

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyda ÇELİKCAN

**YEDEK PARÇA STOK YÖNETİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME METOTLARINA DAYALI SİMÜLASYON-OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMI**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YEDEK PARÇA STOK YÖNETİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME METOTLARINA DAYALI SİMÜLASYON-OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMI**

Şeyda ÇELİKCAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 04/07/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
DANIŞMAN

.....
Doç. Dr. Tolunay GÖÇKEN
ÜYE

.....
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KUVVETLİ
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

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

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YEDEK PARÇA STOK YÖNETİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME METOTLARINA DAYALI SİMÜLASYON-OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMI**

Şeyda ÇELİKCAN

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
Dr. Öğr. Üyesi Cansu DAĞSUYU
Yıl: 2019, Sayfa: 108
Jüri : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Doç. Dr. Tolunay GÖÇKEN
: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KUVVETLİ

Envanter yönetimi firmaların başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle üretim sisteminde bulunan tüm varlıkların envanter kontrolü ve planı etkin bir şekilde yapılmalıdır. Yedek parça grupları, sayı ve çeşitliliğinin çok olması envanter yönetimini daha karmaşık bir problem haline getirmektedir. Yedek parça eksikliği üretim faaliyetlerinin aksamasına ve maliyet kayıplarına neden olabilmektedir. Bu çalışmada yedek parçaların kritikliği için kriterler literatür çalışması ve uzman değerlendirmeleri ile belirlenmiştir. Büyük ölçekli bir alçı firması için entegre AHP-TOPSIS yöntemi ile en kritik yedek parça seçilmiştir. Seçilen yedek parça grubu için entegre ABC-FSN analizi ile kritik yedek parçanın en sık kullanılan üç çeşidi belirlenmiştir. Bu üç çeşidin toplam maliyet üzerindeki önem seviyeleri belirlenmiş ve maliyet fonksiyonuna yansıtılmıştır. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar dikkate alınarak kritik yedek parçanın üç çeşidi için simülasyon optimizasyon ile en uygun (s,S) parametre değerleri belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca yedek parçaların muadillik durumları da dikkate alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yedek parça, (s,S), AHP, TOPSIS, simülasyon-optimizasyon

ABSTRACT
MSc. THESIS

**SIMULATION-OPTIMIZATION APPROACH BASED ON MULTI-
CRITERIA DECISION MAKING METHODS IN SPARE PARTS
INVENTORY MANAGEMENT**

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
Asst. Prof. Dr. Cansu DAĞSUYU
Year: 2019, Pages: 108
Jury : Assoc. Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Assoc. Prof. Dr. Tolunay GÖÇKEN
: Asst. Prof. Dr. Yusuf KUVVETLİ

Inventory management plays a critical role in the success of firms. Therefore, inventory control and planning of all assets in the production system should be done effectively. Spare parts groups, large number and variety make inventory management a more complex problem. Lack of spare parts can lead to disruption of production activities and cost losses. In this study, the criteria for the criticality of spare parts were determined by literature review and expert evaluations. For a large-scale gypsum company, the most critical spare part was selected with the integrated AHP-TOPSIS method. With the integrated ABC-FSN analysis for the selected spare parts group, the three most frequently used types of critical spare parts were identified. The importance levels of these three varieties on total cost were determined and reflected to the cost function. The most suitable (s, S) parameter values were determined by simulation optimization for three types of critical spare parts considering the objective function and constraints. Equivalence of spare parts was also taken into consideration in the study.

Keywords: Spare parts, (s,S), AHP, TOPSIS, simulation-optimization

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Günümüzde sanayileşme ve rekabetin artmasıyla üretim faaliyetlerinin etkin şekilde yönetilmesi giderek daha önemli hale gelmektedir. Üretim sistemi birçok faktörün bir arada dikkate alınması gereken kompleks bir sistemdir. Üretilen ürün, hammadde ve üretimde kullanılan makine, teçhizat ve personelin optimum şekilde kullanılması gerekmektedir. Ürünün hammadde halinden bitmiş ürün haline kadar üretimde kullanılan bütün varlıkların hareketleri ve gerekli miktarları stok kartları ile kayıt altına alınmaktadır. Bu kayıtlar ile güncel hammadde, yarı mamul, mamul ve üretimde kullanılan makine yedek parçalarının miktarları takip edilebilmektedir. Üretimin aksamadan devam edilebilmesi için stok kayıtlarının dolayısıyla envanter yönetiminin doğru yapılması büyük önem taşımaktadır.

Üretimin sürekliliği için gerekli olan stok kalemlerinin miktarlarının doğru belirlenememesi, üretim akışının aksamasına neden olabilmektedir. İşletmelerde bulunması gerekli stokların eksikliği üretimin durmasına neden olabilmekte ve bunun sonucunda maliyet kayıpları meydana gelebilmektedir. Ayrıca bu durum müşteri ve fırsat kayıplarının da yaşanmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra gereğinden fazla stok bulundurmak, stok tutma maliyetlerinin artması ile beraber depo alanının da gereksiz kullanımına sebep olmaktadır. Stokların özellikleri gereği özel şartlarda depolanması gerektiği zaman stok tutma maliyeti daha da artmakta ve depo alanının optimum kullanımı daha büyük öneme sahip olmaktadır. Envanter yönetiminde, ürünlerle birlikte üretimin akışı için gerekli olan makine yedek parçalarının stok kayıtları önemli bir yer teşkil etmektedir. Yedek parçalarda meydana gelebilecek eksiklik, tüm üretimi durdurabilmekte ve firma karlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Çok fazla makine yedek parça ve her bir yedek parçanın çok farklı çeşitlerde olması, firmalar için yönetilmesi zor olan bir stok kalemidir. Bu çalışmada büyük ölçekli bir alçı firmasında bulunan yedek parça stokları incelenmiştir. İnceleme sonucunda, envanter yönetiminin eksiklikleri üzerine en önemli yedek parça grubu belirlenerek bu grup için optimum stok

politika parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. İlk olarak firma içinde bulunan en kritik yedek parçanın seçilebilmesi için; yedek parça seçim kriterleri literatür taraması ve uzman görüşler yardımıyla ekonomik, teknik, tedarik, güvenlik ve kalite olmak üzere beş ana kriter ve bu ana kriterlere ait alt kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler belirlenirken yedek parçanın firma için önemini ortaya çıkaracak kriterlerin bulunması üzerinde durulmuştur. Yedek parçaların eşdeğer olması da firma açısından önemli bir alternatif olduğundan dikkate alınmıştır. Bu sayede stokta bulunan ürünler gerektiğinde birbiri yerine temin edilebilmektedir. Kriterler belirlendikten sonra en önemli kriterin seçilmesi için belirlenen ana ve alt kriterlere çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP) kullanılmıştır. En kritik yedek parçanın seçimi için ise yedi farklı yedek parça grubuna İdeal Bir Çözümle Benzerlik Olarak Sipariş Tercihi Tekniği (TOPSIS) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemler sonucunda elde edilen ağırlıklar entegre edilerek alçı fabrikası için en kritik yedek parça taşıyıcı bant grubu olarak belirlenmiştir. Taşıyıcı bant grubu pek çok farklı varyasyonda olabilmektedir. Taşıyıcı bantlar içerisinde sınıflandırma yapılırken ABC analizi ve FSN analizi dikkate alınmıştır. Bu değerlendirme sonucunda hem en yüksek maliyete sahip A grubu hem de en sık kullanıma sahip F grubunda yer alan üç taşıyıcı bant grubu bu çalışmada dikkate alınmıştır. En kritik yedek parça grubu olan taşıyıcı bantlar içerisinde AF grubunda yer alan taşıyıcı bantlara ait stok politikası değerlendirilmiştir. Bu amaçla simülasyon modeli oluşturulmuş ve Arena programı ile modellenmiş ve verilere PASW Statistic programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılarak simülasyon modeli için gerekli olasılık dağılımları belirlenmiştir. Çalışmada minimum-maksimum stok politikası dikkate alınmış olup toplam maliyeti minimize etmek için elde bulundurulması gereken minimum ve maksimum stok miktarlarına karar verilmiştir. Toplam maliyet fonksiyonu, satın alma maliyeti, sipariş maliyeti, zamana bağlı elde bulundurma ve zamana bağlı üretim kaybı maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Çalışmada dikkate alınan taşıyıcı bant grubu için, bozulma sıklığı ve kullanım sıklığı kriterleri dikkate

alınarak AHP ile amaç fonksiyonu ağırlıkları belirlenmiş ve modele dahil edilmiştir. Dikkate alınan stok politika parametreleri olan (s, S) değerlerinin belirlenmesinde simülasyon-optimizasyon tekniği kullanılmış olup, toplam maliyeti minimize eden (s, S) değerleri belirlenmiştir.





TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her konuda yardımcı olan, tezin her aşamasında bana yol gösteren ve manevi desteklerini esirgemeyen danışman hocalarım Prof. Dr. Ali KOKANGÜL' e ve Dr. Öğr. Üyesi Cansu DAĞSUYU 'na tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Tez jüri üyeleri sayın hocalarım Doç. Dr. Tolunay GÖÇKEN ve Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KUVVETLİ' ye değerli yorum ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmanın uygulama aşamasında, gerekli verileri sağlayarak yardımcı olan firma müdürü İsmail BERDAN' a teşekkür ederim.

Çalışma süresince her konuda desteklerini gösteren sevgili annem Mehtap ÇELİKCAN, babam Mahmut ÇELİKCAN, kardeşlerim Şeyma, Seher ve Ceylin ÇELİKCAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışma dönemi boyunca desteğini ve motivasyonunu her zaman hissettiğim, hep yanımda olan canım eşim Cemil TAŞKINIRMAK' a çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	3
1.2. Çalışmanın Amacı.....	6
1.3. Çalışmanın Kapsamı	7
1.4. Çalışmanın Adımları.....	13
1.5. Orijinal Katkılar	14
1.6. Çalışmanın Organizasyonu	15
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
2.1. Yedek Parça Envanter Yönetimi.....	17
2.2. Yedek Parça Sınıflandırması.....	19
2.3. Stok ile İlgili Modelleme Çalışmaları.....	22
3. MATERYAL ve METOD	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Veriler	27
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar	28
3.1.3. Tanımlayıcı İstatistikler	29
3.2. Metod	30
3.2.1. AHP Yöntemi	30
3.2.2. Topsis Yöntemi.....	32
3.2.3. Stok kontrol Yöntemleri	34

3.2.3.1. ABC Analizi.....	34
3.2.3.2. Çift Kutu Yöntemi.....	35
3.2.3.3. Gözle Kontrol Yöntemi.....	35
3.2.3.4. Maksimum-Minimum Metodu (s,S)	36
3.2.4. Simülasyon Modelleme	37
3.2.4.1. Simülasyon Modelinin Akış Diyagramı.....	38
3.2.4.2. Olasılık Dağılımlarının Seçimi ve İstatistiksel Analiz	40
3.2.4.3. Simülasyon Çıktılarının Analizi.....	40
3.2.5. Simülasyon Optimizasyon	43
3.2.6. Matematiksel Modelleme	45
3.2.6.1. Varsayımlar	45
3.2.6.2. Notasyon	46
3.2.6.3. Matematiksel Modelin Kurulması.....	47
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	49
4.1. Yedek Parça Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi	49
4.2. Yedek Parça Seçim Kriterlerinin Önem Seviyesinin Belirlenmesi.....	54
4.3. Kritik Yedek Parçanın Belirlenmesi	57
4.4. Taşıyıcı Bant Grubu için ABC-FSN Analizi ile Seçim Yapılması	60
4.5. Taşıyıcı Bant Grubu İçin AHP Yönteminin Uygulanması	62
4.6. Simülasyon Modelleme	63
4.6.1. Olasılık Dağılımlarının Belirlenmesi.....	66
4.6.2. Çıktı Analizi	73
4.7. Matematiksel Modelleme.....	75
4.8. Simülasyon Modelleme ve Simülasyon-Optimizasyon	77
4.9. Duyarlılık Analizi	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	95
EKLER.....	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Yedek Parça Grupları.....	27
Çizelge 3.2. AHP İkili Karşılaştırma Ölçeği.....	31
Çizelge 3.3. Rassallık İndeks Değerleri	32
Çizelge 4.1. Yedek Parça Kriterleri AHP Değerlendirmesi.....	56
Çizelge 4.2. İdeal Çözüm Değerleri.....	58
Çizelge 4.3. Yedek Parça TOPSIS Sonuçları	59
Çizelge 4.4. Taşıyıcı Bantlar İçin ABC-FSN Analizi	61
Çizelge 4.5. Simülasyon Modelinde Kullanılan Parametreler	65
Çizelge 4.6. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	66
Çizelge 4.7. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Gelişleri İçin Uniform Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	67
Çizelge 4.8. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	67
Çizelge 4.9. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Gelişleri İçin Uniform Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	68
Çizelge 4.10. Taşıyıcı Bant Grubu (90*16.555) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	68
Çizelge 4.11. Taşıyıcı Bant Grubu (90*16.555) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	69
Çizelge 4.12. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Talepleri İçin Poisson Dağılım Kolmogrov. Smirnov Testi	69
Çizelge 4.13. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Talepleri İçin Üstel Dağılım Kolmogrov. Smirnov Testi	70
Çizelge 4.14. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Talepleri İçin Poisson Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	70

Çizelge 4.15. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Talepleri İçin Üstel Dağılım	
Kolmogrov Smirnov Testi	71
Çizelge 4.16. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.655) Talepleri İçin Poisson Dağılım	
Kolmogrov Smirnov Testi	71
Çizelge 4.17. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Talepleri İçin Üstel Dağılım	
Kolmogrov Smirnov Testi	72
Çizelge 4.18. Taşıyıcı Bant Grupları İçin Dağılımlar ve Parametreleri.....	72
Çizelge 4.19. Alçı Plaka Sayısı Poisson Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	73
Çizelge 4.20. Alçı Plaka Sayısı Üstel Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi	73
Çizelge 4.21. Depo ve Ürün Hacimleri.....	76
Çizelge 4.22. Simülasyon Modeli Çıktı Analizi	78
Çizelge 4.23. Optquest Sonuçları.....	80
Çizelge 4.24. Maliyetlerin -%1 ve %1 Oranında Değişimi Sonucu (s, S)	
Değerleri	84
Çizelge 4.25. Maliyetlerin -%5 ve %5 Oranında Değişimi Sonucu (s, S)	
Değerleri	85
Çizelge 4.26. Maliyetlerin -%10 ve %10 Oranında Değişimi Sonucu (s, S)	
Değerleri	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Toz Alıcı Ünitesi İş Akış Şeması.....	9
Şekil 1.2. Alıcı Plaka Ünitesi İş Akış Şeması	12
Şekil 1.3. Çalışma Akış Diyagramı.....	13
Şekil 3.1. ABC Eğrisi.....	35
Şekil 3.2. (s,S) Stok Kontrol Grafiği.....	36
Şekil 4.1. Yedek Parça Seçim Kriterleri	50
Şekil 4.2. Yedek Parça Ana Kriter AHP Değerlendirmesi	54
Şekil 4.3. Yedek Parça C_i^* Değerleri.....	59
Şekil 4.4. Taşıyıcı Bant ABC Analizi.....	62
Şekil 4.5. Taşıyıcı Bant AHP Yöntemi.....	63
Şekil 4.6. Yedek Parça Grubu İçin Kurulan Simülasyon Modeli	64
Şekil 4.7. Sistemin Isınma Periyodu	74
Şekil 4.8. Optquest Grafiği	81
Şekil 4.9. Duyarlılık Analizi Satın Alma Maliyeti Yüzde Değişimleri	82
Şekil 4.10. Duyarlılık Analizi Sipariş Maliyeti Yüzde Değişimleri	83
Şekil 4.11. Duyarlılık Analizi Kayıp Üretim Maliyeti Yüzde Değişimleri	83
Şekil 4.12. Duyarlılık Analizi Tüm Maliyetlerin Yüzde Değişimleri.....	84



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABC	: Her Zaman Daha İyi Kontrol
AHP	: Analitik Hiyerarşik Proses
FSN	: Hızlı-Yavaş-Hareketsiz
MASTA	: Çok Nitelikli Yedek Ağaç Analizi
RCM	: Güvenilirlik Merkezli Bakım
TOPSIS	: İdeal Bir Çözümle Benzerlik Olarak Sipariş Tercihi Tekniği





1. GİRİŞ

Üretim sektöründe envanter yönetimi büyük bir önem taşımaktadır. İşletmelerin gelecekteki talebi veya sistemdeki yetersizlikleri karşılamak üzere depoladıkları tüm malzemeler stok bir diğer adıyla envanter olarak adlandırılmaktadır (Gürçay,2012: Uyaroğlu,2017'den). Envanter yönetiminin etkin gerçekleştirilmesi ile işletmeler, doğru ürünü doğru miktarda ve doğru yerde bulundurmayı amaçlamaktadır. İşletmenin elinde ihtiyaç duyduğundan fazla stok bulundurması gereğinden fazla stok maliyetine katlanılmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda fazla stok bulundurulması elde bulunan ürünlerin kullanım ömürlerinin aşılması durumunda bozulma ve bertaraf etme maliyetlerinin de oluşmasına neden olabilmektedir. Tam tersi şekilde işletmelerin yeterince stok bulundurmaması da işletmeler için satış kayıplarına ve/veya üretimin durmasına ve dolayısı ile fırsat kayıplarının yaşanmasına neden olabilmektedir. İşletmelerin stoksuz kalma durumunda üretimin aksamasına bağlı olarak maddi zararlar ile beraber işletmenin marka değerinde kayıplar oluşabilmektedir.

İşletmelerde bir ürünün üretimi için ürün ağacında yer alan stok kalemlerinin stoku tutulduğu gibi, üretimde kullanılan makinelerin yedek parçaları için de stok bulundurulmaktadır. Makinelerin yedek parça ihtiyaçları planlı bakımda ve bozulmalarda ortaya çıkabilmektedir. İşletmelerde planlı bakımda gerekli yedek parça ihtiyacı belirlenebilmesine rağmen, bozulmaların rassal olmasından dolayı makine bozulmasından kaynaklı yedek parça ihtiyacının belirlenmesi zor bir problemidir. Makine yedek parçalarının herhangi birinde yeterli stok bulundurulmaması ana üretim planlarından aksamalara ve önemli maliyet kayıplarına ve dolayısıyla karlılıkta azalmalara yol açmaktadır. Bu olumsuzlukların önüne geçilebilmesi ve oluşabilecek riskleri azaltmak için yeterli envanter bulundurmalı ve bu envanterin yönetimi iyi bir şekilde yapılmalıdır (Kasap ve ark., 2010). Bu durum ürün ağacında yer alan stok kalemlerinin stok yönetiminin

yanında üretimde kullanılan makine yedek parça stok yönetiminin de önemini göstermektedir.

Yedek parça yönetimi, bakım faaliyetlerini desteklemeyi, her bir yedek parçanın mevcut miktarı hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlamayı ve gerektiğinde kullanılabilirliğini sağlayan envanter politikalarını benimsemeyi ve maliyetleri en aza indirmeyi amaçlayan bir bakım yönetim işlevidir ve imalat organizasyonlarında önemli bir rol oynamaktadır (Teixeira ve ark.,2018). Yedek parçaların sınıflandırılması, farklı özelliklere sahip olan çok sayıda parçayı kontrol etmek için çok önemlidir. Yedek parça yönetiminde sistematik ve bilimsel yaklaşımlar, yedek parça envanterinin ve makine arıza sürelerinin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Yedek parça envanter sistemleri ile, diğer envanter sistemleri-hammaddeler gibi, yeniden sipariş seviyelerinin ve sipariş / üretim miktarlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Yedek parça envanter sisteminin önemli bir ayırt edici özelliği, envanterdeki kalemlerin kritikliğini değerlendirme ve belirlemede farklı yedek parçaların özel kullanımlarının göz önünde bulundurulmasının gerekliliğidir. Yedek parça stoklarının yönetilmesi sırasında yedek parça maliyeti, stok durumu, depolama koşulları, bir yedek parça gereksinim olasılığı, makine duruş süreleri gibi faktörler genellikle dikkate alınmaktadır. Yedek parça stoklarının takibi için dikkate alınan kriterler ve bu kriterlerin kritikliği sektörlere göre farklılık göstermektedir (Gajpal ve ark.,1994).

Ekipmanı yoğun organizasyonlarda, yüksek sistem kullanılabilirliği ve operasyonların sürekliliğine ilişkin gerekliliklere bağlı olarak yedek parça stok kalemlerinin etkin bir şekilde yönetimi karmaşık bir problem olmaktadır. Yedek parça stoklarının gereğinden az tutulması; yedek parçalara erişim süresinin uzun olmasına, ekipmanların uzun ve verimsiz çalışma sürelerine neden olarak firmanın karlılığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Yüksek miktarda yedek parça stoklarının muhafaza edilmesi, firma kaynaklarının/sermayesinin stoka bağlanmasına, stok maliyetlerinin artmasına ve dolayısıyla sermaye yatırımlarının önemli bir bölümünün tükenmesine neden olmaktadır. Bu durumlar da yedek parça

yönetiminin kritikliğini göstermektedir (Sarker ve Haque, 2000).Yedek parça stoklarında birbiri yerine kullanılabilen eş değer bir diğer adıyla muadil parçalar bulunmaktadır. Bu parçalar yedek parça eksikliğinde kullanılarak üretimin aksamasını engelleyebilir. Bu nedenle yedek parçanın muadilinin bulunması da önemli bir hale gelmektedir.

Çalışmanın konusunu bir alıcı firmasında üretim hattında kullanılan makine yedek parçalarının kritikliğine etki eden parametrelerin belirlenmesi, parametrelerin önem seviyelerinin belirlenmesi, firma için en kritik yedek parçaların belirlenmesi ve kritik yedek parçalar için toplam maliyeti minimize edecek stok politika parametrelerinin (s, S) belirlenmesi oluşturmaktadır. Makine yedek parçalarının kritikliğine etki eden parametrelerin önem seviyelerinin belirlenmesinde AHP; kritik yedek parçaların belirlenmesinde TOPSIS yöntemi; çalışmada dikkate alınan minimum-maksimum stok kontrol yönteminin alternatif parametre değerlerinin belirlenmesinde ise simülasyon-optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

1.1 Problemin Tanımı

İşletmelerde başarılı bir yönetim için, stok yönetiminin etkin bir şekilde planlanması ve kontrol edilmesi gereklidir. Üretim ve envanter yönetiminin başarısı genellikle verimlilik ve maliyet analizleri ile ölçülmektedir. İşletmeler stoklarını iyi yönetebildiği takdirde stok maliyetlerini minimize ederek gereğinden fazla oluşacak maliyetlerden kaçınmış olacaklardır. Maliyet minimizasyon yapılırken pek çok maliyet kaleminin dikkate alınması gerekmektedir. Bu maliyet kalemlerinden bir tanesi işletmede bulunmayan stokun, üretimi aksatması ve bu durumun üretim hattının durmasına yol açarak işletmeye oluşturduğu kayıp üretim maliyetleridir. Tüketimi (talebi) fazla olan bir malzemenin stoklarda yeterli miktarda bulunmaması da işleyişin duraklamasına ve servis süresinin uzamasına neden olacaktır. Bu durumda satışların aksamasına neden olarak müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyecektir. Bir başka olumsuz durum da gereğinden

fazla stok bulundurulması durumunda meydana gelmektedir. Tüketimi (talebi) az olan bir malzemenin stoklarda aşırı miktarda bulunması, stok maliyetini arttırmaktadır. Bu durum doğru malzemenin, doğru zamanda, doğru miktarda ve doğru yerde bulundurulmasını önemli ve gerekli kılmaktadır. Bu kavramlardan herhangi birinin eksikliği halinde sistemde işleyiş bakımından aksaklıklar meydana gelebilmektedir.

Stok kontrolünde talep kadar önemli bir diğer parametre de tedarik süresidir ve bu nedenle stok politikalarının uygulanmasında ve kontrollerinde tedarik sürelerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Her bir stok kaleminin spesifikasyon ve tedarikçi politikalarından dolayı tedarik süreleri değişkenlik gösterebilmektedir. Tedarikçi firmaların özellikle stoklu çalışmadığı durumlarda, malzeme üretme ve tedarik süresinin hem uzun hem de rassallığının yüksek olması durumunda işletmeler stok politikasının seçimi ve stok kontrolü büyük bir problem haline gelmektedir.

İşletmelerde stok kontrollerinin etkin yapılabilmesi için odaklanılması gereken stok kalemlerinin belirlenmesi de karşılaşılan bir diğer problemidir. İşletmelerde tüm stok kalemleri, eşit öneme sahip olmamakta ve her bir stok kaleminin üretim hattı, verimlilik ve karlılık üzerindeki etkileri birbirinden farklı olmaktadır. Bu nedenle stok kaleminin kritikliği üzerinde etki eden parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelere göre stok kalemlerinin önem seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Böylece işletme için önemli olan stok kalemlerine odaklanılarak problemlerin daha hızlı çözülmesi ve işletme için büyük önem göstermeyen stok kalemleri için işgücü ve zaman harcanmaması hedeflenmektedir.

Kennedy ve ark.(2002), yedek parça stoklarının diğer imalat stoklarından çeşitli şekillerde farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Bitmiş ürün stokları, müşterilere teslim edilmek üzere bir ürün kaynağı sağlamak için mevcuttur ve teslim süresi taleplerindeki düzensizliklere karşı koruma sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bununla birlikte, yedek parça stoklarının işlevi, ekipmanı çalışır durumda tutmak için bakım personeline yardımcı olmaktır. Yedek parçalar bir

müşteriye satılmak üzere ara veya nihai ürünler değildir. Ayrıca, ara ürün ve son ürün stokları, üretim oranları ve çizelgeleri değişerek, kaliteyi iyileştirerek, teslim sürelerini kısaltarak, vb. artırılabilir veya azaltılabilir. Yedek parça stok seviyeleri, büyük ölçüde ekipmanın nasıl kullanıldığıнын ve nasıl sürdürüldüğünün bir fonksiyonudur. Bakım gerektiren kısmi bir parça bazen ertelenebilir veya önlenebilir ve bir bakım eyleminin seçimi ilgili yedek parça stokları üzerinde hemen bir etki yaratabilir (Kennedy ve ark.,2002). Fakat kritik yedek parçalarda erteleme yapılamamakta ve üretimde duruşlar yaşanmasına neden olunmaktadır. Bakım dışında oluşan rassal bozulmalarda ise yedek parça ihtiyacı belirsiz olmakla beraber stok yönetimi genellikle etkin yapılamamaktadır.

Çalışma büyük ölçekli bir alçı fabrikasının yedek parça deposu incelenerek ortaya konmuştur. Alçı üretimi yapan firmada üretim sistemi sürekli devam eden bir hattan oluşmaktadır. Bu nedenle hammadde veya yarı mamul de oluşabilecek eksiklik üretimin sürekliliğinde büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda üretim hattında kullanılan yedek parça eksikliği de hattın durmasına ve üretimin aksamasına neden olmaktadır. Üretim hattında saatte 2304 m² alçı plaka üretilmektedir. Üretim hattında meydana gelen duruşlarda parça temin ve tamir süresi hesaba alındığında bu süre yüksek miktarda alçı plaka metrekare kayıplarına ve dolayısıyla firma açısından yüksek mali zararlar/karlılıkta azalmalar yaşanmasına neden olmaktadır. Firma yedek parça stok kayıtları incelendiğinde kayıtların sağlıklı olmadığı, işçi tecrübelerine göre yapıldığı görülmüştür. Bu durumda bazı yedek parçaların gereğinden fazla veya eksik depolanmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte depoda bulunan yedek parçaların önem düzeyleri de farklılık göstermektedir. Bazı parçalar birbiri yerine kullanılabilirken bazı parçaların muadili söz konusu olmamaktadır. Firma elinde bulunan yedek parçalar için minimum maksimum stok yöntemine benzer şekilde kayıt altında tutmaktadır. Fakat minimum ve maksimum değerler sezgisel olarak belirlendiği için depoda bulunan stok miktarları doğru belirlenememiştir. Bu durum firmanın yedek parçalarda stoksuz kalmasına sıklıkla neden olmaktadır. Stok yönetimi etkin

olmadığı için bazı ürünlerde ise uzun dönemler stok elde tutulmakta ve ürünün kullanım ömrünü tamamlamasından dolayı bertaraf edilmesi gerekmektedir. Yedek parça özelliği gereği bertaraf etme maliyetleri değişkenlik göstermekte ve firmaya olumsuz etki oluşturmaktadır.

Üretim hattında yedek parçaların bozulması rassal olarak değişmektedir. Bu rassallığa bağlı olarak yedek parçaya olan talep de hem oluşma zamanı hem de miktarı açısından rassallık göstermektedir. Tedarikçilerin stok politikaları ve yapılan sözleşmeler tedarik sürelerinin de değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Aynı zamanda üretim hattında makine kapasitesi, üretilen ürünün ölçüleri, ürünün gerektirdiği spesifikasyonlar, fire oranları vb. durumlardan dolayı üretilen ürün miktarı zamanla rassal değişim göstermektedir. Tüm bu parametrelerin rassal değişimi problemin yapısını karmaşık hale getirmek ile beraber karar vericilerin stok planı oluşturmalarını zorlaştırmaktadır.

İşletmede üretim hattında duruşların önüne geçilebilmesi ve rassal değişimleri kontrol altına alabilmek amacıyla, firma için yedek parçaların kritikliği üzerinde etki eden parametrelere bağlı olarak en kritik yedek parçalar belirlenerek toplam maliyeti minimize edecek minimum-maksimum stok parametre değerleri belirlenmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yedek parça stoklarının iyi yönetilebilmesi işletmelerin karlılık seviyesini önemli ölçüde etkilemektedir. Yedek parça stoklarının yeteri miktarda bulunmaması ya da fazla miktarlarda olması ‘Problemin Tanımı’ başlığında değinilmiş olan farklı sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle yedek parça stoklarının kontrolü ve etkin bir şekilde yönetimi çok önemli bir boyutta yer almaktadır.

Bu çalışma ile;

- ❖ Firmada bulunan yedek parça stokları incelenerek etkin bir stok yönetim politikasının oluşturulması,

- ❖ Yedek parçaların özelliklerine göre yedek parça seçiminde önemli olan kriterlerin belirlenmesi,
- ❖ Belirlenen yedek parça kriterlerine göre yedek parçaların önem seviyelerinin belirlenmesi,
- ❖ Önem seviyesi (kritikliği) en yüksek olan ürün grubu varyasyonları içinde öncelik sıralamasının belirlenmesi
- ❖ Her bir varyasyonun önem seviyesinin belirlenmesi
- ❖ Gerçek sistemin simülasyon modelinin kurulması
- ❖ En kritik yedek parça için uygun stok politikasının modele entegre edilmesi
- ❖ Stok politikasına ait parametre değerlerinin belirlenmesi ve ağırlıklı toplam belirlenerek stok maliyetlerinin azaltılması
- ❖ Stok miktarlarından kaynaklı üretim duruşlarının minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın kapsamını alçı üretim fabrikasının üretim hattı ve yedek parça deposu incelenerek, en sık arızalanan ve yüksek stok maliyetine sebep olan ürün grubu araştırılması ve modellemesi oluşturmaktadır.

Çalışmanın uygulama bölümü alçı üretimi yapan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Alçı taşı (jips), doğal olarak oluşan ve bileşiminde iki molekül su bulunduran bir Kalsiyum Sülfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mineralidir. Alçı taşının bünyesinde bulundurduğu su molekülünün % 15'i buharlaştırılacak şekilde, ısıtılması ve öğütülmesi ile alçı elde edilir. Alçı, suyla karıştırılınca tekrar katılaşarak bağlayıcılık özelliği taşıyan bir yapı malzemesine dönüşür. Günümüzde alçı taşı kullanımında, genel toplamın % 5'i zirai amaçlı, % 10 - 15 kadarı ise endüstriyel kullanım olarak adlandırılabilir uygulamalarda tüketilmektedir. Geri kalan alçı taşının tamamı inşaat sektöründe kullanılan sıva alçısı, kartonpiyer alçısı,

saten perdah alçısı ve makine sıva alçısı gibi toz alçı ürünleri ile yapı malzemesi olarak tüketilmektedir (Alçı Dergi, 2009).

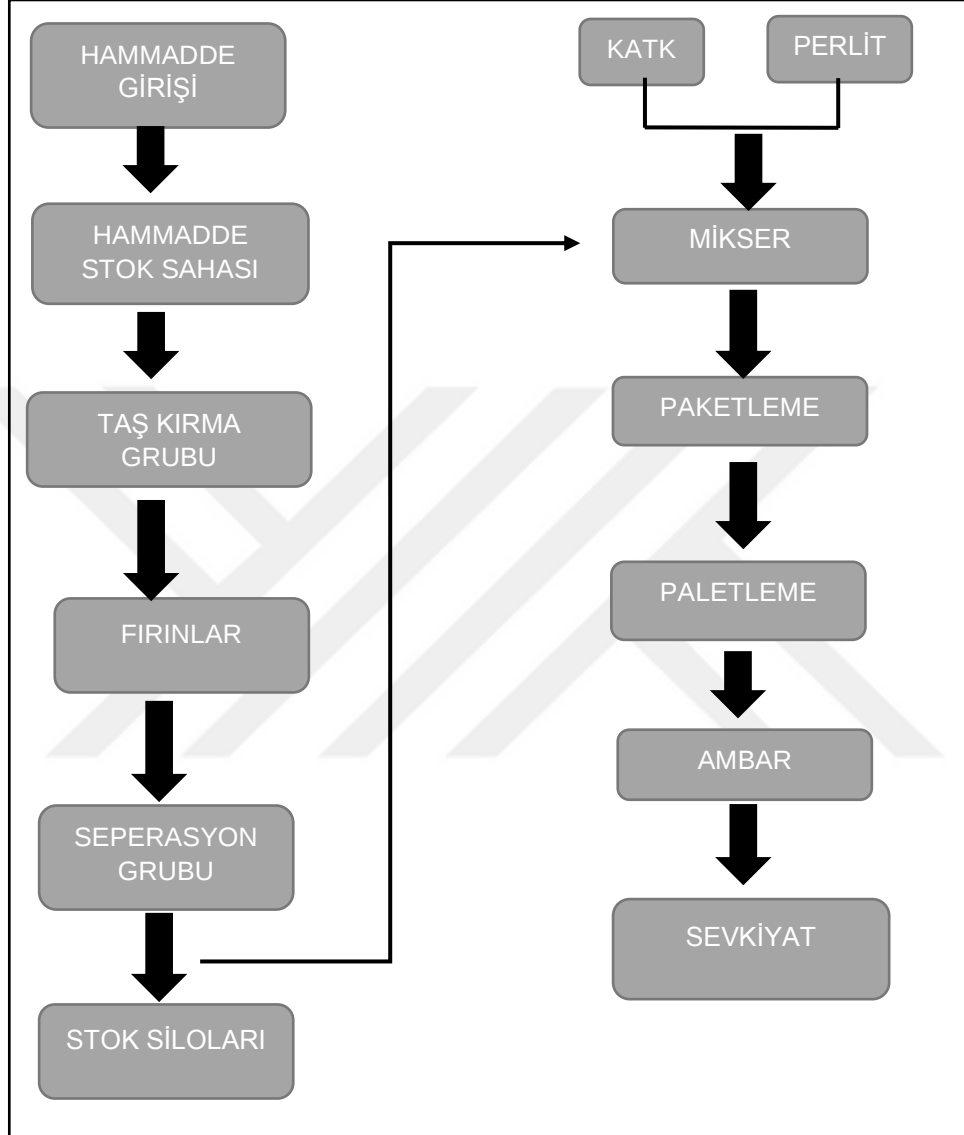
Yedek parça stok optimizasyonun yapılacağı firmanın üretim tesisi incelenmiş olup tesiste iki farklı üretim hattı bulunmaktadır. Bunlarda ilki Toz Alçı üretim hattı diğeri ise Alçı Plaka üretim hattıdır.

Alçı plaka tesisinde alçı plaka üretimi yapılmaktadır. Toz halindeki alçı katkılanarak, ürün çeşidine göre (sade, yangına dayanıklı, suya dayanıklı) iki kağıt arasında sıkıştırılmakta, istenen ebatta kesilmekte, kurutulmakta ve alçı plaka olarak katı halde satışa sunulmaktadır. Alçı plaka ürünleri; bina ara duvarlarının oluşturulması, asma tavan vb. yapılar gibi inşaat sektöründe kullanılmaktadır.

Alçı Plakalar, iç kısmındaki özel alçı çekirdeği ve her iki yüzeyini kaplayan kartondan üretilen şiltesiyle iç mekan imalatlarında kullanılan iç cephe kaplama plakalarıdır. Düzgün yüzeylere sahip Alçı Plakalar standart ve özel boyutlarda üretilmektedir. Kullanım alanlarına göre çeşitli kenar tipleri ve alçı bileşikleri bulunan alçı plakalar “Standart Alçı Plaka”, “Suya Dayanıklı Alçı Plaka”, “Yangına Dayanıklı Alçı Plaka” ve “Suya ve Yangına Dayanıklı Alçı Plaka” olmak üzere dört ana çeşitle üretilmektedir.

Toz alçı tesisinde toz alçı ürünleri üretimi yapılmaktadır. Elde edilen ürünler toz halinde olup, torbalanarak satışa sunulmaktadır. Toz alçı kapsamında değerlendirilen ürünler; sıva alçısı, saten alçısı, kartonpiyer alçısı, makine sıvı alçısı, inşaat alçısı, derz dolgu alçısı, plaka yapıştırıcı alçısıdır. Toz alçı ürünleri inşaat sektöründe kullanılmaktadır. (genel ve dekoratif amaçlı). Toz alçı tesisi ise 10765 m² kapalı alan üzerine kurulmuştur.

Toz alçı ve Alçı plaka ünitelerinin iş akışları Şekil 1.1. ve Şekil 1.2. ‘de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Toz Alçı Ünitesi İş Akış Şeması

Hammadde Girişi: Üretimde kullanılan ana hammadde alçı taşıdır. Alçı taşı Ulukışla alçı taş ocağından temin edilmekte ve vagonlara yüklenerek, tren yolu ile Yenice Garı'na ulaşmaktadır. Gara ulaşan vagonlar kamyonlarla fabrikaya getirilmektedir.

Hammadde Stok Sahası:_Fabrikaya gelen hammadde, hammadde stok sahasına dökülmekte ve stoklanmaktadır.

Taşkıрма Grubu:_Alçı taşı üretime uygun hale getirilmek amacı ile taşkıрма sistemine alınır. Kırıcıda kırılan alçı taşı helezon elevatörlerle taşınarak fırın besleme silolarına alınır.

Fırınlr:_Fırın besleme silolarında bulunan alçı taşı, fırın besleme değirmenlerinden geçirilerek, fırınlara alınır. Alçı taşı bünyesinde %20-22 oranında su bulundurmaktadır. Fırın içinde kaldığı sürece alçı suyunu atar. Fırından çıktığında bünyesinde %4,5-5,5 oranında su kalmış olur.

Kojenerasyon tesisi ile doğalgaz enerjisinden elektrik enerjisi elde edilecek olup, fabrikanın elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır. (Kojenerasyon tesisinin kapasiteyi karşılayamadığı durumlarda mevcut şebekeden yararlanılacaktır.)

Mevcut durumda fırınlr ortalama 30 m³/ton doğalgaz harcamaktadır. Kojenerasyon tesisinden elde edilecek atık ısı ile bu değer 27 m³/ton'a çekilmeye çalışılmaktadır.

Seperasyon Grubu:_Fırından çıkan pişmiş alçı değirmen ve seperatörlerden geçirilerek, istenen inceliklerde, belli kontroller eşliğinde ayrıştırılır.

Stok Siloları:_Seperasyon grubunda ayrıştırılan alçı, kaba veya ince alçı olarak stok silolara alınır.

Mikser ve Katkılama:_Üretilcek ürüne göre hazırlanan reçeteler, mikser bilgisayarına girilir. Gerekli katkılar ve alçı seçilen silolardan alınarak belli karıştırma sürelerince karıştırılır, döner kantara bant ve elevatörlerle taşınır.

Paketleme (Kantar):_Mikserden gelen ürün istenen kilogramlara uygun torbalara doldurulur.

Paetleme:_Paketlemeden bantlar yardımıyla gelen torbalar uygun şekilde paetlere dizilir.

Ambar:_Paetlemeden elde edilen ürün ambarda istiflenerek, sevkiyata hazır hale getirilir.

Kağıt Hazırlama: Üst Kağıt plakanın arka yüzeyini oluştururken, alt kağıt plakanın ön yüzeyini oluşturmaktadır. Alt ve üst kağıtlar bir vinç yardımıyla yerlerine yerleştirilir.

Mikser: Katkılama ünitesinde bulunan katkı bunkerleri otomatik dozajlama sistemi ile mikserin ihtiyaç duyduğu katkıları helezon yardımıyla karıştırarak miksere beslemektedir. Gips öğütme sisteminde öğütülen gips miksere beslenir. Bu katkılar ve alçı mikserde su ile birleşerek bulamaç halini alır. Hazırlanan bulamaç hazırlama ünitesinden gelen kağıt üzerine gönderilir. Daha sonra üst kağıt dikdörtgen biçimini oluşturacak şekilde alt kağıt ile birleşir. Alt kağıt ile üst kağıt birbiri ile dikdörtgen şekil elde edebilmek için birbiri üzerine kıvrılır.

Donma Bandı: Alçı plaka yaklaşık 4 dakika kadar makas öncesinde donacak şekilde bant üzerinde ilerler.

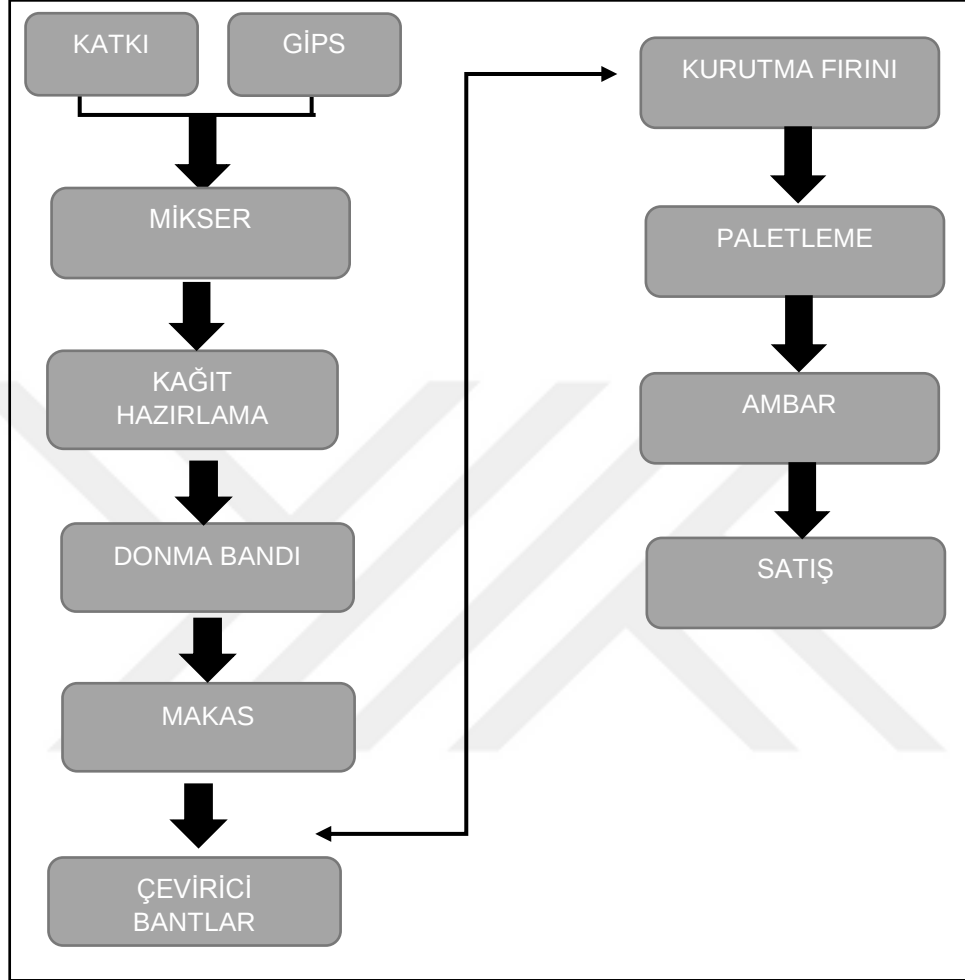
Makas: Alçı plaka makas ünitesinde istenen ebatlarda kesilir. $\pm 1,5$ mm doğrulukla kesim yapabilen bıçak ünitesi, 1200 mm'den 4800 mm'ye kadar plaka kesebilmektedir.

Çevirici Bantlar: Makas ünitesinde nemli olarak kesilen alçı plakaları çevirici bantlarla yönleri değiştirilerek hızlandırıcı bantlarla fırına sokulur.

Kurutma Fırını: Fırına giren plakalar fırın boyunca nemini atar yani kurutulur.

Paletleme: Fırından çıkan kuru alçı plaklar paletleme ünitesinde paletlere istiflenir.

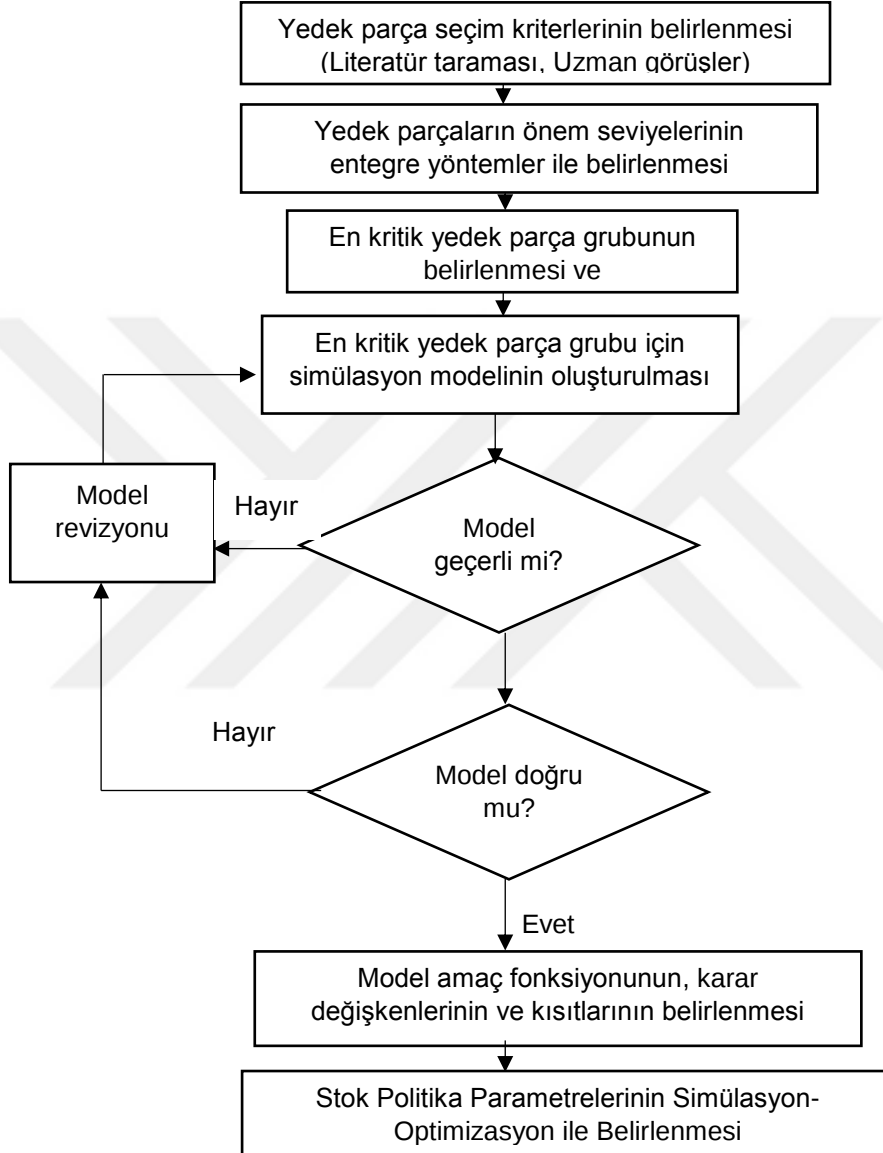
Ambar: Paletlemeden elde edilen ürün ambarda istiflenerek, sevkiyata hazır hale getirilir.



Şekil 1.2. Alçı Plaka Üitesi İş Akış Şeması

1.4 Çalışmanın Adımları

Çalışmada izlenen adımlar Şekil 1.3. 'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Çalışma Akış Diyagramı

Çalışmanın adımları aşağıda verilmiştir.

1. Çalışma kapsamında incelenecek problemin konusunun belirlenmesi,
2. Belirlenen çalışma konusu hakkında daha önce yapılan çalışmaların araştırılması ve yapılan çalışmalarda dikkate alınan parametrelerin, oluşturulan formüllerin, çözüm yöntemlerinin ve kullanılan programların incelenmesi,
3. Problemin literatürdeki çalışmalardan farklı yönlerinin ortaya konulması,
4. AHP-TOPSIS yöntemi ile yedek parça kritikliğine etki eden kriterlerin ve en kritik yedek parçanın belirlenmesi
5. Problemin amacı, kısıtlar, karar değişkenleri ve gerekli verilerin belirlenmesi ve bir takım varsayımların yapılması,
6. Uygulama yapılacak işletmeden modelleme için gerekli verilerin temin edilmesi,
7. Genel matematiksel modelin kurulması,
8. Simülasyon modelinin kurulması,
9. Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesi,
10. Simülasyon-optimizasyon yapılması,
11. Modelden elde edilen sonuçların yorumlanması
12. Gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulması

1.5 Orijinal Katkılar

Çalışmanın orijinal katkıları aşağıda verilmiştir:

- Yedek parça kriterleri tez kapsamında incelenen konu üzerinde uzman görüşler yardımıyla yeni kriterler literatüre eklenmiştir.
- Yeni belirlenen kriterler de dahil edilerek AHP-TOPSIS entegrasyonu ile birlikte en kritik yedek parçanın seçimi yapılmıştır.
- Yedek parça yönetiminde oluşturulan matematiksel modelin AHP yönteminden elde edilen ağırlıklar eklenerek kurulması

- Stok kesilme maliyeti, zamana bağlı olarak karlılığa yansıtılmış ve üretim kaybına bağlı olarak hesaplanmıştır.
- -Elde bulundurma maliyeti ve stok kesilme maliyeti zamana bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilmiştir.
- Yedek parça stok yönetiminde muadil parça dikkate alınarak alternatif (s, S) bulunmuştur.

1.6 Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın geriye kalan bölümü dört ana başlık altında verilmiştir. İkinci ana başlıkta yedek parça envanter yönetimi ve modelleme konularında yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü ana başlıkta çalışmada kullanılan veriler ve kurulan modeller ile beraber kullanılan yazılımlar ve metotlara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde oluşturulan model ve toplanan veriler dikkate alınarak yapılan uygulama çalışması ve sonuçlarına dördüncü bölümde yer verilmiştir. Son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar, yedek parça envanter yönetimi, yedek parça sınıflandırması ve stokla ilgili modelleme çalışmaları olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

2.1 Yedek Parça Envanter Yönetimi

Yedek parça envanter yönetimi ile ilgili literatür taraması aşağıda özetlenmiştir.

Huiskonen (2001), çalışmasında yedek parçaların operasyonel kontrol özelliklerinin çeşitliliğini dikkate alarak, bir yedek parça lojistik sisteminin planlanması ve tasarlanmasında yedek parça tedarik zincirinde farklı parça tipleri için farklı çalışma politikaları üzerinde durmuştur. Çalışmada yedek parça yönetiminde tedarik zincirini dikkate almadan yapılan envanter modellerinin yetersiz olduğunu savunmuştur.

Ghodrati ve Kumar (2005) çalışmalarında, güvenilirlik ve bakıma dayalı ürün desteği ve yedek parça gereksinimlerinin öngörülmesi sistem bileşenlerinin özellikleri, sistem çalışma ortamları ile birlikte, planlanmamış durmaların önlenmesinde en etkili stratejilerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda iyi bir yedek parça yönetiminin bir şirkette boşa kalma süresini azalttığını ve kaynak kullanımını artırdığı ve dolayısı ile üretkenliği arttırdığı çalışmada belirtilmiştir.

Cavalieri ve ark. (2008), çalışmalarında bir şirketteki bakım yedek parçalarının en iyi şekilde yönetimi konusunda bir endüstri yöneticisine yönlendirmek için kademeli bir karar verme yolu sağlamayı amaçlamışlardır. Bu çerçevede makale parça kodlama, parça sınıflandırma, parça talep tahmini, stok yönetimi politikası ve politika testi ve doğrulama beş ardışık aşamaya ayrılmıştır. Bu doğrultuda uygulanabilirliği, gerçek bir iş vakası kullanılarak kanıtlanmıştır.

Kasap ve ark. (2010), çalışmalarında iş makinelerinin onarımında kullanılan kritik yedek parçalara ait envanter yönetimini yapabilmek için stokastik envanter

modeli oluşturmuşlardır. Çalışmalarında envanter maliyetlerini en aza indirmek için yedek parçalara ait stok parametrelerini ve yeniden sipariş noktasını belirlemişlerdir. Model için ABC analizi içeren sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Wang ve Syntetos (2011), çalışmada yedek parça talep sürecini inceleyerek yedek parça talep tahmin modeli oluşturma konusunda araştırmalar yapmışlardır. Önerilen yaklaşımın performansını simülasyon temelli çerçeve kullanarak bir zaman serisi yöntemiyle (Syntetos-Boylan Yaklaşımı, SBA) karşılaştırmalı olarak test etmişlerdir. Bunun sonucunda, yedek parçaların arıza ve arıza varış mekanizmaları bilindiği takdirde, tahminlere dayalı bakım modellerinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Bacchetti ve Saccani (2012) çalışmalarında, literatürdeki yedek parça yönetimi hakkındaki teorik yaklaşımlara eleştirel yaklaşarak on vakayı incelemişlerdir. Geliştirilen teorik ve uygulanan pratik arasında boşluklar olduğunu görerek bu boşlukları doldurmak için; yedek parça yönetimine entegre yaklaşımlar geliştirmek, acil durum temelli yönetim kurallarını tanımlamak, şirketlerdeki bilgi birikim sürecini desteklemek ve teorik modelleri pratik düzeyiyle tamamlamak üzere dört önemli öneride bulunmuşlardır.

Saalmann ve Hellingrath (2016), çalışmalarında yedek parça yönetiminin tedarik zinciri ile koordinasyonunu incelemişlerdir. Bu bağlamda gerçek hayattaki yedek parça tedarik zincirlerinin çeşitli örneklerini deneysel olarak analiz ederek mevcut yedek parça tedarik zincirlerinde koordinasyonun nasıl geliştirilebileceğini araştırmışlardır.

Ekin ve Dinçer (2017), çalışmalarında doğrusal programlamayı kullanarak uçak bakım-onarım sektöründeki yedek parça envanterinin verimli şekilde yönetilmesi için maliyet tabanlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada varolan envanter maliyetiyle modelde bulunan envanter maliyeti karşılaştırılarak doğrusal programlama modeli ile uygulama gerçekleştirilmiştir.

2.2 Yedek Parça Sınıflandırması

Literatürde yedek parça sınıflandırılmasına yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır.

Braglia ve ark. (2004), çalışmalarında kağıt endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmanın yedek parça stokları için “en iyi” kontrol stratejisini belirlemek amacıyla farklı yedek parça sınıflarını olası envanter yönetimi politikalarına bağlamak için bir envanter politikası matrisi tanımlamışlardır. Bunun için önce Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) analizine benzer bir şekilde bir karar şeması analisti, bir dizi karar düğümü aracılığıyla maddelerin en iyi kritik sınıflamasına yönlendirmiştir. Braglia ve ark. tarafından önerilen Çok Nitelikli Yedek Ağaç Analizi (MASTA) madde kritikliğine dayalı bir sınıflandırma kriterine sahiptir. Yöntem iki ardışık adım sağlar: İlk adım, bir mantık ağacı kullanarak hazırlama yöntemlerini analiz etmek için dört yedek parça kritiklik sınıfının tanımlanmasını önerir. Bir sonraki adım, dört tanımlı sınıfın her birine uygun envanter yönetimi stratejileri almayı içerir. Her düğümdeki seçim sırasında analiste yardım etmek için, AHP modelleri önerilmiştir. Ardından her sınıfa uygun bir envanter stratejisi için envanter yönetimi politikası matrisi çalışmada geliştirilmiştir.

Ng (2007), çalışmasında çok kriterli envanter sınıflandırması için basit bir model önererek envanter kaleminin tüm kriter ölçümelerini bir skaler skora dönüştürmüş ve daha sonra ABC ilkesi kullanılarak hesaplanan puanlara dayalı sınıflandırma uygulamıştır. Böylece yıllık parasal kullanımı gibi tek bir ölçüme göre yapılan ABC analizine diğer kriterleri de ekleyerek çok kriterli envanterin sınıflandırılması problemleri için alternatif bir ağırlık doğrusal optimizasyon modeli önermiştir. Bir envanter maddesinin genel skorunun birleşik bir ölçümünün hesaplanması için basit bir çözüm mekanizmasını hesaplanması amaçlamıştır.

Bošnjaković (2010), çalışmasında yedek parçaların benzer özelliklere göre gruplandırılmasına ve sınıflandırılmasına dayanan çok kriterli envanter modeli önermektedir. Bu kapsamda üretim, tedarik, güvenlik ve stok olmak üzere dört ana yedek parça kriter başlığı belirlenmiştir. Bu ana başlıklar altında da alt kriterler

oluşturulmuştur. Ayrıca stoktaki yedek parçaların maliyetlerini optimize etmek için değer kullanımı, kritiklik ve talep sıklığı olmak üzere 3 kriter ele alınmış ve bunlar için farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu kriterler; yedek parçaların değer kullanımı için ABC analizi, kritikliği için VED analizi ve talep sıklığı için FSN analizi ile incelenmiştir. Bu analizlere dayanan, yedek parçaları sınıflandıran ve envanter maliyetini azaltmayı amaçlayan pratik bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir.

Molenaers ve ark. (2012), çalışmalarında yedek parça kritikliğini inceleyerek bir petrokimya tesisinde yedek parçaların sınıflandırmasını amaçlamışlardır. Kullanılan yedek parçaların kritikliğini belirlemek için A,B,C,D,E ve F olmak üzere 6 sınıf kullanmıştır. Bu sınıfları bir risk matrisine dayandırarak, ilgili ekipmanın arıza sıklığı ve arızanın olası sonuçlarını göz önünde bulundurmışlardır.

Jeddou (2014) çok ölçütlü ABC envanter sınıflandırması çalışması, araç yedek parça toptan satışı alanında bir şirkette çok kriterli bir sınıflandırma yapmak için Ng modeline dayanmaktadır. Bu model kriterlerin azalan önem sırasına sahip olduğunu varsaymaktadır. Geleneksel tek kriter ABC sınıflandırması ile bir karşılaştırma yapılmıştır. Tek ve çok kriterli ABC sınıflandırması arasındaki benzerliğin % 78 olduğu belirlenmiştir. Bu oranın, sınıflar arasındaki eşitsizlikleri A sınıfı için % 18, B sınıfı için % 33 ve C sınıfı için % 16 şeklinde bulunmuştur. Bu yeni çok kriterli envanter sınıflandırmada, izleme ve envanter kontrolü açısından yeni bir önem hiyerarşisi kuralı oluşturulmasına yardımcı olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık, yüksek bir yıllık kullanım değerine sahip gruplar, ek kriterlere göre en zayıf performanslarından dolayı azaltılmıştır.

Millstein ve ark.(2014), çalışmalarında envanter gruplarını, bunların ilgili hizmet seviyelerini ve stok bulundurma birimlerinin gruplara atanmasını eş zamanlı olarak belirlemek için bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu model entegre, otomatik ve optimize edilmiş çözümler sunarak bilinen ABC envanter gruplama yaklaşımını genelleştirmiş ve geliştirmiştir. Geliştirilen modelde öncelikle, envanter maliyetini en aza indirmekten ziyade, modelin bir şirketin

karlılığını en üst düzeye çıkarması hedeflenmiştir. Çalışmada, envanter maliyeti ile teklif arasındaki dengeyi optimize ederek envanter bütçesini stok bulundurma birimlerine en uygun şekilde ayırmaya çalışmışlardır. Millstein ve ark. (2014), çalışmada elde ettikleri sonuç, şirkette uygulanan geçmiş ABC çözümüne kıyasla şirketin toplam net karını % 3,85 arttırmıştır. Ayrıca, yaklaşımlarının sağladığı duyarlılık analizi, envanter yöneticilerinin, envanter gruplaması ve stok grup yönetimi maliyetinin optimal envanter gruplaması kararı ve verimliliğine etkisini ölçmesine yardımcı olduğu görülmüştür.

Duran (2015) çalışmasında, yedek parça kritikliğinde belirsizliği ve belirsizlik faktörlerini dikkate almıştır. Kritiklik analizini bakım ve lojistik faktörleri açısından incelemiş; her iki açıdan ana ve alt kriterler oluşturmuştur. Duran (2015), yedek parçaların kritiklik analizinin eş zamanlı değerlendirilmesini zorlu ve karmaşık bulmuştur. Bu nedenle, yedek parça yönetiminde kritiklik analizinde belirsizliklerin çok kriterli karar verme süreçlerine dahil edilmesi için ve yedek parçaların önceliklendirilmesinde bulanık tabanlı AHP kullanmıştır.

Kumar ve Singh (2016) çalışmalarında bir üretim şirketinin kompresör biriminde çoklu ürünleri ABC Analizi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, şirketin bileşenler için olmayan hammaddelerin tedarik sürecinde yaşadığı sorunlara envanter politikasında iyileştirmeler yaparak öneriler geliştirmişlerdir. Bu tavsiyelere göre, “A” kalemlerinin öngörülen yatırım ve satın alma kapasitesi üzerinde daha fazla etkisi ve yüksek önceliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle bu grubun çevrim sayısı yüksek olması, daha sık sayılması üzerinde durmuşlardır. Ayrıca A kalemlerinin yatırım yükümlülüğünü ve buna bağlı taşıma maliyetlerini azaltacak alternatif stoklama düzenlemeleri potansiyelini dikkate alacak şekilde stoklanması önerisinde bulunmuşlardır.

Teixeira ve ark. (2018), en uygun stok yönetimi politikasını tanımlamak için yedek parçaları gruplandırmak amacıyla bakım ve lojistik perspektiflerini birleştiren çok kriterli bir sınıflandırma metodolojisi önermişlerdir. Metodolojiyi, çok uluslu bir imalat şirketinde yürütülen bir vaka incelemesine dayanarak

geliştirmiş ve bilgisayarlı bakım yönetim sistemine entegre edilmesini amaçlamışlardır. Yedek parçaların kritikliğini belirlemek için literatür araştırması sonucu yedek parça işlevi ve üretime etkisi olmak üzere iki faktör üzerinde durmuşlardır. Yedek parçalar bu faktörler açısından VED analizi ile sınıflandırılmıştır. Daha sonra teslim süresi ve fiyat faktörleri de bakım ekibinin deneyimi ile yüksek, orta ve düşük seviyelerde önem düzeyi belirtilerek analize entegre edilmiştir. Elde edilen gruplandırma sonucunda yedek parçaların stok politikalarının seçimini kolaylaştırmayı hedeflemişlerdir.

2.3 Stok ile İlgili Modelleme Çalışmaları

Stok ile ilgili modelleme çalışmaları konusunda literatür taraması aşağıda sıralanmıştır.

Azadivar ve Shu (1998) bir üretim sistemi için optimum bakım politikasını belirlemek adına nicel karar değişkenleri ile nitel ve politika değişkenlerinden oluşan bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Genetik algoritmalara dayalı bir simülasyon-optimizasyon prosedürü geliştirilmiş ve çok basitten çok karmaşık bir sisteme kadar dört soruna uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen formülasyonun gerçekten bu karmaşık problem için kabul edilebilir çözümler sağlayabileceğini göstermiştir. Özellikle, genetik algoritma temelli optimizasyon yordamı, birleşik bir nicel ve nitel değişkenler kümesi tarafından tanımlanan problemleri çözmede büyük bir esneklik göstermiştir.

Vaughan (2005), çalışmasında düzenli bakım ve rastgele oluşabilecek arızaların bakımları sırasında gereken yedek parçalar için stok politikalarını incelemiştir. Her iki talep kaynağını birleşik bir şekilde ele alan bir sipariş politikasını tanımlamak için stokastik bir dinamik programlama modeli kullanmıştır. Düzenli bakım ve arıza bakımları için gereken yedek parçaların ayrı sipariş politikalarının izlendiği duruma kıyasla optimal politikanın toplam maliyette önemli tasarruf sağladığı çalışmada gösterilmiştir.

İlgın ve Tunalı (2007), çalışmalarında otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir üretim sisteminin önleyici bakım ve yedek parça politikalarının ortak optimizasyonu için genetik algoritmalar kullanan bir simülasyon optimizasyonu yaklaşımı önermişlerdir. Üretim modelinin bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve simülasyon modelinin parametrelerini optimize etmek için genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır.

Kleijnen ve Wan (2007), çalışmalarında envanter yönetimi sisteminde minimum ve maksimum stok seviyelerini temsil eden optimum (s , S) parametre değerlerini bulmayı amaçlamışlardır. Envanter kontrol limitleri olan s ve S seviyeleri için tahminin zor olduğunu literatür taraması ile ortaya koymuşlardır. Kontrol değerleri ile birlikte modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları da göz önünde bulundurularak arena paket programı optquest aracı kullanılarak optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Karush-Kuhn-Tucker koşulları ile test edilmiştir. Bu sonuçlar aynı araştırmayı Tepki Yüzey Metodolojisi ve Pertürbasyon Analizi ile optimize eden iki grubun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Gerçek değerlere en yakın kontrol limitlerinin optquest yöntemiyle bulunduğu görülmüştür.

Wan ve Li (2008), çalışmalarında stokastik teslim süresine sahip (s , S) envanter sistemini ve hizmet seviyesi kısıtlamasını göz önünde bulundurarak kısıtlı optimizasyon probleminin simülasyonunu ele almışlardır. Bu problemin çözümünde ilk olarak simülasyon paket programı olan arena programı kullanılarak (s , S) envanter modeli kurulmuştur. Sistemin performansı bir maliyet fonksiyonu ve servis seviyesi ölçüleriyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kriterleri optimizasyon aracı olan Optquest aracında tanımlanarak s ve S noktaları için alt ve üst sınırlar tanımlanmıştır. Literatürde bu alanda çalışılan iki farklı yöntem olan pertürbasyon analizi ve cevap yüzey yöntemi ile karşılaştırma yaparak sonuçları Karush-Kuhn – Tucker koşulları ile değerlendirerek en iyi tahmin sonucunu elde ettiklerini göstermişlerdir.

Abuziam (2011), çalışmasında Palisade @Risk simülasyonunu kullanarak belirsiz talep ve teslim süresi olan periyodik bir gözden geçirme envanter

modelinde (s, S) değerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, palisade @ RISK simülasyonunun deneme değeri (s, S) olarak alınmış, bu değerler RISKOptimizer kullanarak elde edilmiştir. Uzun vade içerisinde, dönem başına beklenen toplam stok maliyetini en aza indirmek için bir elektronik tablo modelinde gösterilmiştir. Bir parekende satış mağazası için talep değerleri dışında aynı değerler alınarak iki farklı uygulama yapılmıştır. Uygulama için; sipariş maliyeti, birim maliyet, dönem başına birim tutma maliyeti ve acil nakliye maliyeti ile mevcut envanter durumu, teslim süresinin yaklaşık dağılımı dikkate alınarak muhtemel s (yeniden sipariş noktası) ve S (miktar noktasına kadar sipariş) deneme değerleri incelenmiştir. Bu değerler sonucunda elde edilen toplam maliyetler hesaplanarak maliyeti minimize eden (s, S) değerleri seçilmiştir.

Literatür Değerlendirmesi

Literatür taramasında görüldüğü üzere yedek parça stok yönetiminde yedek parçaların gruplandırılması konusunda pek çok çalışma yer almaktadır. Çalışmalarda stok sınıflandırılması yapılarak yedek parçaların kritikliğinin ve önem seviyesinin daha net görülmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada da yedek parça stoklarını sınıflandırmak için kriterler belirlenmiş ve bunun sonucunda kriterlerin önem seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde dikkate alınan uygulama firmasına özel yeni kriterler literatüre ek olarak uzman görüşleri ile belirlenmiştir.

Literatürde yedek parçaların stok yönetimi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Fakat çalışma konusu yedek parçaların önem seviyelerinin belirlenip bu önem seviyesi dikkate alınarak seçilen yedek parça için stok politikasının belirlendiği ve yedek parçanın muadil durumu dikkate alınan çalışmaya rastlanmamıştır. Aynı zamanda literatürde yer alan yedek parça stok modelleme çalışmalarına ek olarak bu çalışmada elde bulundurma ve üretim kayıp maliyetleri zaman parametresi dikkate alınarak modellenmiş ve etkin (s, S) değerleri belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda yedek parçaların toplam

maliyet üzerindeki etkileri genellikle eşit alınmaktadır. Bu çalışmada yedek parçaların toplam maliyet üzerindeki etkileri de ağırlıklandırılarak her bir parçanın toplam maliyet üzerindeki etkisi de modele dahil edilerek çalışma tamamlanmıştır.





3. MATERYAL ve METOD

3.1 Materyal

Bu çalışmanın materyalini büyük ölçekli bir alçı üretim tesisi verileri oluşturmaktadır. Verilerin analizinde ve sistemin modellenmesinde ise yazılımlar kullanılmıştır. İşletmeden alınan veriler ve çalışmada kullanılan yazılımlar ile ilgili bilgiler bu bölümde açıklanmıştır.

3.1.1 Çalışmada Kullanılan Veriler

Büyük ölçekli bir alçı firmasında gerçekleştirilen çalışmada firmadan temin edilen bilgiler aşağıda verilmiştir:

- i. Üretim hatlarında kullanılan yedek parça grupları Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Yönetici istekleri doğrultusunda bant, kayış, rulman, keçe, kasnak, zincir ve dişli olmak üzere 7 grup incelenmiştir.

Çizelge 3.1. Yedek Parça Grupları

Rulmanlar	Miller	Pinomatik Ekipmanlar	Zincirler
Keçeler	Dişliler	Kaplinler	Kayışlar
Rulolar	Piston	Kasnaklar	Tekstil Bantlar
Tamburlar	Silindir	Sıkma Burçlar	Yaylar

- i. Uzman görüşü doğrultusunda farklı yedek parça gruplarının firma için önemini ve kritikliğini belirleyen parametreler
- ii. Uzman görüşü doğrultusunda aynı grup içinde yer alan yedek parçaların firma için önemini ve kritikliğini belirleyen parametreler
- iii. Firma üretim süreci akış diyagramı
- iv. Yedek parçalara ait talep miktarı ve taleplerin oluşma zamanı bilgisi

- v. Yedek parçaların bir birim satın alma maliyeti, bir birim elde bulundurma maliyeti, bir birim sipariş maliyeti, stok kesilmesi durumunda üretim kayıp maliyeti bilgileri
- vi. Yedek parçaların birim hacimleri,
- vii. Depoda her bir yedek parça için ayrılan depo hacmi
- viii. Bir alçı plakanın ortalama satış fiyatı ve karlılık oranı
- ix. Günlük ortalama alçı üretim miktarı
- x. Her bir ürün için önerilen (s, S) değerleri
- xi. Tedarikçi ve tedarik süresine ait bilgiler

3.1.2 Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Çalışmanın ilk adımında yedek parça seçim kriterlerinin önem seviyesinin ve firma için kritik yedek parçaların belirlenmesinde AHP ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanmasında Microsoft Office Excel kullanılmıştır.

Çalışmada firma üretim süreci için kritik olarak belirlenen yedek parçalar için firmadan temin edilen bilgilere göre simülasyon modeli oluşturulmuştur. Simülasyon modelinde kullanılan verilerin dağılımının bulunabilmesi için PASW Statistics programı kullanılmıştır. Bu program pek çok dosya türünden veri alabilir ve bunları tablo halinde raporlar, dağılımlar ve trend grafikleri ve çizimleri, açıklayıcı istatistikler ve karmaşık istatistiksel analizler oluşturmak için kullanabilir (PASW Statistics 18 Core System User's Guide).

Simülasyon modelinin kurulmasında Arena simülasyon paket programı kullanılmıştır. Arena; tedarik zinciri, üretim, süreçler, lojistik, dağıtım, depolama ve servis sistemleri ile ilgili önemli ve karışık değişimlerin etkisini analiz etmek için kullanılan simülasyon modelleme yazılımıdır. Arena paket programında yapılabilecek analizler aşağıda özetlenmiştir (Arena Users Guide).:

- Malzeme taşıma bileşenleri de dahil olmak üzere her türlü üretim sisteminin ayrıntılı analizi
- Karmaşık müşteri hizmetleri ve müşteri yönetim sistemlerinin analizi
- Depolama, nakliye ve lojistik sistemlerini içeren küresel tedarik zincirlerinin analizi
- Maliyetler, verim, çevrim süreleri ve kullanım gibi temel ölçümlere dayalı sistem performansını öngörme
- Sıra birikmesi ve kaynakların aşırı kullanımı gibi süreç darboğazlarının belirlenmesi
- Personel, ekipman veya malzeme gereksinimlerini planlamak (Arena Users Guide).

Çalışmada simülasyon modeline dayalı simülasyon optimizasyon yaklaşımı ile yedek parçalar için (s, S) değerleri belirlenecektir. Simülasyon-optimizasyon modelinde Arena optquest aracı kullanılmıştır. Optquest aracı, belirli simülasyon yazılım platformları için gömülü sürümleri geliştirilmiş, güçlü, genel amaçlı bir sezgisel optimizasyon motorudur (Rogers, 2002). OptQuest ile optimizasyon problemleri için gerekli kontroller seçilerek, kısıtlar ve amaç fonksiyonları tanımlanabilir. OptQuest, değişken değerlerini ayarlamak, simülasyon işlemlerini başlatmak ve sürdürmek ve simülasyon sonuçlarını almak için Arena'yı otomatikleştirmekte veya kontrol etmektedir (OptQuest for Arena Users Guide) . Pek çok simülasyon optimizasyon uygulamasında optquest aracı kullanılmaktadır (Rogers, 2002; Ahmed ve Alkhamis 2009'den).

3.1.3 Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışmada kullanılan veriler firmanın son iki yılda elde edilen yedek parça stok kayıtlarına ait verilerden oluşmaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda incelenen yedek parça gruplarının minimum, maksimum ve standart sapma değerleri tespit edilmiştir. Buna göre; yedek parça gruplarının minimum değerinin

1, maksimum değerinin 5 olduğu görülmüştür. (90*24.805) ölçüsüne ait standart sapma değeri 1,39, (90*1.1670) ölçüsüne ait standart sapma değeri 1,35 ve (90*1.655) ölçüsünde ki yedek parça grubunun standart sapma değeri 1,34 olarak bulunmuştur.

3.2 Metod

Bu çalışmada yedek parça seçim kriterlerinin belirlenmesi için AHP ,bu yöntemin sonucunda elde edilen ağırlıklar ile kritik yedek parçayı bulmak için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen kritik yedek parça için uygulanacak stok politikası parametrelerinin belirlenmesi ve toplam maliyetin minimizasyonu için simülasyon optimizasyonu yapılmıştır.

3.2.1 AHP Yöntemi

AHP, çok kriterli karar verme problemlerinin; ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi gösteren, hiyerarşik bir yapıda modellenebilmesine olanak veren bir yöntemdir (Dinçer ve Görener, 2011).

AHP yönteminin adımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

1. Adım. Modelin kurulması ve problemin formüle edilmesi: AHP de karar sürecini etkileyen tüm faktörler anket çalışması veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurularak belirlenir. Daha sonra elde edilen bilgiler doğrultusunda, amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik bir yapı oluşturulur (Yang ve Lee, 1997).

2. Adım. Verilerin toplanması, ikili karşılaştırmalar matrislerinin oluşturulması Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra Çizelge 3.2. 'de ki ikili karşılaştırma ölçeği kullanarak veriler toplanır ve ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilir (Saaty, 1986).

Çizelge 3.2. AHP İkili Karşılaştırma Ölçeği (Saaty, 1986)

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önem
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması
5	Güçlü düzeyde önem
7	Çok güçlü düzeyde önem
9	Aşırı düzeyde önem
2,4,6,8	İki komşu değer arasındaki değer (Ortalama Değerler)

3. Adım: Hiyerarşinin her bir aşamasındaki elemanların göreceli ağırlıkların (özvektör) tahmin edilmesi: İkili karşılaştırmalar matrisi elde edildikten sonra, toplamı 1.00 veya yüzde 100 olacak şekilde normalleştirme yapılarak matrislerin özvektörleri hesaplanır (Cheng ve LI, 2001).

4. Adım: Sonuçların geçerliliği için tutarlılık oranını hesaplanması: İkili karşılaştırmaların tutarlı olması için Tutarlılık Oranının (CR) 0.1'in altında olması gerekir (Chan ve ark., 2006). Tutarlılık oranını aşağıdaki formülle hesaplamak mümkündür.

$$\text{Tutarlılık indeksi } CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \text{ hesaplanır.} \quad (3.1.)$$

$$\text{Tutarlılık oranı } (CR = CI/RI) \quad (3.2.)$$

Çizelge 3.3.'den (RI = rassal tutarlık indeksi, $\lambda_{\max}$ = ikili karşılaştırmalar matrisinin en büyük özvektör değeri ve n = Sütun sayısını) yararlanarak hesaplanabilir (Shyji ve ark., 2008).

Çizelge 3.3. Rassallık İndeks Değerleri (Saaty,1980)

n	RI	n	RI
3	0,58	9	1,45
4	0,9	10	1,49
5	1,12	11	1,51
6	1,24	12	1,48
7	1,32	13	1,56
8	1,41	14	1,57

5. Adım: Farklı amaçlar için görelî ağırlıkların kullanılması: Karar hiyerarşisinin her seviyesinde en yüksek puana sahip olan eleman daha önemlidir. Alternatifler arasından seçim yapabilmek için son seviyedeki her bir elemanın görelî bileşik ağırlığı hesaplanmalıdır(Cheng ve LI, 2001).

3.2.2 Topsis Yöntemi

TOPSIS yöntemi çözüm alternatifinin pozitif-ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafe anlayışıyla oluşturmuşlardır (Monjezi ve ark., 2012).

TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir

1.Adım: Karar matrisinin oluşturulması: Karar matrisinde, alternatifler alt alta sıralanır ve karşılarında her bir kriterin alternatiflere göre gösterdikleri özellikler listelenir.

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

2.Adım: Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar matrisindeki kriterlere ait puan veya özelliklerin kareleri toplamının karekökü alınarak matris normalize edilir.

