

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

**İMALAT SEKTÖRÜNDE UYGUN BAKIM VE
STRATEJİSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM
TASARIMI VE UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

Çağatay TEKE

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK

Ağustos 2018

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Çağatay TEKE

03.08.2018

TEŞEKKÜR

Doktora tezim ile ilgili olarak her türlü desteği sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmasının gelişiminde değerli katkılarından dolayı doktora tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Emin GÜNDOĞAR'a ve Prof. Dr. İmdat TAYMAZ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, tezimin uygulama aşamasında her türlü desteği veren ve fikirlerini paylaşan arkadaşım Öğr. Gör. Baran KAYNAK'a çok teşekkür ederim.

Yoğun çalışmalarım sırasında her türlü hoşgörüyü gösteren ve gülümsemeleriyle bana güç veren eşime, oğluma ve hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan anneme ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, doktora eğitimim boyunca bana maddi açıdan destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
İMALAT KAVRAMI VE İMALAT TÜRLERİ	9
2.1. İmalatın ve Üretimin Tanımı.....	9
2.2. İmalat Türleri.....	14
2.2.1. Sürekli imalat	14
2.2.2. Kesikli imalat	15
2.2.3. Proje tipi imalat	16
BÖLÜM 3.	
BAKIM PLANLAMA	18
3.1. Bakım ve Bakım Planlamanın Tanımı	19
3.2. Güvenilirlik ve Bakım Planlama - Güvenilirlik İlişkisi	23
3.3. Önleyici Bakım	25

3.3.1. Optimal önleyici bakım zamanının belirlenmesi	26
3.4. Arıza Bakımı	27
3.4.1. Makine arıza dağılımının belirlenmesi.....	30
3.4.2. En küçük kareler yöntemi	32
3.4.3. Maksimum olabilirlik yöntemi.....	33
3.5. Diğer Bakım Türleri	34
 BÖLÜM 4.	
BAKIM PLANLAMADA KULLANILAN TEKNİKLER	36
4.1. Simülasyon	36
4.1.1. Simülasyon modeli yapısı	38
4.1.2. Simülasyon modelleme süreci.....	39
4.2. Yapay Zekâ	45
4.2.1. Uzman sistemler.....	47
4.2.2. Bulanık mantık	50
4.2.3. Bulanık uzman sistem	51
4.3. