tarama Hızının Üretim Hızından Küçük Olduğu Ekonomik Üretim Miktarı Model Önerileri*, Doktora Tezi, Isparta, 2024)

ÖZET

Klasik ekonomik üretim miktarı modelleri, üretilen ürünlerin tamamının sağlam olduğu varsayımı altında oluşturulmaktadır. Bu varsayımın endüstriyel hayatta her zaman geçerli olması mümkün değildir. Bu sebeple kusurlu ürün içeren üretim partilerini dikkate alan çok sayıda model geliştirilmiştir. Literatürde incelenen kusurlu ürün varsayımı altındaki üretim miktarı modellerinin çoğu, taramanın etkisini görmezden gelmektedir. Mevcut çalışmaların çoğu üretim döngüsü içinde tarama hızı ile üretim hızı arasındaki ilişkiyi ihmal etmiş ve hızı eşit kabul etmiştir.

Bu çalışmada iki model önerisinde bulunulmuştur. Geliştirilen ilk modelde tek bir ürün üretilmekte ve üretilen ürünlerin belli oranda kusurlu olduğu kabul edilmektedir. Kusurlu ürün oranı rassal değişken olup, belli bir olasılık dağılımına uymaktadır. Kusurlu ürünlerin tamamı yeniden üretim sürecinden geçirilerek sağlam ürün haline getirilmektedir. İkinci modelde stoksuzluğa izin verilerek birinci model genişletilmiştir. İkinci kurulan modelde kusurlu ürünlerin tamamı tamir edilemediğinden belli bir oranı hurda ürün olarak ayrılmaktadır. Üretim ve tarama hızının farklı olması varsayımı her iki modelde de geçerlidir. Ayrıca geliştirilen modeller için sayısal örnekler verilmekte ve kusurlu ürün oranının beklenen değerindeki değişimin etkileri duyarlılık analizi ile incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Üretim Miktarı, Kusurlu Ürün, Yeniden İşleme, Üretim Hızı, Tarama Hızı, Stoksuzluk

(ARSLAN, Pinar, *Model Suggestions For Economic Production Quantity Where The Scanning Speed Is Slower Than The Production Speed Under Defective Product, Repair and Out Of Stock*, Ph.D. Thesis, Isparta, 2024)

ABSTRACT

Classical economic production quantity models assume that all the products produced are perfect. This assumption is not always valid in industrial life. For this reason, many models have been developed that consider production batches containing defective products. Most of the production quantity models under the defective product assumption reviewed in the literature ignore the effect of screening. Most of the existing studies have neglected the relationship between the scanning rate and the production rate in the production cycle and have assumed the rate to be equal.

In this study, two models are proposed. In the first model, a single product is produced, and it is assumed that a certain proportion of the products produced are defective. The proportion of defective products is a random variable and follows a certain probability distribution. All defective products are remanufactured into sound products through a remanufacturing process. In the second model, the first model is extended by allowing for stock-outs. In the second model, since not all defective products can be repaired, a certain proportion of them are reserved as scrap products. The assumption of different production and scanning speeds is valid in both models. In addition, numerical examples are given for the developed models and the effects of the change in the expected value of the defective product rate are analyzed by sensitivity analysis.

Keywords: Economic Production Quantity, Defective Product, Rework, Production Speed, Scanning Speed, Out of Stock

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca çalıştığı alandaki birikimlerini aktarmaktan bir an bile çekinmeyen, asistanlığını yaptığım süre boyunca da dahil olmak üzere insanlığından, ahlakından çok şey öğrendiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. Abdullah Eroğlu'na, doktora ders döneminde kendisini tanıma fırsatı bulduğum, sohbetiyle her zaman ufkumun açıldığı, akademide varlığından dolayı büyük onur duyduğum, tez çalışmam boyunca başarısız, yetersiz hissettiğim anlarda, devam edecek gücü bulamadığım dönemlerdeki manevi desteği ile beni cesaretlendiren, akademik yeterliliğini ve mütevaziliğini büyük bir hayranlıkla takip ettiğim kıymetli hocam Prof. Dr. Gültekin Özdemir'e, doktora yeterlilik sınavında tanıştığım ve tez sürecinde desteğini hiç esirgemeyen, kendi doktora tezinden başucu kitabı gibi yararlandığım, bu tez çalışmasında akademik yazım dili ve kurgulama konusunda kendisinden fazlasıyla istifade ettiğim saygıdeğer hocam Doç. Dr. Harun Sulak'a çok teşekkür ederim.

2013 yılında başladığım doktora eğitim sürecinde sadece akademik değil, hayata dair de zorlu süreçlerden geçtim. Bu süreçte sevgili eşim Mesut Arslan ve canım kızım Bahar Arslan'a, bana bu tezin bitebileceğini hissettirdikleri ve hep inandıkları için çok teşekkür ederim.

Teşekkürlerimin en özelini beni büyüten, destekleyen, varlıklarını her an arkamda hissettiğim canım anneciğime ve babacığımın sunmak istiyorum. Sevgili Kardeşim Hakan'a beni her kızdırmak istediğinde "Bugün tez yazdın mı?" diye sorduğu için de çok minnettarım.

Son olarak sevgili canım Pınar, can suyum hep sendin. Pes etmediğin için sana çok teşekkür ederim...

Pınar ARSLAN

ISPARTA/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI	i
YEMİN METNİ	ii
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

ÜRETİM VE STOK YÖNETİMİ

1.1. Stok Tanımı	5
1.2. Stokların İşletme Ekonomisindeki Yeri	5
1.3. İşletmelerin Stok Bulundurma Nedenleri	6
1.4. Stok Sistemlerinin Yapısı	7
1.5. Stok Maliyetleri	9
1.5.1. Sipariş /Üretime Hazırlık Maliyeti	9
1.5.2. Satın Alma/ Üretim Maliyeti	10
1.5.3. Elde Bulundurma Maliyeti	11
1.5.4. Elde Bulundurmama Maliyeti	11
1.6. Stok Kontrol Modelleri	12
1.6.1. Deterministik Statik Stok Kontrol Modelleri	12
1.6.1.1. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli	13

1.6.1.2. Klasik Ekonomik Üretim Miktarı Modeli.....	15
1.6.1.3. Stok Tükenmesi Durumunda Ekonomik Üretim Miktarı Modeli	18

2. BÖLÜM

GELİŞMİŞ STOK KONTROL MODELLERİ

2.1. Klasik Stok Modellerinde Güncel Varsayımlar	22
2.2. Kusurlu Üretim Varsayımı Altında Yapılan Çalışmalar	32

3. BÖLÜM

ÜRETİM VE TARAMA HIZI FARKLI EKONOMİK ÜRETİM MİKTARI MODEL ÖNERİLERİ

3.1. Stoksuzluğa İzin Verilmemesi Durumunda Üretim ve Tarama Hızının Farklı Olması Durumunda Yeni Bir Model Önerisi.....	38
3.1.1. Model Parametreleri	39
3.1.2. Modelin İşleyişi ile İlgili Gerekli Varsayımlar.....	40
3.1.3. Modelin Elde Edilmesi	40
3.1.4. Sayısal Örnek.....	45
3.1.4.1. Normal Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri	45
3.1.4.2. Tekdüze Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri	47
3.2. Stoksuzluğa İzin Verilen Durum İçin Üretim ve Taraması Hızı Farklı Olması Durumunda Yeni Bir Model Önerisi.....	48
3.2.1. Model Parametreleri	49
3.2.2. Modelin İşleyişi ile İlgili Gerekli Varsayımlar.....	50
3.2.3. Matematiksel Modelin Elde Edilmesi	51
3.2.4. Sayısal Örnek.....	58
3.2.4.1. Stoksuzluk Durumunda Tekdüze Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri.....	59
3.3. Optimal Çözüm Sonuçlarının Analizi	61

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKÇA	71
ÖZGEÇMİŞ.....	84



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1. Klasik Üretim Miktarı Modeline Yıllar İtibariyle Eklenen Varsayımlar....	27
Tablo 2. Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değerindeki Değişimin Beklenen Optimal Çözümüne Etkisi.....	61
Tablo 3. Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değeri Sabitken Kusurlu Ürün Oranın Alt ve Üst Sınır Değerlerindeki Değişkenliğin Beklenen Optimal Çözümüne Etkisi.....	62
Tablo 4. Stoksuzluğa İzin Verilen Model İçin Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değerindeki Değişimin Optimal Çözümüne Etkisi	63
Tablo 5. Stoksuzluğa İzin Verilen Model İçin Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değeri Sabitken Kusurlu Ürün Oranın Alt ve Üst Sınır Değerlerindeki Değişkenliğin Beklenen Optimal Çözümüne Etkisi	64
Tablo 6. Stoksuzluğa İzin Verilen Model İçin Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değeri Sabitken, Hurda Ürün Oranının Beklenen Değerindeki Değişimin Beklenen Optimal Çözümüne Etkisi	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Talebin Yapısına Göre Stok Kontrol Modelleri	12
Şekil 2. Ekonomik Üretim Miktarı Modeli.....	14
Şekil 3. Klasik Ekonomik Üretim Miktarı Modeli	16
Şekil 4. Stok Tükenmesi Durumunda Ekonomik Üretim Miktarı Modeli	19
Şekil 5. Üretim ve Tarama Hızı Farklı Olması Durumunda Bir Çevrim Süresinde Üretilen Envanterin Zamanla Değişimi.....	41
Şekil 6. Kusurlu Ürün Oranının Normal Dağıldığı Durumda Sağlam ve Kusurlu Ürün Stok Düzeyleri.....	46
Şekil 7. Kusurlu Ürün Oranının Tekdüze Dağıldığı Durumda Sağlam ve Kusurlu Ürün Stok Düzeyleri.....	48
Şekil 8. Stoksuzluğa İzin Verilen, Üretim ve Taraması Hızı Farklı Olması Durumunda Bir Çevrim Süresinde Ertelenen ve Üretilen Envanterin Zamanla Değişimi	51
Şekil 9. Stoksuzluk Durumunda Tekdüze Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri için Sağlam ve Kusurlu Ürünlerin Stok Düzeyi	60

GİRİŞ

Endüstrilerde karar vermenin önemi günümüzde giderek artmaktadır. Karar vericilerin eldeki verilerle en optimal kararları almaları gerekmektedir. İşletmeler için envanter, kullanılmayı bekleyen ürünlerdir ve müşteri taleplerini karşılayabilmek için belli bir düzeyde bulundurulması gerekir. Ancak işletmeler üretilebilecek ürün miktarını stoklama maliyetiyle birlikte düşünmek, ya da üretim için gerekli hammadde ve insan gücü maliyetini ürünü talep eden tedarikçilere yüklenmek zorunda kalacağından optimallik şartları altında çalışmak zorundadır. Aynı şekilde talep oranı tam bilinemediği durumlarda satılamamış fazla ürünün stoklanması ya da aşırı talep sebebiyle stoksuzluğa düşülmesinin getirdiği ceza maliyeti, yüksek miktar üretim yapabilme kapasitesinin optimallik olarak dengelenmesi şartını ortaya çıkarmaktadır. Genel olarak envanterin optimal seviyede korunması ve finansmanının sağlanabilmesi ile ilgili maliyetler işletme yatırımlarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu sebeple işletmeler sektörlerine, sermayelerine, yönetim politikalarına, finansal pozisyonlarına göre kendilerine bir stok kontrol yöntemi belirlemektedir. Bu stok kontrol yöntemlerinden hangisinin kullanılacağına işletmenin büyüklüğü, yıllık stok miktarı, talep fonksiyonu, ürün yapısı, sektör şartları, rakiplerin stratejileri büyük etki etmektedir. Her sektörde olduğu gibi üretim sektöründe de bilimsel kaynak ve modeller karar verme üzerinde fazlasıyla etkilidir. İşletmeler girdilerini ve çıktılarını belli bir zaman dilimi için stokta tutmak zorundadırlar. Bu stoklama, üretim gereksinimlerinden kaynaklandığı gibi, bazen pazar koşullarından da kaynaklanabilir. Girdilerin zor tedarik edildiği durumlarda işletmenin üretimini aksatmaması için yeterli girdi stoğuna sahip olması gereklidir. Aynı şekilde, işletmelerin müşteri beklentilerini karşılamak için belirli bir ürün stokunu bulundurması gereklidir. Ancak stok bulundurma, maliyetleri son derece etkileyen dolayısıyla rekabeti de etkileyecek faktörlerin başında gelmektedir (Ülgen ve Mirze, 2007, s. 290).

Optimal üretim için klasik bir üretim miktarı modelinde genel olarak üretim süresi, talep, üretim hızı sabit ve bilinmektedir. İşletmelerin stok politikasını en düşük maliyetle yürütebilmesi, talebe dayanan stok miktarının en az hatayla tahmini, asgari stok seviyesinin tespiti ve siparişlerin uygun zaman ve miktarda verilmesine

bağlıdır (Türk ve Şeker, 2011, s. 713). Böylece, üretim sürecinde, üretim akış hızının denge ve sürekliliği sağlanarak, zaman ve maliyet tasarrufu elde edilecektir. Stok problemlerinde matematiksel modelin elde edilmesinde ve çözümünde en önemli ölçüt üretilen ya da stoklanan ürüne olan talebin tanımlanmasıdır. Talebin kesin olarak bilindiği, belli bir olasılık dağılımına uyduğu, değişkenlik gösterdiği ya da zamana bağlı olduğu gibi varsayımlar üretim modelinin temel iskeletini oluşturmaktadır. Piyasa koşulları belirsiz olduğundan gerçek endüstriyel sorunlarda klasik üretim modelinin sunduğu çözüm önerileri yetersiz kalmaktadır. Klasik üretim miktarı modelinde “bilinirlik” ve “sabitlik” varsayımları, 2000’li yıllarla birlikte yerini daha “belirsizlik” ve “değişkenlik” varsayımlarına bırakmıştır.

Talebin yapısı dışında modellerdeki çözüm sürecini etkileyen ve optimum üretim/ stok miktarını belirleyecek birçok varsayım vardır. Özellikle üretim sürecinin kusursuz olduğu varsayımına sahip olan klasik üretim miktarı modeli, kusurlu ürün, denetim hataları, makine arızaları, ürün bozulması, öğrenme ve unutma etkisi, kalite değerlendirmeleri gibi gerçek sorunları modellere yansıtacak kriterlerle geliştirilmiştir. Yine stoksuzluğa izin veren, ödemelerde gecikmeleri, tedarik zinciri sürecini modele yansıtan modeller de önerilmiştir. Geliştirilen modellerin eklenen her varsayımla matematiksel modellemesi karmaşılaşmaktadır. Bu sebeple gelişmiş çözüm teknikleri ile modellere yeni varsayım ekleme motivasyonları gelişmiş, stok kontrol modellerinde bilimsel yazın sayısı sürekli artmıştır. Bu alandaki gelişim detaylı şekilde incelendiğinde farkedilen bir eksiklik üzerine çalışma konusu belirlenmiştir.

Bu çalışmada klasik üretim miktarı modeline günümüz koşullarına uygun yeni varsayımlar eklenerek geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kusurlu ürün üreten bir sistemde üretim hızından daha düşük olacak şekilde belli bir hızla tarama yapıldığı varsayılmıştır. Buna uygun olarak stoksuzluğa izin vermeyen ve izin veren iki model tasarlanmıştır. Stoksuzluğa izin vermeyen modelde üretim süreci tamamlandıktan sonra tarama süreci hala devam etmekte, üretim ve tarama sürecinin sonunda kusurlu ürünler yeniden işlenerek kusursuz ürün haline getirilmektedir. Stoksuzluğa izin veren modelde bir önceki dönemin talebi öncelikle elimine edilmekte, üretim sürecinin sonunda tarama devam etmekte, üretim ve tarama sürecinin sonunda kusurlu ürünlerin yeniden işlenebilir kısmı kusursuz ürün haline

getirilmektedir. Tamir edilemeyen ürünler hurda ürün olarak ayrılmaktadır. Çalışmada iki yeni model önerisi sayısal örneklerle desteklenmiştir. Kusurlu ürün oranındaki değişimin optimal çözüm değerlerine etkisini göstermek için duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde üretim ve stok yönetimi başlığı altında stok kavramı, stokların işletmeler için önemi, fonksiyonları, stok sistemlerinin yapısı, stok maliyet türleri, stok kontrol modellerinin işleyişinden söz edilmektedir.

İkinci bölümde gelişmiş stok kontrol modelleri başlığı altında klasik üretim miktarı modeline yeni varsayımların eklenmesi ile literatüre katkı yapmış yayınların ayrıntılı bir taramasına yer verilmektedir. Yapılan literatür taramasında; kusurlu ürün, stoksuzluk, yeniden işleme, ürün kalite değerlendirme, ödemelerde gecikmeye izin verilmesi, üretimde öğrenme ve unutmanın etkisi, farklı talep fonksiyonları, stoklarda bozulma, makine arızaları, çevresel etki, tedarik zinciri yapısı, gelişmiş çözüm teknikleri, denetim hataları, lider-tedarikçi işbirliği gibi yeni varsayımlar ile modellerin geliştirildiği ifade edilmektedir. İncelenen bilimsel yayınlar bölüm sonunda bir tablo olarak sunulmuştur. Amaç literatürdeki çalışmaların hangi varsayımlar üzerinde yoğunlaştığını, hangi varsayımlarda model geliştirmesi yapılabileceğini göstermektir. Bu çalışmada geliştirilen modelin literatüre katkısı ayrıntılı bir şekilde yine bu bölümde ifade edilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise kusurlu ürün ve yeniden işleme durumu altında iki yeni bir model geliştirilmiştir. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde üretim hızı tarama hızına eşit kabul edildiği görülmektedir. Modellere üretim hızının tarama hızından farklı olması durumu dikkate alınarak daha önce yapılmış çalışmalara katkı sağlanmaktadır. Yeni modellere ait varsayımlar, matematiksel denklemleri ifade ederken kullanılan notasyonlar bu bölümde ayrıntılı şekilde ifade edilmiştir. Modellerin daha iyi anlaşılabilmesi için birer sayısal örnekle desteklenmiştir. Son olarak geliştirilen iki model içinde kusurlu ürün oranının optimal çözüme etkileri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen iki yeni model mevcut stok kontrol modellerini geliştirici bir rol oynamaktadır. Şöyle ki; klasik üretim miktarı modelinden

başlayarak günümüze kadar geliştirilen modellerde tespit edilen durum, üretim hızının tarama hızına eşit olduğu varsayımıyla modellerin geliştirildiğidir. Ancak üretim süreciyle beraber başlayan tarama sürecinin üretim bitti anda sonlanması varsayımı gerçek endüstriyel süreçlerle pek örtüşmemektedir. Üretim hızının tarama hızından küçük olması tarama maliyetlerini arttırmakla birlikte zaman tasarrufu sağlayabilmektedir. Ayrıca talebin değişken olduğu ve arttığı bir durum için avantajlı bile olabilmektedir. Ancak optimallikten uzak olduğu gerçeği de göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle kusurlu ürün oranı düşük üretim süreçlerinde maliyet artırıcı bir rol oynamaktadır. Aynı şekilde üretim hızının tarama hızından büyük olması durumu (bu çalışmanın konusu olan) tarama sürecine yüksek yatırımlar yapmadan üretim bittikten sonra üretim ekibinden de destek alarak yönetilebileceğinden, talebin bilindiği ve sabit olduğu durumlarda daha avantajlı olacaktır. Klasik üretim miktarı modelinde üretim hızının tarama hızına eşit kabul edilmesinin aksine daha gerçekçi bir çözüm önerisi sunduğu ve bu sebeple geliştirici bir varsayım olarak literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir.

Çalışmanın literatüre katkısı olduğu gibi bazı sınırlılıkları da vardır. Deterministik statik (talebin bilinen ve sabit olduğu) bir model ile çalışılıyor olması matematiksel modellemeyi daha yalın yapmakla birlikte modeli gerçek koşulları yansıtmaya becerisinden uzaklaştırmaktadır. Aynı şekilde kusurlu ürün oranının belli bir dağılıma uyduğu ve rassal değişken olarak kabul edildiği duruma göre beklenen değerler hesaplanmıştır. Ancak normal dağılıma uyan bir rassal değişken üzerinden beklenen kusurlu ürün oranı hesaplayabilmek daha gerçeği temsil yeteneği yüksek sonuçlar verebilir. Duyarlılık analizlerinde çoklu deney tasarımı kullanılarak aynı anda optimal çözümün hangi değişkene karşı daha duyarlı olduğu tespit edilebilir.

1. BÖLÜM

ÜRETİM VE STOK YÖNETİMİ

Üretim, girdilerin (işgücü, hammadde, bilgi, enerji, vb.) bazı süreçlerden geçirilerek insan ihtiyaçlarını karşılayan mal ve hizmetlere dönüştüğü bir süreçtir. Stok kavramı da üretim süreci boyunca ya da sonunda ortaya çıkan ürün miktarıdır. Stoklar kendi içinde planlama ve kontrol süreci geçirmektedir. Üretim sistemi büyüdükçe, ürün çeşidi arttıkça, tedarik yapısı, talep miktarı ve üretime ilişkin faktörlerdeki belirsizlikler stok bulundurmaya ve ne kadar bulundurulması gerektiğinin cevaplanmasını zorunlu kılar (Kobu, 2010, s. 325). Görülmektedir ki stok planlama ve kontrolünü de içine alacak şekilde düşünüldüğünde, stok yönetimi işletme ve üretim sistemi içerisinde hayati öneme sahiptir.

1.1. Stok Tanımı

Stokların bir işletme yatırımı olması nedeniyle, stok kavramı için şu tanım verilebilir: Üretimde yer almayı veya sipariş verilmeyi bekleyerek, belirli bir süre bekletilen, ekonomik değere sahip kaynaklara stok denir (Gençyılmaz, 1998, s. 9-10). Burada sorun, işletmenin nihai kazancını maksimum yapacak şekilde, stok durumundaki malzeme veya mallardan oluşan atıl kaynakların düzeyinin belirlenmesidir.

1.2. Stokların İşletme Ekonomisindeki Yeri

Günümüz üretim sistemlerinde stoklar, yönetimi açısından çok önemli haline gelmiştir. Doğru stok politikaları seçmek ve uygulayabilmek işletmelerin kritik durumlarda rakiplerine karşı avantajlı olmasını sağlamaktadır. Stok yönetimi politikaları, şirketlerin daha önce makul olmayan bir şekilde planlanmış envanter için boşa harcanan sermayeyi diğer iş alanlarına yeniden yatırmaya veya yeni pazar fırsatlarından yararlanmasına yardımcı olur. Stoklara yapılmış bir yatırım, acil nakit ihtiyaçlarının karşılanmasında işletmeleri zora sokabilir. Aynı şekilde atıl halde bekleyen işlenmemiş hammaddelerin fazlalığı, ya da talep belirsizliğinden kaynaklanan yetersiz stok, nakit girişlerinin kaçırılmasına neden olacaktır (Kobu,

2010, s. 327). İşletmelerin, stoklara ayırdıkları bütçenin, yatırımları arasında büyük bir paya sahip olduğu bilinmektedir. Stoklara yapılan yatırımın diğer işletme yatırımlarından farkı, hammadde ve üretilen ürünlere bağlanan bütçenin, bir süre başka amaçlar için kullanılmasının mümkün olmamasıdır. Sonuç olarak bu durum başka yatırım imkanlarının dolayısıyla muhtemel kazançların elden kaçırılması anlamına gelmektedir. Bu sebeple işletmelerin optimum stok miktarını belirlemeleri bütçe yönetimleri açısından önemlidir.

1.3. İşletmelerin Stok Bulundurma Nedenleri

Bir işletmenin stok bulundurmasının birçok nedeni vardır. Ancak en önemli neden, üretilen ürünlerin, talep edildiği anda tedarikçi ya da müşterilere fiziksel olarak temin edilmesinin her zaman mümkün olmamasıdır. Yani, arz ve talep süreçlerinin farklı hızlarda olması, stokların oluşmasına veya onlara ihtiyaç duyulmasına neden olur. Bu faktörler doğrultusunda, işletmelerin stok bulundurma nedenleri şöyle sıralanabilir (Gençyılmaz, 1998, s. 9).

Üretim Hızının Sabit Tutulmasını Sağlar

Üretilen ürünlere olan talebin dönemsel olarak değişmesi, yeni bir ürüne talebin geçmiş bilgilerinin olmaması, ekonomik ya da sosyal sebepler nedeniyle işletmelerde talep fonksiyonun değişken olduğu durumlarda en büyük sorun, dalgalanan talebin karşılanmasındaki zorluktur. Bu durumu çözmek için işletmeler üretim hızını, işgücü miktarını ve diğer girdileri arttırmak ya da azaltmak gibi farklı yöntemler kullanır. Fakat birçok işletme, sabit ve düzenli bir işgücü ve üretim hızı ile talebi karşılamak isterler. Çünkü böyle bir bakış açısı üretim sisteminin çok daha verimli kullanılmasını sağlar. Bunun sonucu olarak, talebin düşük olduğu dönemlerde ürün stokları oluşur. Oluşan bu stoklar, talebin yüksek olduğu dönemlerde, üretimin karşılayamadığı talep miktarını karşılamak üzere kullanılır.