3.Adım: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması: Normalize edilmiş karar matrisinin elemanlarının kriterlere verilen önemler doğrultusunda göreceli ağırlık değerleri bulunur. Ağırlıklar belirlendikten sonra normalleştirilmiş karar matrisinin her bir elemanı (r_{ij}) ilgili kriterin ağırlığı (w_j) ile matris gösterimindeki gibi çarpılır.

4.Adım: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması: İdeal çözüme ulaşmak için (A^*) önceki adımda oluşturulan ağırlıklandırılmış normalize matrisin her bir sütunundaki en yüksek ve en düşük değerler seçilir.

$$A^* = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J')\} i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.4)$$

$$A^* = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J')\} i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.5)$$

5.Adım: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: Alternatifler arasındaki ayırım (mesafe) ölçülür. Her alternatifin pozitif- ideal çözümden olan mesafesi hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_{j^+})^2} i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_{j^-})^2} i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.7)$$

6.Adım: İdeal Çözüme Göreceli Yakınlığın Hesaplanması: İdeal çözüme göreceli yakınlık (C_i^*) hesaplanır.

7.Adım: Alternatifler ideal çözüme göreceli yakınlık (C_i^*) değerlerine göre sıralanırlar. Maksimum (C_i^*) değeri seçilir.

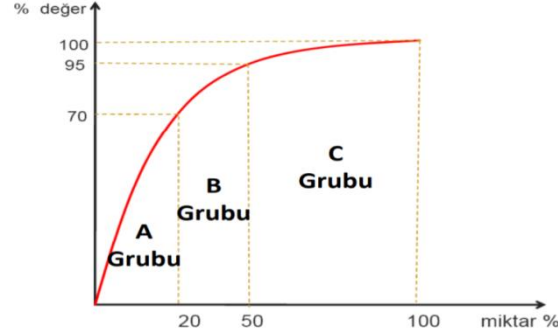
AHP ve TOPSIS yöntemlerine dayalı değerlendirmelerin yapılmasının ardından kritik yedek parçaların etkin stok kontrolünün sağlanabilmesi için simülasyon modeli oluşturulmuş ve simülasyon-optimizasyon ile modele çözüm aranmıştır. Bu kapsamda Stok Kontrol Yöntemleri, Simülasyon Modelleme ve Matematiksel Modelleme konuları da incelenmiştir.

3.2.3 Stok kontrol Yöntemleri

Stok Kontrolü işletmeler açısından envanter yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Stok kontrolünün doğru zamanda ve miktarda yapılabilmesi işletmelerin tüm süreçlerini etkilemektedir. Stok kontrolünde kullanılan yöntemlerden aşağıda özetlenmiştir.

3.2.3.1. ABC Analizi

ABC analizini kullanarak envanter sınıflandırma, organizasyonlarda en yaygın kullanılan tekniklerden biridir ve bu sınıflandırma Pareto prensibine dayanmaktadır (Ramanathan, 2006). A Grubu envanter kalemleri, şirketin işlerinin yaklaşık% 70'ini oluşturan ancak envanterin yalnızca% 10'unu alanlardır ve şirketin işleyişi için kritik öneme sahiptirler. B Grubu envanter kalemleri, şirket işlerinin yaklaşık% 20'sini temsil eden ve envanterin yaklaşık% 20'sini alanlardır. C Grubu envanter ise şirket işlerinin sadece% 10'unu temsil eden ancak envanterin yaklaşık% 70'ini alan ürünlerdir (Ng, 2007). ABC analizi A, B ve C grubu ürünleri yüzdesel eğrisi Şekil 3.1. 'de gösterilmiştir:



Şekil 3.1. ABC Eğrisi

3.2.3.2. Çift Kutu Yöntemi

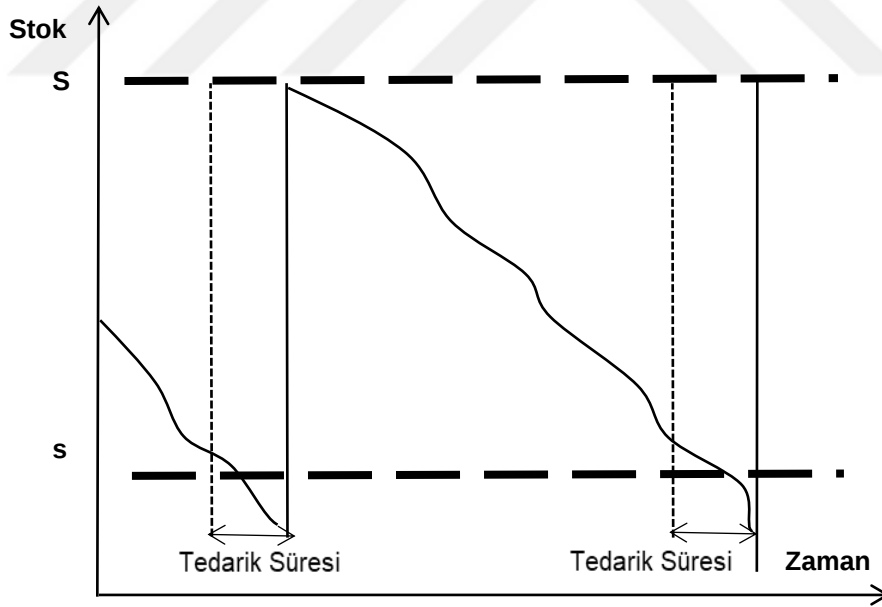
Çift Kutu Yönteminde herhangi bir cins stok iki bölmeli bir kutuda veya iki farklı yerde depolanır. Birinci kutu tamamen boşaldığı zaman yeni sipariş verilir. İkinci kutudaki miktar sipariş teslim alınıncaya kadar ihtiyacı karşılamaktadır. Pratikliği ve sakıncaları bakımından gözle kontrol yöntemine benzemektedir. Her iki yöntem de birim değeri düşük, küçük hacimli ve az sayıdaki stok kalemlerinin kontrolünde kullanılmaktadır (Kobu,2010: Dağsuyu 2013'den).

3.2.3.3. Gözle Kontrol Yöntemi

Stoklar periyodik olarak tecrübeli bir ambar sorumlusu tarafından gözden geçirilir. Belirli bir düzeyin altına düşen stok kalemleri için hemen sipariş verilir. Sorumlunun bilgi ve tecrübesine göre sipariş verilecek zaman ve miktar belirlenmektedir. Genelde küçük işletmelerde depo ve ambarlarda sorumlu kişiler tarafından uygulanan bir kontrol yöntemidir. İlgili kişi veya kişiler stoklanan maddelerin durumuna göre karar vermektedir. Stokların azalması durumunda yeniden sipariş verilir. Bu yöntemde stok kontrolü yapan kişinin deneyimli olması zorunludur. Yöntem kolay, basit ve ucuz bir stok kontrol metodudur. Üretim kapasitesi küçük işletmelerde, perakendeci işletmelerde kullanılabilir (Karahan, 2013).

3.2.3.4. Maksimum-Minimum Metodu (s,S)

Stok kontrolü esnasın sabit sipariş periyodu ile sabit zamanlarda ürün siparişi verilebilmektedir. Fakat belli aralıklarla sipariş verildiği için bazı durumlarda verilen sipariş miktarı çok az olabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için uygulanan maksimum-minimum metodunda, sabit sipariş miktarı ile sabit sipariş periyodunun bazı özellikleri birleştirilerek daha gerçekçi bir stok politikası elde edilmektedir. (s,S) stok politikası da olarak bilinen bu sistemde stokta bulunan ürün için; S maksimum stok seviyesini gösterirken, s minimum stok seviyesini ifade etmektedir. Bu sistemde stoklar stok seviyesi minimum seviye olan s 'in altında ise sipariş verilmektedir. Eğer stoklar azalmış fakat s seviyesinin altına inmemişse sipariş verilmemektedir (Karahan, 2013). Verilen sipariş ile stok miktarı maksimum seviye olan S' e ulaşmaktadır. (s,S) stok sisteminin grafiği Şekil 3.2 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. (s,S) Stok Kontrol Grafiği

3.2.4 Simülasyon Modelleme

Simülasyon gerçek dünyadaki bir sürecin veya sistemin benzetiminin yapılarak bir sistemin davranışını tanımlamak, analiz etmek, gerçek sistemi sorgulamak ve gerçek sistemin tasarımına yardımcı olmak için kullanılmaktadır (Banks, 1998).

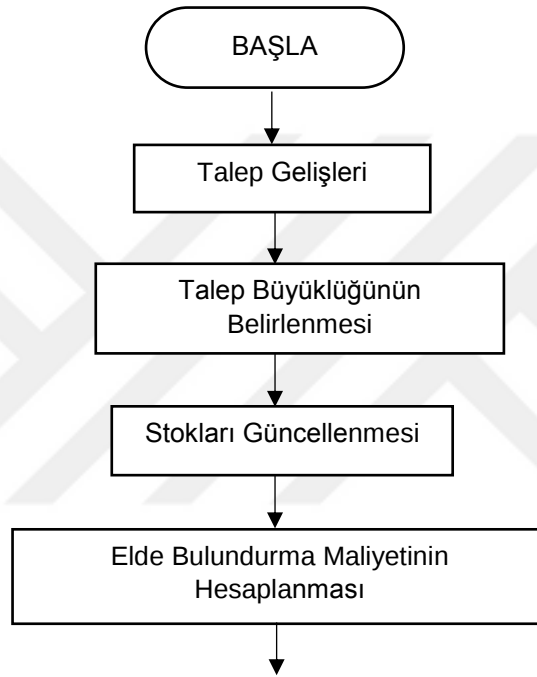
Stokastik bileşenlerden oluşan karmaşık, gerçek dünya sistemlerinin birçoğu analitik olarak çözülebilecek matematiksel modellerce doğru olarak açıklanamayacağına simülasyon genellikle mümkün olan tek inceleme seçeneği olmaktadır (Yiğit, 2015). Simülasyon modeli kurulmasının nedeni bantların sisteme gelişlerinin ve taleplerinin stokastik bir değişim göstermesidir.

Simülasyon modelleri üç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar (Law ve Kelton, 1991);

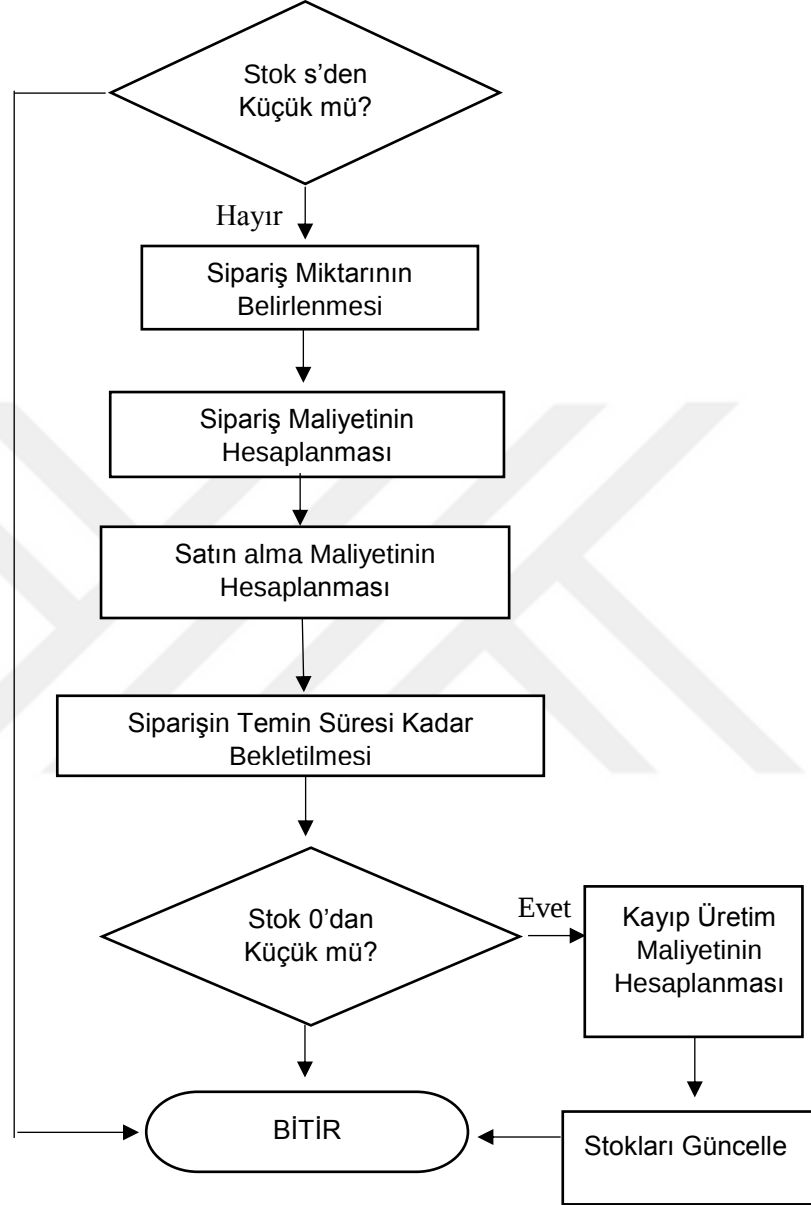
- Statik-Dinamik Simülasyon Modelleri: Statik simülasyon modeli, belirli bir zamandaki bir sistemin tanımlanmasıdır ya da zamanın önemli bir rol oynamadığı bir sistemde kullanılabilmektedir. Öte yandan, dinamik simülasyon modeli zamanla değişen bir sistemde kullanılmaktadır.
- Deterministik-Stokastik Simülasyon Modelleri: Eğer bir simülasyon modeli herhangi bir olasılık unsuru (örneğin rassallık) taşımıyorsa, bu model deterministiktir. Ancak bazı modeller en azından birkaç rassal girdi unsuru ile modellenmek zorundadır. Bunlar, stokastik simülasyonun oluşmasına sebep olmaktadır.
- Sürekli-Kesikli Simülasyon Modelleri: Kesikli-olay simülasyonunda sistemin durumu belli bir zaman aralığında sonlu sayıda zaman noktasında değişir. Sürekli-olay simülasyonunda ise sistemin durumu tüm zaman sürecinden sürekli değişebilmektedir.

3.2.4.1. Simülasyon Modelinin Akış Diyagramı

Çalışmada yedek parça grupları içerisinde kritik öneme sahip olan yedek parça grubu için simülasyon modeli kurulmuştur. Modelin akış diyagramı Şekil 3.3. ' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Simülasyon Yazılımında Geliştirilen Algoritma



Şekil 3.3. Simülasyon Yazılımında Geliştirilen Algoritma Devamı

3.2.4.2. Olasılık Dağılımlarının Seçimi ve İstatistiksel Analiz

Yapılan çalışmada simülasyon modelinin kurulabilmesi için incelenecek olan yedek parça grubunun sisteme gelişler arası süresi ile talep miktarlarının olasılık dağılımları gerekmektedir. Verilerin dağılımlarının bulunabilmesi için PASW Statistics programı kullanılmıştır. Kullanılacak verilerin analizi Kolmogrov Smirnov testi ile yapılarak değerlendirilmiştir.

Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi, ampirik bir dağılım fonksiyonunu varsayımsal dağılımın F dağılım fonksiyonu ile karşılaştırmaktadır. Kolmogrov-Smirnov testinin adımları aşağıda verilmiştir (Law ve Kelton, 1991):

- $X_1, X_2, \dots, X_n$ gözlemlerinden ampirik dağılım fonksiyonunun oluşturulması
- Bütün x değerleri için $F_n(x)$ ile $\hat{F}(x)$ arasındaki dikey farklar içerisinde en büyüğünün hesaplanması
- Maksimum sapma (D_n) hesaplanır:

$$D_n^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \hat{F}(X_{(i)}) \right\}, D_n^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right\}, D_n = \max\{D_n^+, D_n^-\} \quad (3.8)$$

- Karar kuralı: Maksimum sapmanın büyük olması gözlemlerin dağılıma uymadığı yönünde bir delildir. $D_n > d_{n,1-\alpha}$ olduğunda H_0 hipotezi reddedilmelidir.

3.2.4.3. Simülasyon Çıktılarının AnaliziIsınma Periyodu:

Sistemin başlangıç koşullarının etkisinden bağımsızlaşarak durağan hale gelmesi durumu ısınma periyodu olarak tanımlanabilir. Isınma periyodunun bulunabilmesi için Welch Grafik yönteminden faydalanılmıştır.

Welch Grafik Yönteminin adımları aşağıda sıralandığı gibidir (Law ve Kelton, 1991):

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

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

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.9)$$

Formülü ile hesaplanır.

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

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{Y}_{i+s}}{2w+1} \quad i = w+1, w+2, \dots, m-w \quad (3.10)$$

$$\bar{Y}_i(w) = \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{Y}_{i+s}}{2i-1} \quad i = 1, 2, \dots, w \quad (3.11)$$

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

Replikasyon Sayısının Belirlenmesi:

Çalışmada replikasyon sayısı belirlenirken ‘Sabit Örneklem Büyüklüğü Yöntemi’ ve ‘Bağıl Hata Formülü’ kullanılmıştır. Bağıl hata ile replikasyon sayısının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Law ve Kelton, 1991):

$$n_r^*(\gamma) = \min \left\{ i \geq n: \frac{t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{S^2(n)}/i}{|\bar{X}(n)|} \leq \gamma' \right\} \quad (3.12)$$

Burada $\gamma' = \frac{\gamma}{1+\gamma}$ burada düzeltilmiş bağıl hatadır.

Yukarıdaki formülde;

n: Başlangıçta yapılan replikasyon sayısını,

i: Gerekli replikasyon sayısını,

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

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

α : Önem düzeyini ve

γ : Bağıl hata değerini göstermektedir.

Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için hem önem düzeyi (α) değerinin hem de bağıl hata (γ) değerinin %1-%5 arasında olması tercih edilmelidir (Law ve Kelton, 1991). $i = n$ için değerleri Denklem (3.12)’de yerine koyduğumuzda bulduğumuz değer γ' değerinden küçük veya eşit ise başlangıç replikasyon sayısı yeterlidir. Aksi takdirde i değerini arttırarak formülde yeni değerler hesaplanır ve gerekli replikasyon sayısı bulunur (Law ve Kelton, 1991).

Simülasyon Modelinin Doğruluğu ve Geçerliliği:

Simülasyon modeli oluşturulduktan sonra, modelin gerçek sistemi yansıtır yansıtmadığını anlayabilmek için modelin doğruluk ve geçerlilik araştırmasının yapılması gerekmektedir. Doğruluk, bilgisayar programının beklenildiği ve

amaçlandığı gibi çalışmasıdır. Geçerlilik ise modelin gerçek sistemi doğru bir şekilde temsil edip-etmediğinin ölçülmesidir.

Simülasyon modelinin geçerliliği gerçek sistemden elde edilen talep verilerinin ortalaması için güvenlik aralığı hesaplanarak test edilmiştir. Güvenlik aralığının hesaplanması için Denklem (3.13) kullanılmıştır;

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.13)$$

$\bar{x}$ örneklem ortalamasını ve s örneklem standart sapmasını ifade etmektedir. Örneklem büyüklüğü n ve $t_{\alpha/2, n-1}$ serbestlik düzeyi ile t -tablosu değerini ifade etmektedir.

3.2.5 Simülasyon Optimizasyon

Simülasyon modelleri gerçek sistemlerin davranışı hakkında bilgi vererek sistem performansını iyileştirmek için kullanılabilir. En iyi performansı sağlayan tasarım parametrelerinin bir setini bulmak için simülasyon modelleri kullanılarak tekrarlı analiz yapılabilir. Simülasyon optimizasyon, en iyi sistem performansını belirlemek için tasarım parametrelerinin farklı değerleri ile simülasyon modelinin tekrarlı analizi olarak ifade edilebilir. Simülasyon optimizasyon stratejileri çıktı faktörü ve tasarım parametreleri setine bağlı olmaktadır. Eğer tasarım parametreleri seti kesikli ise, uygun optimizasyon metotları; sıralama ve seçme rassal araştırma ve meta sezgiselleri içermektedir. Eğer tasarım parametreleri seti sürekli ise, gradyan-temelli metotlar ya da metamodel temelli optimizasyon kullanılabilir (Barton ve Meckesheimer, 2006).

Toplam maliyeti minimum yapacak, s ve S değerlerinin belirlenmesi için simülasyon optimizasyon yöntemi de uygulanmıştır. s ve S kesikli değerlerdir ve çalışmada optimizasyon yapmak için Arena simülasyon modelleme yazılımının optquest bölümü kullanılmıştır.

Arena optquest aracı ile ilk olarak modelde kullanılacak parametreler ve kısıtlar seçilmiştir. Tanımlanan parametre ve kısıtlar için en düşük ve en yüksek değerler girilerek değer aralığı tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu tanımlanarak belirlenen değerler için optquest çalıştırılmaktadır. Optquest çalışmasının durdurulması için Şekil 3.3. 'de gösterilen ekranda durdurma kriteri otomatik olarak seçilmiştir. Tolerans değeri 0,0001 olarak girilerek bu değer dışına çıktığında optquest otomatik olarak durdurulmuştur.

Options

Stop Options

- ☐ Number of simulations 100
- ☐ Manual Stop
- ☒ Automatic Stop
- ☐ Run only suggested solutions

Tolerance

The tolerance value is used to determine when two solutions are equal.

Tolerance 0.0001

Replications persimulation

- ☒ Use a fixed number of replications 3
- ☐ Vary the number of replications
 - Minimum Replications 3
 - Maximum Replications 6
 - Percent of mean for a 95% confidence level 10

Solutions Log C:\Users\USER\Documents\OptQuestSolutions.log

Optimize

Şekil 3.3 OptQuest Durdurma Ekranı

3.2.6 Matematiksel Modelleme

Matematiksel modelleme en genel tanımıyla matematik veya matematik dışındaki bir olayı, olguyu, olaylar arasındaki ilişkileri matematiksel olarak ifade etmeye çalışma, bu olaylar ve olgular içerisinde matematiksel örüntüler ortaya çıkarma süreci olarak adlandırılabilir (Tutak ve Güder,2014).

Matematiksel model türlerine göre kullanılan çözüm yaklaşımlarından bazıları aşağıdaki gibidir (Şen,2011):

- Dinamik programlama
- Hedef programlama
- Doğrusal Programlama
- Doğrusal Olmayan Programlama
- Tamsayılı Programlama
- Sezgisel Yöntemler

Toplam maliyeti minimize etmek için kurulan matematiksel modellemenin formülasyonunda aşağıdaki notasyonlar ve varsayımlar yer almıştır.

3.2.6.1 Varsayımlar

Kurulan model için dikkate alınan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

1. Modelde (s, S) stok politikası uygulanmıştır.
2. Üretim hattı sürekli bir prosestir.
3. Stok kesilmesine izin verilmiştir.
4. Tedarik süresi boyunca talebin dağılımı bilinmektedir.
5. Elde bulundurma maliyeti birim satın alma maliyetinin belli bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.
6. Sipariş maliyeti sipariş adedinden bağımsızdır.
7. Tedarik süresinin olasılık dağılımı bilinmektedir.

8. Taşıyıcı bant değişim süresi düşük olduğundan ihmal edilmiştir.
9. Bozulma süresi uzun olduğu için bertaraf etme maliyetleri dikkate alınmamıştır.
10. Üretim hızına bağlı taşıyıcı bant yıpranması göz ardı edilmiştir.
11. Simülasyon modeli başlangıç koşulunda sistem çalışır durumda kabul edilmiştir.

3.2.6.2. Notasyon

Kurulan modelde kullanılacak notasyonlar aşağıdaki gibidir:

k : ürün sayısı

TC_i : i . Ürün için yıllık toplam maliyet (TL/Yıl), $i: 1,2,\dots,k$

UC_i : i . Ürün için birim satın alma fiyatı (TL/Adet), $i: 1,2,\dots,k$

RC : Birim sipariş maliyeti (TL/Sipariş)

X_{ij} : j . Bozulma periyodunda i . Üründen sipariş durumu

HC_i : i . Ürün için elde bulundurma Maliyeti (TL/Birim-Gün), $i: 1,2,\dots,k$

s_i : i . Ürün için minimum ürün miktarı (Adet) $i: 1,2,\dots,k$

S_i : i . Ürün için maksimum ürün miktarı (Adet) $i: 1,2,\dots,k$

W_i : i . Ürün için depoda tahsis edilen alan (m^3) $i: 1,2,\dots,k$

V_i : i . Ürün hacmi (m^3) $i: 1,2,\dots,k$

B_i : i . Ürün için ayrılan bütçe (TL) $i: 1,2,\dots,k$

t_{ij} : i . Ürünün j .periyotta elde bulundurma süresi (gün) $i: 1,2,\dots,k, j=1,2,\dots,N$

N : Yıllık bozulma sayısı (Adet)

I_{ij} : i . Üründen j . bozulmadaki eldeki stok miktarı (Adet) $i: 1,2,\dots,k, j=1,2,\dots,N$

ts_{ij} : i . Üründen j . bozulmada stok kesilme süresi (Gün) $i: 1,2,\dots,k, j=1,2,\dots,N$

M : Günlük alçı üretim miktarı (Adet/gün)

SC : birim alçı satış fiyatı (TL/adet)

P : kar oranı (%)

d_{ij} : i. Ürün için j. bozulmadaki talep (Adet) i: 1,2,...k, j=1,2,... N

A_i : i. Ürünün önem seviyesi i: 1,2,...k

s_{il} : i. Ürünün minimum miktarı için alt sınır değer

s_{iu} : i. Ürünün minimum miktarı için üst sınır değer

S_{il} : i. Ürünün maksimum miktarı için alt sınır değer

S_{iu} : i. Ürünün maksimum miktarı için üst sınır değer

3.2.6.3. Matematiksel Modelin Kurulması

Amaç Fonksiyonu: Çalışmada kurulan matematiksel model ile incelenen ürün grubunun toplam maliyeti minimize edilmeye çalışılmıştır. Amaç fonksiyonunda dikkate alınan maliyetler; sipariş maliyeti, satın alma maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve kayıp üretim maliyetinden oluşmaktadır. Açıklanan bu maliyetlerin toplamı Denklem (3.14) ile elde edilmiştir.

Sipariş maliyeti sipariş verilirken harcanan giderlerden meydana gelen sabit bir maliyet olarak alınmıştır.

Satın alma maliyeti birim satın alma fiyatı (UC_i) ile talebin (d_i) çarpılması ile elde edilmiştir.

Elde bulundurma maliyeti hesaplanırken; birim satın alma maliyeti ile enflasyon oranı çarpılarak birim elde bulundurma maliyeti (HC_i) hesaplanmıştır. Birim elde bulundurma maliyeti, elde bulundurulma miktar (I_{ij}) ve stokun j. periyotta elde bulundurulma süresinin (t_{ij}) çarpılması ile elde bulundurma maliyeti elde edilmiştir.

Kayıp üretim maliyeti; birim alıcı satış fiyatı (SC), kar oranı (P), günlük ortalama alıcı üretim miktarı (M) ile i. Üründen j. periyotta stok kesilme süresi çarpımıdır.

$$TC_i = \sum_{j=1}^N (UC_i * d_{ij} + HC_i * t_{ij} * I_{ij} + RC * X_{ij} + P * SC * M * ts_{ij}) \quad \forall i \quad (3.14)$$

Denklem (3.14) ile her bir ürün için elde edilen maliyetler, her bir ürünün ağırlık değeri ile elde edilerek toplam maliyet elde edilmiş ve Denklem (3.15)'de verilmiştir.

$$\min TC = \sum_{i=1}^k (A_i * TC_i) \quad (3.15)$$

Kısıtlar: Çalışmada minimum maksimum stok kontrol yöntemi kullanılmış ve bu yöntemde yer alan s ve S değerleri karar değişkeni olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için dikkate alınan kısıtlar bulunmaktadır. Buna göre minimum stok seviyesinin (s_i) maksimum stok seviyesinden (S_i) küçük olması gerekmektedir ve bu Denklem (3.16)'da verilmiştir. İkinci kısıt ise maksimum stok seviyesinin; depoda ilgili stok için ayrılan hacimden ve stok için belirlenen bütçeden küçük olması gerekmektedir. Hem depo alanı hem bütçe kısıtı Denklem (3.17)'de ifade edilmiş olup S_i değerinin depo alanı ve bütçe hesaplamasından elde edilen ürün miktarının minimum değerinden küçük olması istenmektedir. Denklem (3.18)'de ise karar değişkenlerinin pozitif olma kısıtı verilmiştir. Denklem (3.19) ile eldeki stok miktarı minimum stok seviyesinin altına düşüp düşmeme durumu için kısıt oluşturulmuştur. Denklem (3.20) ve (3.21) ile minimum ve maksimum stok seviyelerinin optquest aracı için girilen alt ve üst limit değerleri verilmiştir.

$$s_i < S_i \quad i: 1,2,\dots,k \quad (3.16)$$

$$S_i \leq \min\left(\frac{wi}{vi}, \frac{Bi}{UC_i}\right) \quad i: 1,2,\dots,k \quad (3.17)$$

$$s_i, S_i \geq 0 \quad i: 1,2,\dots,k \quad (3.18)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & I_{ij} < s_i \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.19)$$

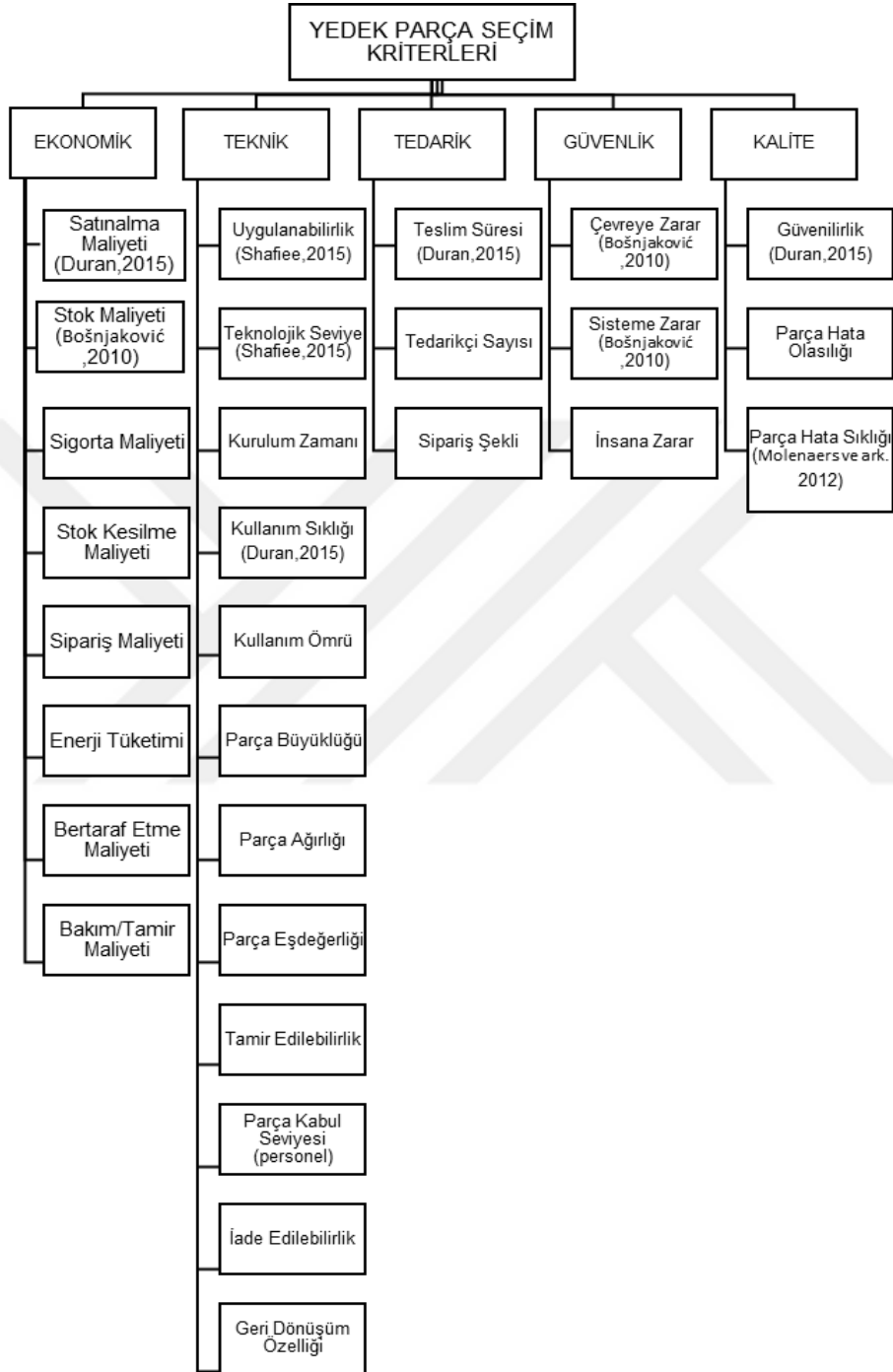
$$s_{il} \leq s_i \leq s_{iu} \quad (3.20)$$

$$S_{il} \leq S_i \leq S_{iu} \quad (3.21)$$

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Yedek Parça Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi

Çalışmada alçı üretim fabrikasında yedek parçaların kritikliğini belirlemek için literatür taraması ve uzman görüşleri alınarak yedek parça seçim kriterleri Şekil 4.1 olduğu gibi belirlenmiştir. Bu seçim kriterleri hiyerarşik yapıda sınıflandırılarak önem seviyeleri belirlenmiş ve depoda yer alan 7 farklı ürün için öncelik sıralaması belirlenmiştir. Bu analizler yapılırken alçı üretim fabrikasının geçmiş yıllara ait depo stok kayıtlarından faydalanılmıştır.



Şekil 4.1. Yedek Parça Seçim Kriterleri

Satın Alma Maliyeti: Bir malın satın alınmasında harcanan birim değişken maliyetlerdir. İşletme belli bir malı piyasadan satın almak durumunda ise, bu malın her bir birimine ödenen para birim satın alma maliyetidir. Özellikle mal üretimi yapmadan sadece toptan ve perakende satış yapan işletmelerde satın alma maliyeti önemli maliyet kalemleri arasındadır (Sulak,2008).

Stok Maliyeti: Depolama maliyeti, depolamanın gerektirdiği ısıtma, kira, aydınlatma, depo personelinin creti gibi maliyetlerden oluşmaktadır. Deponun alternatif kullanım imkânının olması durumunda da fırsat maliyeti ortaya çıkacaktır. Depolama maliyetinin bir kısmı sabit iken bir kısmı ise stok miktarına bağlı olarak artmaktadır. Bu maliyetlerden sabit olan kısmı analizlerde ele alınmamakta sadece değişken kısmı kullanılmaktadır (Sulak,2008).

Stok Kesilme Maliyeti: Stok bulundurmama veya bir başka ifade ile stoksuzluk maliyeti, gelen talebi karşılayacak miktarın stokta bulunmamasından dolayı ortaya çıkacak sonuçların maliyetidir. Bu maliyetler arasında, gelen siparişin karşılanamamasından doğan satış kaybı maliyeti, gecikme ile karşılanmasından dolayı gecikme maliyeti ve her ikisi sonucu ortaya çıkan müşteri gözünde itibar kaybı gibi maliyetler sayılabilir (Sulak, 2008).

Sipariş Maliyeti: Sipariş maliyeti, yeni bir sipariş verilmesinden siparişin teslim alınmasına kadar geçen süreçte ortaya çıkan maliyetlerdir. Sipariş maliyeti; siparişin düzenlemesi ile ilgili kırtasiye, haberleşme, personel creti, kayıt masrafları, kargo, sipariş takibi ve faturaların ödenmesi ile ilgili masraflar ile teslim alma sırasında ortaya çıkan ulaşım, kontrol, teslim alma ve kayıt masrafları gibi masrafların toplamından oluşmaktadır (Sulak, 2008).

Enerji Tüketimi: Üretim sisteminde kullanılan yedek parçaların makinenin çalışabilmesi için harcadığı enerji miktarını yedek parçanın enerji tüketimi olarak tanımlayabiliriz.

Bertaraf Etme Maliyeti: Kullanılan makine yedek parçanın kullanım ömrü sonucunda bertaraf edilebilmesi için harcanan maliyettir.

Bakım/Tamir Maliyeti: Bakım maliyeti, bakım için harcanan işçilik, yedek parça ve servis maliyetleri toplamıdır (Çamkoru ve Sayın, 2011).

Uygulanabilirlik: Üretim sisteminde kullanılan makine yedek parçanın kullanım açısından uygulanabilirliğinin kolay ve anlaşılır olması anlamına gelmektedir.

Teknolojik Seviye: Ürünün makine veya teçhizatla uyum gösterebilecek düzeyde teknolojik seviyesini ifade etmektedir.

Kurulum Zamanı: Yedek parçanın makineye montaj süresinin uzunluğunu ifade etmektedir.

Kullanım Sıklığı: Bazı yedek parçaların birden çok kullanım alanı bulunmaktadır. Kullanılan yedek parçanın birden çok makinede ya da aynı makine içerisinde farklı alanlarda kullanımı kullanım sıklığı olarak tanımlanmaktadır.

Kullanım Ömrü: Makine yedek parçalarının satın alınan üretici ve kurumlar tarafından belirlenen kullanım süresini ifade etmektedir.

Parça Büyüklüğü: Kullanılacak yedek parçanın büyüklüğü buna bağlı olarak stokta işgal edilecek alanı belirtmektedir.

Parça Ağırlığı: Makine yedek parçasının ağırlığını ifade etmektedir.

Parça Eşdeğerliği: Makine yedek parçaların gerektiğinde birbirleri yerine kullanılabilmesi durumudur. Kullanılan yedek parçanın muadili anlamına gelmektedir.

Tamir Edilebilirlik: Yedek parçaların bir kısmı bozulduğunda ya da zarar gördüğünde tamir edilebilmektedir. Bu yedek parçalar tamir edilebilir yedek parça grubuna girmektedir.

Parça Kabul Seviyesi: Kullanılacak yedek parçanın kullanılan makine operatörü tarafından kabul seviyesini ifade etmektedir. Bazı yedek parçalar kullanım zorluğu açısından tercih edilmemektedir. Bu nedenle parça kabul seviyesi önemli bir kriter haline gelmektedir.

İade Edilebilirlik: Üretim sisteminde kullanılan makinelerde kullanılmak üzere olan yedek parçaların yanlış veya uygunsuzluk durumunda iade edilmesidir.

Geri Dönüşüm Özelliği: Kullanılmış ve işi biten makine yedek parçaların çevreye tekrar kazandırılabilmesi için geri dönüşüm özelliğine sahip olması anlamına gelmektedir.

Teslim Süresi: Üretim sisteminde kullanılacak makine yedek parçasının alınan firmadan kullanılacak üretim tesisine gelene kadar geçen süreyi ifade etmektedir.

Tedarikçi Sayısı: Üretim sisteminde kullanılacak makine yedek parçasının temin edilen tedarikçi sayısıdır. Tedarikçi sayısının fazla olması parça bulunabilirliğini kolaylaştırdığı için firma açısından avantajlı olmaktadır.

Sipariş Şekli: Ürünün siparişinin miktar veya çeşit durumunu ifade etmektedir.

Çevreye Zarar: Makine yedek parçasının kullanım esnasında veya sonrasında çevreye verdiği zararı ifade etmektedir.

Sisteme Zarar: Üretim sisteminde kullanılan makine yedek parçasının bozulması ya da zarar görmesi sonucunda makine veya sisteme bütün olarak zarar vermesi durumudur.

İnsana Zarar: Yedek parçanın kullanım esnasında veya montajı sırasında işçilere verdiği zarardır.

Güvenilirlik: Makine yedek parçasının temin edilen kurum tarafından sağlandığı güvenilirlik durumudur.

Parça Hata Olasılığı: Kullanılan yedek parçanın makinede hata oluşturma veya bozulmaya sebep olma olasılığını göstermektedir.

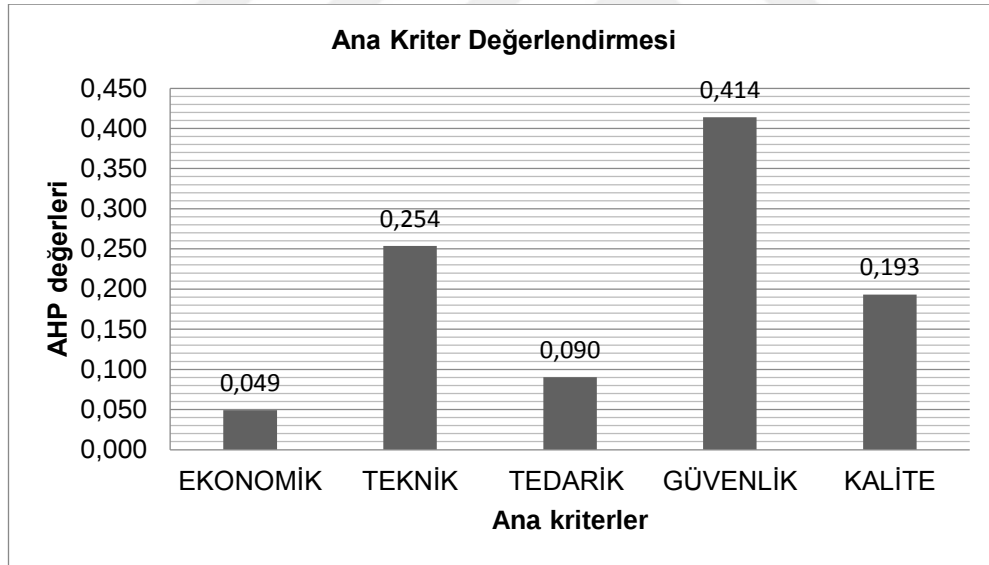
Parça Hata Sıklığı: Kullanılan yedek parçanın makinede hata oluşturma veya bozulmaya sebep olma sayısını yani sıklığını ifade etmektedir.

Yedek parça seçim kriterlerinin belirlenmesinin ardından, her bir kriterin önem seviyesinin belirlenmesi adımına geçilmiştir.

4.2 Yedek Parça Seçim Kriterlerinin Önem Seviyesinin Belirlenmesi

Yüksek kapasiteye sahip alçı üretim fabrikasının yedek parça deposunda yedek parça seçimi için belirlenen ana ve alt kriterler Şekil 4.1. 'de verilmiştir. Ana ve alt kriterler için alanında uzman ekip ile beraber beyin fırtınası tekniği ile ikili karşılaştırmalar yapılmış ve AHP ağırlıkları belirlenmiştir.

Şekil 4.2.'de yedek parça seçimi için belirlenen ana kriterlerin AHP değerleri verilmiştir. EK-1'de ana kriterlerin ikili karşılaştırmaları yer almaktadır. Yedek parça seçiminde en önemli kriter 0.414 önem seviyesi ile 'Güvenlik' olurken, 0.049 önem seviyesi ile 'Ekonomik' en düşük öneme sahip kriter olmaktadır. Ana kriterlerin AHP değerlendirmesinde tutarlılık oranı 0.08 olarak hesaplanmıştır ve bu tutarlılık oranı 0.10'dan düşük olduğu için elde edilen ana kriter ağırlıklarının kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2. Yedek Parça Ana Kriter AHP Değerlendirmesi

Ana kriterlere bağlı alt kriterler için Çizelge 4.1.'de AHP ağırlıkları ve tutarlılık oranları verilmiştir. EK-2-6'da alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları yer almaktadır. Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi alt kriterlere ait tüm tutarlılık oranları

0.10'dan küçüktür. Bu durum alt kriter AHP değerlerinin çalışmada kullanılabileceğini göstermektedir. Alt kriter ağırlık puanları ait oldukları ana kriter ağırlık puanı ile çarpılarak nihai alt kriter AHP puanları belirlenmiştir. Çizelge 4.1.'de ağırlıklı AHP puanlarına göre Güvenlik ana kriterinde 0,325 puan ile 'İnsana Zarar'; Teknik ana kriterinde 0,071 puan ile 'Kullanım Ömrü'; Kalite ana kriterinde 0,027 puan ile 'Parça Hata Sıklığı'; Tedarik ana kriterinde 0,054 puan ile 'Tedarikçi Sayısı' ve Ekonomik ana kriterinde 0,015 puan ile 'Stok kesilme maliyeti' en önemli alt kriterler olarak hesaplanmıştır. Ana kriterlerin AHP sonuçlarına göre en düşük kriterler ise; Güvenlik ana kriterinde 0,027 puan ile 'Sisteme Zarar'; Teknik ana kriterinde 0,004 puan ile 'Geri Dönüşüm Özelliği'; Kalite ana kriterinde 0,017 puan ile 'Parça Hata Olasılığı'; Tedarik ana kriterinde 0,014 puan ile 'Sipariş Şekli' ve Ekonomik ana kriterinde 0,001 puan ile 'Bertaraf Etme ve Sipariş Maliyeti' olarak hesaplanmıştır. Alçı üretim prosesinde makine duruşlarının büyük malzeme kayıplarına dolayısıyla yüksek maliyetlere neden olduğu göz önüne alındığında kullanım ömrü ve stok kesilme maliyetlerinin ait olduğu ana kriterler içinde en önemli alt kriterler olması beklenen bir sonuç olmaktadır. İnsana verilen zarar telafisi mümkün olmayan sonuçlar oluşturabileceği, kalitenin en temel bileşeninin güvenilirlik olduğu ve tedarikçi sayısının ürünün bulunabilirliği ve temini üzerinde etkili olduğu da göz önüne alınırsa uzman değerlendirmelerinin mevcut sistemi sayısal olarak yansıttığı görülmektedir.

Çizelge 4.1.'de alt kriterlerin ağırlıklı AHP sıralaması verilmiştir. Bu sıralamaya göre depoda yedek parça stok yönetiminde dikkate alınacak en önemli ilk üç kriter 'İnsana Zarar, Güvenilirlik ve Kullanım Ömrü' dür. Sipariş maliyeti, bertaraf etme maliyeti ve sigorta maliyetinin ise yedek parça stok yönetiminde en düşük sıralamaya sahip kriterler olduğu Çizelge 4.1.'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Yedek Parça Kriterleri AHP Değerlendirmesi

Ana kriter	Alt kriter	Ağırlıklı AHP	Tutarlılık Oranı	Sıralama
Güvenlik (0,414)	Çevreye Zarar	0,062	0,069	4
	Sisteme Zarar	0,027		8
	İnsana Zarar	0,325		1
Teknik (0,254)	Uygulanabilirlik	0,024	0,086	10
	Teknolojik Seviye	0,019		12
	Kurulum Zamanı	0,015		14
	Kullanım Sıklığı	0,011		18
	Kullanım Ömrü	0,071		3
	Parça Büyüklüğü	0,008		20
	Parça Ağırlığı	0,009		19
	Parça Eşdeğerliği	0,035		7
	Tamir Edilebilirlik	0,045		6
	Parça Kabul Seviyesi	0,006		22
	İade Edilebilirlik	0,005		23
	Geri Dönüşüm Özelliği	0,004		25
Kalite (0,193)	Güvenilirlik	0,149	0,046	2
	Parça Hata Olasılığı	0,017		13
	Parça Hata Sıklığı	0,027		9
Tedarik (0,090)	Teslim Süresi	0,023	0,046	11
	Tedarikçi Sayısı	0,054		5
	Sipariş Şekli	0,014		16
Ekonomik (0,049)	Satın alma Maliyeti	0,005	0,085	24
	Bertaraf Etme Maliyeti	0,001		28
	Stok Maliyeti	0,003		26
	Sigorta Maliyeti	0,002		27
	Stok Kesilme Maliyeti	0,015		15
	Sipariş Maliyeti	0,001		29
	Enerji Tüketimi	0,013		17
	Bakım/Tamir Maliyeti	0,008		21

Yedek parça seçim kriterlerinin belirlenmesinin ardından, bu kriterlere göre firma için en önemli/kritik yedek parça grubunun seçilmesi adımına geçilmiştir.

4.3 Kritik Yedek Parçanın Belirlenmesi

Yedek parça deposunda yer alan yedi grup ürünün AHP değerlendirmesine dayalı önem seviyelerinin belirlenmesinde TOPSIS yaklaşımından faydalanılmıştır. Çalışmada dikkate alınan yedek parçalar taşıyıcı bant, keçe, kayış, rulman, dişli, zincir ve kasnak olmak üzere 7 farklı yedek parça grubudur. Yedek parçaların TOPSIS ile değerlendirilmesi, yedek parça seçim kriterleri olarak belirlenen 5 ana kritere bağlı 29 alt kriterin AHP analizini gerçekleştiren uzman ekip tarafından gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmede 1-10 skalası kullanılmıştır.

TOPSIS öncelik vektöründen elde edilen kriterlerin ağırlıkları kullanılarak ürün sıralaması yapılmıştır. Uzman ekipten alınan değerlendirme puanları ile karar matrisi, normalize edilmiş matris ve ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur. Karar matrisi yedek parça kriterlerinden gelen AHP ağırlıklarının çarpılması ile ağırlıklandırılmıştır. Bu matrisler sonucunda elde edilen ideal çözüm değerleri Çizelge 4.2.' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. İdeal Çözüm Değerleri

Kriterler	İdeal maksimum çözüm	İdeal minimum çözüm	Kriterler	İdeal maksimum çözüm	İdeal minimum çözüm
Çevreye Zarar	0,04582804	0,01527601	Güvenilirlik	0,07471246	0,07471246
Başka Makineye Zarar	0,01640233	0,01171595	Parça Hata Olasılığı	0,01444875	0,00361218
İnsana Zarar	0,23934528	0,08975448	Parça Hata Sıklığı	0,02033056	0,01016528
Uygulanabilirlik	0,01400798	0,00933865	Teslim Süresi	0,01948839	0,00649613
Teknolojik Seviye	0,01087996	0,00725331	Tedarikçi Sayısı	0,02679127	0,02679127
Kurulum Zamanı	0,00891990	0,00495550	Sipariş Şekli	0,01071617	0,00535808
Kullanım Sıklığı	0,00730743	0,00365371	Satın alma Maliyeti	0,00253485	0,00253485
Kullanım Ömrü	0,03989466	0,03102918	Bertaraf Etme Maliyeti	0,0004330	0,00043306
Parça Büyüklüğü	0,00653507	0,00217835	Stok Maliyeti	0,0019191	0,00109667
Parça Ağırlığı	0,00803130	0,00114732	Sigorta Maliyeti	0,0008368	0,00083683
Parça Eşdeğerliği	0,02151618	0,00806856	Stok Kesilme Maliyeti	0,0099730	0,00569889
Tamir Edilebilirlik	0,04245845	0,00849169	Sipariş Maliyeti	0,0005830	0,00058308
Parça Kabul Seviyesi	0,00318689	0,00318689	Enerji Tüketimi	0,0071234	0,00623301
İade Edilebilirlik	0,00422058	0,00120588	Bakım/Tamir Maliyeti	0,0533124	0,0030464
Geri Dönüşüm Özelliği	0,003406802	0,001362721			

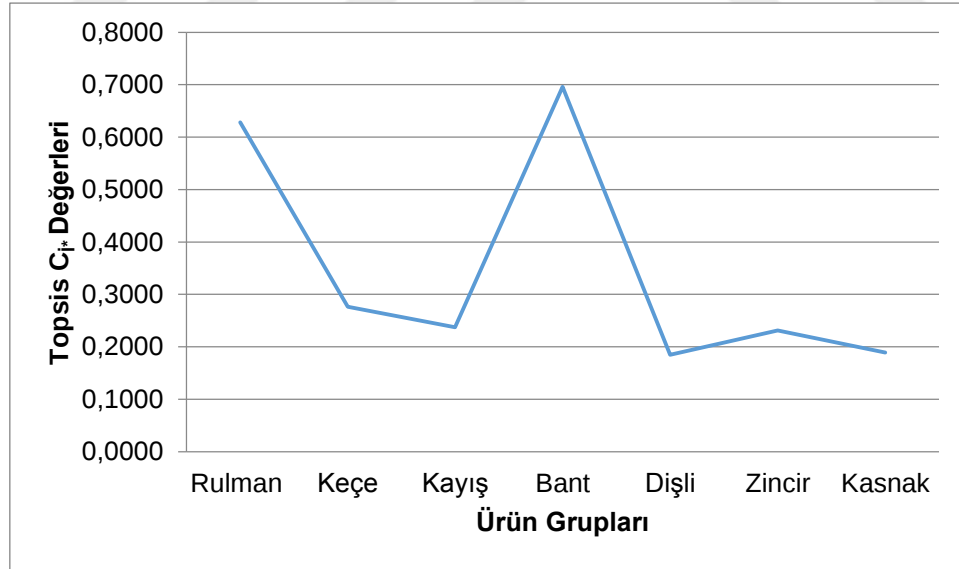
Alternatifler (ürünler) arasındaki ayırım ölçülmüştür. Pozitif ideal çözüme (S_i^*) ve negatif ideal çözüme (S_i^-) olan uzaklıklar ve ideal çözüme göreli yakınlık katsayıları (C_i^*) Çizelge 4.3.' de verilmiştir. Çizelge 4.3.'e göre taşıyıcı bant, keçe, kayış, rulman, dişli, zincir ve kasnak için AHP-TOPSIS değerlendirmesine göre

C_i^* değerleri sırasıyla 0,6655, 0,3314, 0,2531, 0,6491, 0,1898, 0,2343 ve 0,1944 bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Yedek Parça TOPSIS Sonuçları

ÜRÜN GRUPLARI	S_i^*	S_i^-	TOPLAM	C_i^*
Taşıyıcı Bant	0,02770511	0,05511224	0,0828173	0,6655
Keçe	0,06308008	0,03126321	0,0943433	0,3314
Kayış	0,0652875	0,02212851	0,087416	0,2531
Rulman	0,03380855	0,06254977	0,0963583	0,6491
Dişli	0,14427486	0,03380076	0,1780756	0,1898
Zincir	0,15506544	0,04744874	0,2025142	0,2343
Kasnak	0,14498095	0,034977	0,1799579	0,1944

Şekil 4.3. 'de görüldüğü gibi en yüksek C_i^* değeri taşıyıcı bant grubunda çıkmıştır. Bu sonuca göre yedek parça seçiminde önemli görülen kriterler sonucunda en önemli yedek parça grubu taşıyıcı bant olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Yedek Parça C_i^* Değerleri

Çalışmanın bir sonraki adımında entegre ABC-FSN yaklaşımı ile taşıyıcı bantların kendi içerisinde sınıflandırılması yapılmıştır.