Arz ve Talep Arasında Bir Tampon Görevi Görür

Talebi tahmin etmek için hangi yöntemi kullanırsak kullanalım, gerçekleşen talep miktarı ile tahmin edilen talep miktarı arasında fark olması beklenen bir sonuçtır. Bu sebeple, mevcut talep karşılanamayabilir. Talebin karşılanamaması

durumunu önlemek ve müşteriye devamlılık sunabilmek için, emniyet stoğu elde bulundurulması yerinde olmaktadır.

Toplu Sevkiyat İmkânı Sağlar

Üretimin sabit bir hızla ve sürekli yapılması yani devamlı stok bulundurulması daha ekonomik olmaktadır. Ekonomiklik, tedarik ve teslim maliyetlerinin, toplu miktar indirimi ile, daha düşük fiyatlardan gerçekleşmesi anlamında ifade edilmektedir.

Stok İyi Bir Reklam Aracıdır

Ürünlerin yeterli miktarlarda stokta bulundurulması, müşterilerin istedikleri ürünü hemen satın almasını sağlar. Bu amaç ile stok bulundurulması bir tür reklam olarak kullanılabilir. Zamanında hızlı tedarik imkânı günümüzde tüketicilerin tercih etme sebeplerini etkilemektedir.

Pazar Koşullarından Yararlanma İmkânı sağlar

Pazar koşulları, işletmeleri bazen gereğinden önce stok bulundurmaya yönlendirebilir. Örneğin, hammadde fiyatlarında yakın zamanda artış bekleniyorsa şimdiden gereğinden fazla stoklamak makul olmaktadır. Eğer ürün fiyatlarında bir artış bekleniyorsa, bu defa stoktaki ürünleri elden çıkarmada aceleci davranmamak uygun olabilmektedir.

Kontrol Maliyetlerini Azaltır

Stok kontrol sistemleri işletmeler için vazgeçilmez ancak maliyetli bir süreçtir. Stok miktarındaki artış, birim kontrol maliyetini azaltmak için avantaj sağlamaktadır Ama işletmelerin stok bulundurmada en büyük engelleri de yine maliyetleridir. Burada optimum stok miktarını belirlemek büyük önem taşır. Belli bir miktara kadar stoklardaki artış birim maliyetleri düşürürken belli bir miktardan sonra maliyet arttırıcı bir unsur olarak da işletmenin karşısına sorun olarak çıkabilir.

1.4. Stok Sistemlerinin Yapısı

Bir işletmede stok kalemlerine olan talebin yapısı, stok sistemlerinin büyüklük ve karmaşıklığı, stok kalemlerinin tedarik süresi, stok kararları, stok

maliyetleri gibi kriterlerler, stok sisteminin yapısını oluşturmaktadır (Gençyılmaz, 1998, s. 17).

Stok Kalemlerine Olan Talebin Yapısı.

Talebin tam olarak bilindiği şartlarda ya da talebin olasılık dağılımının bilinmesi durumlarında belirlilik altında talep yapısından bahsedilebilir. Talebe ait olasılıkların yani geçmiş verilerden yola çıkarak dağılımının bilinmemesi durumunda belirsizlik altında talep yapısı ile çalışılır. Talebin bilinmesi bir stok sisteminde ne kadar miktar üretim yapılacağı ve ne kadar süreyle stokta bekletileceği bilgisinde bilinmesini sağlamaktadır. Ancak gerçek hayatta talebi etkileyen kontrol edilebilir ve kontrol edilemez birçok faktör olduğundan işletmeler talebin yapısına bağlı olarak bir stok sistemi belirlemeye çalışacaklardır.

Stok Sistemlerin Büyüklük ve Karmaşıklığı

Stoktaki ürünlerin birden fazla bölgede elde bulundurulduğu sistemlerdir. Bu çok düzeyli stok sistemlerinin en öne çıkan özelliği, herhangi bir noktadaki stoklara olan talebin, daha farklı noktalardaki stoklara gelen taleplere bağımlı olmasıdır. Bu nedenle bu sistemi bir bütün olarak kontrol altında tutacak politikaları saptamak karmaşık hale gelmektedir. İşletmeler günümüzde online (mesafeli) satışlara olan talep sebebiyle satışın yapıldığı bölge sayısını yurt içindeki her bölgeyi, hatta yurt dışını kapsayacak şekilde belirlemek zorunda kalmaktadırlar. Bazen tek bir merkezden bütün bölgelere stokların sevkiyatı yapılabilirken bazen de stok miktarı azalan bölgeye, stok miktarı fazla olan bölgeden aktarım yapılarak talep karşılanabilir. Aynı şekilde tedarik zinciri süreçleri fazla olan ya da bozulabilir ürün yapısıyla çalışan işletmelerin farklı stok yapıları olabilmektedir.

Stok Kalemlerinin Tedarik Süreleri

Stoktaki bir ürün türü için verilen sipariş ile malın temin edilmesi arasında genellikle bir zaman geçer. Bazı stok problemleri için bu süre her zaman sabittir. Bazılarında ise bu süre, bir olasılık dağılımına göre değişkenlik gösterir. Problemlerin analizinde tedarik sürelerinin bu şekilde değişkenlik göstermesinin büyük önemi vardır. Özellikle üretim ve depolanma süreci maliyetli olan mobilya, motorlu taşıtlar, vb gibi sektörlerde sipariş üzerine üretim stoklama yapısını daha yalın kılacaktır. Ancak daha küçük ve sık tüketilen ve sipariş edilen temizlik, gıda,

giyim vb sektörlerde üretim ve stok devamlılığı, talebin karşılanabilmesi yaşamsal bir öneme sahip olmaktadır. Stok tükenmesi durumuyla karşılaşıldığında ikame ürün imkânı fazla olan ürünlerde talep kaybı yaşanabilir. Bu sebeple stokların hangi kalemlerden oluştuğu stok yapısının belirlenmesinde büyük öneme sahiptir.

Stok Kararlarının Veriliş Şekli ve Üretim Hızı

Stokta tutulacak ürünlerin sabit veya değişken olması stok yapısını belirler. Toplu bir yıllık ya da mevsimlik verilen siparişlerde karar ve miktar sabittir. Ancak süpermarket gibi stokların bir süreç şeklinde yenilendiği durumlarda örneğin her hafta sonu stok kararlarının güncellenmesi gibi durumlarda hafta hafta stok ve talep miktarı değişkenlik gösterebilir. Aynı şekilde üretim hızına bağlı olarak da stok yapısı değişkenlik gösterecektir. Üretim hızı yüksek ürünlerde stoklama kapasitesi ve maliyetleri de yüksek olacaktır.

1.5. Stok Maliyetleri

Stok maliyetleri, stoklarla ilgili kararlarda yönlendirici bir etkiye sahiptir. Az veya aşırı stoklamadan kaçınarak maliyeti minimum yapacak stok düzeyini bulmak için “ne kadar üretilecek/satın alınacak?” ve “ne zaman üretilecek/sipariş verilecek?” soruları stok maliyetlerini belirleyen iki temel sorudur (Ulucan, 2007, s. 400). İşletmelerin faaliyet konularından bağımsız olarak toplam maliyete etki eden elemanlar; satın alma maliyeti, üretim/sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve elde bulundurmama maliyeti (stoksuzluk maliyeti) olarak dört başlık altında ifade edilebilir. Klasik stok kontrol modellerinin matematiksel gösterimleri bu maliyetleri temel almaktadır

1.5.1. Sipariş /Üretime Hazırlık Maliyeti

Üretim yapmayan işletmelerde sipariş verirken kırtasiye, haberleşme, faturalandırma, personel nakliye vb. gibi nedenlerle ortaya çıkan maliyetlerdir. Bu maliyetler sipariş verilen birim sayısından bağımsız olarak her siparişte ortaya çıkar. Sabit maliyetlerdir. Üretim yapan işletmelerde ise bu maliyetler üretime hazırlık maliyeti olarak adlandırılır. Üretim hattının hazırlanması, üretime başlamadan önce ihtiyaç duyulan makine, araç gereç, insan gücü ve süreçlerin bir araya getirilmesi ve

planlanması süreci de yine üretime hazırlık maliyeti olarak ifade edilir. Üretim yapan işletmeler için, üretim esnasında gerekli olan malzeme siparişi, sipariş maliyeti değil üretime hazırlık maliyeti olarak değerlendirilir (Sulak, 2008, s. 10).

1.5.2. Satın Alma/ Üretim Maliyeti

Şipariş edilen / üretimin başlayabilmesi için gerekli olan malın satın alındığı kaynağa fiilen ödenen fiyattır (Öztürk, 2009, s. 594). Üretilen stok türünün, işletmenin içinden veya dışından bir firmadan tedarik edilmesine göre farklılık gösteren yapıya sahip maliyetlerdir. Üretim yapmayan işletmeler için bir birim ürünün satın alma maliyetidir. Üretim yapan işletmeler için ise bir birim ürünün üretim maliyetidir. Yani Q miktarda verilen sipariş/üretime ait değişken maliyeti göstermektedir.

Bir üretim işletmesi üretim aşamasında veya üretim bittikten sonra üretim sürecinde kullanılan mamülleri ve üretim sonucu oluşan ürünleri bir kalite kontrol sürecinden geçirir. Aynı şekilde üretim işletmesi olmayıp tedarik zincirin bir parçası olan ya da son alıcı olup tüketiciyle ürünü buluşturan işletmeler, ürettikleri/satın aldıkları ürünleri belirli kontrollerden geçirmektedir. Üretilen ya da satın alınan ürünlerin işletmeler tarafından kontrol edilmesi sürecinde çalıştırılan personel ve makine maliyetleri oluşmaktadır. Bu durumda oluşan maliyet *tarama (mayene) maliyeti* olarak ayrıca ifade edilmektedir. Üretilen/sipariş edilen ürünlerin tarama sonrası imha, tamir, hafif defolu (düşük fiyattan satılabilir) gibi sınıflandırmalara tabi tutularak stokta bekletilmesi sürecinde *kalite değerlendirme maliyeti* meydana gelebilmektedir.

Ürünlerin tarama sırasında yanlış sınıflandırılmasından kaynaklanan hatalar da *hata maliyeti* olarak ifade edilmektedir. Kusuru olmamasına rağmen tarama sırasında kusurlu olarak ayrılması, kusursuz olarak talebi karşılamak üzere müşteriye gönderilen ürünün kusurlu olması hata maliyetinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu süreç içerisinde gözden geçirme, ayırma, zaman ve işgücü maliyetlerinin artmasına yine bu süreçte itibar kayıplarına neden olacaktır. Bazı modellemelerde müşteri kayıpları, itibar kaybı ve markanın zarar görmesinin maliyetlere yansıtılması *ceza maliyeti* olarak ifade edilmektedir. Kusurlu olarak stoklanan ürünlerin yeniden işleme

sürecinden geçirilerek tekrar kusursuz hale getirilmesi sırasında *yeniden işleme (tamir) maliyeti* de yine üretim maliyetlerinin içinde değerlendirilebilir.

1.5.3. Elde Bulundurma Maliyeti

Stokların oluşmasıyla birlikte işletme içerisinde birçok maliyet doğar. Stokların depolanacağı yerin işletmeye ait olması veya kiralanması şartlarına göre *depolama maliyeti*: oluşmaktadır. Stoklanan ürünün yapısına göre ısıtma, soğutma, aydınlatma, alarm sistemleri vb. maliyetlerde depolama giderleri içinde ifade edilebilir. Stoklar için ödenen, vergi, stokların güvenliğiyle ilgili personel bulundurma, malzeme aktarmada kullanılan iş gücü, nakliyat ve düzenli stok sayımı ile ilgili giderler *hizmet maliyeti* olarak ifade edilebilir. Stokdaki ürünlerin türlerine göre, çalınması, hasar görmesi, yangın gibi fekaetlere karşı sigortalanması sonucu oluşan *risk maliyeti* de modelleme sırasında yer verilebilecek elde bulundurma maliyet türlerindendir. İşletmeler, elinde bulunan nakit gücünü stoklara yatırdığında başka alanlardaki gelir getirici yatırım fırsatlarını kaybeder (Öztürk, 2009, s. 594). Burada oluşan başka bir gelirden vazgeçmenin maliyeti *fırsat maliyeti* olarak ifade edilir. Stokların elde bulundurulduğu süre arttıkça ürünün cinsine göre eksilme veya bozulma meydana gelebilmektedir. bu durumda elde bulundurulmuş süre kadar hem depolama maliyeti artacak hem de optimum stok seviyesinin düzgün belirlenememesi sebebiyle elde kalan ve kullanılamaz hale gelen ürünlerden dolayı *imha ve ceza maliyeti* oluşacaktır.

1.5.4. Elde Bulundurmama Maliyeti

Stokta ürün bulunmadığında gelen taleplerin karşılanamaması nedeniyle ortaya çıkan maliyettir. Talebin hemen karşılanamaması durumunda iki farklı sorun ortaya çıkar. Birincisi elde stok bulunmadığı süre için talep bekletilebilir. Bekletilen her birim için *bekletme maliyeti*, bekletme süresinin uzunluğuna bağlıdır. İkinci durumda ise talep kaybedilir. Bu durumda iki maliyet birlikte oluşacaktır. Satılamayan birimden *kaybedilen kar* ve *kaybedilen talep* için marka itibar kaybına uğrayacak ve *ceza maliyeti* gibi büyük maliyetle karşılaşacaktır.

1.6. Stok Kontrol Modelleri

Stok kontrol modellerinin temel amacı ne kadar miktarda sipariş verileceği ve bu siparişin ne zaman verilmesi gerektiği sorularının cevabını bulmaktır. Bu sorulara cevap ararken en az maliyet kriteri bütün modellerin başlangıç noktasını oluşturur. Burada toplam maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibidir. Bununla birlikte stok kontrolünde ne miktarda ve ne zaman sorularının cevabını belirleyen en önemli değişken talep miktarıdır. Talebin bilinmesi elbette stok kontrolünde çok büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak gerçek hayatta bu pek mümkün olmamaktadır. Toplam maliyetleri minimum kılacak optimum stok miktarını belirleyebilmek için bazı modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde genel varsayım talebin bilindiği, ayrıca talep hızının ve tedarik ya da üretim hızının sabit olduğu modellerdir (Kobu, 2010, s. 338). Geçmiş talep bilgileri elimizde var ise gelecek için tahminde bulunulabilir. Ancak pazara yeni girmiş bir ürünün talep belirsizliği ile stok kontrol modeli geliştirmek çok daha karmaşık olacaktır. Bu sebeple stok kontrol modellerinin sınıflandırılmasında talebin yapısına göre aşağıdaki gibi bir şekil oluşturulmuştur.



Şekil 1. Talebin Yapısına Göre Stok Kontrol Modelleri (Eroğlu, 2002, s. 1)

1.6.1. Deterministik Statik Stok Kontrol Modelleri

Deterministik statik stok kontrol modellerinde temel varsayım, üretim/sipariş dönemi boyunca talep miktarının kesinlikle bilindiği ve talep hızının sabit ve sürekli olduğudur. Bu modellerde, üretim/sipariş süreleri ve miktarları eşit kabul edilmektedir. Modellerdeki temel amaç, olan toplam maliyeti minimum yapacak optimum sipariş- üretim miktarını ve siparişler arası geçen süre olan çevrim süresini hesaplamaktır. (Eroğlu, 2002: 7) Sabit ve bilinen talep altındaki çalışmalar en yalın matematiksel modeller olduğu için bu çalışmada ayrıntılı olarak deterministik statik

stok kontrol modelleri izah edilmiştir. Bu modellerde yatan temel amaç, karar değişkenleri (miktar ve zaman) için optimal değerleri belirlemektir.

1.6.1.1. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli

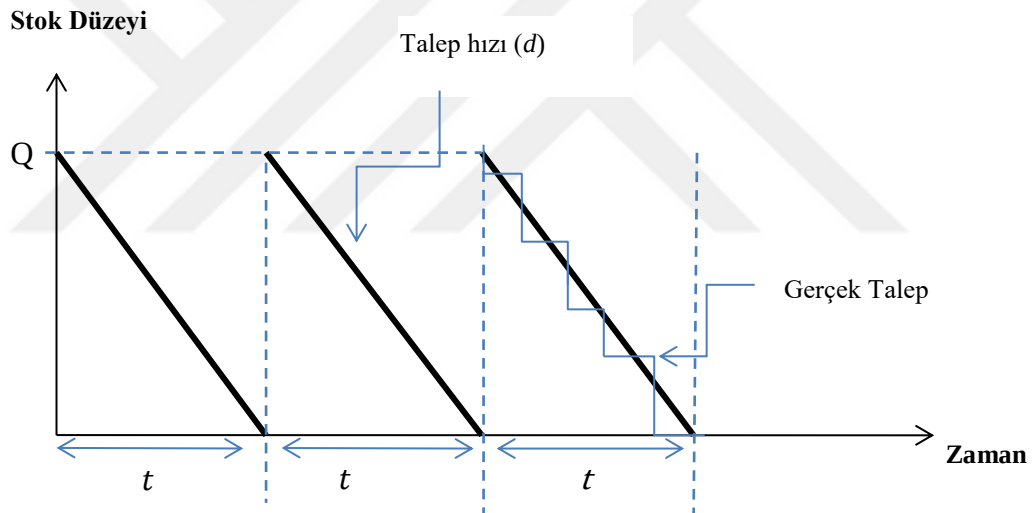
Ekonomik sipariş miktarı modeli stok yöneticisinin, siparişleri kaçar birimlik partiler halinde vermesi gerektiği sorusunun cevabını arayan en basit temel modeldir. Modelin yapısı sabit miktarlı ve eşit zaman aralıklı sipariş süreçlerinden oluşur. 1913 yılında Ford W. Harris tarafından tasarlanmış ve günümüzde kullanılan pek çok modelin temelini oluşturmuştur. Klasik ekonomik sipariş miktarı modeli birçok basitleştirici varsayım içermesine rağmen yüz yılı aşkın bir süredir stok teorisinde temel model olarak kullanılmaktadır. Modeldeki amaç, toplam maliyeti minimum yapacak şekilde optimum sipariş miktarını bulmaktır. Bu varsayımlar şöyle sıralanabilir;

- [1] Ürüne olan talep, tüm periyot boyunca sabit ve düzgündür.
- [2] Sipariş miktar, sabittir.
- [3] Ürün fiyatı tüm dönem boyunca sabittir.
- [4] Tedarik süresi kesin olarak bilinmekte ve sıfırdır.
- [5] Elde bulundurma maliyeti hesaplanırken, ortalama stok miktarına bakılır.
- [6] Sipariş verme maliyeti sabit ve sipariş miktarından bağımsızdır.
- [7] Tüm talep karşılanır. Stoksuz kalma, talebi bekletme yoktur.
- [8] Tüm sipariş aynı anda teslim edilir.
- [9] Aynı sipariş ve talep döngüsü sürekli tekrarlar. (Sonsuz zaman ufku)

Yukarıdaki varsayımlar altında stok işleyiş sisteminde dönemlik ve birbirini tekrar eden bir yapı vardır. İşletmenin elinde sipariş edilen Q adet stok miktarı ile sipariş dönemi başlamaktadır. Stoklar d talep hızıyla tükenmektedir. stok tükendiğinde tekrar sipariş verilmektedir. Stokun tükendiği anda yeni sipariş stoklara girdiği varsayımı altında model çalışmaktadır. Sonuç olarak t çevrim süresinde Q miktar stok d talep hızında tüketilmektedir. Modelin toplam maliyeti üç maliyet bileşiminin toplamıdır. Klasik ekonomik sipariş miktarı modelinde siparişler bir anda ve eldeki stoklar sıfır düzeyine ulaştığında verilmektedir. Yani tedarik süresi sıfırdır. İşleyiş ve formülasyonun ifade edilmesinde aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır.

d	Yıllık talep miktarı
Q	ekonomik sipariş miktarı
t	Çevrim süresi (periyot)
c	Birim değişken satın alma maliyeti
K	sipariş maliyeti
h	birim elde stok bulundurma maliyeti
TC	toplam maliyet
TCU	birim zamandaki toplam maliyet

Ekonomik sipariş miktarı modelinde stok miktarının zamanla değişimi Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Ekonomik Üretim Miktarı Modeli (Ulucan, 2007, s. 404)

Sipariş maliyetini hesaplamak için aşağıdaki hesaplamalar yapılmaktadır. Burada temel model için;

$$\text{toplam maliyet} = \left(\begin{array}{c} \text{sipariş} \\ \text{maliyeti} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{satın alma} \\ \text{maliyeti} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{elde bulundurma} \\ \text{maliyeti} \end{array} \right)$$

$$TC = K + cQ + h \frac{Qt}{2}$$

olarak ifade edilir. Modelin işleyişine göre öncelikle toplam maliyeti hesaplayıp çevrim süresine bölerek birim zamandaki toplam maliyet (TCU) bulunur.

$$TCU = \frac{K}{t} + \frac{cQ}{t} + h \frac{Q}{2}$$

Bir çevrim süresi t boyunca, stok miktarı belirli bir talep hızında tüketilir. Şekil 2'ye bakıldığında da görüleceği gibi $t = Q/d$ olarak ifade edilir. Sonuç olarak ekonomik sipariş miktarı Q 'yu bulmak için birim toplam maliyet fonksiyonunun Q ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenmesi gerekir. Buradan optimum sipariş miktarı Q bulunur.

$$Q = \sqrt{\frac{2Kd}{c}}$$

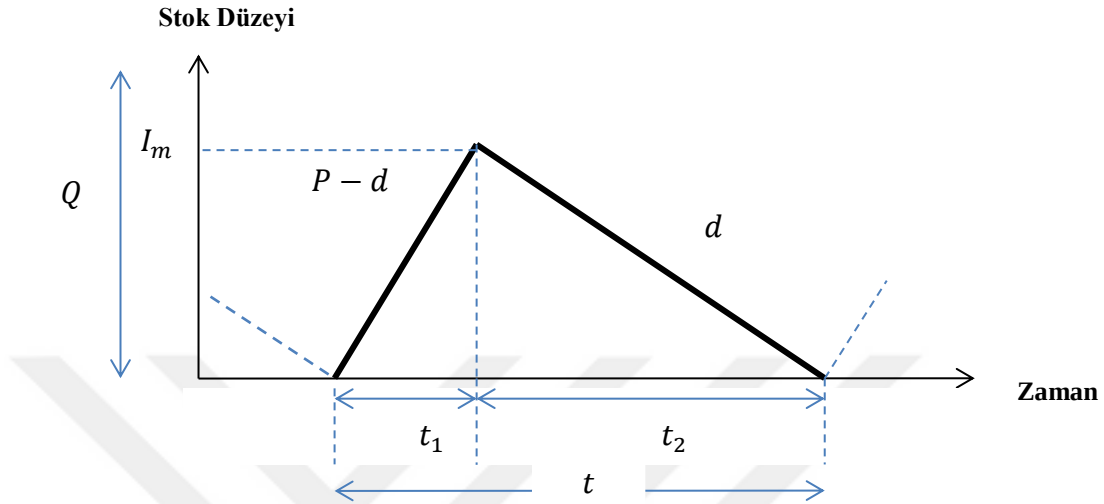
1.6.1.2. Klasik Ekonomik Üretim Miktarı Modeli

Bu modelde, ekonomik sipariş miktarı modelinin *optimum sipariş miktarını belirleme* amacı yerine, *optimum üretim süresi ve miktarı amacı* altında çalışılmaktadır. Ekonomik sipariş miktarı modelinde geçerli varsayımlar aynen bu modelde geçerlidir. Ayrıca eklenen varsayım, üretim hızının talep hızından fazla olmasıdır. Stoksuzluğa düşülmemesi için bu varsayım modele eklenmektedir. İşleyiş ve formülasyonun ifade edilmesinde aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır.

d	Yıllık talep miktarı
P	yıllık üretim kapasitesi
Q	ekonomik üretim miktarı
T	Çevrim süresi (periyot)
I_m	Çevrim süresi içerisindeki maksimum stok miktarı
c	Birim değişken üretim/sipariş maliyeti
K	Üretime hazırlık maliyeti
t_1	çevrim süresi içinde üretimin yapıldığı zaman aralığı
t_2	çevrim süresi içinde üretimin yapılmadığı zaman aralığı
h	birim elde stok bulundurma maliyeti
t	Optimal çevrim süresi, $t = t_1 + t_2$
TC	toplam maliyet

TCU birim zamandaki toplam maliyet

Ekonomik üretim miktarı modelinde stok miktarının zamanla değişimi görülmektedir Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Klasik Ekonomik Üretim Miktarı Modeli (Öztürk, 2009, s. 6001)

Modelde, bir üretim süreci iki dönemden oluşmaktadır. Birinci dönemde üretimin yapıldığı zaman aralığı (t_1), ikinci dönem ise üretimin yapılmadığı zaman aralığı (t_2)’dir. Birinci dönemde talep üretimden karşılanmakta ve talep fazlası üretim stokta tutulmaktadır. İkinci dönemde, üretim yapılmamakta talep sadece stoktan karşılanmakta, periyot sonunda stok tükenmekte ve diğer periyoda geçilmektedir.