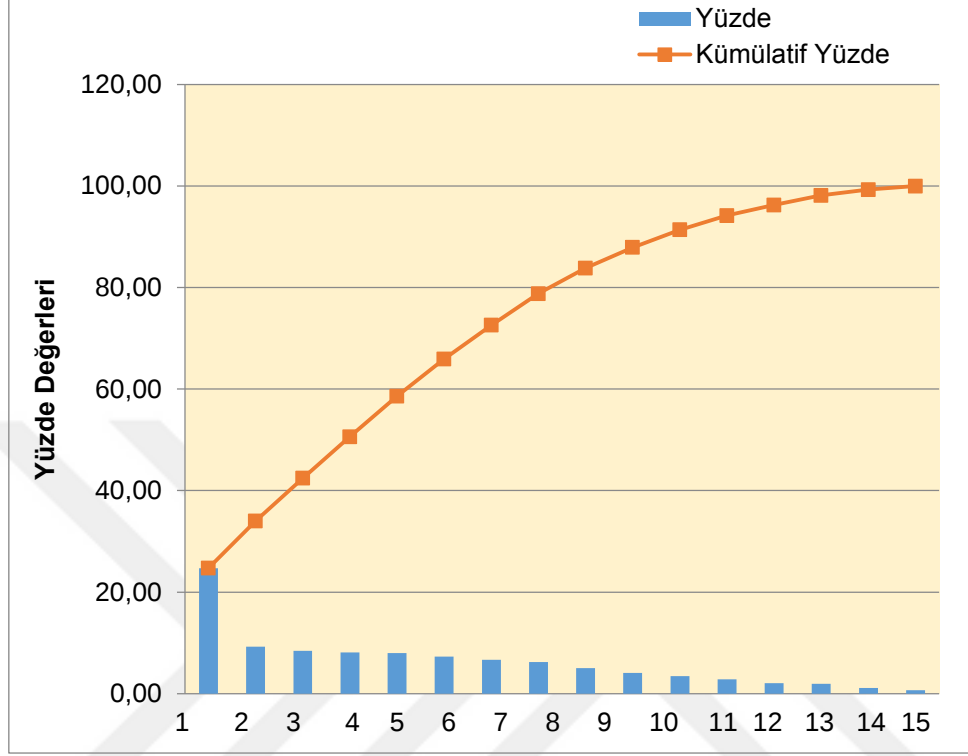
4.4 Taşıyıcı Bant Grubu için ABC-FSN Analizi ile Seçim Yapılması

Büyük ölçekli alçı fabrikasında yapılan çalışmada incelenen yedek parçalar çok fazla çeşitlilik göstermektedir. En kritik yedek parça grubu olarak seçilen taşıyıcı bant grubu da boy, en ve kalınlık gibi boyutlarla varyasyon göstermektedir. Bu nedenle taşıyıcı bantların da kendi içerisinde sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Alçı firmasında analizler sonucu en kritik yedek parça grubu olan taşıyıcı bantların kendi içinde sınıflandırılması için ABC analizi uygulanmıştır. Analiz ile taşıyıcı bantların çeşitleri, yıl içerisinde toplam kullanılan miktarları ve birim fiyatları firmadan temin edilmiştir. Bu bilgilere firma gizliliği nedeniyle çalışmada yer verilememiş olup, bu veriler kullanılarak taşıyıcı bantlar için yapılan ABC analizi Çizelge 4.4.'de yer almaktadır. ABC analizi sonucunda taşıyıcı bantlar; A,B ve C gruplarına ayrılmıştır. Bu sınıflandırma sonucunda elde edilen A grubu ürünler için FSN analizi yapılmıştır. Elde edilen matris sonucu A grubunda yer alan ve en hızlı stok hareketine sahip F grubu (90*24.805), (90*2.870) ve (90*16.555) ölçülerindeki taşıyıcı bantlar olarak belirlenmiştir. Bu üç grup taşıyıcı bant için uygulanan stok politikasına uygun parametre değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 4.4. Taşıyıcı Bantlar İçin ABC-FSN Analizi

ÜRÜN	YÜZDE	KÜMÜLATİF YÜZDE	ABC	FSN
90*24.805	24,74%	24,74%	A	F
90*2.870	9,28%	34,02%	A	S
90*16.555	8,43%	42,45%	A	F
90*6.650	8,15%	50,60%	A	S
90*.3700	8,01%	58,61%	A	N
90*5.750	7,31%	65,92%	A	N
90*1.670	6,64%	72,57%	A	F
90*7.890	6,22%	78,79%	B	S
90*4.790	5,06%	83,85%	B	F
90*3.270	4,06%	87,90%	B	S
90*8.900	3,48%	91,38%	B	S
90*10.525	2,81%	94,19%	C	S
60*4030*10	2,06%	96,25%	C	S
90*19.570	1,92%	98,17%	C	S
90*4.010	1,12%	99,30%	C	N
90*5.715	0,70%	100,00%	C	N



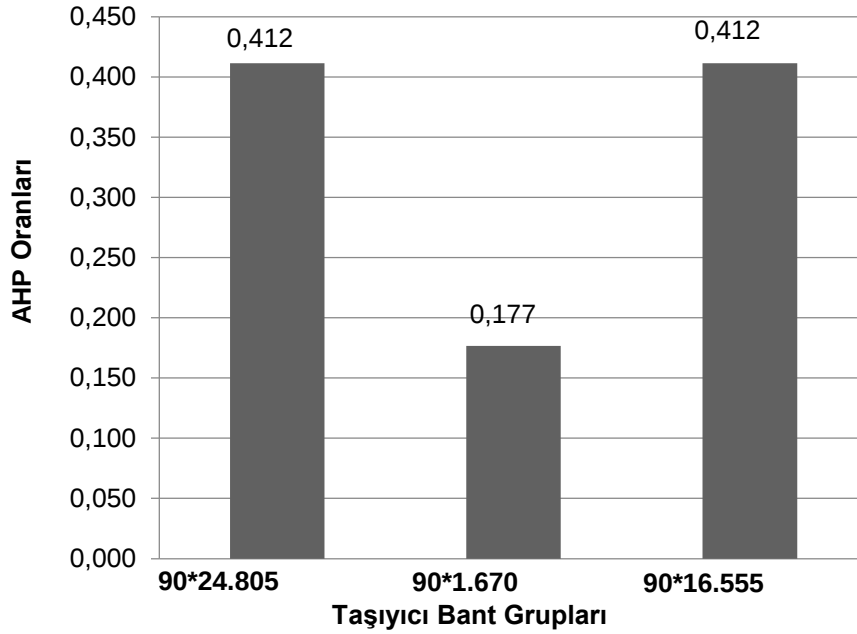
Şekil 4.4. Taşıyıcı Bant ABC Analizi

Taşıyıcı bant grubu içerisinde yer alan AF grubunda bulunan belirlenmesinin ardından, matematiksel modelde kullanılmak üzere bu taşıyıcı bantların önem seviyeleri belirlenmiştir.

4.5 Taşıyıcı Bant Grubu İçin AHP Yönteminin Uygulanması

Çalışmada ABC-FSN analizi ile belirlenerek seçilen (90*24.805), (90*2.870) ve (90*16.555) ölçülerindeki taşıyıcı bantlar için toplam maliyet üzerindeki ağırlıkların bulunması hedeflenmiştir. Bu değerlendirmede ürünün bozulma sıklığı (Molenaers ve ark. 2012) ve kullanım sıklığı (Duran, 2015) kriterleri dikkate alınmıştır. Bu kriterler yönetici tarafından ağırlıklandırılmış ve sırası ile 0,875 ve 0,125 puan verilmiştir. Daha sonra ürünlerin bu kriterlere göre değerlendirilmesinde AHP yönteminden faydalanılmıştır. Elde edilen ağırlıklar

Şekil 4.5. 'de verilmiştir. Bulunan ağırlıklar ise modelde kullanılacak olan toplam maliyet formülünde katsayı olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 4.5. Taşıyıcı Bant AHP Yöntemi

4.6 Simülasyon Modelleme

Simülasyon modelleme için kullanılan Arena programında oluşturulan modelin görüntüsü Şekil 4.6.' da verilmiştir.

Simülasyon modelinin akışında ilk olarak bozulma ile oluşacak taşıyıcı bant gelişleri arasındaki süre dağılımı girilerek ‘Talep Gelişleri’ modülü oluşturulmuştur. Talebin miktarı talep olasılık dağılımı girilerek ‘Talep Büyüklüğü Belirleme’ olarak modele yansıtılmıştır. Modelde elde bulundurma maliyeti hesaplanarak stoklar güncellenmiştir. Elde bulundurma maliyeti hesaplanırken, eldeki stok miktarı, birim elde bulundurma maliyeti ve bunlara ek olarak stokun elde bulundurulduğu süre dikkate alınmıştır. Stok miktarının s ’in altına düşüp düşmediği karar modülü ile oluşturulmuştur. Eğer stok miktarı s ’in altına düşüyse verilecek sipariş miktarı hesaplatılmıştır. 1. Taşıyıcı bant grubunun muadil yedek parça grubu bulunduğu için muadil stokların durumu sorgulanmıştır. Eğer stokta muadil varsa buradan temin edilmiştir. Diğer parçalar için Sipariş miktarı belirlendikten sonra sipariş maliyeti ve satın alma maliyetleri modülü oluşturulmuştur. Sipariş temini için bulunan olasılık dağılımı da sipariş temin süresi modülü ile dikkate alınmıştır. Sipariş temin edilirken stok miktarının sıfırın altına düşüp düşmediği kontrol edilmiştir. Stok kesilmesi durumunda sistem tedarik süresi kadar bekleme yapmaktadır. Makinenin bozulması anında sistem durduğundan dolayı yeni talep oluşmamaktadır Stok miktarı sıfırın altına düştüğü durumda meydana gelebilecek kayıp üretim maliyeti hesaplanmıştır. Kayıp üretim maliyeti hesaplanırken, stok kesilme süresi, birim sürede üretilebilecek ürün miktarı, bu üretimden elde edilebilecek karlılık dikkate alınmıştır.

Simülasyon modelinde kullanılan parametre değerleri başlangıç stoku ve (s_i , S_i) olup çizelge 4.5 ’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Simülasyon Modelinde Kullanılan Parametreler

Taşıyıcı Bant Grubu	(90*24.805)	(90*1.670)	(90*1.655)
Başlangıç Stok Miktarları	1	1	2
(s_i, S_i) Değerleri	(3,8)	(4,6)	(4,6)

Simülasyon modelinin kurularak gerekli verilerin istatistiksel analizi yapılmıştır.

4.6.1 Olasılık Dağılımlarının Belirlenmesi

(90*24.805) Taşıyıcı Bant Grubu İçin Gelişler Arası Süre Olasılık Dağılımları:

Taşıyıcı bantların gelişler arası süre dağılımları PASW Statistics programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu taşıyıcı bant grubu için; normal ve uniform dağılımları One-Sample Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. P değerleri testin anlamlılığını göstermektedir ve 0,05'den büyük ise anlamlıdır yargısına varılmaktadır. Yapılan analiz sonucunda Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7'de verilen tablo değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre; normal dağılım için $p=0,779$ ve uniform dağılım için $p=0,925$ bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda p değeri 0,05'ten büyük çıkmıştır. Sonuçlar arasından en büyük p değerine sahip olduğundan gelişler arası sürenin uniform dağılıma uyduğu tercih edilmiştir.

Çizelge 4.6. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Normal Parametreler	Ortalama
	Standart Sapma
Farklar	Mutlak
	Pozitif
	Negatif
Kolmogorov-Smirnov Z	
Asimptotik önem	,779

Çizelge 4.7. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Gelişleri İçin Uniform Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Düzgün Parametreler	Minimum
	Maksimum
Farklar	Mutlak
	Pozitif
	Negatif
Kolmogorov-Smirnov Z	
Asimptotik önem	

(90*1.670) Taşıyıcı Bant Grubu İçin Gelişler Arası Süre Olasılık Dağılımları:

Bu taşıyıcı bant grubu için; normal ve uniform dağılımları One-Sample Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9.'da verilen tablo değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre; normal dağılım için $p=0,618$ ve uniform dağılım için $p=0,375$ bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda p değeri 0,05'ten büyük çıkmıştır. Bu nedenle sonuçlar arasından en büyük p değerine sahip olduğundan 90*1.670 ölçüsünde ki taşıyıcı bant grubu için gelişler arası sürelerinin normal dağılım olması tercih edilmiştir.

Çizelge 4.8. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Normal Parametreler	Ortalama
	Standart Sapma
Farklar	Mutlak
	Pozitif
	Negatif
Kolmogorov-Smirnov Z	
Asimptotik önem	

Çizelge 4.9. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Gelişleri İçin Uniform Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Düzgün Parametreler	Minimum
	Maksimum
Farklar	Mutlak
	Pozitif
	Negatif
Kolmogorov-Smirnov Z	
Asimptotik önem	

(90*16.555) Taşıyıcı Bant Grubu İçin Gelişler Arası Süre Olasılık Dağılımları:

Bu taşıyıcı bant grubu için; normal ve uniform dağılımları One-Sample Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11.'de verilen tablo değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre; normal dağılım için $p=0,934$ ve uniform dağılım için $p=0,214$ bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda p değeri 0,05'ten büyük çıkmıştır. Bu nedenle sonuçlar arasından en büyük p değerine sahip olduğundan gelişler arası sürelerinin normal dağılıma uyması durumu tercih edilmiştir.

Çizelge 4.10. Taşıyıcı Bant Grubu (90*16.555) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Normal Parametreler	Ortalama
	Standart Sapma
Farklar	Mutlak
	Pozitif
	Negatif
Kolmogorov-Smirnov Z	
Asimptotik önem	

Çizelge 4.11. Taşıyıcı Bant Grubu (90*16.555) Gelişleri İçin Normal Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Düzgün Parametreler	Minimum 15
	Maksimum 43
Farklar	Mutlak ,193
	Pozitif ,193
	Negatif -,093
Kolmogorov-Smirnov Z	1,056
Asimptotik önem	,214

(90*24.805) Taşıyıcı Bant Grubu İçin Taleplerin Olasılık Dağılımları:

Taleplerin dağılımı PASW Statistics programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu taşıyıcı bant grubu için; poisson ve üstel dağılımları One-Sample Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. P değerleri testin anlamlılığını göstermektedir ve 0.05'den büyük ise anlamlı olduğu söylenebilir. Çizelge 4.12. ve Çizelge 4.13'de sırasıyla Poisson dağılımı için $p = 0,645$ ve üstel dağılım için p değeri 0,001 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda (90*24.805) ölçüsünde ki taşıyıcı bant grubu taleplerinin poisson dağılıma uyduğu söylenebilir.

Çizelge 4.12. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Talepleri İçin Poisson Dağılım Kolmogrov. Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Poisson Parametreler	Ortalama 2,17
Farklar	Mutlak ,135
	Pozitif ,135
	Negatif -,115
Kolmogorov-Smirnov Z	,739
Asimptotik önem	,645

Çizelge 4.13. Taşıyıcı Bant Grubu (90*24.805) Talepleri İçin Üstel Dağılım Kolmogrov. Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Üstel Parametreler Ortalama	2,17
Farklar Mutlak	,370
Pozitif	,164
Negatif	-,370
Kolmogorov-Smirnov Z	2,025
Asimptotik önem	,001

(90*1.670) Taşıyıcı Bant Grubu İçin Taleplerin Olasılık Dağılımları:

Bu taşıyıcı bant grubu için; poisson ve üstel dağılımları One-Sample Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. Çizelge 4.14. ve Çizelge 4.15’de sırasıyla Poisson dağılımı için $p = 0,966$ ve üstel dağılım için p değeri 0,00 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda (90*1.670) ölçüsünde ki taşıyıcı bant grubu taleplerinin poisson dağılıma uyduğu söylenebilir.

Çizelge 4.14. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Talepleri İçin Poisson Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Poisson Parametreler Ortalama	2,40
Farklar Mutlak	,091
Pozitif	,064
Negatif	-,091
Kolmogorov-Smirnov Z	,497
Asimptotik önem	,966

Çizelge 4.15. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Talepleri İçin Üstel Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Üstel Parametreler Ortalama	2,40
Farklar Mutlak	,341
Pozitif	,125
Negatif	-,341
Kolmogorov-Smirnov Z	1,866
Asimptotik önem	,002

90*16.555 Taşıyıcı Bant Grubu İçin Taleplerin Olasılık Dağılımları:

Bu taşıyıcı bant grubu için; poisson ve üstel dağılımları One-Sample Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. Çizelge 4.16. ve Çizelge 4.17’de sırasıyla Poisson dağılımı için $p = 0,506$ ve üstel dağılım için p değeri 0 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda (90*16.555) ölçüsünde ki taşıyıcı bant grubu taleplerinin poisson dağılıma uyduğu söylenebilir.

Çizelge 4.16. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.655) Talepleri İçin Poisson Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Poisson Parametreler Ortalama	2,10
Farklar Mutlak	,150
Pozitif	,150
Negatif	-,122
Kolmogorov-Smirnov Z	,824
Asimptotik önem	,506

Çizelge 4.17. Taşıyıcı Bant Grubu (90*1.670) Talepleri İçin Üstel Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Üstel Parametreler	Ortalama
Farklar	Mutlak
	Pozitif
	Negatif
Kolmogorov-Smirnov Z	
Asimptotik önem	

Elde edilen dağılımlar doğrultusunda üç taşıyıcı bant çeşidi için bulunan dağılımlar ve parametreleri Çizelge 4.18. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Taşıyıcı Bant Grupları İçin Dağılımlar ve Parametreleri

Taşıyıcı Bant Grupları	Gelişlerin Olasılık Dağılımı	Taleplerin Olasılık Dağılımı
90*24.805	Unif(15, 45)	Poisson (2.17)
90*1.670	Norm(27.1, 8.723)	Poisson (2.40)
90*16.555	Norm(27.97, 7.622)	Poisson (2.10)

Alçı Plaka Sayısının Olasılık Dağılımının Belirlenmesi:

Günlük üretilen alçı plaka sayısı için alınan değerler poisson ve üstel dağılımları Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Asymp. Sig. (p) Değerlerine bakılmıştır. Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20' ye göre p değerlerinin 0,05'den küçük olduğu dolayısıyla iki dağılım için anlamlılık göstermediği görülmektedir. Bu nedenle firmadan alınan minimum ve maksimum değerler dikkate alınarak dağılımın uniform (600,800)'e uyduğu varsayılmıştır.

Çizelge 4.19. Alçı Plaka Sayısı Poisson Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

Açıklama	Değer
Poisson Parametreler Ortalama	683,73
Farklar Mutlak	,312
Pozitif	,312
Negatif	-,234
Kolmogorov-Smirnov Z	1,973
Asimptotik önem	,001

Çizelge 4.20. Alçı Plaka Sayısı Üstel Dağılım Kolmogrov Smirnov Testi

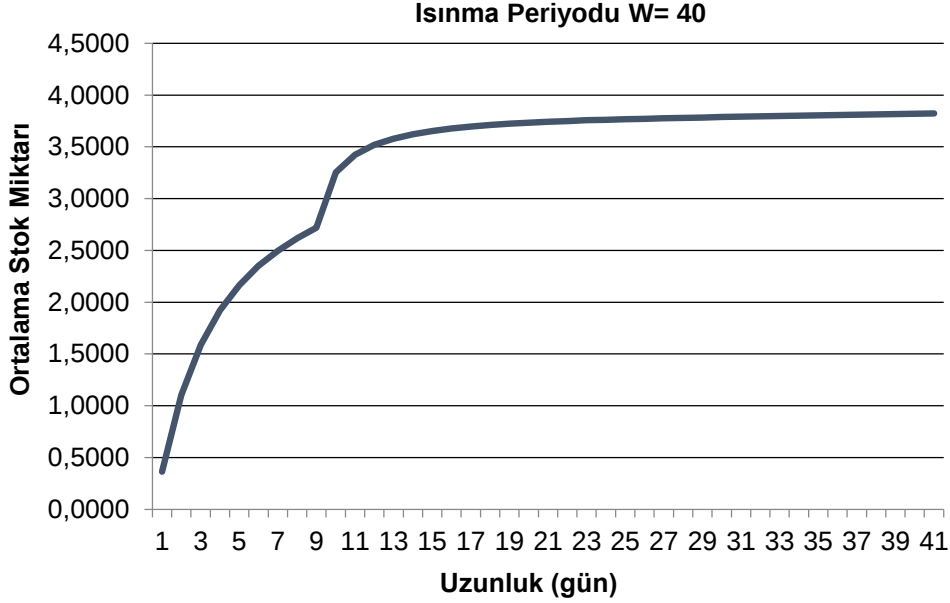
Açıklama	Değer
Üstel Parametreler Ortalama	683,73
Farklar Mutlak	,586
Pozitif	,314
Negatif	-,586
Kolmogorov-Smirnov Z	3,706
Asimptotik önem	,000

Tedarik Süresi Olasılık Dağılımının Belirlenmesi:

Bir siparişin verilmesi ve siparişin teslim alınması arasındaki süreyi ifade eden tedarik süresi ürünler için değişkenlik göstermektedir. Firmadan alınan bilgiler doğrultusunda temin süresinin 0,5 gün ile 1,5 gün arasında tesadüfi değişkenlik gösterdiği elde edilmiştir. Bu nedenle tedarik süresi uniform dağılıma uygunluk gösterdiği kabul edilip parametreleri 0,5 ve 1,5 olarak alınmıştır.

4.6.2 Çıktı Analizi**Isınma Periyodunun Belirlenmesi:**

Sistemin ısınma periyodu belirlenirken ortalama stok miktarı performans parametresi olarak dikkate alınarak, Denklem (3.10) ve (3.11)' de gösterilen formüller kullanılmıştır. Bu formüller sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.7.'de gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü üzere eğrinin durağanlaştığı yer 40. Günü göstermektedir. Bu nedenle ısınma periyodu 40 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Sistemin Isınma Periyodu

Replikasyon Sayısının Belirlenmesi:

Replikasyon sayısının belirlenebilmesi için ilk olarak dikkate alınacak performans parametresinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Çalışmada dikkate alınan performans parametre ise ortalama stok miktarıdır. Model ilk olarak 10 replikasyon için 365 gün için çalıştırılmıştır. Elde edilen replikasyonların ortalaması ve varyansı bulunmuştur. Bağlı hata değeri 0,01 olarak belirlenerek düzeltilmiş bağlı hata değeri hesaplanmıştır. Denklem (3.12) kullanılarak hesaplanan sonuç doğrultusunda 10 replikasyonun simülasyon modelinin çalıştırılması için yeterli olduğu bulunmuştur. Fakat gözlemlerin yeterliliği ve modelin güçlülüğünü arttırabilmek için model 30 replikasyon ile çalıştırılmıştır.

Modelin Doğruluğu ve Geçerliliği:

Modelin doğruluğu ve geçerliliğinin test edilmesi için Denklem (3.13) ' de gösterilen formül uygulanmıştır. Simülasyon modelinin çalıştırılması sonucu (90×24.805) taşıyıcı bant grubu için $\bar{x} = 1,66$ ve $s = 1,18$ ve $\alpha = 0,05$ ile serbestlik derecesi $N=30$ için 2,045 bulunmuştur. Gerçek sistemin ortalama pozitif stok

miktarı $\mu=1,83$ 'dir. Güvenlik aralığının alt ve üst sınırı sırası ile 1,22 ve 2,10 bulunmuştur. $1,22 \leq 1,83 \leq 2,10$ olduğu için simülasyon modeli geçerlidir.

$(90*1.670)$ taşıyıcı bant grubu için $\bar{x} = 2,5$ ve $s = 1,33$ ve $a = 0,05$ ile serbestlik derecesi $N=30$ için 2,045 bulunmuştur. Gerçek sistemin ortalama pozitif stok miktarı $\mu=2,58$ 'dir. Güvenlik aralığının alt ve üst sınırı sırası ile 2,001 ve 2,99 bulunmuştur. $2,001 \leq 2,58 \leq 2,99$ olduğu için simülasyon modeli geçerlidir.

$(90*1.655)$ taşıyıcı bant grubu için $\bar{x} = 2,26$ ve $s = 1,38$ ve $a = 0,05$ ile serbestlik derecesi $N=30$ için 2,045 bulunmuştur. Gerçek sistemin ortalama pozitif stok miktarı $\mu=2,42$ 'dir. Güvenlik aralığının alt ve üst sınırı sırası ile 1,74 ve 2,78 bulunmuştur. $1,74 \leq 2,42 \leq 2,78$ olduğu için simülasyon modeli geçerlidir.

Simülasyon modelinin çalışmada dikkate alınan üç taşıyıcı bant grubu için de geçerli olması, kurulan modelin kullanılabileceğini göstermektedir. Kurulan simülasyon modeli kullanılarak simülasyon-optimizasyon adımına geçilmiştir.

4.7 Matematiksel Modelleme

Toplam maliyeti minimize eden amaç fonksiyonu Denklem (3.15)'de verilmiştir. Bu denklem sonucunda satın alma, sipariş , elde bulundurma ve kayıp üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Firma gizliliği açısından elde edilen maliyetler paylaşılamamaktadır.

Toplam maliyet formülüne AHP yöntemi ile bulunup amaç fonksiyonuna katsayı olarak eklenen değerler A_1 , A_2 ve A_3 olup aşağıda verilmiştir.

$$A_1 = 0,412$$

$$A_2 = 0,177$$

$$A_3 = 0,412$$

Aşağıda gösterilen s_1, s_2, s_3, S_1, S_2 ve S_3 değerleri tamsayı olmak üzere eşitlikler modelin kısıtlarını oluşturmaktadır. Matematiksel modelin kısıtı olarak

gösterilen Denklem (3.16); Denklem (4.1), Denklem (4.2) ve Denklem (4.3) modele yansıtılmıştır.

$$s_1 < S_1 \quad (4.1)$$

$$s_2 < S_2 \quad (4.2)$$

$$s_2 < S_2 \quad (4.3)$$

Çizelge 4.21. Depo ve Ürün Hacimleri

Depo Hacmi	Ürün Hacmi
$W_1 = 0,7 \text{ m}^3$	$V_1 = 0,068 \text{ m}^3$
$W_2 = 0,6 \text{ m}^3$	$V_2 = 0,045 \text{ m}^3$
$W_3 = 0,6 \text{ m}^3$	$V_3 = 0,044 \text{ m}^3$

Denklem (3.17) ile gösterilen depo ve bütçe kısıtlarında bulunan, ürün için ayrılan bütçe kısıtı (B_i) verisi firma gizliliği nedeniyle ele alınamamıştır. Bu durumda depo hacmi ve ürün hacmine dayanan depo kısıtı Denklem (3.17) ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Denklem (3.17)'de gösterilen W_i ve V_i değerleri Çizelge 4.21. 'de gösterilmiştir. (90*24.805) ölçülerindeki taşıyıcı bant için depo hacmi $W_1 = 0,7 \text{ m}^3$ ve ürünün hacmi $V_1 = 0,068 \text{ m}^3$ olduğundan ürün için depoda ayrılan adet 10 bulunarak Denklem (4.4)'e yansıtılmıştır. (90*1.670) ölçülerindeki taşıyıcı bant için depo hacmi $W_1 = 0,6 \text{ m}^3$ ve ürünün hacmi $V_1 = 0,045 \text{ m}^3$ olduğundan ürün için depoda ayrılan adet 12 bulunarak Denklem (4.5)'e yansıtılmıştır. (90*1.655) ölçülerindeki taşıyıcı bant için depo hacmi $W_1 = 0,6 \text{ m}^3$ ve ürünün hacmi $V_1 = 0,045 \text{ m}^3$ olduğundan ürün için depoda ayrılan adet 13 bulunup Denklem (4.6)'ya yansıtılmıştır.

$$S_1 < 10 \quad (4.4)$$

$$S_2 < 12 \quad (4.5)$$

$$S_2 < 13 \quad (4.6)$$

4.8 Simülasyon Modelleme ve Simülasyon-Optimizasyon

Simülasyon modeli Şekil 4.6.' da gösterildiği gibi modellenmiştir. Simülasyon modeli sürekli hatta işlem yapılan yedek parça grubunu modellediği için 24 saat 365 gün boyunca çalıştırılmıştır. Modelin çalışması sonucu elde edilen elde bulundurma, kayıp üretim, satın alma ve toplam maliyetlerin ortalama değerleri ve minimum-maksimum değerleri Şekil. 4.6. ' de verilmiştir.

Çizelge 4.22.' den elde edilen sonuçlara göre (90*24.805) ölçüsündeki taşıyıcı bant için elde bulundurma maliyetinin ortalama değeri 87334 TL, minimum ortalama değeri 73124 TL ve maksimum ortalama değeri 106028 TL olarak bulunmuştur. (90*1.670) ölçüsündeki taşıyıcı bant için elde bulundurma maliyetinin ortalama değeri 11677 TL, minimum ortalama değeri 9773 TL ve maksimum ortalama değeri 13844 TL olarak bulunmuştur. (90*1.655) ölçüsündeki taşıyıcı bant için elde bulundurma maliyetinin ortalama değeri 52587 TL, minimum ortalama değeri 43820 TL ve maksimum ortalama değeri 62926 TL olarak bulunmuştur.

(90*24.805) ölçüsündeki taşıyıcı bant için satın alma maliyetinin ortalama değeri 5162790 TL, minimum ortalama değeri 4300289 TL ve maksimum ortalama değeri 8144664 TL olarak bulunmuştur. (90*1.670) ölçüsündeki taşıyıcı bant için satın alma maliyetinin ortalama değeri 461934 TL, minimum ortalama değeri 362218 TL ve maksimum ortalama değeri 584497 TL olarak bulunmuştur. (90*1.655) ölçüsündeki taşıyıcı bant için satın alma maliyetinin ortalama değeri 1868016 TL, minimum ortalama değeri 1256446 TL ve maksimum ortalama değeri 2710455 TL olarak bulunmuştur.

(90*24.805) ölçüsündeki taşıyıcı bant için kayıp üretim maliyetinin ortalama değeri 1610 TL, minimum ortalama değeri 0 TL ve maksimum ortalama değeri 14997 TL olarak bulunmuştur. (90*1.670) ölçüsündeki taşıyıcı bant için kayıp üretim maliyetinin ortalama değeri 3168 TL, minimum ortalama değeri 0 TL ve maksimum ortalama değeri 19545 TL olarak bulunmuştur. (90*1.655) ölçüsündeki taşıyıcı bant için kayıp üretim maliyetinin ortalama değeri 3758 TL,

minimum ortalama değeri 0 TL ve maksimum ortalama değeri 16430 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Simülasyon Modeli Çıktı Analizi

Değişken	Ortalama (TL)	Minimum Ortalama (TL)	Maksimum Ortalama (TL)	Minimum Değer (TL)	Maksimum Değer (TL)
Elde Bulundurma Maliyeti (90*24.805)	87334	73124	106028	0	157646
Elde Bulundurma Maliyeti (90*1.670)	11677	9773	13844	1218	25283
Elde Bulundurma Maliyeti (90*1.655)	52587	43820	62926	0	103495
Kayıp Üretim Maliyeti (90*24.805)	1610	0	14997	0	21327
Kayıp Üretim Maliyeti (90*1.670)	3168	0	19545	0	19545
Kayıp Üretim Maliyeti (90*1.655)	3758	0	16430	0	18505
Satın Alma Maliyeti (90*24.805)	5162790	4300289	8144664	4000000	11200000
Satın Alma Maliyeti (90*1.670)	461934	362218	584497	270000	1350000
Satın Alma Maliyeti (90*1.655)	1868016	1256446	2710455	1200000	6000000
Toplam Maliyet (90*24.805)	31512813	14896360	58718370	5666120	8981800
Toplam Maliyet (90*1.670)	3252046	2245668	4933926	815970	7042400
Toplam Maliyet (90*1.655)	13050809	7910670	20394338	3000015	3129930
Toplam Maliyet	47556413	30944098	74949449	10484045	12346300

Simülasyon modeli için kullanılan Arena programı aracı olan optquest ile Denklem (3.15)'de amaç fonksiyonu, Denklem (4.1)-(4.6) kısıtları ile modellenmiştir. Bu model için gerekli parametreler ve kısıtlar öncesinde tanımlanarak değer aralıkları girilmiştir. (s , S) değerleri için optquest de girilen alt ve üst değerler Denklem (3.20) ve (3.21), Denklem (4.7) – (4.9)'a yansıtılmıştır.

$$s_{1l} = 1, s_{1u} = 5, S_{1l} = 6, S_{1u} = 10 \quad (4.7)$$

$$s_{2l} = 1, s_{2u} = 5 \text{ ve } S_{2l} = 6, S_{2u} = 8 \quad (4.8)$$

$$s_{3l} = 2, s_{3u} = 5 \text{ ve } S_{3l} = 6, S_{3u} = 10 \quad (4.9)$$

Bu değerler dışında modelde kullanılan bütün maliyetler için alt ve üst değerler optquest kısıtları kısmına girilmiştir. Bu bilgiler firma gizliliği nedeniyle verilememektedir.

Optquest ile tanımlanan kısıtlar aşağıdaki gibidir:

s_i ve S_i ile belirlenen kısıtlar minimum-maksimumum yönteminin parametrelerini oluşturmaktadır. Bu yöntemle göre s her zaman S_i 'den küçük olmalıdır. Ayrıca S_i için depo hacmi belirlenerek belli bir miktarın altında olması için kısıt tanımlanmıştır.

Bu kısıtlar tanımlanarak Denklem (3.15) 'de amaç fonksiyonu için toplam maliyeti minimize eden sonuçlar Çizelge 4.23. 'de verilmiştir. Çizelge 4.23 'de simülasyon sonucu elde edilen toplam maliyeti minimum yapan simülasyon sayıları, maliyetler, (s_i , S_i) değerleri gösterilmiştir.

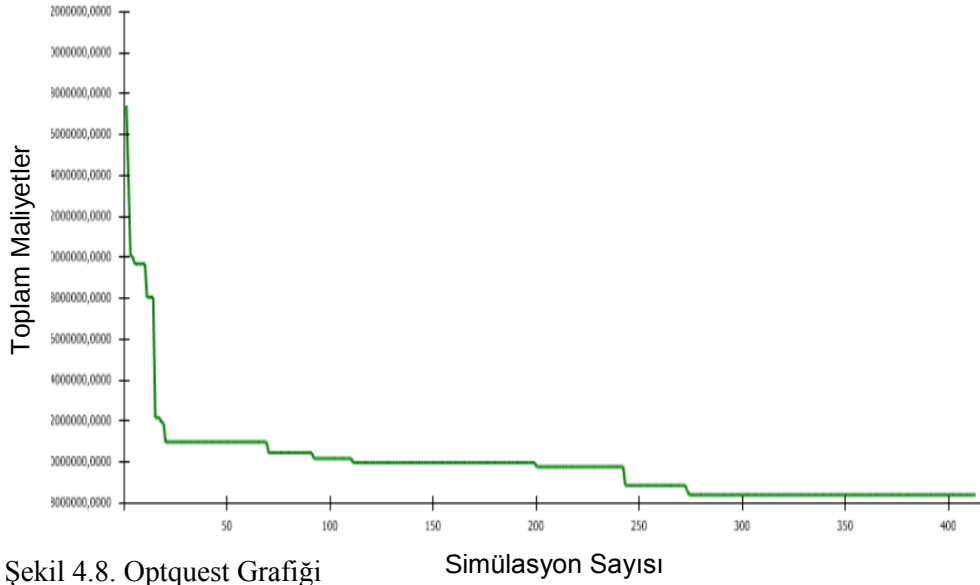
Elde edilen sonuçlara göre toplam maliyetin en düşük değeri $s_1=2$, $s_2=1$, $s_3=5$ iken $S_1=10$, $S_2=5$ $S_3=6$ stok seviyeleri ile 18.417.761 TL olarak bulunmuştur. Alternatif çözümler incelendiğinde (s_i , S_i) değerlerinin değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Elde edile alternatifler arasında en düşük toplam maliyet ile maksimum arasında yaklaşık % 12 oranında değişkenlik gösterdiği Çizelge 4.23 'de görülmektedir. Değişen (s_i , S_i) değerleri simülasyon modelinde yer alan ve

olasılık dağılımlarına göre değişen talep, tedarik süresi, talep gelişleri arası süre ve günlük üretilen alçı plaka miktarının değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Bu değişken durumlar, satın alma, elde bulundurma, sipariş ve kayıp üretim maliyeti üzerinde dolayısıyla toplam maliyet üzerinde etki gösterdiği için alternatif maliyet değerleri elde edilebilmektedir.

Çizelge 4.23. Optquest Sonuçları

Objective Value	Status	s ₁	S ₁	s ₂	S ₂	s ₃	S ₃
1,841776E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,841811E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,847846E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,841882E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,841917E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,861316E+007	Feasible	2	10	3	5	5	6
1,864083E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,888803E+007	Feasible	2	10	1	5	5	6
1,908693E+007	Feasible	2	10	1	6	5	6
1,920916E+007	Feasible	2	10	1	5	4	6
1,924765E+007	Feasible	2	10	2	5	5	6
1,968008E+007	Feasible	2	9	4	7	2	9
1,973325E+007	Feasible	4	10	2	8	5	6
1,978949E+007	Feasible	3	10	5	5	2	6
1,995580E+007	Feasible	2	10	1	8	5	7
1,999198E+007	Feasible	2	7	5	5	4	7
2,019762E+007	Feasible	2	10	1	8	2	10
2,029031E+007	Feasible	3	10	5	5	4	7
2,046965E+007	Feasible	2	9	1	7	2	8
2,055112E+007	Feasible	2	10	1	8	2	10
2,055117E+007	Feasible	2	10	1	6	5	7
2,058739E+007	Feasible	2	10	2	8	5	7
2,060393E+007	Feasible	2	10	1	5	5	10
2,065859E+007	Feasible	2	10	3	8	2	9
2,067512E+007	Feasible	2	10	1	8	2	9

Şekil 4.8’de optquest sonuçları verilmiştir. Grafiğin durağan duruma gelmiş olması yapılan replikasyon sayısının yeterli olduğunu göstermektedir. Optquest ‘de otomatik durdurma seçeneği seçildiği için bu durağan durumluk durdurma kriteri için yeterli olmaktadır.



Şekil 4.8. Optquest Grafiği

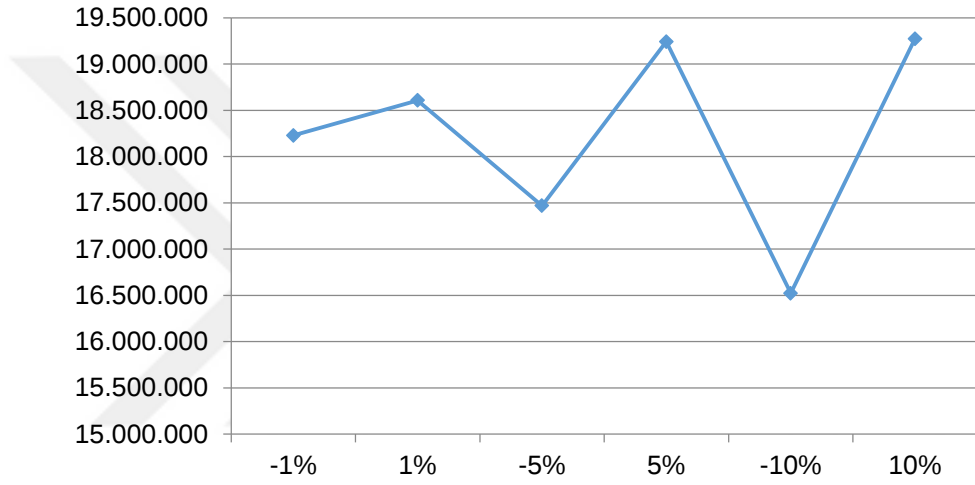
4.9 Duyarlılık Analizi

Modele uygulanan duyarlılık analizi ile maliyetlerin yüzde değişimlerinin toplam maliyete ve (s, S) değerlerine olan etkisi incelenmiştir. Satın alma maliyeti %1, %5 ve %10 değerlerinde azaltılıp arttırılıp diğer maliyetler sabit tutularak satın alma maliyetinin toplam maliyet üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra sipariş ve kayıp üretim maliyeti için aynı adımlar uygulanmıştır. Tüm maliyetler aynı anda ve oranlarda arttırılıp azaltılarak da toplam maliyet üzerindeki etkiler ve (s, S) değerlerinin değişimi incelenmiştir.

Şekil 4.9.-4.11.’den elde edilen yüzde değişimler sonucunda toplam maliyeti en çok etkileyen maliyetin satın alma maliyeti olduğu görülmüştür. Ayrıca

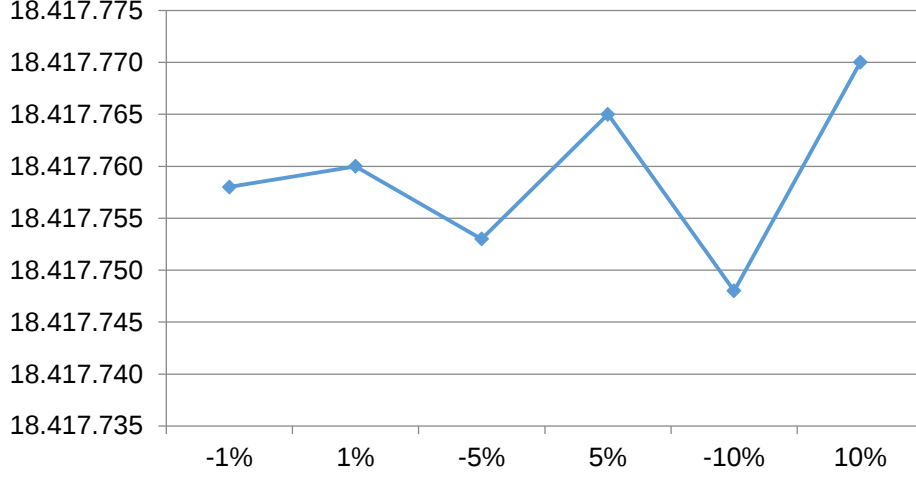
tüm maliyetlerin aynı anda değişmesi de önemli oranda değişiklik meydana getirmiştir.

Şekil 4.9.' da satın alma maliyetinin %10 arttırılması toplam maliyeti % 4 arttırırken, %10 azaltılması toplam maliyeti %10 azalttığı görülmüştür. Sadece Satın alma maliyetinin %5 arttırılması toplam maliyeti % 4 arttırırken, %5 azaltılması neredeyse değişiklik meydana getirmemiştir.



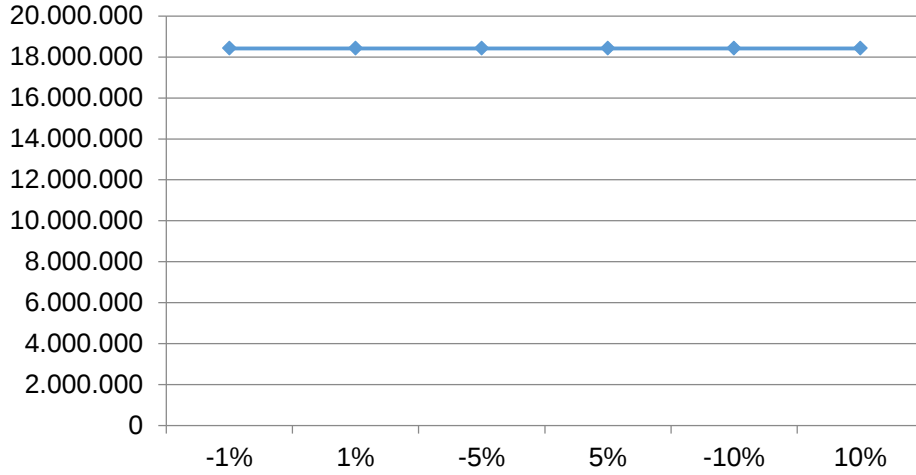
Şekil 4.9. Duyarlılık Analizi Satın Alma Maliyeti Yüzde Değişimleri

Şekil 4.10.'de sipariş maliyetinin verilen yüzde oranlarda değiştirilerek toplam maliyete olan etkisi gösterilmiştir. Sipariş maliyet değerlerinin düşük olması toplam maliyette 0,0000002 oranda değişikliğe sebep olmuştur.



Şekil 4.10. Duyarlılık Analizi Sipariş Maliyeti Yüzde Değişimleri

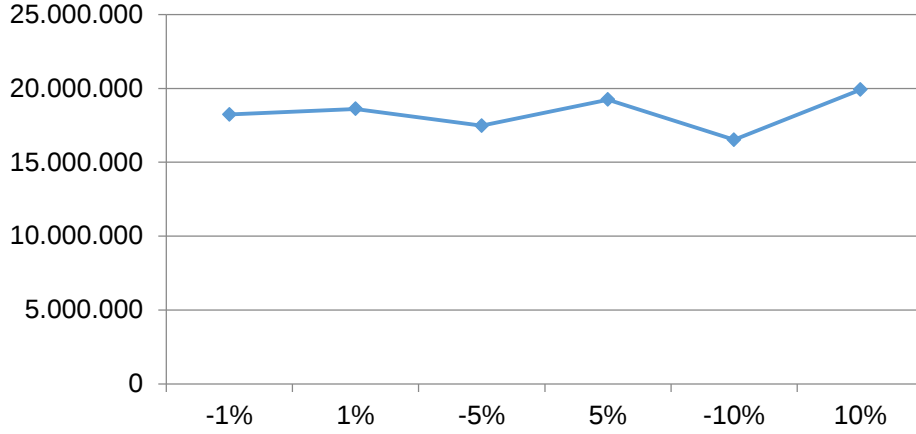
Kayıp üretim maliyeti için yapılan yüzde değişimler sonucunda toplam maliyetin bütün değişimler için sabit kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.11. Duyarlılık Analizi Kayıp Üretim Maliyeti Yüzde Değişimleri

Ayrıca maliyetlerin tamamı için % 1'lik artış ve azalışlar da neredeyse hiç etki meydana getirmemiştir. Tüm maliyetlerin % 10 artması toplam maliyeti % 8 arttırmış ve % 10 azalması toplam maliyeti %10 azaltmıştır. Tüm maliyetlerin % 5

artması toplam maliyeti % 4 arttırmış ve % 5 azalması toplam maliyeti % 5 azaltmıştır.



Şekil 4.12. Duyarlılık Analizi Tüm Maliyetlerin Yüzde Değişimleri

Başlangıç koşullarındaki s değerleri (90*24.805) taşıyıcı bant için (2,5), (90*1.670) taşıyıcı bant için (1,10) ve (90*1.655) taşıyıcı bant için (5,6) olarak elde edilmiştir. Duyarlılık analizi sonucunda yüzde değişimleri ile (s, S) değerlerinin değişimi Çizelge 4.24.-4.26. 'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.24.Maliyetlerin -%1 ve %1 Oranında Değişimi Sonucu (s, S) Değerleri

MALİYETLER	YÜZDE ve (s, S) DEĞERLER											
	-1%						1%					
	s1	S1	s2	S2	s3	S3	s1	S1	s2	S2	s3	S3
Satın Alma Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Sipariş Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Kayıp Üretim Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Tüm Maliyetler	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6

Buna göre, satın alma maliyetinin %5 artmasının sonucunda başlangıç değerleri (2,10), (1,8) ve (2,6) şeklinde değişmiştir. Tüm maliyetlerin % 5 artması da başlangıç değerlerini (2,10), (1,8) ve (2,6) olarak değiştirmiştir.

Çizelge 4.25.Maliyetlerin -%5 ve %5 Oranında Değişimi Sonucu (s, S) Değerleri

MALİYETLER	YÜZDE ve (s,S) DEĞERLER											
	-5%						5%					
	s1	S1	s2	S2	s3	S3	s1	S1	s2	S2	s3	S3
Satın Alma Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	8	2	6
Sipariş Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Kayıp Üretim Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Tüm Maliyetler	2	10	1	5	5	6	2	10	1	8	2	6

Satın alma maliyetinin % 10 artması ile değerler, (1,9), (1,7) ve (2,7) olarak değişmiştir. Diğer yüzdelere s değerleri için değişiklik meydana getirmemiştir. Sipariş ve kayıp üretim maliyetlerinin değişiminin de s değerleri üzerinde etkisi olmamıştır. Tüm maliyetlerin % 10 azalması, s değerlerini (3,10), (1,8) ve (2,6) olarak değişiklik meydana getirmiştir.

Çizelge 4.26.Maliyetlerin -%10 ve %10 Oranında Değişimi Sonucu (s, S) Değerleri

MALİYETLER	YÜZDE ve (s, S) DEĞERLER											
	-10%						10%					
	s1	S1	s2	S2	s3	S3	s1	S1	s2	S2	s3	S3
Satın Alma Maliyeti	2	10	1	5	5	6	1	9	1	7	2	7
Sipariş Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Kayıp Üretim Maliyeti	2	10	1	5	5	6	2	10	1	5	5	6
Tüm Maliyetler	2	10	1	5	5	6	3	10	1	8	2	6



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada büyük ölçekli bir alçı fabrikasında yedek parça stokları incelenerek yedek parça stok optimizasyonu yapılması amaçlanmıştır. İlk olarak yedek parça seçiminde dikkate alınacak kriterler literatür taraması ve uzman görüşleriyle belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin önem seviyelerinin bulunması için AHP yöntemi uygulanmıştır. Yöntem sonucunda yedek parça seçiminde dikkate alınacak en önemli ana kriter 0,414 ağırlıklı AHP puanı ile ‘Güvenlik’ ve en önemli alt kriter ağırlıklı 0,325 AHP puanı ile ‘İnsana Zarar’ olarak bulunmuştur. Daha sonra bu kriterlere göre en kritik yedek parça seçimi kapsamlı olarak AHP-TOPSIS entegrasyonu uygulanarak ideal çözüme yakınlık değeri 0,6655 ile en yüksek olan taşıyıcı bant grubu olarak bulunmuştur.

Belirlenen en kritik yedek parça olan taşıyıcı bant grubunun incelenmesi için ABC-FSN analizi yapılarak incelenecek yedek parça sayısının düşürülmesi amaçlanmıştır. FSN analizi ile ürünlerin stok hareket hızı da dikkate alınarak bir analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen AF grubu olarak üç çeşit ürün seçilmiştir.

Bu üç yedek parça için simülasyon modeli kurularak simülasyon optimizasyon yapılması hedeflenmiştir. Modelde yedek parçaların birbiri yerine kullanılabilirliği dikkate alınarak, yedek parçanın muadil stok durumu sorgulanmıştır. Kurulan model ile firmanın uygulamak istediği minimum maksimum stok yöntemi için toplam maliyeti minimum yapan (s, S) parametreleri bulunmuştur. Toplam maliyet formülünde üç ürünün maliyete etkisi bozulma sıklığı ve kullanım sıklığı kriterleri AHP yöntemi ile elde edilerek formüle yansıtılmıştır. Optquest ile elde edilen (s_i, S_i) parametrelerinin firmadan elde edilen değerlere göre değişiklik gösterdiği Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.23.’de ki değerler karşılaştırıldığında görülmektedir. Çizelge 4.23.’de elde edilen değerler sonucunda

toplam maliyetin maksimum yaklaşık % 12 oranında değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Duyarlılık analizi yapılarak maliyetlerin belli oranda arttırılıp azaltılarak toplam maliyet ve (s, S) değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analiz sonucunda maliyetler arasında yüzde değişikliklerinde en çok etkiye neden olan maliyetin satın alma maliyeti olduğu görülmüştür. Bununla birlikte tüm maliyetlerin aynı anda azaltılıp arttırılması da toplam maliyeti önemli ölçüde etkilemiştir. Aynı şekilde (s, S) değerlerinin değişimi de satın alma maliyeti ve tüm maliyetler için yapılan oranlarda değişiklikler göstermiştir.