Ekonomik üretim miktarı modeli için toplam maliyet denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{toplam maliyet} = \left(\begin{matrix} \text{üretime hazırlık} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{üretim} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{elde bulundurma} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right)$$

Buna göre üretimin yapıldığı süre olan t_1 :

$$t_1 = \frac{I_m}{P - D} = \frac{Q}{P} \text{ ve bu eşitlikten çevrim süresi içindeki maksimum stok seviyesi } I_m:$$

$$I_m = \left(1 - \frac{D}{P} \right) Q$$

Üretimin olmadığı süre olan t_2 :

$$t_2 = \frac{I_m}{D}$$

$$I_m = \left(1 - \frac{D}{P}\right)Q, \quad 1 - \frac{D}{P} = G \text{ olarak alınırsa: } I_m = GQ \text{ olur.}$$

Çevrim süresi içerisinde üretimin olmadığı zaman aralığı olan (t_2);

$$t_2 = \frac{I_m}{D} \text{ dir.}$$

Üretime hazırlık maliyeti, K ,

Üretim maliyeti, cQ

$$\text{Stok bulundurma maliyeti, } h \left(\frac{t_1 I_m}{2} + \frac{t_2 I_m}{2} \right) = h \frac{t I_m}{2} = h \frac{t G Q}{2} \text{ olur.}$$

Buradan toplam maliyet TC şu şekilde ifade edilir.

$$TC = K + cQ + h \frac{TGQ}{2}$$

Toplam maliyetin toplam süreye bölünmesiyle birim zamandaki toplam maliyet

(TCU) elde edilir. Çevrim süresi $t = \frac{Q}{D}$ olduğundan birim zamandaki toplam maliyet, $TCU(Q)$;

$$TCU(Q) = \frac{KD}{Q} + cD + h \frac{GQ}{2}$$

olarak elde edilir. Optimum üretim miktarını bulmak için birim zamandaki toplam maliyetin Q 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenmesi gerekir. buradan optimum üretim miktarı Q bulunur.

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{h \left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

1.6.1.3. Stok Tükenmesi Durumunda Ekonomik Üretim Miktarı Modeli

Bu modelde ekonomik üretim miktarı modelinin işleyişi aynen geçerli olmaktadır. Modelin varsayımları klasik ekonomik üretim miktarı modelinin varsayımlarıyla aynı olmakla birlikte stoksuzluğa izin vermektedir. Tamamen erteme durumuyla birlikte yeni dönem üretime başlandığında ilk önce satış kaybı yaşanmadan eski dönem talep karşılanmaktadır. İşleyiş ve formülasyonun ifade edilmesinde aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır.

I_m Çevrim süresi içindeki maksimum stok miktarı (adet)

d Yıllık talep miktarı (adet)

P Yıllık üretim kapasitesi

Q Üretim miktarı

B Maksimum stoksuzluk miktarı

c Birim değişken üretim maliyeti

K Üretime hazırlık maliyeti

h Birim stok bulundurma maliyeti

π Birim stoksuzluk maliyeti

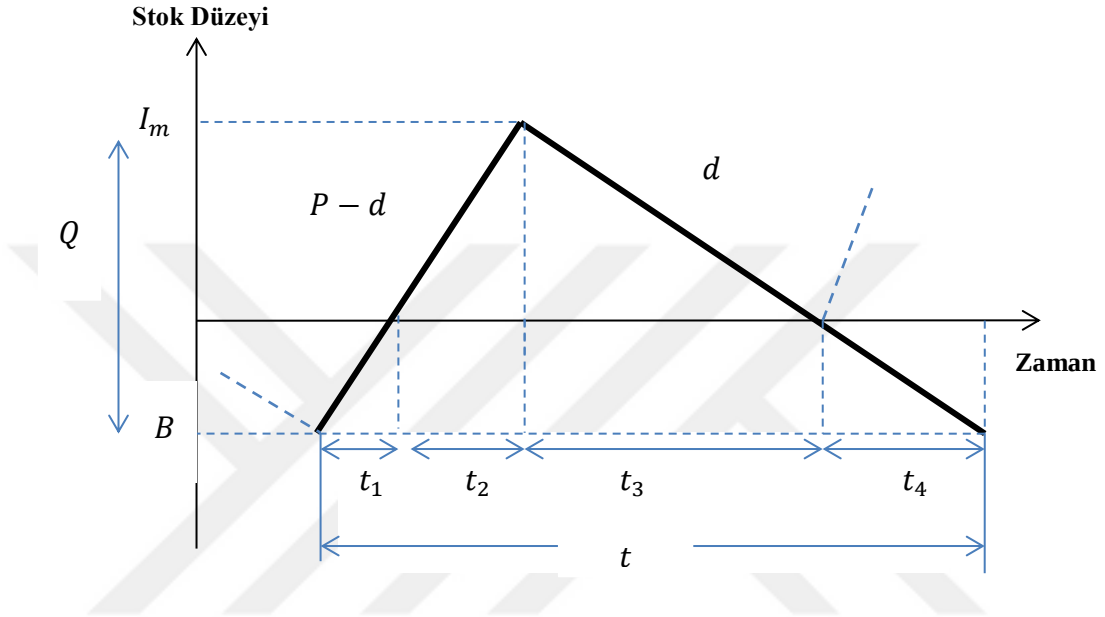
t Optimal çevrim süresi, $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$

TC toplam maliyet

TCU birim zamandaki toplam maliyet

Stok tükenmesi durumunda ekonomik üretim miktarı modelinde stok miktarının zamanla değişimi Şekil 4’de görülmektedir. Bir çevrim süresi iki zaman diliminden oluşmaktadır. Üretimin yapıldığı zaman aralıklarını ve üretime ara verildiği zaman aralıklarıdır. Üretimin yapıldığı zaman aralığında, (t_1) süresinde bir yandan üretim yapılırken bir yandan da mevcut talep karşılanmakta, karşılanan talepten sonra kalan ürün stoğundan da bir önceki dönemden kalan ertelenen talep elime edilmektedir. (t_1)’in sonunda bir önceki çevrim süresinde ertelenen talebin tamamı karşılanmış olmaktadır. (t_2)’de talep üretimden karşılanmakta ve talepten arta kalan üretim stokta birleştirilmektedir. Bu sürenin

sonunda maksimum stok seviyesine ulaşılmaktadır. İkinci zaman aralığında (t_3) süresinde üretim yapılmamakta, talep biriken stoktan karşılanmakta ve bu sürenin sonunda biriken bütün stok tüketilmektedir. (t_4)’de ise, oluşan talep, bir sonraki süreçte karşılanmak üzere ertelenmektedir. Bu sürenin sonunda maksimum stoksuzluğa düşülmektedir (Sulak, 2008, s. 42).



Şekil 4. Stok Tükenmesi Durumunda Ekonomik Üretim Miktarı Modeli (Sulak, 2008, s. 42)

Ekonomik üretim miktarı modeli için toplam maliyet (TC) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$TC = \left(\begin{matrix} \text{üretim hazırlık} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{üretim} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{elde bulundurma} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{stoksuzluk} \\ \text{maliyeti} \end{matrix} \right)$$

Üretimin yapıldığı dönemde öncelikle o anda oluşan talebin karşılandığı ve talep fazlası oluşan stok miktarından bir önceki çevrim süresinde ertelenen talebin

karşılandığı süre olan $t_1 = \frac{B}{P-D}$ olarak ifade edilir.

t_1 süresi sonunda bir önceki dönemden ertelenen talebin tamamı karşılanmaktadır. Bu süre sonunda üretim devam ederken o anda oluşan talebin

üretileen ürünlerden karşılandığı ve talep fazlası oluşan stoğun ifade edildiği süre olan

$$t_2 = \frac{I_m}{P-D}$$

Üretim durduktan sonra oluşan talebin stoktan karşılandığı ve stokların tükendiği süre olan $t_3 = \frac{I_m}{D}$

Stok tükendikten sonra çevrim süresi sonuna kadar oluşan talebin bir sonraki dönemde karşılanmak üzere ertelendiği süre olan $t_4 = \frac{B}{D}$

Ayrıca;

$$t_1 + t_2 = \frac{B + I_m}{P-D} = \frac{Q}{P} \text{ olduğundan } I_m = \left(1 - \frac{D}{P}\right)Q - B \text{ olarak bulunur.}$$

$$1 - \frac{D}{P} = G \text{ olarak alınırsa: } I_m = GQ - B \text{ olur.}$$

Bu model için;

Üretime hazırlık maliyeti = K

Üretim maliyeti = cQ

$$\text{Stok bulundurma maliyeti} = h \left(\frac{t_2 I_m}{2} + \frac{t_3 I_m}{2} \right) = h \frac{\frac{P I_m^2}{(P-D)D}}{2} = h \frac{(GQ-B)^2}{2GD}$$

$$\text{Stoksuzluk maliyeti} = \pi \frac{(t_1 + t_4)B}{2} = \frac{\frac{B^2}{P-D} + \frac{B^2}{D}}{2} = \pi \frac{B^2}{2GD} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bu şartlar altında toplam maliyet TC řu şekilde olacaktır:

$$TC = K + cQ + h \frac{(GQ-B)^2}{2GD} + \pi \frac{B}{2GD}$$

Toplam maliyetin çevrim süresine bölünmesiyle birim zamandaki toplam maliyet elde edilir. $t = \frac{Q}{D}$ deđerı yerine konulduđunda birim zamandaki toplam maliyet,

$$TCU(Q, B) = \frac{K}{\frac{Q}{D}} + \frac{cQ}{\frac{Q}{D}} + \frac{h \frac{(GQ - B)^2}{2GD}}{\frac{Q}{D}} + \frac{\pi \frac{B^2}{2DG}}{\frac{Q}{D}} = \frac{KD}{Q} + cD + h \frac{GQ}{2} - hB + \frac{h + \pi}{2GQ} B^2$$

$TCU(Q, B)$ fonksiyonunun B ve Q değişkenine göre kısmi türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{h \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \sqrt{\frac{h + \pi}{\pi}}$$

$$B = \sqrt{\frac{2KDh}{\pi(h + \pi)} \left(1 - \frac{D}{P}\right)} \text{ olarak bulunur.}$$

Klasik stok modellerinin nasıl çalıştığıyla ilgili bu bölümde ayrıntılı bilgilendirme yapılmıştır. Klasik modellerin temel varsayımları incelendiğinde tüm parametrelerin sabit, doğrusal ve bilindiği varsayımlar olarak tasarlandığı görülmektedir. Klasik modellerdeki basit ve yalın süreç, öğrenmeyi ve uygulamayı her ne kadar kolaylaştırmış olsada gerçek problemleri çözme gücünü azaltmaktadır. Bu çalışmanın bundan sonraki bölümünde ekonomik üretim miktarı modellerinde yeni varsayımlar ile yapılan bilimsel yayınların incelenmesine yer verilmiştir.

2. BÖLÜM

GELİŞMİŞ STOK KONTROL MODELLERİ

Yapılan literatür taramasında ekonomik üretim miktarı modelinden geliştirilen modellerin birbirini gerçeğe uygun yeni varsayım ve tekniklerle takip ettiği, hatta birçok çalışmanın, bir önceki çalışmayı referans alarak hatalı varsayım, modelleme ve matematiksel düzeltmeleri içerecek şekilde yenilendiği görülmektedir.

2.1. Klasik Stok Modellerinde Güncel Varsayımlar

Klasik stok kontrol modellerine günümüze kadar eklenen varsayımlar kısaca açıklanmıştır.

Stoksuzluk

Gerçek hayatta çoğu zaman birçok sebepten stoksuzluğa düşülmektedir. Stoksuzluğa düşmenin üç bedeli olmaktadır. a) Bunlar: karşılanamayan talebin tamamının ileride karşılanmak üzere ertelenmesi (tam erteleme), b) talebin hiç karşılanmaması sonucu satış kaybı ve c) karşılanamayan talebin bir kısmının satış kaybı olarak iptal olması ve kalan kısmının ise bir sonraki üretimden karşılanması (*kısmi erteleme*). Literatürde genelde, *tam erteleme* ‘complete backordering’ terimi ile *kısmi erteleme* ‘partial backordering’ terimi ve *satış kaybı* ‘lost sales’ terimi ile ifade edilmektedir (Sulak, 2008, s. 53). Stok bulundurma maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda planlı stoksuzluğa izin verilmesi durumu ortaya çıkmaktadır.

Stoklarda Bozulma

Ürünlerin stokta bekleme süresi arttıkça raf ömrü azalmakta ya da modası geçmektedir. Bu sebeple bozulma oranı yüksek olan ürünlerde stokta tutma maliyetleri artmakta ya da stok miktarı doğru tespit edilemezse modası geçtiği için müşteri kaybı ve maliyeti oluşmaktadır. Ayrıca bazı ürünler bozulma haricinde bekledikçe azalabilme özelliğine sahip olduğundan (uçucu maddeler gibi) miktar kaybı oluşmaktadır.

Talep Fonksiyonları

Klasik üretim modelinde talep sabit ve bilinmektedir. Aynı zamanda bu modellerde talep optimal stok ve maliyet belirlemede önemli bir role sahiptir. Ancak gerçek endüstriyel problemlerde talep değişken, olasılıklı, belirsiz olabilir.

Üretim Hızının Değişkenliği

Klasik modelde üretim hızı sabittir. Gerçek problemlerde üretim hızının zamanla yani özellikle öğrenmenin etkisiyle artabileceğini gösteren çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca öncelikli üretim, sipariş iptalleri gibi sebepler üretim hızında değişkenliklere yol açabilir.

Öğrenme ve Unutma

Üretim süreçlerinde sadece makineler olmadığı için, zamana bağlı olarak tekrarlı işlerde öğrenmenin ve unutmanın insan özelliklerinden olduğu gerçeğini modellere yansıtılan çalışmalar vardır.

Ticari Kredi Politikası

Herhangi bir tedarik zinciri oyuncusu tarafından tedarik zincirinin diğer katılımcılarına sunulan promosyon aracı, talebi kolaylaştırarak sistemin tüm kârını artırmaktır. Kredi: belirli bir süre boyunca ürünü ödemedi satın alabilme yeteneğidir. Ödemelerde gecikmelere izin vermek de bu varsayım altında çalışılan konulardandır.

Kusurlu Ürün

Yapılan literatür çalışmasında, bu alanda çok sayıda bilimsel yayın yapıldığı özellikle klasik modeldeki üretilen tüm ürünlerin kusursuz olacağı varsayımına karşılık kusurlu üretim süreçlerinin ön plana çıktığı görülmektedir.

Yeniden İşleme veya Kurtarma Seçenekleri

Kusurlu kalitedeki ürünlerin imalatçı tarafından üretilmesi durumunda, bunları daha ucuz bir fiyata elden çıkarmak yerine yeniden işleme sürecine göndermek tercih edebilir. Yeniden işlenmiş öğeler genellikle yenileri kadar iyi kabul edilir ve tam satış fiyatından satılır. Kusurlu kalitedeki ürünler, yeniden işlenerek ve birincil veya ikincil kalite düzeyinde de ele alınabilir. Yeniden işleme ve

kurtarma seçenekleri, kusurlu kalitedeki kalemlerin yönetiminde de hayati bir rol oynar.

Kalite Değerlendirmesi

Üretilen ürünlerin kalitesi, herhangi bir tedarik zinciri oyuncusunun iyi niyetini değerlendirmek için en önemli parametredir. Bu nedenle, piyasaya satılmadan önce, yalnızca kaliteli malların teslim edildiğinden emin olmak için bir inceleme gereklidir. En son tekniklerin ortaya çıkmasına rağmen, kusurlu kalite ürün, yönetimi zorlu bir süreç olarak önemini korumaktadır. Tarama prosedürü (muayene, denetim), herhangi bir işletme için çok önemli bir aşamadır; bu nedenle, tarama sürecini yetkin bir şekilde uygulamak modellerde kullanılan bir varsayım olmakla birlikte eksik bir çalışma alanı olduğu gözlenmektedir.

Denetim Hataları

Üreticiler kaliteli ürünler sağlamak için denetim gibi süreçlere yatırım yapar. Bununla birlikte, kaçınılmaz insan hataları nedeniyle, bazen denetim sürecinin kusurlu/hataya açık olduğu ve Tip-I ve Tip-II yanlış sınıflandırma hatalarıyla sonuçlandığı ortaya çıkar. Tip hata, iyi kalitedeki ürünlerin daha ucuza kötü olarak satılması nedeniyle toptancıya doğrudan parasal kayıpla sonuçlanırken, Tip-II hatanın meydana gelmesi, kötü kalitedeki ürünlerin satışı ile ceza ve iyi niyet kayıplarına neden olur.

Çevresel Etki

Dünya çevresel bir krizden geçiyor ve her organizasyonun çevresel etkisini (karbon emisyonu) azaltmak için etkili çözümler üretmesi gerekiyor. Kusurlu kalitedeki ürünler, dikkatli bir şekilde işlenmezse, çöplüklere ve atık oluşumuna yol açar. Bu nedenle, kusurlu kalite kalemleriyle başa çıkmak için etkili yönetim tekniklerini üretim modellerine ekleyerek daha gerçeği temsil yeteneği yüksel modeller ortaya konulmaktadır.

Makine Arızaları- Bakımı

Makine arızaları bir üretim sisteminde sürecinin kesintiye uğramasına neden olacak büyük maliyet yaptırımına sahip varsayımlardan biridir. Siparişlerde gecikme,

dolaylı olarak satış iptalleri ve imaj kaybı maliyetleini de yanında getirmektedir. Makine bakım onarım süreçlerininde modellere eklendiği görülmektedir.

Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri, bir tedarik zinciri oyuncusundan diğerine mal akışıdır. Tedarik zinciri oyuncuları üreticiler, distribütörler, perakendeciler, müşteriler vb.dir. İşbirliği içinde çalışmak, rekabet avantajı elde etmeyi sağlayabilmektedir. Kapalı döğü tedarik zinciri konusu da ilgi çeken varsayımlar arasında yer almaktadır. Herhangi bir tedarik zincirinde, her üyenin farklı iş hedefleri vardır ve dolayısıyla tüm faaliyetlerini buna göre gerçekleştirir. Ancak, günümüzün kıyasıya rekabetinde, bireysel hedefleri kendi iyiliği için optimize etmek yerine, tedarik zincirinin farklı üyeleri arasında verimli koordinasyon yoluyla toplam tedarik zinciri kârını en üst düzeye çıkarmak için başka bir alternatif daha var. Bu nedenle, günümüzde firmalar tek başına bağımsız kuruluşlar olarak rekabet etmekle daha az ilgilenirken, daha yüksek ve uzun vadeli getiri elde etmek için ortaklıkları hedeflemektedirler.

Gelişmiş Çözüm Teknikleri

Problemlerin modellerde daha gerçekçi ifade edilmesinin sonucu olarak karmaşık hale gelen formüllerin çözümlenmesinde, meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Belirsizlik durumlarında olasılık, bulanık mantık varsayımlarıyla modeller zenginleştirilmektedir. Gri sistem teorisi gibi tekniklerle eksik verilerin yönetilebildiği görülmektedir.

Lider-Takipçi Stratejisi (Stackelberg Oyun Senaryosu)¹

Literatürdeki çalışmaların bir kısmı, tedarik zinciri katılımcıları arasında belirleyici güçlerin *eşit dağılımı* ile işbirlikçi envanter modellemesi üzerine

¹ Tedarik zinciri varsayımları altında gösterimemesinin en büyük sebebi, bu seneryoda tedarikçilerin eşit avantaj ve dezavantaj paylaşmasıdır. *Stackelberg denge senaryosunda* bir denge söz konusu değildir. Stackelberg 1934 yılında. modeli ortaya atmıştır. Bu modele göre güçlü olan firma davranışı belirler, bu firmaya lider firma adı verilmektedir. Daha sonra takipçi firma lider firmanın hareketini gözlemleyerek kendi davranışını belirlemektedir. Stackelberg oyunlarında karar alınırken lider oyunda öncelik avantajına, takipçi ise lideri gözlemleme ve kararını bu gözleme göre verme avantajına sahiptir. Lider firma ilk olarak oyun stratejisini seçmekte ve bu stratejiyi açıklamaktadır. Takipçi ise; lider firma seçimini ve açıklamasını yaptıktan sonra seçim yapmaktadır. Yani Stackelberg oyunlarında adım adım aksiyon söz konusudur. Lider firma ilk olarak hamlesini oynamakta, lideri gözlemleyen takip firma oyuna daha sonraki adımda müdahil olmakta ve kendi hamlesini belirlemektedir (Birihan, 2012, s. 4).

yapılmıştır. Ancak, mevcut piyasa senaryosunda iki oyuncu (alıcı ve satıcı) arasındaki eşitsiz gücü kolaylaştıran bir yaklaşım önem kazanmaktadır. Bu tür modeller, Stackelberg oyun stratejisi (lider-takipçi politikası) kullanılarak çözülür. Burada liderliği alan karar verici lider olarak adlandırılır ve önce kararını seçmesine izin verilir ve bu kararlar takipçi için bir kısıtlama haline gelir ve bunun tersi de geçerlidir.

Değişken Maliyetler

Araştırmacıların çoğu, envanterle ilişkili çeşitli maliyet bileşenlerini, yani kurulum maliyeti, üretim maliyeti, elde tutma maliyeti, yeniden işleme maliyeti, geri ödeme maliyeti vb.'yi sabit olarak değerlendirmiştir. Ancak gerçek yaşamda bir üretim döngüsünün kurulum maliyeti her zaman aynı değildir çünkü telefon ücretleri, posta ücretleri, nakliye maliyetleri vb. gibi aslında günden güne değişen bazı faktörlere bağlıdır. Belirli bir malı (sebze, ilaç vb.) elde tutma maliyetinin kış, yaz veya yağmurlu mevsimlerde farklılık göstermesi de beklenen bir durumdur. Yine elde bulundurmama maliyetinin değişkenliğinin, bir üretim döngüsü içinde enflasyonun yüksek olduğu dönemlerde artması kaçınılmazdır. Literatür taraması sırasında değişken maliyetlere bazı modellerin içerisinde yer verildiği tespit edilmiştir.