5.2. Öneriler

Bu çalışma incelenen büyük ölçekli alçı fabrikasının üretim tesisine göre yapılmış olup farklı uygulamalar için öneriler bulunmaktadır.

- Çalışmada tek bir yedek parça grubu ve bu yedek parça grubunda bulunan 3 çeşit ürün incelenmiştir. Yapılan çalışma bütün yedek parçalar için uygulanarak toplam maliyeti minimum yapan minimum maksimum stok seviyeleri belirlenebilir.
- Çalışmada dikkate alınan ürün grubu için tek tedarikçi ile çalışıldığı için uygulama kısmı bu şekilde yapılmıştır. Tedarikçiler çeşitlilik gösterebilir ve uygulama da dikkate alınabilir.
- Ürünün temin edildiği tedarikçinin uygulayacağı miktar iskontoları dikkate alınıp maliyetler güncellenerek model tekrar kurulabilir ve (s, S) değerleri belirlenebilir.
- Çalışma başka stok politikaları entegre edilerek uygulanabilir.
- Pratikte uyum sağlayacak çalışmalar için periyodik kontrol yöntemi önerilebilir.
- İncelenen yedek parça grubunun raf ömrü dikkate alınabilir.

KAYNAKLAR

- Abuizam, R. (2011). Optimization of (s, S) periodic review inventory model with uncertain demand and lead time using simulation. *International Journal of Management and Information System*, 15(1), 67-80.
- Ahmed, M. A., & Alkhamis, T. M. (2009). Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait. *European journal of operational research*, 198(3), 936-942.
- Akcan, S. (2010). Hastane sistemlerinde çoklu malzeme durumu için simülasyon meta-modellemeye dayalı stok optimizasyonu (Doctoral dissertation, Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana).
- Alçı Dergi. Türkiye Alçı Üreticileri Derneği Sayı.(2009, 1 Ocak),1.
- Arena User's Guide, (2004). Erişim Adresi: https://studerende.au.dk/fileadmin/www.asb.dk/servicekatalog/IT/Analyse/aerktoejer/Arena/Arena_User_s_Guide_EN.pdf . Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2019
- Azadivar, F., & Shu, J. V. (1998, December). Use of simulation in optimization of maintenance policies. In *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation* (pp. 1061-1068). IEEE Computer Society Press.
- Bacchetti, A., & Saccani, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722-737.
- Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation*. New York: John Wiley & Sons.
- Barton, R. R., & Meckesheimer, M. (2006). Metamodel-based simulation optimization. *Handbooks in operations research and management science*, 13, 535-574.

- Bošnjaković, M. (2010). Multicriteria inventory model for spare parts. *Tehnički vjesnik*, 17(4), 499-504.
- Cavalieri, S., Garetti, M. A. R. C. O., Macchi, M. A. R. C. O., & Pinto, R. O. B. E. R. T. O. (2008). A decision-making framework for managing maintenance spare parts. *Production planning & control*, 19(4), 379-396.
- Chan F. T.S., Chan H.K., Lau H.C.V. & IP, R.W.L. (2006), “An AHP approach in benchmarking logistics performance of the postal industry”, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 13 No. 6, pp. 636-661.
- Cheng, E.W.L. and LI, H. (2001), “Analytic Hierarchy Process: An Approach to Determine Measures For Business Performance”, *Measuring Business Excellence*, Vol. 5 No. 3, pp. 30-37
- Çamkoru, A. ve Sayın V. (2011). Bakım Maliyeti Yönetimi. V. Bakım Teknolojileri Kongresi’nde sunulan bildiri, Kocaeli. Erişim Adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/d5cd68fee278551_ek.pdf?dergi=1310.. Erişim Tarihi: 2 Temmuz 2019
- Dağsuyu, C. (2013). Bozulabilen ürünler için miktar ıskontolu optimum fiyat politikalarının belirlenmesi ve uygulaması. Çukurova Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Dinçer, S. E., & Emre, E. K. İ. N. (2017). Havacılık Sektöründe Yedek Parça Envanter Yönetimi Problemlerine Doğrusal Programlama İle Çözüm Yaklaşımı. *Journal of Life Economics*, 4(2), 77-102.
- Dinçer, H., & Görener, A. (2011). Analitik hiyerarşi süreci ve vikor tekniği ile dinamik performans analizi: Bankacılık sektöründe bir uygulama.
- Duran, O. (2015). Spare parts criticality analysis using a fuzzy AHP approach/Analiza kritičnosti rezervnih dijelova primjenom pristupa neizrastog analitičkog hijerarhijskog proces. *Tehnicki vjesnik-Technical Gazette*, 22(4), 899-906.

- Gajpal, P. P., Ganesh, L. S., & Rajendran, C. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International journal of production economics*, 35(1-3), 293-297.
- Ghodrati, B., & Kumar, U. (2005). Operating environment-based spare parts forecasting and logistics: a case study. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 8(2), 95-105.
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International journal of production economics*, 71(1-3), 125-133.
- Ilgin, M. A., & Tunali, S. (2007). Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(5-6), 594-604.
- Jeddou, M. B. (2014). Multi-criteria ABC inventory classification-a case of vehicles spare parts items. *Journal of Advanced Management Science* Vol, 2(3).
- Karahan, M. (2013). Stok Yönetimi [Power Point Slaytı]. 29 Haziran 2019 tarihinde <https://slideplayer.biz.tr/slide/10918182/> adresinden erişildi.
- Karahan, M., & Aslan, Ş. (2016). Bir Çimento Fabrikasında Hammadde Stok Kontrolü Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3).
- Kasap, N., Biçer, İ., & Özkaya, B. Y. (2010). Stokastik envanter model kullanılarak iş makinelerinin onarımında kullanılan kritik yedek parçalar için envanter yönetim sistemi oluşturulması. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 39(2).
- Kennedy, W. J., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of production economics*, 76(2), 201-215.

- Kleijnen, J. P., & Wan, J. (2007). Optimization of simulated systems: OptQuest and alternatives. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(3), 354-362.
- Kumar, S., & Kumar Singh, S. (2016). An ABC Analysis of Multiple Component of Compressor unit-Inventory Management Case Study. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 1458-1463.
- Millstein, M. A., Yang, L., & Li, H. (2014). Optimizing ABC inventory grouping decisions. *International Journal of Production Economics*, 148, 71-80.
- Monjezi, M., Dehghani, H., Singh, T. N., Sayadi, A. R., & Gholinejad, A. (2012). Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design. *Arabian journal of geosciences*, 5(1), 95-101.
- Molenaers, A., Baets, H., Pintelon, L., & Waeyenbergh, G. (2012). Criticality classification of spare parts: A case study. *International Journal of Production Economics*, 140(2), 570-578.
- Ng, W. L. (2007). A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 344-353.
- OptQuest for Arena Users Guide, (2009). Erişim Adresi: <https://karenrempel.com/wp-content/uploads/2009/11/arena-optquest-users-guide.pdf>. Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2019.
- PASW Statistics 18 Core System User's Guide, (2007). Erişim Adresi: <http://www.stat.ualberta.ca/statslabs/stat337/files/PASW%20Statistics%2018%20Core%20System%20User%27s%20Guide.pdf>. Erişim Tarihi: 24 Temmuz 2019.
- Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers & Operations Research*, 33(3), 695-700.

- Rogers, P. (2002, December). Optimum-seeking simulation in the design and control of manufacturing systems: experience with OptQuest for Arena. In Proceedings of the winter simulation conference (Vol. 2, pp. 1142-1150). IEEE.
- Sarker, R., & Haque, A. (2000). Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation. *Applied Mathematical Modelling*, 24(10), 751-760.
- Saalmann, P., & Hellingrath, B. (2016, October). Coordination in Spare Parts Supply Chains. In 2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS) (pp. 601-604). IEEE.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. USA: Mcgraw-Hill International BookCompany.
- Shafiee, M. (2015). Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 378-402.
- Shyjith, K. Ilankumanan, M and Kumanan, S. (2008), “Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*; Vol. 14; No. 4, pp.375-38
- Sulak, H. (2008). Stok kontrolü ve ekonomik sipariş miktarı modellerinde yeni açılımlar: ödemelerde gecikmeye izin verilmesi durumu ve bir model önerisi (Doctoral dissertation, Sosyal Bilimler).
- Şen, C. (2011). *Modellemeye Giriş* [Power Point Slaytı]. Erişim Adresi: http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/modellemeyegiris/acrobats/Ders%205_04.11.pdf . Erişim Tarihi: 29 Haziran 2019.
- Teixeira, C., Lopes, I., & Figueiredo, M. (2018). Classification methodology for spare parts management combining maintenance and logistics perspectives. *Journal of Management Analytics*, 5(2), 116-135.

- Tutak, T., & Güder, Y. (2014). Matematiksel Modellemenin Tanımı, Kapsamı ve Önemi. *Turkish Journal of Educational Studies*, 1(1).
- Uyaroğlu, E. O. (2017). Stok yönetiminin firma performansına etkisi üzerine bir saha araştırması (Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Vaughan, T. S. (2005). Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy. *European Journal of Operational Research*, 161(1), 183-190.
- Wang, W., & Syntetos, A. A. (2011). Spare parts demand: Linking forecasting to equipment maintenance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1194-1209.
- Wan, J., & Li, L. (2008, December). Simulation for constrained optimization of inventory system by using arena and OptQuest. In 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering (Vol. 2, pp. 202-205). IEEE.
- Yang, J., & Lee, H. (1997). An AHP decision model for facility location selection. *Facilities*, 15(9/10), 241-254.
- Yiğit, A. M. (2015) Parti Tipi Üretim Yapan Bir İmalat Sisteminin Simülasyon Yöntemi İle Analizi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (47), 212-229.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Mersin’de doğdu. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nü kazanıp 2012 yılında mezun oldu. 2017 yılı Eylül ayında Endüstri mühendisliği Ana bilim Dalı’nda tezli yüksek lisans programına başlamıştır. 2018 yılından itibaren Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji üniversitesinde araştırma görevlisi olarak görev almaktadır.







EKLER



EK-1: Yedek Parça Ana Kriterler İçin İkili Karşılaştırmalar

KRİTERLER	EKONOMİK	TEKNİK	TEDARİK	GÜVENLİK	KALİTE	wi	Wi2	V1	V2
EKONOMİK	1	0,142857143	0,333333333	0,2	0,333333333	0,316474	0,049098	0,262591	5,348342
TEKNİK	7	1	5	0,333333333	1	1,634517	0,253579	1,379768	5,441185
TEDARİK	3	0,2	1	0,333333333	0,333333333	0,581811	0,090262	0,490625	5,435563
GÜVENLİK	5	3	3	1	3	2,667269	0,413799	2,270597	5,487191
KALİTE	3	1	3	0,333333333	1	1,245731	0,193262	1,002853	5,189075

EK-2: Yedek Parça Ekonomi Alt Kriterleri İçin İkili Karşılaştırmalar

KRİTERLER	Satınalma Maliyeti	Bertaraf Etme Maliyeti	Stok Maliyeti	Sigorta Maliyeti	Stok Kesilme Maliyeti	Sipariş Maliyeti	Enerji Tüketimi	Bakım/Tamir Maliyeti	wi	Wi2	V1	V2
Satınalma Maliyeti	1	9	3	5	0,333333333	5	0,2	0,2	1,316074	0,103257	0,948828	9,188954
Bertaraf Etme Maliyeti	0,111111111	1	0,2	0,5	0,111111111	0,333333333	0,111111111	0,142857143	0,224844	0,017641	0,156687	8,881989
Stok Maliyeti	0,333333333	5	1	3	0,2	5	0,2	0,333333333	0,871686	0,068391	0,584795	8,550722
Sigorta Maliyeti	0,2	2	0,333333333	1	0,111111111	3	0,142857143	0,2	0,434479	0,034089	0,291169	8,541531
Stok Kesilme Maliyeti	3	9	5	9	1	9	2	3	4,000564	0,313879	2,689272	8,567859
Sipariş Maliyeti	0,2	3	0,2	0,333333333	0,111111111	1	0,111111111	0,142857143	0,302733	0,023752	0,211301	8,896109
Enerji Tüketimi	5	9	5	7	0,5	9	1	3	3,474976	0,272642	2,398028	8,795515
Bakım/Tamir Maliyeti	5	7	3	5	0,333333333	7	0,333333333	1	2,1202	0,166348	1,543511	9,278797

EK-3: Yedek Parça Teknik Alt Kriterleri İçin İkili Karşılaştırmalar

KRİTERLER	Uygulanabilirlik	Teknolojik Seviye	Kurulum Zamanı	Kullanım Sıklığı	Kullanım Ömrü	Parça Büyüklüğü	Parça Ağırlığı	Parça Eşdeğerliği	Tamir Edilebilirlik	Parça Kabul Seviyesi	İade Edilebilirlik	Gerl Dönüşüm Özelliği	wi	Wi2	V1	V2
Uygulanabilirlik	1	3	3	3	0,33333333	3	3	0,33333333	0,33333333	3	3	5	1,649255415	0,093892	1,248715	13,29949
Teknolojik Seviye	0,33333333	1	3	3	0,2	3	3	0,33333333	0,33333333	3	3	5	1,316074013	0,074924	0,99869	13,32937
Kurulum Zamanı	0,33333333	0,33333333	1	3	0,2	3	3	0,2	0,33333333	3	3	5	1,05020168	0,059788	0,810565	13,55733
Kullanım Sıklığı	0,33333333	0,33333333	0,33333333	1	0,142857143	3	3	0,2	0,2	3	3	3	0,780908899	0,044457	0,60937	13,70692
Kullanım Ömrü	3	5	5	7	1	7	9	3	3	9	9	9	4,951147039	0,281868	3,587182	12,72644
Parça Büyüklüğü	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,142857143	1	0,5	0,2	0,2	3	3	5	0,584415359	0,033271	0,458261	13,77371
Parça Ağırlığı	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,111111111	2	1	0,2	0,2	3	3	3	0,615616879	0,035047	0,467419	13,3369
Parça Eşdeğerliği	3	3	5	5	0,33333333	5	5	1	0,33333333	5	5	3	2,450445832	0,139504	1,929351	13,8301
Tamir Edilebilirlik	3	3	3	5	0,33333333	5	5	3	1	5	7	7	3,112576172	0,177199	2,309433	13,03301
Parça Kabul Seviyesi	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,111111111	0,33333333	0,33333333	0,2	0,2	1	3	3	0,441513891	0,025135	0,338332	13,46041
İade Edilebilirlik	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,111111111	0,33333333	0,33333333	0,2	0,142857143	0,33333333	1	1	0,326202077	0,018571	0,24162	13,01084
Gerl Dönüşüm Özelliği	0,2	0,2	0,2	0,33333333	0,111111111	0,2	0,33333333	0,33333333	0,142857143	0,33333333	1	1	0,287094277	0,016344	0,225304	13,78489

EK-4: Yedek Parça Tedarik Alt Kriterleri İçin İkili Karşılaştırmalar

KRİTER	Teslim Süresi	Tedarikçi Sayısı	Sipariş Şekli	wi	Wi2	V1	V2
Teslim Süresi	1	0,33333333	2	0,87358	0,249311	0,7613	3,053622
Tedarikçi Sayısı	3	1	3	2,080084	0,593634	1,812733	3,053622
Sipariş Şekli	0,5	0,33333333	1	0,550321	0,157056	0,479589	3,053622

EK-5: Yedek Parça Güvenlik Alt Kriterleri İçin İkili Karşılaştırmalar

KRİTER	Çevreye Zarar	Başka Makineye Zarar	İnsana Zarar	wi	Wi2	V1	V2
Çevreye Zarar	1	3	0,142857143	0,753947	0,148815	0,458395	3,0803
Sisteme Zarar	0,333333333	1	0,111111111	0,333333	0,065794	0,202664	3,0803
İnsana Zarar	7	9	1	3,979057	0,785391	2,41924	3,0803

EK-6: Yedek Parça Kalite Alt Kriterleri İçin İkili Karşılaştırmalar

KRİTER	Güvenilirlik	Parça Hata Olasılığı	Parça Hata Sıklığı	wi	Wi2	V1	V2
Güvenilirlik	1	7	7	3,659306	0,773171	2,360972	3,053622
Parça Hata Olasılığı	0,142857143	1	0,5	0,414913	0,087667	0,267701	3,053622
Parça Hata Sıklığı	0,142857143	2	1	0,658634	0,139162	0,424948	3,053622

EK-7: Bozulma Sıklığı Kriteri AHP Tablosu

KRİTER	90*24.805	90*1.670	90*16.555	wi	Wi2	V1	V2
90*24.805	1	5	1	1,709976	0,454545	1,363636	3
90*1.670	0,2	1	0,2	0,341995	0,090909	0,272727	3
90*16.555	1	5	1	1,709976	0,454545	1,363636	3

EK-8: Kullanım Sıklığı Kriteri AHP Tablosu

KRİTER	90*24.805	90*1.670	90*16.555	wi	Wi2	V1	V2
90*24.805	1	0,142857	1	0,522758	0,111111	0,333333	3
90*1.670	7	1	7	3,659306	0,777778	2,333333	3
90*16.555	1	0,142857	1	0,522758	0,111111	0,333333	3

EK-9: TOPSIS Yöntemi Adım 1

AHP Puanları	0,061579588	0,027225412	0,324994411	0,023808995	0,018999119	0,015160931	0,011273364	0,071475792	0,008436742	0,008887174	0,035375148	0,044933799
Ürün	Çevreye Zarar	Başka Makineye Zarar	İnsana Zarar	Uygulanabilirlik	Teknolojik Seviye	Kurulum Zamanı	Kullanım Sıklığı	Kullanım Ömrü	Parça Büyüklüğü	Parça Ağırlığı	Parça Eşdeğeriği	Tamir Edilebilirlik
Rulman	2	7	3	9	9	8	10	9	2	1	8	1
Keçe	3	6	3	9	9	8	8	9	2	1	8	1
Kayış	4	5	8	6	7	5	7	7	4	3	6	1
Bant	6	5	6	6	6	9	5	7	6	7	3	5

EK-10: TOPSIS Yöntemi Adım 1

AHP Puanları	0,006373787	0,004709121	0,004144553	0,149424932	0,016942664	0,026894802	0,022503262	0,053582553	0,014176167	0,005069703	0,000866132	0,003357856
Ürün	Parça Kabul Seviyesi	İade Edilebilirlik	Gerİ Dönüşüm Özelliği	Güvenilirlik	Parça Hata Olasılığı	Parça Hata Sıklığı	Teslim Süresi	Tedarikçi Sayısı	Sipariş Şekli	Satınalma Maliyeti	Bertaraf Etme Maliyeti	Stok Maliyeti
Rulman	2	2	2	5	1	1	2	5	2	5	1	7
Keçe	2	2	2	5	1	1	2	5	2	5	1	6
Kayış	2	2	2	5	2	1	2	5	2	5	1	4
Bant	2	7	5	5	4	2	6	5	4	5	1	7

EK-11: TOPSIS Yöntemi Adım 1

AHP Puanları	0,001673674	0,01541074	0,00116617	0,013386098	0,008167311
Ürün	Sigorta Maliyeti	Stok Kesilme Maliyeti	Sipariş Maliyeti	Enerji Tüketimi	Bakım/Tamir Maliyeti
Rulman	1	7	1	7	5
Keçe	1	6	1	7	5
Kayış	1	4	1	8	4
Bant	1	4	1	8	7

EK-12: TOPSIS Yöntemi Adım 2

Ürün	Çevreye Zarar	Başka Makineye Zarar	İnsana Zarar	Uygulanabilirlik	Teknolojik Seviye	Kurulum Zamanı	Kullanım Sıklığı	Kullanım Ömrü	Parça Büyüklüğü	Parça Ağırlığı	Parça Eşdeğerliği	Tamir Edilebilirlik
Rulman	4	49	9	81	81	64	100	81	4	1	64	1
Keçe	9	36	9	81	81	64	64	81	4	1	64	1
Kayış	16	25	64	36	49	25	49	49	16	9	36	1
Bant	36	25	36	36	36	81	25	49	36	49	9	25
Karekök Toplamı	8,062257748	11,61895004	10,86278049	15,29705854	15,71623365	15,29705854	15,42724862	16,1245155	7,745966692	7,745966692	13,15294644	5,291502622

EK-13: TOPSIS Yöntemi Adım 2

Ürün	Parça Kabul Seviyesi	İade Edilebilirlik	Gerİ Dönüşüm Özelliği	Güvenilirlik	Parça Hata Olasılığı	Parça Hata Sıklığı	Teslim Süresi	Tedarikçi Sayısı	Sipariş Şekli	Satınalma Maliyeti	Bertaraf Etme Maliyeti	Stok Maliyeti
Rulman	4	4	4	25	1	1	4	25	4	25	1	49
Keçe	4	4	4	25	1	1	4	25	4	25	1	36
Kayış	4	4	4	25	4	1	4	25	4	25	1	16
Bant	4	49	25	25	16	4	36	25	16	25	1	49
Karekök Toplamı	4	7,810249676	6,08276253	10	4,69041576	2,645751311	6,92820323	10	5,291502622	10	2	12,24744871

EK-14: TOPSIS Yöntemi Adım 2

Ürün	Sigorta Maliyeti	Stok Kesilme Maliyeti	Sipariş Maliyeti	Enerji Tüketimi	Bakım/Tamir Maliyeti
Rulman	1	49	1	49	25
Keçe	1	36	1	49	25
Kayış	1	16	1	64	16
Bant	1	16	1	64	49
Karekök Toplamı	2	10,81665383	2	15,03329638	10,72380529

EK-15: TOPSIS Yöntemi Adım 3

Ürün	Çevreye Zarar	Başka Makineye Zarar	İnsana Zarar	Uygulanabilirlik	Teknolojik Seviye	Kurulum Zamanı	Kullanım Sıklığı	Kullanım Ömrü	Parça Büyüklüğü	Parça Ağırlığı	Parça Eşdeğerliği	Tamir Edilebilirlik
Rulman	0,015276016	0,016402332	0,089754482	0,014007985	0,010879965	0,007928808	0,007307436	0,039894664	0,002178357	0,001147329	0,021516181	0,00849169
Keçe	0,022914024	0,014059142	0,089754482	0,014007985	0,010879965	0,007928808	0,005845949	0,039894664	0,002178357	0,001147329	0,021516181	0,00849169
Kayış	0,030552032	0,011715952	0,239345285	0,009338656	0,008462195	0,004955505	0,005115206	0,031029183	0,004356715	0,003441988	0,016137136	0,00849169
Bant	0,045828047	0,011715952	0,179508963	0,009338656	0,00725331	0,008919909	0,003653718	0,031029183	0,006535072	0,008031304	0,008068568	0,04245845

EK-16: TOPSIS Yöntemi Adım 3

Ürün	Parça Kabul Seviyesi	İade Edilebilirlik	Gerİ Dönüşüm Özelliği	Güvenilirlik	Parça Hata Olasılığı	Parça Hata Sıklığı	Teslim Süresi	Tedarikçi Sayısı	Sipariş Şekli	Satınalma Maliyeti	Betaraf Etme Maliyeti	Stok Maliyeti
Rulman	0,003186893	0,001205882	0,001362721	0,074712466	0,003612188	0,01016528	0,006496132	0,026791276	0,005358087	0,002534852	0,000433066	0,001919175
Keçe	0,003186893	0,001205882	0,001362721	0,074712466	0,003612188	0,01016528	0,006496132	0,026791276	0,005358087	0,002534852	0,000433066	0,001645007
Kayış	0,003186893	0,001205882	0,001362721	0,074712466	0,007224376	0,01016528	0,006496132	0,026791276	0,005358087	0,002534852	0,000433066	0,001096671
Bant	0,003186893	0,004220588	0,003406802	0,074712466	0,014448752	0,02033056	0,019488397	0,026791276	0,010716175	0,002534852	0,000433066	0,001919175

EK-17: TOPSIS Yöntemi Adım 3

Ürün	Sigorta Maliyeti	Stok Kesilme Maliyeti	Sipariş Maliyeti	Enerji Tüketimi	Bakım/Tamir Maliyeti
Rulman	0,000836837	0,009973064	0,000583085	0,00623301	0,003808028
Keçe	0,000836837	0,00854834	0,000583085	0,00623301	0,003808028
Kayış	0,000836837	0,005698893	0,000583085	0,00712344	0,003046423
Bant	0,000836837	0,005698893	0,000583085	0,00712344	0,00533124

EK-18: TOPSIS Yöntemi Adım 4

İDEAL ÇÖZÜMLER	Çevreye Zarar	Başka Makineye Zarar	İnsana Zarar	Uygulanabilirlik	Teknolojik Seviye	Kurulum Zamanı	Kullanım Sıklığı	Kullanım Ömrü	Parça Büyüklüğü	Parça Ağırlığı	Parça Eşdeğerliği	Tamir Edilebilirlik
ideal sol max	0,045828047	0,016402332	0,239345285	0,014007985	0,010879965	0,008919909	0,007307436	0,039894664	0,006535072	0,008031304	0,021516181	0,04245845
ideal sol min	0,015276016	0,011715952	0,089754482	0,009338656	0,00725331	0,004955505	0,003653718	0,031029183	0,002178357	0,001147329	0,008068568	0,00849169

EK-19: TOPSIS Yöntemi Adım 4

İDEAL ÇÖZÜMLER	Parça Kabul Seviyesi	İade Edilebilirlik	Geril Dönüşüm Özelliği	Güvenilirlik	Parça Hata Olasılığı	Parça Hata Sıklığı	Teslim Süresi	Tedarikçi Sayısı	Sipariş Şekli	Satınalma Maliyeti	Bertaraf Etme Maliyeti	Stok Maliyeti
ideal sol max	0,003186893	0,004220588	0,003406802	0,074712466	0,014448752	0,02033056	0,019488397	0,026791276	0,010716175	0,002534852	0,000433066	0,001919175
ideal sol min	0,003186893	0,001205882	0,001362721	0,074712466	0,003612188	0,01016528	0,006496132	0,026791276	0,005358087	0,002534852	0,000433066	0,001096671

EK-20: TOPSIS Yöntemi Adım 4

İDEAL ÇÖZÜMLER	Sigorta Maliyeti	Stok Kesilme Maliyeti	Sipariş Maliyeti	Enerji Tüketimi	Bakım/Tamir Maliyeti
ideal sol max	0,000836837	0,009973064	0,000583085	0,00712344	0,00533124
ideal sol min	0,000836837	0,005698893	0,000583085	0,00623301	0,003046423