Google Akademik üzerinden araştırılan yıllar itibariyle üretim miktarı modeli üzerinden, klasik modele yeni varsayımlar ekleyerek geliştirilmiş, alıntılama sayısı ve anlaşılabilirliği yüksek 96 çalışma, Tablo 1'de düzenlenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, özellikle kusurlu üretim süreçlerinin birçok makalede kullanıldığı, yine çevresel etki konusunun son yıllarda daha fazla önemsendiği görülmektedir. Modellerin çözümlenmesinde, gelişmiş çözüm tekniklerine başvurulmasının temelinde değişken maliyetler, olasılıklı talep fonksiyonları ve değişken üretim hızı gibi varsayımların olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Klasik Üretim Miktarı Modeline Yıllar İtibariyle Eklenen Varsayımlar

Yıllara Göre Çalışmalar	Çok aşamalı ürün	Stoksuzluk	Talep Fonksiyonları	Stoklarda bozulma	Üretim Hızı Değişken	Öğrenme ve Unutma	Enflasyon ve Param Zaman Değeri	Ticari Kredi Politikası	Kusurlu Ürün	Yeniden İşleme	Makine Arızaları ve Bakımı	Tedarik Zinciri	Gelişmiş Çözüm Teknikleri	Çevresel Etki	Değerlendirmesi	Kalite	Denetim Hataları	Lider-Takipçi Stratejisi	Değişken elde tutma ve Kurulum maliyetleri	Üretim ve taranma hızı farklı
Hayek ve Salameh (2001)		x							x	x										
Cardenas-Barron (2001)		x																		
Chowdhury ve Sarker (2001)	x			x	x														x	
Su ve Lin (2001)		x	x	x	x															
Ben-Daya (2002)					x				x						x					
Goyal ve Barron (2002)									x											
Chiu (2003)		x							x	x					x					
Chung ve Huang (2003)								x				x								
Chung ve Hou (2003)		x							x	x										
Goyal ve Giri (2003)		x	x	x	x															
Jaber ve Bonney (2003)					x	x			x	x										
Sana vd. (2004)		x	x	x																
Chiu vd. (2004)					x				x	x					x					
Sharma (2004)	x	x		x																
Teng ve Chang (2005)			x	x																
Chui ve Chen (2005)					x	x														
Giri vd. (2005)		x	x																	
Lin ve Gong (2006)				x							x									

Yıllara Göre Çalışmalar	Çok aşamalı ürün	Soksuzluk	Talep Fonksiyonları	Stoklarda bozulma	Üretim Hızı Değişken	Öğrenme ve Unutma	Enflasyon ve Paranın Zaman Değeri	Ticari Kredi Politikası	Kusurlu Ürün	Yeniden İşleme	Makine Arızaları ve Bakımı	Tedarik Zinciri	Gelişmiş Çözüm Teknikleri	Çevresel Etki	Değerlendirmesi	Kalite	Denetim Hataları	Lider-Takipçi Stratejisi	Değişken elde tutma ve Kurulum maliyetleri	Üretim ve tarama hızı farklı
Jaber ve Boney (2007)					x	x														
Wang (2007)		x							x	x					x					
Ojha vd. (2007)	x								x	x		x			x		x			
Alamri ve Belhi (2007)			x	x	x	x														
Chiu vd. (2007)									x	x	x		x		x					
Giri ve Dohi (2007)									x						x					
Lo vd. (2007)		x					x		x	x		x								
Jaber ve Guiffreda (2008)					x	x			x	x										
Eroğlu vd. (2008)		x							x	x					x					
Li vd. (2008)		x																		
Pasandideh ve Niaki (2008)	x											x	x							
Zhang (2009)		x																		
Pentico vd. (2009)		x																		
Cardenas-Barron (2009)		x							x	x										
Yoo vd. (2009)									x	x		x					x			
Sharma (2009)	x	x							x											
Cheng vd. (2010)		x							x	x	x									
Sana (2010)					x				x	x										

Yıllara Göre Çalışmalar	Çok aşamalı ürün	Soksuzluk	Talep Fonksiyonları	Stoklarda bozulma	Üretim Hızı Değişken	Öğrenme ve Unutma	Enflasyon ve Param Zaman Değeri	Ticari Kredi Politikası	Kusurlu Ürün	Yeniden İşleme	Makine Arızaları ve Bakımı	Tedarik Zinciri	Gelişmiş Çözüm Teknikleri	Çevresel Etki	Değerlendirmesi	Kalite	Denetim Hataları	Lider-Takipçi Stratejisi	Değişken elde tutma ve Kurulum malîyetleri	Üretim ve tarama hızı farklı
Sana ve Chaudhuri (2010)					x				x		x									
Ben-Daya ve Hariga (2010)			x		x	x														
Chen ve Kang (2010)								x	x	x		x								
Sana (2011)									x			x						x		
Sarkar vd. (2011)			x				x		x	x										
Kreng ve Tan (2011)								x	x	x		x								
Toews vd. (2011)		x	x																	
Pentico vd. (2011)		x	x																	
Drake vd. (2011)	x	x																		
Chiu vd. (2011)									x	x					x					
Eroğlu ve Karaöz (2011)			x		x	x														
Sing ve Sing (2012)			x				x						x							
Taheri-Tolgari vd. (2012)							x		x	x		x					x			
Mahata (2012)		x		x				x				x								
Wee ve Widyadana (2012)				x					x	x					x					
Glock vd. (2012)			x		x				x	x		x		x	x					
Soni ve Patel (2012)			x		x			x	x	x		x								
Glock ve Jaber (2013)									x	x		x			x			x		
Ouyang ve Chang (2013)		x						x	x	x										

Yıllara Göre Çalışmalar	Çok aşamalı ürün	Soksuzluk	Talep Fonksiyonları	Stoklarda bozulma	Üretim Hızı Değişken	Öğrenme ve Unutma	Enflasyon ve Paranın Zaman Değeri	Ticari Kredi Politikası	Kusurlu Ürün	Yeniden İşleme	Makine Arızaları ve Bakımı	Tedarik Zinciri	Gelişmiş Çözüm Teknikleri	Çevresel Etki	Değerlendirmesi	Kalite	Denetim Hataları	Lider-Takipçi Stratejisi	Değişken elde tutma ve Kurulum malîyetleri	Üretim ve tarama hızı farklı
Stojkowska (2013)		x																		
Pal vd. (2013)			x		x				x	x										
Wee vd. (2013)		x							x	x					x					x
Chen (2013)									x	x	x									
Jawla vd. (2014)		x	x			x	x		x											
Sarkar ve Moon (2014)		x	x						x										x	
Palanivel ve Uthayakumar (2014)		x	x		x		x												x	
Khan vd. (2014)					x	x			x			x					x			
Aydemir vd. (2015)		x							x	x			x		x					
Taleizadeh vd. (2015)									x	x		x	x		x			x		
Tayal vd. (2015)			x	x	x							x			x				x	
Wang vd. (2016)	x		x		x							x	x					x	x	
Jawla ve Singh (2016)	x		x	x		x	x			x				x					x	
Sarkan ve Saren (2016)									x								x			
Talaizadeh vd. (2016)	x								x	x					x					
Nobil ve Taleizadeh (2016)	x								x	x					x					
Hsu ve Hsu (2016)		x							x											
Sarkar vd. (2016)									x	x		x		x				x	x	
Sett vd. (2017)									x								x			

Yıllara Göre Çalışmalar	Çok aşamalı ürün	Stoksuzluk	Talep Fonksiyonları	Stoklarda bozulma	Üretim Hızı Değişken	Öğrenme ve Unutma	Enflasyon ve Param Zaman Değeri	Ticari Kredi Politikası	Kusurlu Ürün	Yeniden İşleme	Makine Arızaları ve Bakımı	Tedarik Zinciri	Gelişmiş Çözüm Teknikleri	Değerlendirmesi	Çevresel Etki	Kalite	Denetim Hataları	Lider-Takipçi Stratejisi	Değişken elde tutma ve Kurulum malîyetleri	Üretim ve tarama hızı farklı
Manna vd. (2017)			x		x				x				x	x						x
Khanna vd. (2017)								x	x	x		x					x			
Sarkar vd. (2018)			x		x				x			x								
Tayyab vd. (2018)	x		x						x	x			x							
Saha ve Chakraborty (2018)			x	x	x															
Chakraborty vd. (2018)		x	x	x			x	x												
Lin ve Lan (2019)			x		x	x		x				x							x	
De ve Mahata (2019)		x							x			x	x							
Halat ve Hafezalkotob (2019)	x											x	x	x				x		
Talehizadeh vd. (2019)	x								x	x				x						
Kundu vd. (2019)	x		x		x		x		x	x			x							
Tsao vd. (2020)									x	x	x									
Ruidas vd. (2020)		x	x		x				x	x			x						x	
Lu vd. (2020)				x									x	x				x	x	
Panja ve Mondal (2020)								x				x	x	x				x	x	
Gaharaei vd. (2021)	x	x	x		x				x				x	x	x				x	
Taheri vd. (2022)			x						x	x	x		x							
Bachar vd. (2022)			x		x	x			x	x		x			x					
Bu Çalışma		x							x	x				x						x

2.2. Kusurlu Üretim Varsayımı Altında Yapılan Çalışmalar

Klasik ekonomik üretim miktarı modelleri, üretilen ürünlerin tamamının sağlam olduğu varsayımı altında oluşturulmaktadır. Bu varsayımın endüstriyel hayatta her zaman geçerli olması mümkün değildir. Kusurlu ürün içeren üretim partilerini dikkate alan çok sayıda modeller geliştirilmiştir. Kusurlu ürünlerin varlığı altında geliştiren modeller, zaman içinde yeniden işleme, tamir, düşük kalite ile satış ya da hurda ürün varsayımlarının da modellere eklenmesini sağlamıştır. Bu çalışmada geliştirilen modelde kusurlu üretim süreci yer alacağından bazı öncü kusurlu üretim sistemine ait literatür ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yayınlar seçilirken Google akademik de alıntılama sayılarına ve makalelerin anlaşılabilirliğine dikkat edilmiştir.

Kusurlu ürün varsayımını içeren ilk çalışmalar arasında Rosenblatt ve Lee'nin (1986), sistemin belli bir noktaya kadar kusursuz ürün üretilip kontrolden çıktığı ve üretimin sonuna kadar kusurlu ürünler üretmeye başladığı çalışması yer almaktadır. Sistem kontrolden çıkana kadar geçen sürenin üstel dağılıma uyduğu varsayılır ve ön siparişe izin verilmez.

Salameh ve Jaber (2000), kusurlu ürünlerin bir tarama süreci ile tespit edildiği ve döngünün sonunda indirimli olarak satıldığı gerçekçi durumu ele almaktadır. Bu nedenle model envanter sistemlerinde tarama ve kalite kontrolün geniş uygulanabilirliği nedeniyle literatürde büyük ilgi görmüştür.

Hayek ve Salameh (2001), kusurlu ürün oranının tekdüze dağılıma uyduğunu varsayarak bir ekonomik üretim miktarı modeli önermişlerdir. Üretim durduğunda, hatalı ürünlerin sabit bir oranda yeniden işlendiği varsayılır. Modelde stoksuzluğa izin verilmiştir.

Chung ve Hou (2003) modeli, stoksuzluğa izin veren, kusurlu süreçlerin varlığında ve izin verilen gecikmiş siparişlerle bir üretim-stok modelinin literatürdeki iyi bir temsilcisidir. Her üretim döngüsünün başlangıcında, üretim süreci her zaman kontrol altındadır ve kusursuz kalitede ürünler üretilir. Bir üretimin belli bir süresinde, üretim süreci kontrollü bir durumdan kontrol dışı bir duruma geçebilir. Üretim süreci kontrol dışı bir duruma geçtiğinde, üretim döngüsünün sonuna kadar

tespit edilemez ve süreç üretime devam eder ve üretilen kalemlerin sabit bir oranı kusurlu hale gelir. Üretilen tüm kusurlu ürünler, üretim döngüsü bittikten sonra tespit edilir ve kusurlu ürünler için yeniden işleme maliyeti oluşur. Talep oranı sabit ve deterministiktir.

Chiu (2003) tarafından geliştirilen modelde kusurlu ürünlerin belirli bir oranının yeniden işlenerek kusursuz hale getirildiği ve geriye kalan miktarın ise hurda olarak ayrıldığı varsayımı kullanılmıştır. Hayek ve Salameh (2001) modelini bu varsayımla geliştirmiştir.

Chan vd.'nin (2003) amacı, daha düşük fiyatlandırma ile düşük kalitede ürünleri elden çıkarmak, kusurlu ürünleri yeniden işleyerek ve hurda ürün durumlarını tek bir ekonomik üretim miktarı modeline entegre etmek için bir çerçeve sağlamaktır. Bu model, kusurlu olması gerekmeyen ama düşük kalitedeki kalemlerin başka bir üretim durumunda kullanılabileceğini veya belirli bir alıcıya daha düşük bir fiyata satılabileceğini varsayar. Elektronik ve giyim endüstrileri bu tür durumlara örnek gösterir. Matematiksel bir model geliştirilmiş ve çözüm prosedürlerini göstermek için sayısal bir örnek sunulmuştur.

Chiu vd. (2007), hurda ürün, yeniden işleme ve stokastik makine arızaları ile ekonomik bir üretim miktarı modeli için optimum çalışma süresinin belirlenmesi ile ilgilenir. Üretim-stok maliyet ifadelerini makine arızası senaryoları ile arızanın yaşanmadığı senaryoları formüle ederler. İki işlevi birleştirerek, optimum döngü uzunluğunu bulurlar.

Eroğlu vd. (2008), üretilen ürünlerdeki kusur oranının normal dağılım gösterdiği ve kusurlu ürünlerin tamir edilebilir, düşük kalite ve hurda olarak ayrıldığı varsayımı altında ekonomik üretim miktarı modeli geliştirmiştir.

Jaber vd. (2008), Salameh ve Jaber'in (2000) modelini varsayım genişleterek çalışmıştır. Modelin sonuçları, öğrenme arttıkça kusurlu birim sayısının, sevkiyat boyutunun ve maliyetin azaldığını göstermiştir.

Chung vd. (2009), perakendecinin sahip olduğu deponun sınırlı bir depolama kapasitesine sahip olduğu ve mevcut sahip olunan depoya alternatif olarak kiralık bir deponun kullanılabileceği bir envanter modeli geliştirmek için temel iki depo ve kusurlu kalite kavramlarını birleştirmiştir. Klasik envanter modelleri genellikle

mevcut deponun sınırsız kapasiteye sahip olduğunu varsayar. Geçici fiyat indirimleri gibi perakendecilerin kendi depolarını aşan bir kapasitede mal satın almalarına neden olan birçok faktör vardır. Bu durumda perakendeciler, iş ihtiyaçları için başka depolar kiralayabilirler. Bu makale aynı anda iki depo ve kusurlu kaliteli ürün ile yeni bir envanter modeli oluşturmaktadır. Yıllık toplam kârı maksimize eden matematiksel model ve çözüm prosedürü geliştirilmiş ve bunları göstermek için sayısal örnekler verilmiştir.

Khan vd. (2011), Salameh ve Jaber'in (2000) modelini kusurlu ürünlerin satıldığı veya değiştirildiği durumu da içerecek şekilde genişletmiştir. Modelde, tarama aşamasında öğelerin yanlış sınıflandırılması nedeniyle Tip 1 ve Tip 2 hataları hesaba katılır.

Wee vd. (2013), Stoksuzluğa izin veren, tarama hızının üretim hızından daha az veya ona eşit olduğu kusurlu kaliteli ürünler için ekonomik üretim miktarı modelleri üzerinde çalışmıştır. Üretim başladığında ön siparişlerin tarama sürecinden geçmiş iyi ürünlerle karşılandığı varsayılmıştır. Tarama oranı üretim oranından düşükse, ön siparişleri karşılama oranının tarama hızına göre belirlendiği gösterilmiştir. Modelde kusurlu ürünlerin belli bir hurda ürün oranı ile ayrıldığı ve imha edildiği varsayılmaktadır. İmhası gerekmeyecek kadar iyi olan kusurlu ürünler ise kusurlu ürün satış fiyatı ile satılır.

Hsu ve Hsu (2016), beklenen kusurlu orana dayalı karar vermenin yeterli olup olmadığını görmek için verim değişkenliğinin etkisini ve kusurlu oranın stokastik davranışını incelemektedir. Düşük kaliteli ürünlerin ya hurdaya ayrıldığını (örneğin ilaç şirketleri gibi bazı sektörlerde) ya da stokta tutulduğunu ve indirimli fiyattan tek bir parti olarak satıldığını (örneğin giyim endüstrisinde, kusurlu ürünler her zaman indirimli fiyattan satılabilir; elektronik endüstrisinde, kusurlu kalitedeki ürünler başka bir üretim/stok durumunda kullanılabilir ve mobilya mağazaları, indirimli fiyattan satılmak üzere kusurlu ürünleri satabilir) ifade eder. Çalışma kurduğu modellerde üç çıkarımdan bahsetmektedir. (1) Kusurlu oranı küçükse, yönetimin kusurlu oranın olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ilgili bilgi toplama zahmetine girmesi gerekmez. Yönetim, ortalama kusurlu oranını bir tahmin olarak kullanabilir ve üretim parti büyüklüğü ve maksimum bekleyen sipariş miktarına ilişkin kararlar

almak için sabit bir kusurlu oran varsayabilir. (2) Kusurlu ürünleri mümkün olan en kısa sürede satmak daha iyi olsa da, bunları günlük olarak elden çıkarmanın zorluğu, elde tutmadaki tasarruftan ağır basıyorsa, üretici bunları stokta tutabilir ve uygun bir zamanda toplu olarak satabilir. (3) Müşteriler beklemeye istekli olduğu sürece, imalatçının bazı planlı kıtlıklara sahip olması karlıdır.

Manna vd. (2017), reklama bağlı talep oranına sahip kusurlu bir üretim envanteri modeli ile klasik üretim miktarı modelini genişletmişlerdir. Burada üretim hızı bir karar değişkeni olarak kabul edilir. Ayrıca kusurlu ürün üretme oranı, üretim hızının bir fonksiyonu olarak takip edilmiştir. Bu makale aynı zamanda kusurlu ürünlerin tarama süreci sonunda indirimli fiyattan tek parti olarak satılması konusunu da ele almaktadır. Tarama hızı, üretim hızından küçük olduğu kabul edilmiş ve üretim hızı ile orantılı olarak değiştirilmiştir. Reklam oranının zamana göre azalan bir oranda arttığı, zamanın bir fonksiyonu olduğu varsayılmıştır. Burada kusurlu üretim envanter modelinin optimal kârını bulmaya yönelik algoritmalar geliştirilmiştir. Stoksuzluğa izin verilmemiştir. Üretim hızı karar değişkeni olarak kullanılmıştır.

Al-Salamah (2018), yapay arı kolonisi yöntemine dayalı olarak kusurlu kalite ve rastgele makine arızası bulunan bir ekonomik üretim miktarı modeli dikkate almış ve tek değişkenli beklenen ortalama maliyet fonksiyonunu hesaplayarak optimal parti büyüklüğünü üretmiştir. Bu makale, kusurlu ve güvenilir olmayan tek bir makineden oluşan bir üretim envanter sistemini ele almaktadır. Sistem tarafından üretilen ürünler ya mükemmel kalitede ürünlerdir ya da kusurlu ürünlerdir ve mükemmel kaliteye geri döndürülmek için yeniden işlenmesi gerekmektedir. Yeniden işleme oranının üretim hızından farklı olmasına izin verilir. Kusurlu öğelerin oranı ve makinenin arızalanma süresi belli bir dağılıma uyan değişkenlerdir. Bir parti üretim tamamlanmadan makine arızalanırsa üretime ara verilir ve hemen makine onarımına geçilir. Modeldeki karmaşıklık nedeniyle, parti büyüklüğü için optimale yakın bir değer bulmak için ABC buluşsal yöntemi önerilmiş ve uygulanmıştır.

Salas-Navarro vd. (2019), kusurlu bir üretim sistemi ve tek bir ürün için bir üretici ve birden fazla perakendeci ile iki kademeli bir tedarik zinciri için değişken talep ile ekonomik üretim miktarı modelini incelemektedir. Kusurlu sistem üretimi,

depolanan ve satışa hazır olan iyi kalitede ürünlerin sayısını azalttığı için parti büyüklüğündeki üretimi etkiler. Envanter modeli, ürünlere olan talebin üstel bir olasılık dağılım fonksiyonunu izleyen rastgele bir değişken olduğunu düşünür ve talep aynı zamanda satış ekiplerine de bağlıdır. Çalışmada işbirlikçi ve iş birlikçi olmayan iki yaklaşımda ele alınır. İş birlikçi yaklaşım, üretici ve perakendecilerin pazar talebini karşılamak için ortak stratejiler oluşturmalarına ve kaynakları, teşvikleri ve pazarlama girişimlerini paylaşmak için bilgi alışverişine dayalı işbirlikçi planlama stratejileri uygulayarak tedarik zincirinin tüm üyelerinin faydalarını artırmasına olanak tanır.

Gautam vd. (2019), kusurlu ürünlerin ve karbon emisyonlarının yönetimi ile ilgili bir model önerisinde bulunmuştur. Kusurlu ürünlerin belirli bir oranı, alıcının alanında incelemeye tabi tutulan satıcı tarafından üretilir. Ayıklanan kusurlu ürünler, alıcı tarafından satıcıya iade edilir ve ikinci bir maliyete maruz kalır. Satıcı, kusurlu ürünleri işlemeye yönelik geleneksel yaklaşımları benimsemek yerine, kusurlu ürünleri üç kategoride sınıflandıran güçlü bir teftişe yatırım yapmayı tercih eder; onarılabilir, onarılamaz ve tasarım kusurlu olanlar. Satıcı ayrıca nakliye ve atık bertarafından kaynaklanan karbon emisyon maliyetlerini sürdürülebilirliğe yönelik bir adım olarak değerlendiriyor. Çalışmada iki model geliştirilmektedir, ilk model entegre tedarikçi işbirliği problem çözme yaklaşımını tartışır ve ikincisi Stackelberg politikasını kullanır. Bulgular, entegre modelin Stackelberg oyun modeline göre daha iyi performans gösterdiğini gösteriyor. Ayrıca çalışma, finansal hedeflerden ödün vermeden sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kusur yönetiminin önemini vurgulamaktadır.

Ruidas vd.'ne (2020) göre gerçekte, belirli bir ürünün talebi, mağazalardaki stok seviyesinden ve ürünün satış fiyatından büyük ölçüde etkilenmektedir. Önerilen modelde ürüne olan talep bu iki önemli faktöre bağlıdır. Gerçek hayattaki üretim sistemlerinde her zaman, onları kullanışlı hale getirmek için yeniden işlemeyi gerektiren bazı hatalı ürünler de vardır. Modelde bazı hatalı parçaların normal üretim sürecinde üretilme ve bunların yeniden işlenmesi olasılığı dikkate alınmıştır. Talep edilebilirliği yüksek ürünlerin stoklanması durumunda üretim hızının taleple orantılı olduğu varsayımı modelde çalışılmıştır. Bu modelde üretim hızı değişkendir ve talep oranına göre değişir. Stoksuzluğa izin verilir. Ayrıca ilgili envanter maliyeti

parametreleri sabit değildir ve bazı senaryolara bağlı olarak zaman zaman değişiklik gösterebilir. Çeşitli maliyet parametrelerini aralık sayıları olarak dikkate alarak bu varsayımlar altında bir üretim envanter modeli geliştirilmektedir. Sonuç olarak ilgili optimizasyon problemi de aralık değerlidir. Tek bir çevrimde maksimum karı bulmak için kuantum davranışlı parçacık sürüsü optimizasyon tekniği uygulanmıştır.

Literatürde incelenen, üretim süreçleri kusurlu olan üretim miktarı modellerinin çoğu, taramanın etkisini görmezden gelmektedir. İncelenen 97 makale arasından tarama hızının üretim hızına eşit veya daha az olduğu ve aynı zamanda talep oranından daha yüksek olduğu yaklaşımını benimseyen sadece iki çalışmaya (Wee vd., 2013; Mannna vd., 2017) rastlanmıştır. Her iki çalışma da kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesi varsayımını ihmal etmiştir. Literatürde tarama oranı-üretim oranı arasındaki ilişkinin incelenmesiyle ilgili bir boşluk olduğu tespit edilmiştir.

3. BÖLÜM

ÜRETİM VE TARAMA HIZI FARKLI EKONOMİK ÜRETİM MİKTARI MODEL ÖNERİLERİ

Kusurlu ürün içeren envanter modelleri literatürde önemli bir ilgi görmüştür. Mevcut çalışmaların çoğu üretim döngüsü içinde tarama hızı ile üretim hızı arasındaki ilişkiyi ihmal etmiş ve hızı eşit kabul etmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, yapılan ayrıntılı literatür çalışmasından elde edilen sonuçlar da veri alınarak kusurlu bir üretim sürecini içeren iki model önerisinde bulunulmuştur.

1. Stoksuzluğa izin verilmemesi varsayımı altında tarama ve yeniden işleme süreçlerini içeren, üretim hızının tarama hızından büyük olduğu bir ekonomik üretim miktarı modeli,
2. Stoksuzluğa izin verilen, üretim hızının tarama hızından büyük olduğu, tarama ve yeniden işleme süreçlerini içeren bir ekonomik üretim miktarı modeli.

Geliştirilen bu modellerin uygulanabilirliğini göstermek için sayısal örnekler verilmekte ve kusurlu ürün oranındaki değişimlerin optimum çözümler üzerindeki etkileri duyarlılık analizi ile incelenmektedir. Üretim ve tarama hızının farklı olması varsayımı her iki modelde de kullanılmıştır.

3.1. Stoksuzluğa İzin Verilmemesi Durumunda Üretim ve Tarama Hızının Farklı Olması Durumunda Yeni Bir Model Önerisi

Modelde tek bir ürün üretilmekte ve üretilen ürünlerin belli bir oranı kusurlu olmaktadır. Üretim hızının tarama hızından büyük olduğu varsayıldığından üretim süreci tamamlandıktan sonra tarama bir süre daha devam etmektedir. Kusurlu ürün oranı rassal değişken olup, belli bir olasılık dağılımına uyduğu kabul edilmektedir. Kusurlu ürünlerin tamamı yeniden işlenerek kusursuz hale getirilmektedir.

3.1.1. Model Parametreleri

α : Birim zamandaki üretim hızı

α_1 : Birim zamandaki tamir hızı

β : Birim zamandaki talep hızı

c : Birim üretim maliyeti

c_r : Birim yeniden işleme (tamir) maliyeti

d_1 : Üretim sırasındaki tarama maliyeti

d_2 : Üretim durduktan sonra kusurlu ürünün tarama maliyeti

h : Birim zamandaki elde bulundurma maliyeti

h_1 : Birim zamanda kusurlu ürünlerin elde bulundurma maliyeti

p : $f(p)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu ile kusurlu ürün oranı

K : Üretim kuruluş maliyeti (sabit)

x : Birim zamandaki tarama hızı

y : Bir üretim döngüsü boyunca üretilen optimum ürün miktarı

t : Üretim döngüsü ve $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$

t_1 : α hızıyla üretim ve x hızıyla muayene için gerekli olan süre

t_2 : Üretimden sonra bitmemiş muayene için gerekli olan süre

t_3 : Kusurlu ürünlerin α_1 hızıyla tamir edilmesi için gerekli olan süre

t_4 : I_3 miktar sağlam ürünün β hızıyla tüketilmesi için gerekli olan süre

TC : Bir üretim döngüsündeki toplam maliyet

$ETC(y)$: Bir üretim sürecindeki beklenen toplam maliyet

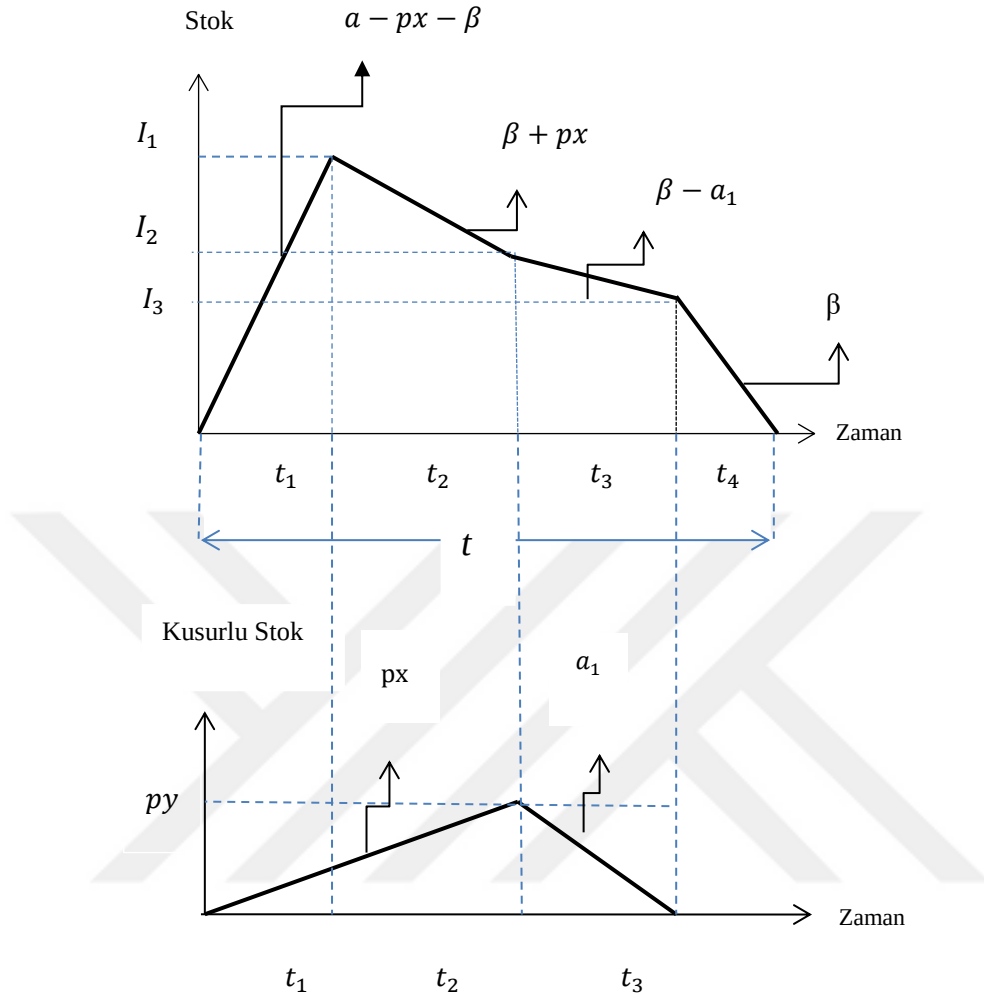
$ETCU(y)$: Birim zamanda beklenen toplam maliyet

3.1.2. Modelin İşleyişi ile İlgili Gerekli Varsayımlar

- [1] Üretilen ürünlerin üretim hızı ve talep oranı bilinir ve sabittir.
- [2] Ham maddeler ve üretilen ürünler için kurulum maliyeti ve birim elde bulundurma maliyeti bilinmekte ve sabittir.
- [3] Tarama ve yeniden İşleme maliyeti sabittir.
- [4] Kusurlu ve kusursuz ürünlerin ayrılması sırasında hata yapılmamaktadır.
- [5] Üretim süreci birim zamanda a miktarda üretim yapmakta ve üretimin kusur oranı p 'dir. Kusurlu ürün oranı rassal değişken olup olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(p)$ 'dir.
- [6] Birim zamanda kusursuz ürünlere olan talep miktarı β olup talebin tamamının karşılanabilmesi için en az $\beta/(1 - p)$ adet ürünün incelenmesi gerekir. Tarama hızının $\beta/(1 - p)$ oranından büyük olması gerekliliği göz ardı edilirse talep tamamen kusursuz ürünlerden karşılanamaz ve kıtlık oluşur. $\beta/(1 - p) \leq x \leq a$
- [7] Stoksuzluğa izin verilmemektedir.
- [8] Üretim dönemi boyunca tarama maliyeti, üretim dönemi tamamlandıktan sonraki tarama maliyetinden yüksektir, $d_1 > d_2$.

3.1.3. Modelin Elde Edilmesi

Kusurlu bir üretim sürecinde, üretim hızının tarama hızından yüksek olduğu, üretim tamamlandıktan sonra taramanın bir süre daha devam ettiği, kusurlu ürünlerin ayrı bir birimde stoklanıp tamir edilmek üzere biriktirildiği ve stoksuzluğa izin verilmeyen durum için sağlam ve kusurlu stok seviyesinin zamana göre değişimi Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Üretim ve Tarama Hızı Farklı Olması Durumunda Bir Çevrim Süresinde Üretilen Envanterin Zamanla Değişimi

Tarama oranı x , üretim oranı a 'dan küçük ise üretilen ürünlerin tamamı, at_1 , üretim periyodunda taranamaz. Üretilen y adet ürünün t_1x adedi üretim periyodunda ve geri kalan $y - t_1x$ adedi tarama periyodu t_2 'de taranacaktır. Kusurlu ürünler; üretim ve tarama periyotlarında px hızı ile stoklanmaktadır. Tarama periyodundan sonra kusurlu ürünler a_1 tamir hızı ile tamir edilerek, sağlam ürünler stoğuna dahil edilmektedir. Ürünler t_1 süresince a hızıyla üretilmekte ve x hızıyla muayene edilerek kusurlu ile kusursuz ürünler birbirinden ayrılmaktadır. x hızıyla muayene edilmesi sonucunda, px hızıyla oluşan kusurlu ürünler, kusurlu ürün envanterine ilave edilmektedir. y miktar ürün t_1 süresince a hızıyla üretildiğinden;

Şekil 1. göz önüne alındığında;

Üretim süresi,

$$t_1 = y/\alpha \quad (1)$$

ve Şekil 1'den

$$t_1 = \frac{I_1}{\alpha - px - \beta} \quad (2)$$

olur. Eşitlik (1) ve (2)'den

$$I_1 = \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} - \frac{px}{\alpha}\right) y \quad (3)$$

Elde edilir. t_1 in sonunda muayene edilmemiş ürün miktarı

$$y - xt_1 = \left(1 - \frac{x}{\alpha}\right) y \text{ olarak elde edilir.}$$

t_2 süresince muayene edilmemiş ürünler x hızıyla muayene edileceğinden üretimden sonraki tarama süresi,

$$t_2 = \frac{\left(1 - \frac{x}{\alpha}\right) y}{x} = \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{\alpha}\right) y \quad (4)$$

olur. t_2 süresince muayene sonucu px hızıyla açığa çıkan kusurlu ürünler Şekil 1'deki envanterden düşülerek kusurlu ürün envanterine ilave edilmektedir. Bu süre sonunda kusurlu ve kusursuz ürünler tamamıyla birbirinden ayrılmıştır. Şekil 1'den;

$$t_2 = \frac{I_1 - I_2}{px + \beta} \quad (5)$$

ve Eşitlik (4) ve (5)'den;

$$I_2 = \left(1 - p - \frac{\beta}{x}\right) y \quad (6)$$

elde edilir. Kusurlu ürünler $t_1 + t_2$ süresince px hızıyla birikerek py miktara

$$(py = (t_1 + t_2)px) \text{ ulaşmaktadır.}$$

t_3 süresince ise kusurlu ürünler α_1 hızıyla tamir edilerek sağlam ürün haline getirilmektedir. Buradan;

Tamir süresi;

$$t_3 = \frac{py}{\alpha_1} \quad (7)$$

Şekil 1'den

$$t_3 = \frac{I_2 - I_3}{\beta - \alpha_1} \quad (8)$$

ve Eşitlik (7) ve (8)'den

$$I_3 = \left(1 - \frac{\beta}{x} - \frac{p\beta}{\alpha_1}\right)y \quad (9)$$

elde edilir. I_3 miktar ürün t_4 süresince talebi karşılayacağından;

$$t_4 = \frac{I_3}{\beta} = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{x} - \frac{p}{\alpha_1}\right)y \quad (10)$$

elde edilir.

Kusurlu ürünlerin tamamı tamir edilerek sağlam ürün haline getirildiğinden; bir çevrimdeki sağlam ürün miktarı; çevrimdeki üretim miktarına (y) eşit olur. Çevrim süresi (t) ise sağlam ürün miktarının talep hızına oranlanmasıyla elde edileceğinden;

$$t = \frac{y}{\beta} \quad (11)$$

olur. Bir çevrimdeki toplam maliyet (TC); satın alma maliyeti, tamir maliyeti, muayene maliyeti, sipariş maliyeti ve stok maliyeti toplamından oluşacağından:

$$\begin{aligned} TC &= cy + c_r py + d_1 xt_1 + d_2(y - xt_1) + K + h \left[\frac{t_1 I_1}{2} + \frac{t_2(I_1 + I_2)}{2} + \frac{t_3(I_2 + I_3)}{2} + \frac{t_4 I_3}{2} \right] \\ &+ h_1 \left[\frac{(t_1 + t_2 + t_3)py}{2} \right] \\ &= \left[c + c_r p + (d_1 - d_2) \frac{x}{\alpha} + d_2 \right] y + K + \left\{ \frac{h}{2} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha} \right) + \frac{(h_1 - h)}{2} \left(\frac{p}{x} + \frac{p^2}{\alpha_1} \right) \right\} y^2 \end{aligned} \quad (12)$$

elde edilir. $E[.]$ Beklenen değer operatörü olmak üzere p rassal değişkenin olduğu tüm eşitliklerin gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\text{Eşitlik (3)'de } I_1 = \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} - \frac{E[p]x}{\alpha}\right)y,$$

$$\text{Eşitlik (6)'da } I_2 = \left(1 - E[p] - \frac{\beta}{x}\right)y,$$

Eşitlik (7)'de $t_3 = \frac{E[p]y}{\alpha_1}$,

Eşitlik (9)'da $I_3 = \left(1 - \frac{\beta}{x} - \frac{E[p]\beta}{\alpha_1}\right)y$,

Eşitlik (10)'da $t_4 = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{x} - \frac{E[p]}{\alpha_1}\right)y$ olarak ifade edilmelidir.

$E[.]$ Beklenen değer operatörü olmak üzere çevrim başına beklenen toplam maliyet;

$$ETC = \left[c + c_r E[p] + (d_1 - d_2) \frac{x}{\alpha} + d_2 \right] y + K + \left\{ \frac{h}{2} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha} \right) + \frac{(h_1 - h)}{2} \left(\frac{E[p]}{x} + \frac{E[p^2]}{\alpha_1} \right) \right\} y^2 \quad (13)$$

elde edilir. Çevrim süresinin beklenen değerinin ($E[t] = \frac{y}{\beta}$); çevrim başına beklenen toplam maliyete (ETC) oranlanması ile aşağıdaki birim zamandaki beklenen toplam maliyete ($ETCU$) ulaşılır.

$$ETCU = \frac{ETC}{E[t]} = \left[c + c_r E[p] + (d_1 - d_2) \frac{x}{\alpha} + d_2 \right] \beta + \frac{K\beta}{y} + \left\{ \frac{h}{2} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha} \right) + \frac{(h_1 - h)}{2} \left(\frac{E[p]}{x} + \frac{E[p^2]}{\alpha_1} \right) \right\} \beta y \quad (14)$$

Optimum üretim miktarını bulmak için $ETCU$ fonksiyonunun y değişkenine göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\frac{dETCU}{dy} = -\frac{K\beta}{y^2} + \left\{ \frac{h}{2} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha} \right) + \frac{(h_1 - h)}{2} \left(\frac{E[p]}{x} + \frac{E[p^2]}{\alpha_1} \right) \right\} \beta = 0 \quad (15)$$

$$y = \sqrt{\frac{2K}{h\left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha}\right) + (h_1 - h)\left(\frac{E[p]}{x} + \frac{E[p^2]}{\alpha_1}\right)}} \quad (16)$$

3.1.4. Sayısal Örnek

Bir fabrika tek kalem A malı üretmektedir. A malına olan günlük talep ve üretim kapasitesi bilinmektedir. Çeşitli nedenlerden dolayı kusurlu üretim yapılmakta ve kusurlu ürün oranının belli bir olasılık dağılımına uyduğu varsayılmaktadır. Üretim esnasında muayene (inceleme) yapılarak kusurlu ürünlerle sağlam ürünleri birbirinden ayrılmaktadır. Kusurlu ürünlerin tamamı tamir edilerek sağlam ürün haline getirilmektedir,

Günlük talep miktarı (adet)	$\beta = 1,200$
Günlük üretim kapasitesi (adet)	$\alpha = 5,000$
Günlük muayene kapasitesi (adet)	$x = 4,000$
Üretim devam ederken birim muayene maliyeti (TL)	$d_1 = 1.2$
Üretim tamamlandıktan sonra birim muayene maliyeti (TL)	$d_2 = 1$
Günlük tamir kapasitesi (adet)	$\alpha_1 = 600$
Birim tamir maliyeti (TL)	$cr = 10$
Birim üretim maliyeti (TL)	$c = 50$
Hazırlık maliyeti 16,700 TL	$K = 16,700$
Birim stok maliyeti (TL)	$h = 2$
Kusurlu ürünlerin stok maliyeti (TL)	$h_1 = 3$

3.1.4.1. Normal Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri

Kusurlu ürün oranının; ortalaması $\mu = 0.06$ ve varyansı $\sigma^2 = 0.0001$ olan normal dağılımlı olduğu varsayımı altında beklenen değerler

$$E[p] = \mu = 0.06, E[p^2] = \mu^2 + \sigma^2 = 0.0037 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Böylece Eşitlik (15) ve (16)' dan

$$y = 5092.64 \text{ adet ,} \quad ETCU = 69982.17 \text{ lira olarak}$$

hesaplanır.

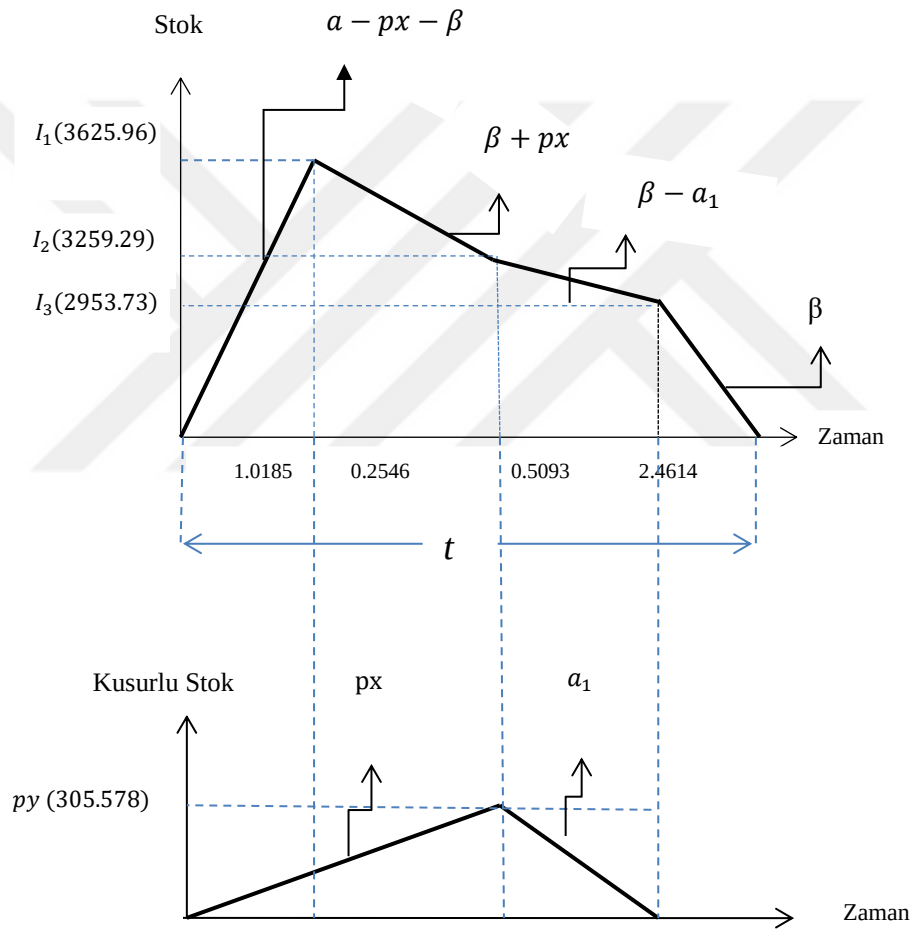
Ayrıca;

$$E[t] = 4.2439 \text{ gün}, E[t_1] = 1.0185 \text{ gün}, E[t_2] = 0.2546 \text{ gün},$$

$$E[t_3] = 0.5093 \text{ gün}, E[t_4] = 2.4614 \text{ gün}, E[I_1] = 3625.96 \text{ adet}$$

$$E[I_2] = 3259.29 \text{ adet}, E[I_3] = 2953.73 \text{ adet} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bulunan sonuçlara göre modelde sayısal veriler yerine konularak Şekil 6 oluşturulmuştur.



Şekil 6. Kusurlu Ürün Oranının Normal Dağıldığı Durumda Sağlam ve Kusurlu Ürün Stok Düzeyleri

3.1.4.2. Tekdüze Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri

Kusurlu ürün oranının tekdüze dağılıma uyduğu ve olasılık yoğunluk fonksiyonunun

$$f(p) = \begin{cases} \frac{100}{3}, & 0.04 \leq p \leq 0.07 \\ 0, & d.d \end{cases} \quad \text{olduğu varsayımı altında beklenen değerler;}$$

$E[p] = \mu = 0.055, E[p^2] = 0.0031$ olarak hesaplanmıştır.

Böylece eşitlik (15) ve (16)' dan

$y = 5097.10 \text{ adet}$ $ETCU = 69915.30 \text{ lira}$ olarak hesaplanır.

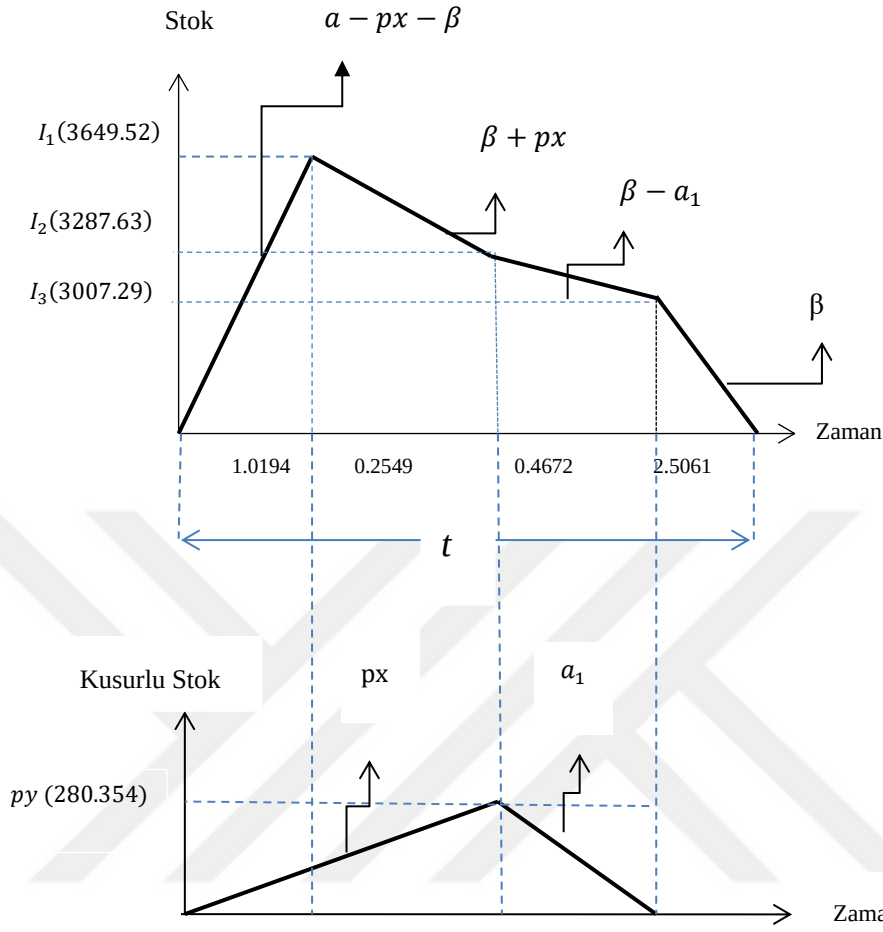
Ayrıca,

$E[t] = 4.2476 \text{ gün}, E[t_1] = 1.0194 \text{ gün}, E[t_2] = 0.2549 \text{ gün},$

$E[t_3] = 0.4672 \text{ gün}, E[t_4] = 2.5061 \text{ gün}, E[I_1] = 3649.52 \text{ adet},$

$E[I_2] = 3287.63 \text{ adet}, E[I_3] = 3007.29 \text{ adet}$ elde edilir.

Bulunan sonuçlara göre modelde sayısal veriler yerine konularak Şekil 7 oluşturulmuştur.



Şekil 7. Kusurlu Ürün Oranının Tekdüze Dağıldığı Durumda Sağlam ve Kusurlu Ürün Stok Düzeyleri

3.2. Stoksuzluğa İzin Verilen Durum İçin Üretim ve Taraması Hızı Farklı Olması Durumunda Yeni Bir Model Önerisi

Geliştirilen modelde stoksuzluğa izin verilen bir durum için üretim hızının tarama hızından yüksek olduğu varsayımı altında çalışılmıştır. Modelde tek bir ürün üretilmekte ve üretilen ürünlerin belli bir oranı kusurlu olmaktadır. Stoksuzluğa düşülen dönemin sonunda, stoksuzluğu elimine etmek için geçen süre, üretim için gerekli olan süreden küçük olacak şekilde model tasarlanmıştır. Ayrıca bu varsayım ile modelin işleyişinde önce stoksuzluğun giderildiği, devam eden süre içerisinde üretimin ve bunun doğal sonucu olarak taramanın yapılmasıyla stok miktarında artışın gerçekleştiği, üretimin sonunda taramanın bir süre daha devam ettiği

öngörülmüştür. Kusurlu ürün oranı rassal değişken olup, belli bir olasılık dağılımına uyduğu kabul edilmektedir.

Tamir edilebilir kusurlu ürünler ise bir kısmı yeniden üretim sürecinden geçirilerek sağlam ürün haline getirilmekte, bir kısmı ise hurda ürün olarak ayrılmaktadır.

3.2.1. Model Parametreleri

- a : Birim zamandaki üretim hızı
 a_1 : Birim zamandaki tamir hızı
 β : Birim zamandaki talep hızı
 c : Birim üretim maliyeti
 c_r : Birim yeniden işleme (tamir) maliyeti
 c_s : Birim hurda maliyeti
 d : Üretim sırasındaki tarama maliyeti
 h : Birim zamandaki elde bulundurma maliyeti
 h_1 : Birim zamanda kusurlu ürünlerin elde bulundurma maliyeti
 b : Elde bulundurmama maliyeti
 p : $f(p)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu ile kusurlu ürün oranı
 p_1 : Hurda ürün oranı
 K : Üretim kuruluş maliyeti (sabit)
 λ : Birim zamandaki tarama hızı (kusurlu ile kusursuz ürünleri birbirinden ayırma miktarı)
 γ : Bir üretim döngüsü boyunca üretilen optimum ürün miktarı
 t : Üretim döngüsü $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$
 t_1 : β hızıyla talebin olduğu ve stoksuzluğa düşülen süre
 t_2 : α hızıyla üretim için gerekli olan süre

t_3 : Hem üretimin, hem de tamanın olduğu aynı zamanda kusurlu ürünlerin bir yandan stoklandığı ve talebinde karşılanabilmesi için gerekli olan süre

t_4 Üretimin yapılmadığı sadece kusurlu ürünlerin ayrıldığı ve talebin karşılanması için gerekli olan süre

t_5 : Kusurlu ürünlerin α_1 hızıyla tamir edilerek sağlam ürün haline getirilmesi için gerekli olan süre (bu sürenin sonunda tamir edilemeyen ürünler hurda olarak ayrılır)

t_6 : Belli miktar sağlam ürünün β hızıyla tüketilmesi için gerekli olan süre

TC : Bir üretim döngüsündeki toplam maliyet

$ETC(y)$: Bir üretim sürecindeki beklenen toplam maliyet

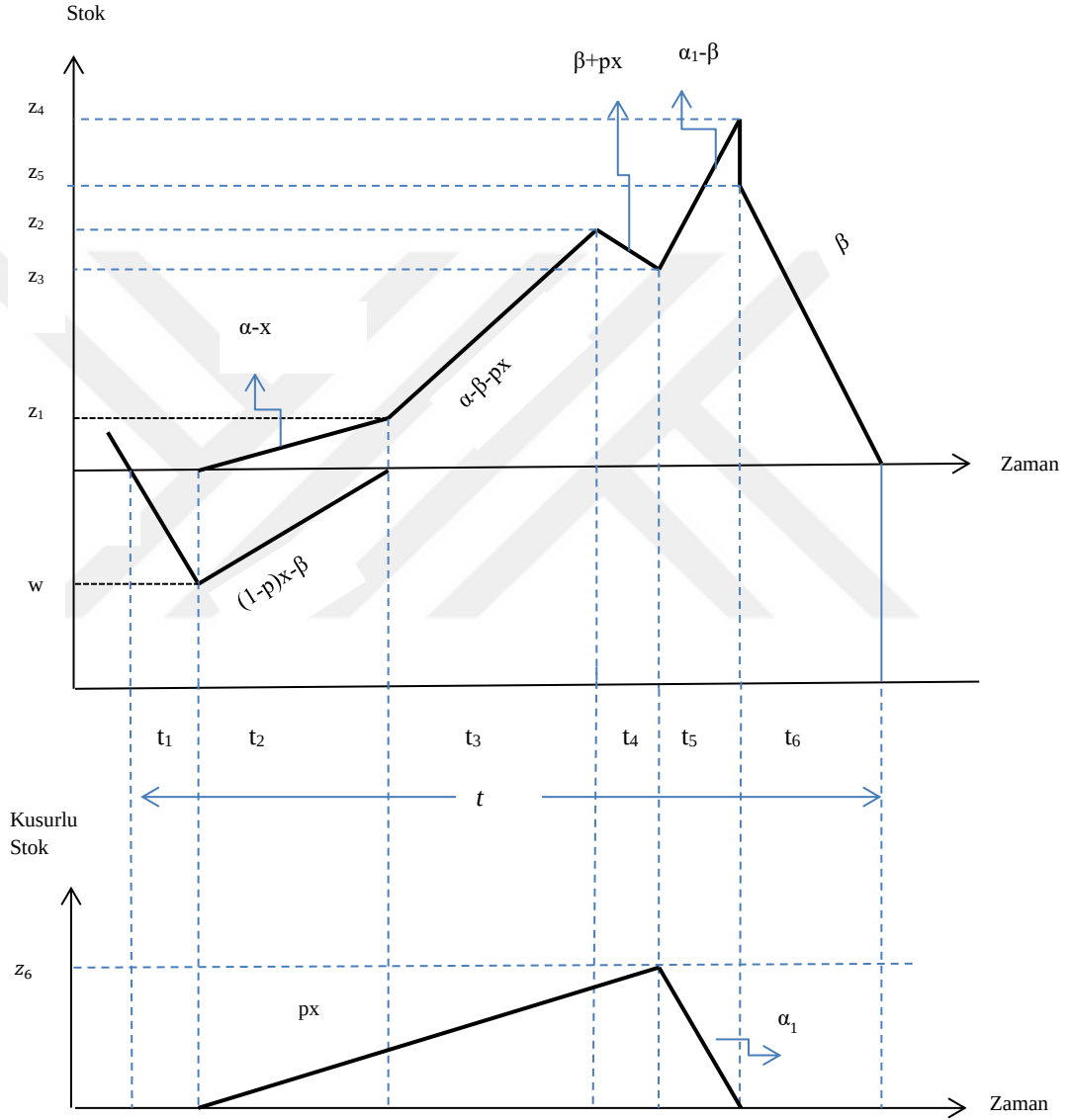
$ETCU(y)$: Birim zamanda beklenen toplam maliyet

3.2.2. Modelin İşleyişi ile İlgili Gerekli Varsayımlar

- [1] Üretilen ürünlerin üretim hızı ve talep oranı bilinir ve sabittir.
- [2] Ham maddeler ve üretilen ürünler için kurulum maliyeti ve birim elde bulundurma maliyeti bilinmekte ve sabittir.
- [3] Muayene ve tamir maliyeti sabittir.
- [4] Kusurlu ve kusursuz ürünlerin ayrılması sırasında hata yapılmamaktadır.
- [5] Üretimin kusurlu ürün oranı p 'dir. Kusurlu ürün oranı rassal değişken olup olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(p)$ 'dir.
- [6] Tarama sonrası kusurlu ürünlerin tamir edilme hızı a_1 ve sabittir.
- [7] Kusurlu ürünlerin tamir edilemeyen hurda ürün oranı p_1 'dir. Hurda ürün oranı rassal değişken olup olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(p_1)$ 'dir.
- [8] Birim zamanda kusursuz ürünlere olan talep miktarı β olup talebin tamamının karşılanabilmesi ve talebin kusursuz ürünlerden karşılanabilmesi için en az $\beta/(1-p)$ adet ürünün incelenmesi gerekir. Tarama hızının $\beta/(1-p)$ oranından büyük olması gerekliliği göz ardı edilirse talep tamamen kusursuz ürünlerden karşılanamaz ve kıtlık oluşur.
- [9] Stoksuzluğa izin verilmektedir.

3.2.3. Matematiksel Modelin Elde Edilmesi

Stoksuzluğun giderilmesi için geçen sürenin üretim için geçen süreden daha kısa olması durumu ile üretim hızının tarama hızından yüksek olduğu, üretim tamamlandıktan sonra taramanın bir süre daha devam ettiğini durum için kusurlu ve kusursuz stok seviyesinin zamana göre değişimi Şekil 8’de verilmektedir.



Şekil 8. Stoksuzluğa İzin Verilen, Üretim ve Taraması Hızı Farklı Olması Durumunda Bir Çevrim Süresinde Ertelenen ve Üretilen Envanterin Zamanla Değişimi

Modelde üretim hızının tarama hızından büyük olduğu varsayımı altında çalışılmıştır ($\alpha > x > \beta$). Ayrıca talebin üretim hızından ve tarama hızından küçük

olduğu varsayımında modelin temel varsayımları arasındadır. Son olarak tarama sonucu kusurlu olarak ayrılan ürünler yeniden işlenmekte, kusuru giderilemeyecek ürünler ise hurdaya ayrılmaktadır. Bu varsayımlar altında aşağıdaki formüller elde edilir;

t_1 süresi boyunca β hızında oluşan talebin karşılanamamakta ve w mikatr stoksuzluğa düşülmektedir.

$$t_1 = \frac{w}{\beta} \quad (18)$$

x hızında tarama yaparken $x = (1 - p)x + px$ olarak ifade edilecektir. t_2 süresi boyunca α hızıyla üretim yapılırken x hızında tarama yapılmaktadır. Bu sürede mevcut stok miktarı $a - x$ hızında artacaktır. Çünkü aynı süre içerisinde (t_2) w miktar eski dönem için ve z_1 miktar yeni dönem için üretim yapılmakta ayrıca kusurlu ürünler de ayrı bir birimde stoklanmaktadır. Bu şartlar altında t_2 döneminde $(1 - p)x - \beta$ hızında üretim stoğu artarken px hızında kusurlu ürün stoğu artacaktır.

$$t_2 = \frac{w}{(1-p)x - \beta} = \frac{w}{xA} \quad (19)$$

olarak yazılabilir.

$(1 - p)x - \beta$ ifadesini x ortak parantezinde yazarsak

$$x \left(1 - p - \frac{\beta}{x} \right) \quad (20)$$

şeklinde olacaktır. Eşitlik 20'yi "A" ile gösterirsek Eşitlik 21'i elde ederiz. bu da bize ilerleyen işlemlerde kolaylık sağlayacaktır.

$$A = \left(1 - p - \frac{\beta}{x} \right) \quad (21)$$

$$t_2 = \frac{z_1}{a-x} \quad (22)$$

Yukarıdaki t_2 eşitliklerinden faydalanarak z_1 bulunacaktır.

$$\frac{w}{xA} = \frac{z_1}{a-x}$$

$$z_1 = \frac{w}{A} \left(\frac{a}{x} - 1 \right) \quad (23)$$

Üretim, modelde toplam üretim (t_2+t_3) süresinde α hızında ve y miktar yapıldığından

$$t_2 + t_3 = \frac{y}{a} \quad (24)$$

olacaktır.

Burada Eşitlik 19'dan faydalanarak t_3 bulunacaktır.

$$t_3 = \frac{y}{a} - \frac{w}{xA} \quad (25)$$

Ayrıca modele bakıldığında t_2 döneminin sonunda stoksuzluğun bittiği ve t_3 döneminde sadece mevcut talebin karşılanmaya başlandığı görülecektir. Bu dönemde taranan kusurlu ürünler üretim stoğundan düşürülmekte ayrıca px hızıyla kusurlu ürün olarak stoklanmaya devam etmektedir. Bu sebeple;

$$t_3 = \frac{z_2 - z_1}{a - \beta - px} \quad (26)$$

elde edilir. Burada Eşitlik 25 ve Eşitlik 26'da t_3 'ler birbirine eşitlendiğinde z_2 bulunacaktır.

$$\begin{aligned} \frac{y}{a} - \frac{w}{xA} &= \frac{z_2 - z_1}{a - \beta - px} \\ z_2 &= \left(1 - \frac{\beta}{x} - \frac{px}{a}\right)y - w \end{aligned} \quad (27)$$

üretim modelde toplam tarama ($t_2 + t_3 + t_4$) süresinde x hızında ve y miktar için yapıldığından

$$t_2 + t_3 + t_4 = \frac{y}{x} \quad (28)$$

olduğundan ve Eşitlik 24'den yararlanarak t_4 bulunacaktır.

$$t_4 = y \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a} \right) \quad (29)$$

Ayrıca modele bakıldığında t_3 döneminin sonunda üretimin bittiği stok seviyesinin z_2 miktar olduğu ve t_4 döneminde sadece mevcut talebin karşılanmaya devam ettiği görülecektir. yine aynı dönemde tarama hızının üretim hızından düşük olduğu varsayımı altında t_3 döneminin sonunda üretimin bitmesine rağmen, t_4 döneminde tarama devam etmektedir. Taranan kusurlu ürünler, üretim stoğundan düşürülmekte ayrıca kusurlu ürün stoğuna eklenmektedir. Bu sebeple

$$t_4 = \frac{z_2 - z_3}{\beta - px} \quad (30)$$

olarak bulunur. Burada Eşitlik 29 ve Eşitlik 30'da t_4 'ler birbirine eşitlendiğinde z_3 bulunacaktır.

$$y \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a} \right) = \frac{z_2 - z_3}{\beta - px}$$

$$z_3 = Ay - w \quad (31)$$

kusurlu ürünlerin tarandığı $t_2 + t_3 + t_4$ süresinde z_6 miktar ürün px hızıyla kusurlu olarak stoklanmaktadır..

$t_2 + t_3 + t_4 = \frac{z_6}{px}$ olduğundan ve Eşitlik 28'den yararlanarak z_6 bulunacaktır.

$$z_6 = py \quad (32)$$

Kusurlu ürünlerin ayıklanma işlemi t_4 süresinin sonunda tamamlanmaktadır. Bu sürenin sonunda z_3 miktar sağlam ürün stoklanmış t_5 döneminde artık onarılabılır ürünler için tamir ve mevcut talebi karşılama, tamiri olanaksız olan ürünler içinde hurdaya ayırma işlemi yapılacaktır. Bu dönemde kusurlu ürün stoğu azalırken, a_1 hızında sağlam ürün stoğu artacaktır. Bu sebeple;

$$t_5 = \frac{py}{a_1} \quad (33)$$

$$t_5 = \frac{z_4 - z_3}{a_1 - \beta} \quad (34)$$

elde edilir. Burada Eşitlik 33 ve Eşitlik 34'te t_5 'ler birbirine eşitlendiğinde z_4 bulunacaktır.

$$z_4 = \left[1 - \beta \left(\frac{p}{a_1} + \frac{1}{x} \right) \right] y - w \quad (35)$$

t_5 döneminin sonunda py miktar kusurlu üründen ppy_1 miktarı hurda olarak ayrılmaktadır. Bu sebeple;

$z_4 - z_5 = ppy_1$ olarak ifade edilir. Eşitlik 35'den yararlanarak z_5 bulunacaktır.

$$z_5 = \left[1 - \beta \left(\frac{p}{a_1} + \frac{1}{x} \right) - pp_1 \right] y - w \quad (36)$$

Son olarak t_6 döneminde mevcut talep, z_5 miktar stok ile karşılanmaktadır. Buna göre,

$$t_6 = \frac{z_5}{\beta} \quad (37)$$

olacaktır. Eşitlik 37'den yararlanarak t_6 şu şekilde de ifade edilebilir;

$$t_6 = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{p}{a_1} - \frac{1}{x} - \frac{pp_1}{\beta} \right) y - \frac{w}{\beta} \quad (38)$$

Yukarıda değişkenler ve bu değişkenleri parametrelerin fonksiyonu cinsinden yazdıktan sonra toplam maliyet hesaplaması şu şekilde yapılacaktır.

$$\begin{aligned} TC = & cy + dy + c_rpy + c_s(p_1py) + K \\ & + h \left[\frac{z_1t_2}{2} + \frac{(z_1+z_2)t_3}{2} + \frac{(z_2+z_3)t_4}{2} + \frac{(z_3+z_4)t_5}{2} + \frac{z_6t_6}{2} \right] \\ & + h_1 \left[\left(\frac{t_2+t_3+t_4+t_5}{2} \right) z_6 \right] + b \left(\frac{t_1+t_2}{2} \right) w \end{aligned} \quad (39)$$

burada Eşitlik 39'da genişletme ve yerine koyma işlemleri yapıldığında Eşitlik 40 elde edilir.

$$\begin{aligned} TC = & (c + d + c_rp + c_sp_1p)y + K \\ & + \left\{ \frac{h}{2} \left[2p_1 \left(\frac{p}{x} + \frac{p^2}{a_1} \right) + \frac{(1-pp_1)^2}{\beta} - \frac{1}{a} \right] + \left[\frac{(h_1-h)}{2} \left(\frac{p}{x} + \frac{p^2}{a_1} \right) \right] \right\} y^2 \\ & - \frac{h}{\beta} (1 - pp_1)wy \\ & + \left(\frac{h+b}{2} \right) \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{\beta} \right) w^2 \end{aligned} \quad (40)$$

Toplam süre $(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6)$, “ t ”olarak ifade edildiğinde

$$t = \frac{(1-pp_1)y}{\beta} \quad (41)$$

şeklinde yazılacaktır. Yani bir çevrim süresinde optimum üretim miktarı, kusurlu ürünler içerisinde tamir edilemeyen hurda ürünler çıkarıldıktan sonra β hızında taleple satılmaktadır. Birim zamandaki birim maliyeti bulmak için;

$$TCU = \frac{TC}{t} \quad (42)$$

eşitliği kullanılır. buradan;

$E[.]$ Beklenen değer operatörü olmak üzere p rassal değişkenin olduğu tüm eşitlikler hesaplanmalıdır;

Buna göre, Eşitlik 19'daki fomülde,

$$t_2 = \frac{w}{(1-p)x-\beta} = \frac{w}{xA}$$

$$t_2 = \left(E \left[\frac{1}{A} \right] \right) \frac{w}{x}$$

Buna göre, Eşitlik 23'deki fomülde,

$$z_1 = \frac{w}{A} \left(\frac{a}{x} - 1 \right)$$

$$z_1 = \left(E \left[\frac{1}{A} \right] \right) \left(\frac{a}{x} - 1 \right) w \text{ seklinde yazılacaktır.}$$

Buna göre Eşitlik 26'daki fomülde;

$$t_3 = \frac{y}{a} - \frac{w}{xA}$$

$$t_3 = \frac{y}{a} - \frac{w}{x} \left(E \left[\frac{1}{A} \right] \right) \text{ olarak elde edilir.}$$

Buna göre Eşitlik 31'deki fomülde;

$$z_3 = Ay - w$$

$$z_3 = E[A]y - w \text{ olarak elde edilir.}$$

Eşitlik 21'deki "A" 'nın beklenen değeri

$$E[A] = 1 - E[p] - \beta/x \tag{43}$$

olarak ifade edilir. Eşitlik 43'deki z_3 'de yerine koyulduğunda

$$z_3 = \left(1 - E[p] - \beta/x\right) y - w \text{ olarak elde edilir.}$$

Buna göre Eşitlik 35'deki fomülde;

$$z_4 = \left[1 - \beta \left(\frac{p}{a_1} + \frac{1}{x}\right)\right] y - w$$

$$z_4 = \left[1 - \beta \left(\frac{E[p]}{a_1} + \frac{1}{x}\right)\right] y - w \text{ olarak elde edilir.}$$

Buna göre Eşitlik 36'daki fomülde;

$$z_5 = \left[1 - \beta \left(\frac{p}{a_1} + \frac{1}{x}\right) - pp_1\right] y - w$$

$$z_5 = \left[1 - \beta \left(\frac{E[p]}{a_1} + \frac{1}{x} \right) - E[p]E[p_1] \right] y - w \text{ olarak elde edilir.}$$

Buna göre Eşitlik 38'deki fomülde;

$$t_6 = \frac{z_5}{\beta}$$

$$t_6 = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{p}{a_1} - \frac{1}{x} - \frac{pp_1}{\beta} \right) y - \frac{w}{\beta}$$

$$t_6 = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{E[p]}{a_1} - \frac{1}{x} - \frac{E[p]E[p_1]}{\beta} \right) y - \frac{w}{\beta} \text{ olarak elde edilir.}$$

Çevrim başına beklenen toplam maliyet (*ETC*);

$$ETC = G_1 y + K + G_2 y^2 - G_3 w y + G_4 w^2 \quad (44)$$

$$G_1 = c + d + c_r E[p] + c_s E[p_1] E[p] \quad (45)$$

$$G_2 = \frac{h}{2} \left\{ 2E[p_1] \left(\frac{E[p]}{x} + \frac{E[p^2]}{a_1} \right) + \frac{1}{\beta} - E[p]E[p_1] + \frac{(h_1-h)}{2} \left(\frac{E[p]}{x} + \frac{E[p^2]}{a_1} \right) \right\} \quad (46)$$

$$G_3 = \frac{h}{\beta} (1 - E[p_1]E[p]) \quad (47)$$

$$G_4 = \frac{(h+b)}{2} \left\{ \frac{1}{\beta} + \frac{1}{x} E \left[\frac{1}{A} \right] \right\} \quad (48)$$

$$E[t] = (1 - E[p_1]E[p]) \frac{y}{\beta} \quad (49)$$

$$G_5 = (1 - E[p_1]E[p]) / \beta \quad (50)$$

elde edilir. Çevrim süresinin beklenen değerinin ($E[t] = (1 - E[p_1]E[p]) \frac{y}{\beta}$) çevrim başına beklenen toplam maliyete (*ETC*) oranlanması ile aşağıdaki birim zamandaki beklenen toplam maliyete (*ETCU*) ulaşılır.

$$ETCU = \frac{ETC}{E[t]} = \frac{G_1}{G_5} + \frac{K}{G_5 y} + \frac{G_2 y}{G_5} + \frac{G_3 w}{G_5} + \frac{G_4 w^2}{G_5 y} \quad (51)$$

Optimum sipariş miktarını bulmak için *ETCU* fonksiyonunun *y* ve *w* değişkenine göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse aşağıdaki eşitlikler elde edilir;

$$\frac{\partial ETCU}{\partial w} = -\frac{G_3}{G_5} + \frac{2G_4 w}{G_5 y} = 0 \quad (52)$$

Optimum stoksuzluk miktarı formülü Eşitlik (53) elde edilmiş olur.

$$w = \frac{G_3 y}{2G_4} \quad (53)$$

$$\frac{\partial ETC}{\partial y} = -\frac{K}{G_5 y^2} + \frac{G_2}{G_5} - \frac{G_4 w^2}{G_5 y^2} = 0 \quad (54)$$

Optimum üretim miktarı formülü Eşitlik (55) elde edilmiş olur.

$$y = \sqrt{\frac{4G_4 K}{4G_4 G_2 - G_3^2}} \quad (55)$$

3.2.4. Sayısal Örnek

Bir fabrika çoğu endüstride kullanılmak üzere A malı üretmektedir. A malına olan günlük talep ve üretim kapasitesi bilinmektedir. Çeşitli nedenlerden dolayı kusurlu üretim yapılmakta ve kusurlu ürün oranının belli bir olasılık dağılımına uyduğu varsayılmaktadır. Üretim esnasında muayene (inceleme) yapılarak kusurlu ürünlerle sağlamları birbirinden ayrılmaktadır. Kusurlu ürünlerin tamir edilerek sağlam ürün haline gelmektedir ve p_1 oranında kusurlu ürün, hurda olarak ayrılmaktadır. Tamir edildikten sonra $1 - p_1$ oranında ürün envanter miktarına aktarılmaktadır.

Günlük talep miktarı adet	$\beta = 1,200$
Günlük üretim kapasitesi adet	$\alpha = 3,000$
Günlük muayene kapasitesi adet	$x = 2,000$
Üretim devam ederken birim muayene maliyeti (TL)	$d_1 = 1.2$
Üretim tamamlandıktan sonra birim muayene maliyeti (TL)	$d_2 = 1$
Günlük tamir kapasitesi adet	$\alpha_1 = 600$
Birim tamir maliyeti (TL)	$cr = 10$
Birim üretim maliyeti (TL)	$c = 50$
Hazırlık maliyeti (TL)	$K = 16,700$
Birim stok maliyeti (TL)	$h = 2$
Kusurlu ürünlerin stok maliyeti (TL)	$h_1 = 3$

3.2.4.1. Stoksuzluk Durumunda Tekdüze Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri

Kusurlu ürün oranının tekdüze dağılıma uyduğu ve olasılık yoğunluk fonksiyonunun;

$$f(p) = \begin{cases} \frac{100}{3}, & 0.04 \leq p \leq 0.07 \\ 0, & d.d \end{cases} \text{ olduğu varsayımı altında:}$$

$$E[p] = \int p f(p) dp$$

$$E[p] = \mu = 0.055,$$

$$E[p^2] = 0.0031 \text{ olur.}$$

$$E\left[\frac{1}{xA}\right] = \frac{1}{x} E\left[\frac{1}{A}\right] = \frac{1}{x} E\left[\frac{1}{1-p-\beta/x}\right] \text{ buradan}$$

$$E\left[\frac{1}{1-p-\beta/x}\right] = \int \frac{1}{1-p-\beta/x} f(p) dp$$

$$E\left[\frac{1}{1-p-\beta/x}\right] = 1,5506672 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Hurda ürün oranının tekdüze dağılıma uyduğu ve olasılık yoğunluk fonksiyonunun aşağıdaki gibi olduğu durumda;

$$f(p_1) = \begin{cases} \frac{100}{5}, & 0.18 \leq p_1 \leq 0.23 \\ 0, & d.d \end{cases}$$

$$E[p_1] = \int_{0.18}^{0.23} p_1 20 dp_1$$

$$E[p_1] = 0,21 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Böylece Eşitlik (51), (53) ve (55)' den

$$y = 5046.462 \text{ adet}, \quad w = 1135.442 \text{ adet} \quad ETCU = 62493.426 \text{ TL}$$

olarak hesaplanır.

Ayrıca;

$$E[t_1] = 0.946 \text{ gün}, \quad E[t_2] = 0.44 \text{ gün} \quad E[t_3] = 0.569 \text{ gün}$$

$$E[t_4] = 0.252 \text{ gün}$$

$$E[t_5] = 0.462 \text{ gün}$$

$$E[t_6] = 1.488 \text{ gün}$$

$$E[z_1] = 183.057 \text{ adet}$$

$$E[z_2] = 2175.037 \text{ adet}$$

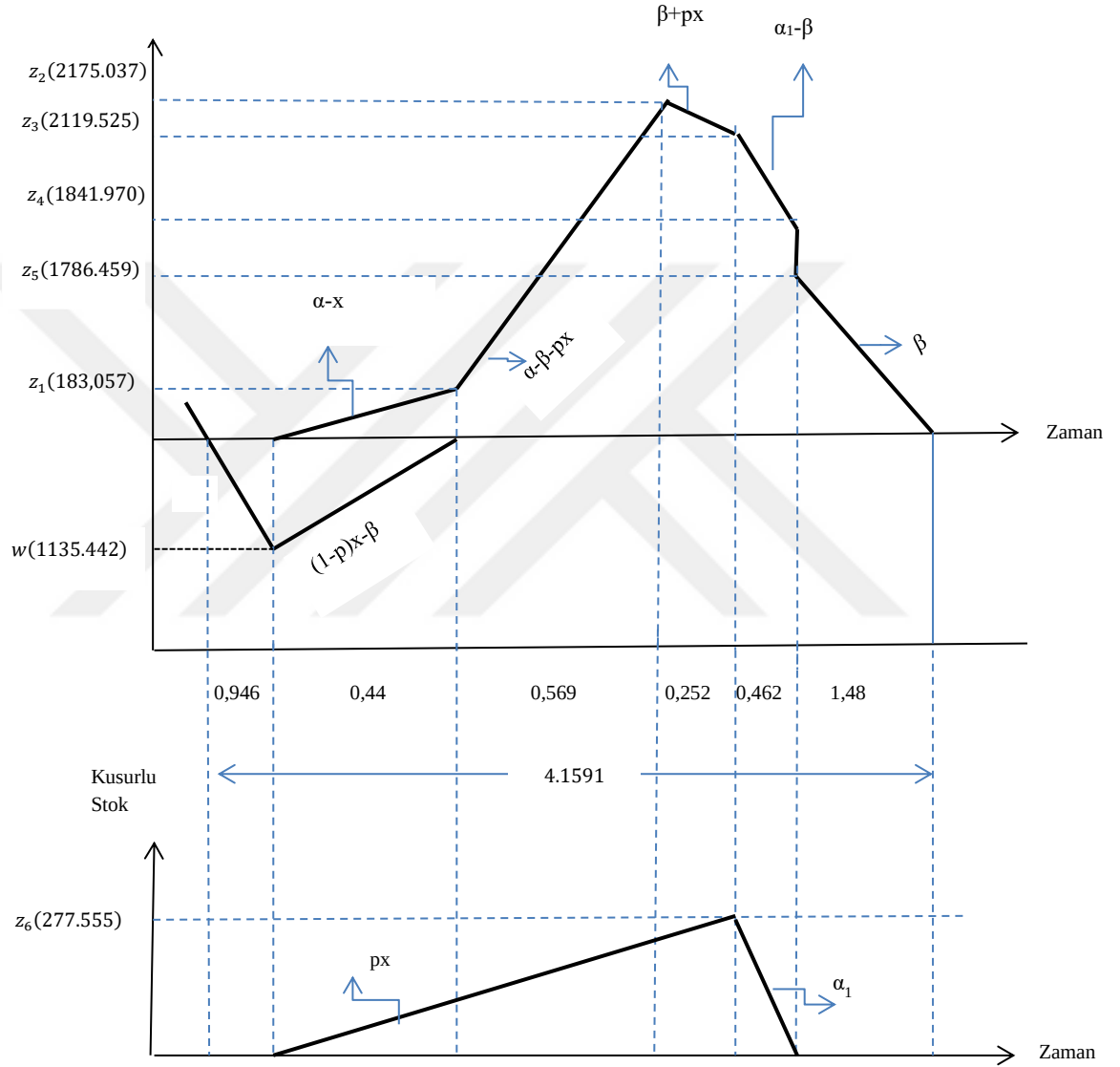
$$E[z_3] = 2119.525 \text{ adet}$$

$$E[z_4] = 1841.970 \text{ adet}$$

$$E[z_5] = 1786.459 \text{ adet}$$

$$E[z_6] = 277.555 \text{ adet}$$

olarak hesaplanır.



Şekil 9. Stoksuzluk Durumunda Tekdüze Dağılımlı Kusurlu Ürün Oranı ile Optimal Çözüm Değerleri için Sağlam ve Kusurlu Ürünlerin Stok Düzeyi²

² Sayısal örnekten alınan parametrelere göre (bkz. başlık 3.2.3.) hesaplanan sonuçlar modelde yerine konularak Şekil 9. oluşturulmuştur. Modele ait parametreler değiştiğinde modelin işleyişini gösteren grafikte farklılıklar olabilir. Bu durum modelin temel varsayımları, çevrim süreleri içindeki üretim, talep tarama ve yeniden işleme süreçlerindeki ilişkiyi etkilememektedir. Temsili bu çizimler, varsayımlar ve modelin işleyişini görsel olarak ifade etmek için kullanılır. Örnek verilecek olursa;

3.3. Optimal Çözüm Sonuçlarının Analizi

Duyarlılık, bir model içerisindeki değişkenlerin belirli parametrelerin değişimine göstermiş olduğu tepkinin gücüdür. Burada önemli olan modelin en az bir parametreye bağlı olması ve değişkenlerin bu parametrelere bağlı olarak tepki vermesidir. Duyarlılık analizi, model içerisindeki parametrelerin, en uygun çözümü etkileyen değişim aralığını tespit eder. Geliştirilen modellerdeki temel değişken olan kusurlu ürün oranının, farklı beklenen değerleri için elde edilen beklenen birim maliyete ve beklenen optimum üretim miktarına etki gücü tablolarda verilmektedir. Analizlerde kusurlu ürün oranının beklenen değerlerini hesaplamak için olasılık yoğunluk fonksiyonundan yararlanılmıştır.³

Tablo 2. Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değerindeki Değişimin Beklenen Optimal Çözüme Etkisi

$E[p]$	$E[p^2]$	$E[TCU]$	% <i>Değişim</i>	$E[y]$	% <i>Değişim</i>
		TL	$E[TCU]$	Adet	$E[y]$
0.040	0.001675	69716.5415	-	5109.5348	-
0.045	0.002100	69782.5430	0.1	5105.6286	0.1
0.050	0.002575	69848.7938	0.2	5101.5656	0.1
0.055	0.003100	69915.2956	0.3	5097.3473	0.2
0.060	0.003675	69982.0422	0.4	5092.9743	0.3
0.065	0.004300	70049.0459	0.5	5088.4484	0.4
0.070	0.004975	70116.2931	0.6	5083.7706	0.5

Geliştirilen birinci model ve ona ait sayısal örnekteki (bkz. başlık 3.1.3.) verilerden yararlanarak hazırlanan Tablo 3 incelendiğinde kusurlu ürün oranının

$t_4 - t_5$ süresinde kusurlu ürünler a_1 hızıyla tamir edilip kusursuz stok olarak envantere eklenmektedir. Yine aynı dönem içerisinde β hızıyla talep karşılanmaktadır. Burada tamir hızını günlük adet olarak sayısal örnekteki gibi ($a_1 = 600$ adet) değilde günlük talep miktarından fazla ($a_1 = 2100$ adet) belirlediğimizde ilk modeldeki görünüm (bkz. Şekil 8) elde edilecektir. Modelin temsili gösteriminin farklı parametrelerle değişebilmesinin temel varsayımlarla ters düşmemesi halinde (örneğin tarama hızının üretim hızından fazla olmaması ya da talebin üretim hızından fazla olmaması gibi) modelin işleyişini kavrayabilmek için iyi bir örnek oluşturduğu düşünülmektedir.

³ Burada kullanılan her iki model içinde sayısal örnekte rassal değişkenin tekdüze dağılıma uyduğu ve $f(p) = \frac{100}{3}$, $0.04 \leq p \leq 0.07$ olduğundan a – b'nin alabileceği değerler bu fonksiyona göre belirlenmiştir. Ayrıca $E[p^2]$ değerleri hesaplanırken Eşitlik (42), $E\left[\frac{1}{1-p-\beta/x}\right]$ değeri hesaplanırken eşitlik (57) kullanılmıştır.

beklenen değerindeki artışın, birim beklenen maliyette de artışa neden olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler sabitken yüzde değişimlerin de gösterildiği tablodan, aralarında doğrusal bir orantı olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu sonuç gerçekliğe de uygundur. Bir üretim alanında kusurlu ürünlerin artması, kusurlu ürünlerin stokta tutulma sürelerinin artmasına, tamir maliyetlerinin artmasına ve bunun bir sonucu olarak depolama maliyetlerinde artışa neden olacaktır. Optimal beklenen üretim miktarının $E[y]$, kusurlu ürün oranının beklenen değeri arttıkça azaldığı, aralarında ters bir orantı olduğu yine Tablo 2'ye bakıldığında görülmektedir. Beklenen değerlerin yüzde değişim miktarına bakıldığında, kusurlu ürün oranındaki değişimin etkisinin az olduğu ifade edilebilir.

Tablo 3. Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değeri Sabitken Kusurlu Ürün Oranın Alt ve Üst Sınır Değerlerindeki Değişkenliğin Beklenen Optimal Çözüme Etkisi

$E[p]$	a - b	$E[TCU]$	% <i>Değişim</i>	$E[y]$
		TL	$E[TCU]$	Adet
0.1	0.085 - 0.115	70524.9447	-	5052.5896
0.1	0.080 - 0.120	70525.2378	0.0004	5052.5896
0.1	0.075 - 0.125	70525.6169	0.0001	5052.5896
0.1	0.070 - 0.130	70526.0816	0.002	5052.5896
0.1	0.065 - 0.135	70526.6273	0.002	5052.5896
0.1	0.060 - 0.140	70527.2588	0.003	5052.5896
0.1	0.055 - 0.145	70527.9765	0.003	5052.5896

Kusurlu ürün oranının beklenen değeri sabitken, kusurlu ürün oranının alt ve üst sınır değerlerindeki değişkenliğinin optimal çözümü nasıl etkilediği incelendiğinde Tablo 3'deki sonuçlara bakmak gerekir. Burada değişkenliğin optimal üretim miktarını değiştirmedeği yani etkisiz olduğu söylenebilir. Aynı şekilde beklenen kusurlu ürün oranı sabitken, kusurlu ürün oranının alt ve üst sınır değerlerindeki değişkenliği arttıkça beklenen birim maliyet de artmaktadır. Ancak Tablo 3'deki yüzde değişimleri incelendiğinde bu doğru orantının varlığı görülmekle birlikte etki gücünün çok düşük olduğu da belirtilmelidir.

Tablo 4. Stoksuzluğa İzin Verilen Model İçin Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değerindeki Değişimin Optimal Çözüme Etkisi

$E[p]$	$E[TCU]$	% <i>Değişim</i>	$E[w]$	% <i>Değişim</i>	$E[y]$	% <i>Değişim</i>
	TL	$E[TCU]$	Adet	$E[w]$	Adet	$E[y]$
0.040	62104.844	-	1152.005	-	5067.743	-
0.045	62234.105	0.2	1146.557	0.5	5060.920	0.1
0.050	62363.637	0.4	1141.036	1.0	5053.826	0.3
0.055	62493.426	0.6	1135.442	1.5	5046.462	0.4
0.060	62623.483	0.8	1129.776	2.0	5038.834	0.6
0.065	62753.803	1.0	1124.039	2.5	5030.944	0.7
0.070	62884.383	1.2	1118.233	3.0	5022.796	0.9

Geliştirilen ikinci model ve ona ait sayısal örnekteki (bkz. başlık 3.2.3.) verilerden yararlanarak hazırlanan Tablo 4'teki veriler incelendiğinde kusurlu ürün oranının beklenen değerindeki artışın, birim beklenen maliyettede artışa neden olduğu görülmektedir. Bu model için tablodaki yüzde değişimlere bakıldığında, diğer değişkenler sabitken aralarında doğrusal bir orantı olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bir üretim alanında kusurlu ürünlerin artması, kusurlu ürünlerin stokta tutulma sürelerinin artmasına, tamir maliyetlerinin artmasına ve bunun bir sonucu olarak depolama maliyetlerinde artışa neden olacaktır.

Optimal beklenen üretim miktarının $E[y]$ ve optimal beklenen stoksuzluk miktarının $E[w]$, kusurlu ürün oranının beklenen değeri arttıkça, azaldığı, aralarında ters bir orantı olduğu yine Tablo 4'e bakıldığında görülmektedir. Yine Tablo 4'deki yüzde değişimlere bakıldığında kusurlu ürün oranının beklenen değerinin artmasına en duyarlı olan değerin stoksuzluk miktarı $E[w]$ olduğu söylenebilir.

Tablo 5. Stoksuzluğa İzin Verilen Model İçin Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değeri Sabitken Kusurlu Ürün Oranının Alt ve Üst Sınır Değerlerindeki Değişkenliğin Beklenen Optimal Çözümüne Etkisi

$E[p]$	a - b	$E[TCU]$ TL	$E[w]$ Adet	% <i>Değişim</i> $E[w]$	$E[y]$ Adet	% <i>Değişim</i> $E[y]$
0.1	0.085 - 0.115	63673.467	1081.999	-	4968.710	-
0.1	0.080 - 0.120	63673.467	1081.863	0.013	4968.355	0.01
0.1	0.075 - 0.125	63673.467	1081.897	0.010	4967.897	0.02
0.1	0.070 - 0.130	63673.467	1081.535	0.043	4967.368	0.03
0.1	0.065 - 0.135	63673.467	1081.222	0.072	4966.675	0.04
0.1	0.060 - 0.140	63673.467	1080.930	0.100	4965.912	0.05
0.1	0.055 - 0.145	63673.467	1080.599	0.130	4965.045	0.06

Kusur oranının beklenen değeri sabitken kusurlu ürün oranının değişkenliği optimal çözümü nasıl etkilediği incelendiğinde Tablo 5'deki sonuçlara bakmak gerekir. Burada kusurlu ürün oranının değişkenliğinin beklenen birim maliyetleri değiştirmedini yani etkisiz olduğunu söylenebilir. Ancak beklenen kusurlu ürün oranı sabitken, kusurlu ürün oranının değişkenliği arttıkça beklenen optimum üretim miktarı ve optimum stoksuzluk miktarının azaldığı görülmektedir. Tablo 5'deki yüzde değişimleri üzerinden incelendiğinde bu ters orantının varlığı görülmekle birlikte, etki gücünün çok düşük olduğu da belirtilmelidir.

Tablo 6. Stoksuzluğa İzin Verilen Model İçin Kusurlu Ürün Oranının Beklenen Değeri Sabitken, Hurda Ürün Oranının Beklenen Değerindeki Değişimin Beklenen Optimal Çözümüne Etkisi

$E[p]$	$E[p_1]$	$E[TCU]$ TL	% <i>Değişim</i> $E[TCU]$	$E[w]$ Adet	% <i>Değişim</i> $E[w]$	$E[y]$ Adet	% <i>Değişim</i> $E[y]$
0.055	0.17	62379.346	-	1137.665	-	5047.923	-
0.055	0.18	62417.331	0,1	1136.324	0,12	5047.435	0,01
0.055	0.19	62455.358	0,1	1136.183	0,13	5046.949	0,02
0.055	0.20	62493.427	0,2	1134.443	0,30	5046.463	0,03
0.055	0.21	62531.543	0,2	1134.702	0,30	5045.978	0,04
0.055	0.22	62569.692	0,3	1133.961	0,33	5045.492	0,05
0.055	0.23	62607.893	0,4	1133.221	0,40	5045.008	0,06

Tablo 6'daki veriler incelendiğinde hurda ürünün beklenen değerindeki artış, beklenen birim maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır. Burada aynı yönde bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Aynı şekilde hurda ürün beklenen değeri arttıkça stoksuzluk ve optimum üretim miktarı düşmektedir. Üretilen ürünlerin tamir edilemeyecek durumda olan yani hurda ürün oranı arttıkça üretimdeki sağlam ürün miktarının azalmış olması beklenen ve mantığa uygun bir sonuçtur. Tablo 6'deki yüzde değişimleri üzerinden incelendiğinde ilişkinin doğrusal olduğu ancak etki gücünün düşük olduğu söylenebilir



SONUÇ VE ÖNERİLER

Klasik üretim miktarı modeli, talep miktarının ve maliyetlerin kesin olarak bilindiğini ve üretilen tüm ürünlerin kusursuz kalitede olduğunu varsaymaktadır. Bu varsayım, gerçek hayattaki problemleri çözmekte yetersiz kalmaktadır.

Yapılan literatür çalışmasında, bu alanda çok sayıda bilimsel yayın yapıldığı özellikle klasik modelde, üretilen tüm ürünlerin kusursuz olacağı varsayımına karşılık kusurlu üretim süreçlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Kusurlu kalitedeki ürünler, üretim veya tasarımla ilgili kusurları olan bir üründeki kusurlu içerik olarak tanımlanabilir. Ayrıca, kusur içeriği, öğelerin yüklenmesi ve boşaltılması sırasında zayıf nakliye ve küçük/büyük kazalardan kaynaklanabilir. Şüphesiz, kusurlu kalitedeki ürünler her organizasyonun ayrılmaz bir parçasıdır. Gerçek zamanlı modellerle karar vericilere hitap etmek için bunları envanter modellemesine dahil etmeye önemli bir ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kusurlu kalitedeki ürünlerle nasıl başa çıkılacağına dair çözümler önerilmesi de en az kusurlu ürünlerin modellere yansıtılması kadar önemlidir. Alandaki mevcut araştırmalar ya kusurların ortadan kaldırılmasını ya da yeniden işlemeyi önermektedir, ancak tüm kusurlar ne yeniden işlenecek kadar iyi ne de hurda-ıskarta- atık edilecek kadar kötüdür. Bu doğrultuda, son zamanlarda yayınlanan bazı makaleler, kusurlu ürünleri çeşitli kategorilere ayırabilecek güçlü denetim süreçleri ile böyle bir durumun üstesinden gelmek için etkili teknikler önermiştir. Klasik üretim miktarı modeline eklenen varsayımlar ile geliştirilen modellerden, alıntılama sayısı ve anlaşılabilirliği yüksek 96 çalışmadan oluşan literatür, tablo olarak. 17 varsayım şeklinde aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- [1] Stoksuzluk
- [2] Stoklarda Bozulma
- [3] Talep Fonksiyonları
- [4] Üretim Hızının Değişkenliği
- [5] Öğrenme ve Unutma
- [6] Ticari Kredi Politikası
- [7] Makine Arızaları- Bakımı
- [8] Kusurlu Ürün

- [9] Yeniden İşleme veya Kurtarma Seçenekleri
- [10] Gelişmiş Çözüm Teknikleri
- [11] Tedarik Zinciri
- [12] Çevresel Etki
- [13] Kalite Değerlendirmesi
- [14] Değişken Maliyetler
- [15] Denetim Hataları
- [16] Lider-Takipçi Stratejisi (Stackelberg Oyun Senaryosu)
- [17] Üretim hızı – tarama hızı farkı

Kullanılan varsayımlardan özellikle “kusurlu ürün” birçok çalışmada yer almaktadır. Yine “çevresel etki” varsayımı özellikle son on yılda yayınlanan çalışmalarda daha fazla önemli hale gelmiştir. Kusurlu kalitedeki ürünler çevreye atılırsa zararlı emisyonlara ve çöplüklere yol açabilir. Bu nedenle, kusurlu kalitede ürünlerin üretimini en aza indirmeye acil bir ihtiyaç vardır. Ayrıca kuruluşlar, bu ürünleri çevreye atmak yerine geri dönüşüme kazandırmaya çalışmaktadır. Özetle, kusurlu kalitedeki kalemler envanter yönetiminde hayati bir rol oynamaktadır. Son yıllarda özellikle önem kazanan bir başka model varsayımı “değişken maliyetler”dir. Kurulum maliyetleri, elde tutma maliyetleri, elde bulundurmama maliyetleri, bir üretim döngüsü içinde her zaman sabit ve bilinir olamamaktadır. Gerçek hayattaki problemlerde depolama maliyetlerinin artması, elde bulundurmamanın enflasyon kaynaklı yüklediği maliyetler, nakliye giderleri (yakıt fiyatı yükselmesi), enerji maliyetlerinde farklılıklar vb modellere yansıtılmaktadır. Bu durum gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Tabii bu gerçeğe yakın modeller kurabilmenin en zor yan matematiksel ifadelerin karmaşıklaşmasıdır. Bu sebeple yine son dönemde “gelişmiş çözüm teknikleri” ile parametreler olasılıklı, bulanık hale getirilmiş ya da eksik bilgileri tamamlayabilen tahminleme yöntemleri kullanılmıştır.

Bu tezin çalışma konusunu belirleyen “üretim hızını tarama hızından farklı” olması varsayımı sadece literatürde iki çalışmada dikkate alınmıştır. Bu çalışmalarda kusurlu üretim sürecine sahip modellerin, “yeniden işleme” süreçleri ihmal edilmiştir. Bu çalışmada, özellikle vurgulanan üretim hızı, tarama hızından yüksek

olduğu ve üretimle aynı zamanlı olarak taramanın da yapıldığı varsayımı genel olarak modellerde ihmal edildiğinden literatüre bu anlamda katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan rassal bir oranda kusurlu ürün üretme olasılığı olan tek bir ürün üreten iki üretim modeli kurulmuştur. Birinci modelde kusurlu parçaların tespiti için üretimle birlikte başlayan ve üretim hızından daha düşük bir hızla üretimin tamamlanmasından sonra da devam edecek şekilde tarama yapıldığı varsayılmış ve kusurlu oldukları tespit edilmiş olan ürünler, tamamı sabit bir oranda yeniden işlenerek envantere dahil edilmiştir. İkinci modelde, kusurlu parçaların tespiti için üretimle birlikte başlayan ve üretimin tamamlanmasından sonra da devam edecek şekilde tarama yapıldığı varsayılmış, yine bu dönemde stoksuzluğa izin verilmiş ve stoksuzluğu elimine etmek için geçen süre, üretim süresinden uzun tutulmuştur. Kusurlu oldukları tespit edilmiş olan ürünler, bir kısmı sabit bir oranda yeniden işlenerek envantere iade edilmiştir. Yeniden işlenme imkânı olmayan bir miktar ürün ise rassa bir oranda hurda ürün olarak ayrılmıştır.

Geliştirilen iki modelde de kullanılan üretim sırasında sürekli tarama varsayımı, analizi karmaşıktır ancak zamanın verimli kullanılmasını sağlar. Bununla birlikte bazı üretim sistemleri için pratik olmayabilir. Özellikle de kusurlu ürün oranı düşük ve üretim hızı yüksek olduğunda, üretim sırasında sürekli elemeyi çok pahalı hale getirebilir. Ancak literatürde özellikle ihmal edilen taramanın ne zaman ve hangi hızda olacağı ile ilgili ayrıntıların maliyetleri, teslimat sürelerini etkileyeceği açıkça görülmektedir. Uygulamada, tarama istasyonlarının ne zaman ve nereye yerleştirileceğine ilişkin kararlar özel önem taşımaktadır. Eleme stratejilerinin karşılaştırılması (üretim sonrası ile üretim taraması sırasında) ve eleme istasyonlarının konumlandırılması (taramanın bir seri üretim hattında her üretim aşamasından sonra mı yoksa son aşama sonunda mı yapılacağı), bundan sonra yapılacak çalışmalarda ele alınabilir.

Geliştirilen her iki modelinde geçerliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek amacıyla sayısal örnekler verilmiş ve duyarlılık analizi ile kusurlu ürün oranı ve hurda ürün oranının optimum çözümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma bulguları, modele eklenerek geliştirilen varsayımlar ile modelin doğru çalıştığını göstermektedir. Duyarlılık analizleri ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- [1] Kusurlu ürün oranının beklenen değerindeki değişimlerin toplam maliyet ve üretim miktarları üzerinde etkisinin olduğu, her iki model için kusurlu ürün oranının beklenen değerindeki artışın, birim beklenen maliyette de artışa neden olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler sabitken aralarında doğru bir orantı olduğu söylenebilir. kusurlu ürün oranının beklenen değeri arttıkça, üretim miktarı ve stoksuzluk miktarı azalmaktadır.
- [2] Kusurlu ürün oranının beklenen değeri sabitken değişkenliğin toplam maliyet ve üretim miktarları üzerinde etkisinin olduğu, burada kusurlu ürün oranının değişkenliğinin beklenen birim maliyetleri değiştirmedigi yani etkisiz olduğunu görülmüştür. Ancak beklenen kusurlu ürün oranı sabitken, kusurlu ürün oranının değişkenliği arttıkça üretim miktarı ve stoksuzluk miktarının azaldığı. aralarında ters orantının varlığı görülmekle birlikte, etki gücünün düşük olduğu da görülmüştür.
- [3] Kusurlu ürün oranının beklenen değeri sabitken, hurda ürün oranının beklenen değerindeki değişim incelendiğinde hurda ürünün beklenen değerindeki artış beklenen birim maliyetlerin de artmasına neden olmaktadır. Burada aynı yönde bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Aynı şekilde hurda ürün beklenen değeri arttıkça stoksuzluk ve optimum üretim miktarı düşmektedir. Aralarında ters orantının varlığı görülmekle birlikte, etki gücünün düşük olduğu da görülmüştür.

Bu tez çalışmasında geliştirilen her iki modelde kusurlu üretim sürecinde tarama ve üretim hızının farklı olması varsayımı çalışılmış ve literatürdeki boşluk doldurulmuştur. Çalışmada geliştirilen modeller, kusurlu üretim süreçlerine sahip tekstil, mobilya, ilaç, elektronik, inşaat malzemeleri, medikal ürünler gibi alanlarda özellikle fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Geliştirilen modellere, çoklu ürün ve talebin kısmen karşılanması, tedarik süresinde gecikmeler, kusurlu kalite kalemlerin varlığında kapalı döngü tedarik zinciri, ters tedarik zincirleri, yeşil tedarik zinciri, denetlemelerde birinci ve ikinci tip hata varsayımları eklenerek genişletilebilir. Üretim hızı, talep hızı ve maliyetler değişken yapıda varsayıldığında gerçeği temsil yeteneği daha yüksek modeller elde edilebilir. Son olarak deterministik bu modellerin gelecek çalışmalarda, talebin bilinmediği, talep fonksiyonlarının geçmiş

veri ve mevcut şartlara göre tahmin edildiği meta sezgisel yöntemlerle birleştirilerek geliştirilmesi literatüre büyük katkı sağlayacaktır.



KAYNAKÇA

- Alamri, A. A., Balkhi, Z. T. (2007). The Effects of Learning and Forgetting on the Optimal Production Lot Size for Deteriorating Items With Time Varying Demand and Deterioration Rates. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 125-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.004>
- Al-Salamah, M. (2018). Economic Production Quantity with the Presence of Imperfect Quality and Random Machine Breakdown and Repair Based on the Artificial Bee Colony Heuristic. *Applied Mathematical Modelling*, 63(1), 68-83. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.06.034>
- Aydemir, E., Bedir, F., Ozdemir, G., Eroglu, A. (2015). An EPQ Model With Imperfect Items Using Interval Grey Numbers. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 5(1), 21-32.
- Bachar, R. K., Bhuniya, S., Ghosh, S. K., Sarkar, B. (2022). Sustainable Green Production Model Considering Variable Demand, Partial Outsourcing, and Rework. *AIMS Environ. Sci*, 9, 325-353. DOI:10.3934/environsci.2022022
- Ben-Daya, M. (2002). The Economic Production Lot-Sizing Problem With Imperfect Production Processes and Imperfect Maintenance. *International Journal of Production Economics*, 76(3), 257-264. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00168-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00168-2)
- Ben-Daya, M., Hassini, E., Hariga, M., AlDurgam, M. M. (2013). Consignment and Vendor Managed Inventory in Single-Vendor Multiple Buyers Supply Chains. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1347-1365. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.662725>
- Birihan, H. T. (2012). “Akıllı Adapte Olabilen ve Terör Amaçlı Saldırıları Düzenleyen Düşmana Karşı Güvenliği Sağlamak İçin Kaynakların Optimal Kullanımının Oyun Kuramı Ekseninde İncelenmesi” *TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi)*. Ankara 2012, s. 102. <https://hdl.handle.net/20.500.11851/8464>

- Cardenas-Barron, L. E. (2001). The Economic Production Quantity (EPQ) with Shortage Derived Algebraically. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 289-292. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00068-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00068-2)
- Cárdenas-Barrón, L. E. (2009). Economic Production Quantity with Rework Process at a Singlestage Manufacturing System with Planned Backorders. *Computers & Industrial Engineering*, 57(3), 1105-1113. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.04.020>
- Chakraborty, D., Jana, D. K., & Roy, T. K. (2018). Two-Warehouse Partial Backlogging Inventory Model with Ramp Type Demand Rate, Three-Parameter Weibull Distribution Deterioration Under Inflation and Permissible Delay in Payments. *Computers & Industrial Engineering*, 123, 157-179. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.022>
- Chan, W. M., Ibrahim, R. N., Lochert, P. B. (2003). A New EPQ Model: Integrating Lower Pricing, Rework and Reject Situations. *Production Planning & Control*, 14(7), 588-595. <https://doi.org/10.1080/09537280310001626179>
- Chen, L. H., Kang, F. S. (2010). Coordination Between Vendor and Buyer Considering Trade Credit and Items of Imperfect Quality. *International Journal of Production Economics*, 123(1), 52-61.
- Chen, Y. C. (2013). An Optimal Production and Inspection Strategy With Preventive Maintenance Error and Rework. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(1), 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.07.010>
- Cheng, F. T., Chang, H. H., Chiu S. W. (2010). Economic Production Quantity Model with Backordering, Rework and Machine Failure Taking Place in Stock Piling Time. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 4(7), 463-473.
- Chiu, S. W., Gong, D. C., Wee, H. M. (2004). Effects of Random Defective Rate and Imperfect Rework Process on Economic Production Quantity Model. *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 21(3), 375. <https://doi.org/10.1007/BF03167589>

- Chiu, S. W., Wang, S. L., Chiu, Y. S. P. (2007). Determining the Optimal Run Time for EPQ Model with Scrap, Rework, and Stochastic Breakdowns. *European Journal of Operational Research*, 180(2), 664-676. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.05.005>
- Chiu, Y. P. (2003). Determining the Optimal Lot Size for The Finite Production Model with Random Defective Rate, the Rework Process, and Backlogging. *Engineering Optimization*, 35(4), 427-437.
- Chiu, Y. S. P., Liu, S. C., Chiu, C. L., Chang, H. H. (2011). Mathematical Modeling for Determining the Replenishment Policy for EMQ Model with Rework and Multiple Shipments. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(9-10), 2165-2174. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.05.025>
- Chowdhury, M. R., Sarker, B. R. (2001). Manufacturing Batch Size and Ordering Policy for Products with Shelf Lives. *International Journal of Production Research*, 39(7), 1405-1420. <https://doi.org/10.1080/00207540110052148>
- Chui, H. N., Chen, H. M. (2005). An Optimal Algorithm for Solving the Dynamic lot-Sizing Model with Learning and Forgetting in Setups and Production. *International Journal of Production Economics*, 95(2), 179-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.12.001>
- Chung, K. J., Her, C. C., Lin, S. D. (2009). A Two-Warehouse Inventory Model with Imperfect Quality Production Processes. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 193-197. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.005>
- Chung, K. J., Hou, K. L. (2003). An Optimal Production Run Time with Imperfect Production Processes and Allowable Shortages. *Computers and Operations Research*, 30, 483-490. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(01\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(01)00091-0)
- Chung, K. J., Huang, Y. F. (2003). The Optimal Cycle Time for EPQ Inventory Model under Permissible Delay in Payments. *International Journal of Production Economics*, 84, 307-318. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00465-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00465-6)

- DE, S. K., Mahata, G. C. (2019). An EPQ Model for Three-Layer Supply Chain with Partial Backordering and Disruption: Triangular Dense Fuzzy Lock Set Approach. *Sādhana*, 44(8), 177. <https://doi.org/10.1007/s12046-019-1160-7>
- Drake, M. J., Pentico, D. W., Toews, C. (2011). Using the EPQ for Coordinated Planning of a Product with Partial Backordering and its Components. *Mathematical and Computer Modelling*, 53, 359-375. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.09.002>
- Eroğlu, A. (2002), *Deterministik Envanter Modelleri*, Isparta Fakülte Kitapevi.
- Eroğlu, A., Karaöz, M. (2011). Sınırlı Öğrenmeyi Dikkate Alan Fiyat Bağımlı Talepli Deterministik Bir Envanter Modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 1-11.
- Eroğlu, A., Sütçü, A., Sulak, H. (2008). Rassal Olarak Kusurlu Üretim Yapan Üretim Süreçleri İçin Ekonomi Üretim Miktarı Modeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 23-29.
- Gautam, P., Kishore, A., Khanna, A., Jaggi, C. K. (2019). Strategic Defect Management for a Sustainable Green Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, 233, 226-241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.005>
- Gençyılmaz, G. (1998). *Stok Sistemleri Yönetimi I*, İstanbul, İstanbul Matbaası.
- Gharaei, A., Hoseini Shekarabi, S. A., Karimi, M., Pourjavad, E., Amjadian, A. (2021). An Integrated Stochastic EPQ Model Under Quality and Green Policies: Generalised Cross Decomposition Under the Separability Approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 8(2), 119-131. <https://doi.org/10.1080/23302674.2019.1656296>
- Giri, B. C., Dohi, T. (2007). Inspection Scheduling for Imperfect Production Processes Under Free Repair Warranty Contract. *European Journal of Operational Research*, 183(2007), 238-252. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.09.062>
- Giri, B. C., Jalan, A. K., Chaudri, K. S. (2005). An Economic Production Lot Size Model with Increasing Demand, Shortage and Partial Backlogging. *International Transactions in Operations Research*, 12(2), 235-245.

- Glock, C. H., Jaber, M. Y. (2013). An Economic Production Quantity (EPQ) Model for a Customer-Dominated Supply Chain with Defective Items, Reworking and Scrap. *International Journal of Services and Operations Management*, 14(2), 236-251. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2013.051831>
- Glock, C. H., Jaber, M. Y., Searcy, C. (2012). Sustainability Strategies in an EPQ Model with Price-and Quality-Sensitive Demand. *The International Journal of Logistics Management*, 23(3), 340-359.
- Goyal, S. K., Cárdenas-Barrón, L. E. (2002). Note on: Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality-A Practical Approach, *International Journal of Production Economics*, 77(1), 85-87. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00203-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00203-1)
- Goyal, S. K., Giri, B. C. (2003). The Production-Inventory Problem of a Product with Time Varying Demand, Production and Deterioration Rates. *European Journal of Operational Research*, 147, 549-557. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00296-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00296-5)
- Halat, K., Hafezalkotob, A. (2019). Modeling Carbon Regulation Policies in Inventory Decisions of a Multi-Stage Green Supply Chain: A Game Theory Approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 807-830. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.009>
- Hayek, P. A., Salameh, M. K. (2001). Production Lot Sizing with the Reworking of Imperfect Quality Items Produced. *Production Planning and Control*, 12(6), 584-590. <http://dx.doi.org/10.1080/095372801750397707>
- Hsu, L. F., Hsu, J. T. (2016). Economic Production Quantity (EPQ) Models Under an Imperfect Production Process with Shortages Backordered. *International Journal of Systems Science*, 47(4), 852-867. <https://doi.org/10.1080/00207721.2014.906768>
- Jaber, M. Y., Bonney, M. (2003). Lot Sizing with Learning and Forgetting in Set-Ups and in Product Quality. *International Journal of Production Economics*, 83(1), 95-111. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00322-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00322-5)

- Jaber, M. Y., Guiffrida, A. L. (2008). Learning Curves for Imperfect Production Processes with Reworks and Process Restoration Interruptions. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 93-104.
- Jawla, P., Singh, S. (2016). Multi-item Economic Production Quantity Model for Imperfect Items with Multiple Production Setups and Rework Under the Effect of Preservation Technology and Learning Environment. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(4), 703-716. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.2.003>
- Jawla, P., Singh, S. R., Singhal, S. (2014). An EPQ Model for Damageable Items With Imperfect Quality Under Inflationary and Learning Environment. In *International Conference on Mathematical Sciences. (ICMS-2014)* (pp. 217-233).
- Khan, M., Jaber, M. Y., Ahmad, A. R. (2014). An Integrated Supply Chain Model with Errors in Quality Inspection and Learning in Production. *Omega*, 42(1), 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.002>
- Khan, M., Jaber, Y., Bonney, M., (2011). An Economic Order Quantity (EOQ) for Items with Imperfect Quality and inspection Errors. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.023>
- Khanna, A., Kishore, A., Jaggi, C. (2017). Strategic Production Modeling for Defective Items with Imperfect Inspection Process, Rework, and Sales Return Under Two-Level Trade Credit. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(1), 85-118. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.7.001>
- Kobu, B. (2010). *Üretim Yönetimi*, 15. Baskı, Ankara, Beta Yayınları.
- Kreng, V. B., Tan, S. J. (2011). Optimal Replenishment Decision in an EPQ Model with Defective Items under Supply Chain Trade Credit Policy. *Expert Systems with Applications*, 38, 9888-9899. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.040>

- Kundu, A., Guchhait, P., Das, B., Maiti, M. (2019). A Multi-Item EPQ Model With Variable Demand in an Imperfect Production Process. In *Information Technology and Applied Mathematics: ICITAM 2017* (pp. 217-233). Springer Singapore.
- Li, J., Wang, S., Cheng, T. C. E. (2008). Analysis of Postponement Strategy by EPQ-based Models with Planned Backorders. *Omega*, 36, 777-788. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.03.002>
- Lin, F., Ya-Lan, C. (2019). Joint Pricing and Production Decisions for New Products with Learning Curve Effects Under Upstream and Downstream Trade Credits. *European Journal of Operational Research*, 272(3), 905-913. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.003>
- Lin, G. C., Gong, D. C. (2006). On a Production-Inventory System of Deteriorating Items Subject to Random Machine Breakdowns with a Fixed Repair Time. *Mathematical and Computer Modelling*, 43(7-8), 920-932. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.12.013>
- Lo, S. T., Wee, H. M., Huang, W. C. (2007). An Integrated Production-Inventory Model With Imperfect Production Processes and Weibull Distribution Deterioration Under Inflation. *International Journal of Production Economics*, 106, 248-260. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.06.009>
- Lu, C. J., Yang, C. T., Yen, H. F. (2020). Stackelberg Game Approach for Sustainable Production-Inventory Model With Collaborative Investment in Technology for Reducing Carbon Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 270, 121963. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121963>
- Mahata, G. C. (2012). An EPQ-Based Inventory Model for Exponentially Deteriorating Items Under Retailer Partial Trade Credit Policy in Supply Chain. *Expert Systems with Applications*, 39, 3537-3550. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.044>
- Manna, A. K., Dey, J. K., Mondal, S. K. (2017). Imperfect Production Inventory Model With Production Rate Dependent Defective Rate and Advertisement

- Dependent Demand. Computers & Industrial Engineering, 104, 9-22.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.11.027>
- Nobil, A. H., & Taleizadeh, A. A. (2016). A Single Machine EPQ Inventory Model for a Multi-Product Imperfect Production System With Rework Process and Auction. International Journal of Advanced Logistics, 5(3-4), 141-152.
<https://doi.org/10.1080/2287108X.2016.1207975>
- Ojha, D., Sarker, B. R., Biswas, P. (2007). An Optimal Batch Size for an Imperfect Production System With Quality Assurance and Rework. International Journal of Production Research, 45(14), 3191-3214.
<https://doi.org/10.1080/00207540600711853>
- Ouyang, L. Y., Chang, C. T. (2013). Optimal Production Lot With Imperfect Production Process Under Permissible Delay in Payments and Complete Backlogging. International Journal of Production Economics, 144(2), 610-617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.027>
- Öztürk, A. (2009). *Yöneylem Araştırması*, 12. Baskı, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.
- Pal, B., Sana, S. S., Chaudhuri, K. (2013). A Mathematical Model on EPQ for Stochastic Demand in an Imperfect Production System. Journal of Manufacturing Systems, 32(1), 260-270.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.11.009>
- Palanivel, M., Uthayakumar, R. (2014). An EPQ Model With Variable Production, Probabilistic Deterioration and Partial Backlogging Under Inflation. Journal of Management Analytics, 1(3), 200-223.
<https://doi.org/10.1080/23270012.2014.971889>
- Panja, S., Mondal, S. K. (2020). Exploring a Two-Layer Green Supply Chain Game Theoretic Model With Credit Linked Demand and Mark-Up Under Revenue Sharing Contract. Journal of Cleaner Production, 250, 119491.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119491>

- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A. (2008). A Genetic Algorithm Approach to Optimize a Multi-Products EPQ Model With Discrete Delivery Orders and Constrained Space. *Applied Mathematics and Computation*, 195, 506-514.
- Pentico, D. W., Drake, M. J., Toews, C. (2009). The Deterministic EPQ With Partial Backordering: a New Approach. *Omega*, 37(3), 624-636. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.004>
- Pentico, D. W., Drake, M. J., Toews, C. (2011). The EPQ With Partial Backordering and Phase-Dependent Backordering Rate. *Omega*, 39(5), 574-577. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.10.004>
- Rosenblatt, M.J., Lee, H. L. (1986). Economic Production Cycles With Imperfect Production Processes. *IIE Trans.*, 18, 48-55. <https://doi.org/10.1080/07408178608975329>
- Ruidas, S., Seikh, M. R., Nayak, P. K. (2020). An EPQ Model With Stock and Selling Price Dependent Demand and Variable Production Rate in Interval Environment. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11, 385-399. <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00867-w>
- Saha, S., Chakrabarti, T. (2018). An EPQ Model for Deteriorating Items with Probabilistic Demand and Variable Production Rate. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6, 153-161.
- Salameh, M. K., Jaber, M. Y. (2000). Economic Production Quantity Model for Items With Imperfect Quality. *International Journal of Production Economics*, 64(1-3), 59-64. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00044-4)
- Salas-Navarro, K., Acevedo-Chedid, J., Árquez, G. M., Florez, W. F., Ospina-Mateus, H., Sana, S. S., Cárdenas-Barrón, L. E. (2019). An EPQ Inventory Model Considering an Imperfect Production System With Probabilistic Demand and Collaborative Approach. *Journal of Advances in Management Research*, 17(2), 282-304. <https://doi.org/10.1108/JAMR-07-2019-0141>
- Sana, S. S. (2010). An Economic Production Lot Size Model in an Imperfect Production System, *European Journal of Operational Research*, 201, 158-170.

- Sana, S. S. (2011). A Production-Inventory Model of Imperfect Quality Products in a Three-Layer Supply Chain. *Decision Support Systems*, 50(2), 539-547. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.11.012>
- Sana, S. S., Chaudhuri, K., (2010). An EMQ Model in an Imperfect Production Process. *International Journal of Systems Science*, 41(6), 635-646. <https://doi.org/10.1080/00207720903144495>
- Sana, S., Goyal, S. K., Chaudhuri, K. S. (2004). A Production–Inventory Model for a Deteriorating Item With Trended Demand and Shortages. *European Journal of Operational Research*, 157(2), 357-371. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00222-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00222-4)
- Sarkar B., Sana S. S., Chaudhuri K. (2011). An Imperfect Production Process for Time Varying Demand With Inflation and Time Value of Money – An EMQ Model. *Expert System with Applications*, 38(11), 13543-13548. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.044>
- Sarkar, B., Majumder, A., Sarkar, M., Kim, N., Ullah, M. (2018). Effects of Variable Production Rate On Quality of Products in a Single-Vendor Multi-Buyer Supply Chain Management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99, 567-581. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2527-3>
- Sarkar, B., Moon, I. (2014). Improved Quality, Setup Cost Reduction, and Variable Backorder Costs in an Imperfect Production Process. *International Journal of Production Economics*, 155, 204-213. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.11.014>
- Sarkar, B., Saren, S. (2016). Product Inspection Policy for an Imperfect Production System With Inspection Errors and Warranty Cost. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.021>
- Sarkar, B., Saren, S., Sarkar, M., Seo, Y. W. (2016). A Stackelberg Game Approach in an Integrated Inventory Model With Carbon-Emission and Setup Cost Reduction. *Sustainability*, 8(12), 1244. <https://doi.org/10.3390/su8121244>

- Sett, B. K., Sarkar, S., Sarkar, B. (2017). Optimal Buffer Inventory and Inspection Errors in an Imperfect Production System With Preventive Maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 545-560.
- Sharma, S. (2004). Optimal Production Policy with Shelf Life Including Shortages. *Journal of the Operational Research Society*, 55(8), 902-909. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601760>
- Sharma, S. (2009). A Composite Model in the Context of a Production-Inventory System. *Optimization Letters*, 3, 239-251. <https://doi.org/10.1007/s11590-008-0104-7>
- Singh, C., Singh, S. R. (2012). An EPQ Model With Power Form Stock Dependent Demand Under Inflationary Environment Using Genetic Algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 48(15), 25-30.
- Soni, H. N., Patel, K. A. (2012). Optimal Strategy for an Integrated Inventory System Involving Variable Production and Defective Items Under Retailer Partial Trade Credit Policy. *Decision Support Systems*, 54(1), 235-247. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.009>
- Stojkovska, I. (2013). On the Optimality of the Optimal Policies for the Deterministic EPQ With Partial Backordering. *Omega*, 41(5), 919-923.
- Su, C. T., Lin, C. W. (2001). A Production Inventory Model Which Considers the Dependence of Production Rate on Demand and Inventory Level. *Production Planning and Control*, 12, 69-75. <http://doi.org/10.1080/09537280150203997>
- Sulak, H. (2008). “Stok Kontrolü ve Ekonomik Sipariş Miktarı Modellerinde Yeni Açılımlar: Ödemelerde Gecikmeye İzin Verilmesi Durumu ve Bir Model Önerisi” *Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Doktora Tezi)*, Isparta, s. 173.
- Taheri, S. A., Mokhtari, H., Fallahi, A. (2022). An Economic Production Quantity Model with Probabilistic Machine Breakdown and Multiple Shipments Policy. *Journal of Industrial Management Perspective*, 11(4), 223-252.
- Taheri-Tolgari, J., Mirzazadeh, A., Jolai, F. (2012). An Inventory Model for Imperfect Items Under Inflationary Conditions With Considering Inspection

- Errors. Computers & Mathematics with Applications, 63(6), 1007-1019.
<https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.09.050>
- Taleizadeh, A. A., Kalantari, S. S., Cárdenas-Barrón, L. E. (2016). Pricing and Lot Sizing for an EPQ Inventory Model With Rework and Multiple Shipments. Top, 24, 143-155. <https://doi.org/10.1007/s11750-015-0377-9>
- Taleizadeh, A. A., Noori-daryan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). Pricing and Ordering Decisions in a Supply Chain With Imperfect Quality Items and Inspection Under Buyback of Defective Items. International Journal of Production Research, 53(15), 4553-4582.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2014.997399>
- Taleizadeh, A. A., Yadegari, M., Sana, S. S. (2019). Production Models of Multiple Products Using a Single Machine Under Quality Screening and Reworking Policies. Journal of Modelling in Management, 14(1), 232-259.
<https://doi.org/10.1108/JM2-06-2018-0086>
- Tayal, S., Singh, S. R., Sharma, R., Singh, A. P. (2015). An EPQ Model for Non-Instantaneous Deteriorating Item With Time Dependent Holding Cost and Exponential Demand Rate. International Journal of Operational Research, 23(2), 145-162. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2015.069177>
- Tayyab, M., Sarkar, B., Yahya, B. N. (2018). Imperfect Multi-Stage Lean Manufacturing System With Rework Under Fuzzy Demand. Mathematics, 7(1), 13. <https://doi.org/10.3390/math7010013>
- Teng, J. T., Chang, C. T. (2005). Economic Production Quantity Models for Deteriorating Items With Price and Stock-Dependent Demand. Computers & Operations Research, 32(2), 297-308.
- Toews, C., Pentico, D. W., Drake, M. J. (2011). The Deterministic EOQ and EPQ With Partial Backordering at a Rate That is Linearly Dependent on the Time to Delivery. International Journal of Production Economics, 131, 643-649.
- Tsao, Y. C., Lee, P. L., Liao, L. W., Zhang, Q., Vu, T. L., Tsai, J. (2020). Imperfect Economic Production Quantity Models Under Predictive Maintenance and

- Reworking. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 7(4), 347-360. <https://doi.org/10.1080/23302674.2019.1590663>
- Türk, M., Şeker, M. (2011). Stratejik Stok Yönetimi: Bir Kamu Hastanesi Örneği. Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, 8(1), 713-727.
- Ulucan, A. (2007). *Yöneylem Araştırması*, Siyasal Kitapevi Ankara.
- Ülgen, H., Mirze, S. K. (2007). *İşletmelerde Stratejik Yönetim*, Arıkan Basım Yayım Dağıtım Ltd, istanbul.
- Wang, C. S. (2007). Optimal Replenishment Policy for Imperfect Quality EMQ Model With Rework and Backlogging, Applied Stochastic Models in Business and Industry, 23(2), 165-178. <https://doi.org/10.1002/asmb.664>
- Wang, D., Du, G., Jiao, R. J., Wu, R., Yu, J., Yang, D. (2016). A Stackelberg Game Theoretic Model for Optimizing Product Family Architecting With Supply Chain Consideration. International Journal of Production Economics, 172, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.001>
- Wee, H. M., Widyadana, G. A. (2012). Economic Production Quantity Models for Deteriorating Items With Rework and Stochastic Preventive Maintenance Time. International Journal of Production Research, 50(11), 2940-2952. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.578159>
- Wee, H.M., Wang, W. T., Yang, P. C. (2013). A Production Quantity Model for Imperfect Quality Items With Shortage and Screening Constraint. International Journal of Production Research, 51(6), 1869-1884. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.718453>
- Yoo, S. H., Kim, D., Park, M. S., (2009). Economic Production Quantity Model With Imperfect-Quality Items, Two-Way Imperfect Inspection and Sales Return. International Journal of Production Economics, 121(1), 255-265. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.008>
- Zhang, R. (2009). A Note on the Deterministic EPQ With Partial Backordering. Omega, 37, 1036-1038. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2008.12.008>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Pınar ARSLAN

Eğitim Bilgileri

Lise : İzmir Karataş Lisesi (Fen- Matematik) (2004)

Lisans : Uşak Üniversitesi / İşletme İ.Ö. (2009)

Yüksek Lisans : Uşak Üniversitesi / İşletme Anabilim Dalı (2013)

Yabancı Diller ve Düzeyi

İngilizce : 2012 KPDS 87 puan

İş Deneyimi

(2009-2010) : Uşak Eşme Meslek Yüksek Okulu Güz Dönemi
Misafir Öğretim Üyesi

(2011-2012) : İzmir Gediz Üniversitesi Bahar Dönemi Misafir
Öğretim Üyesi

(2012-2017) : Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi İşletme /
Sayısal Yöntemler Ana Bilim Dalı ÖYP Araştırma
Görevlisi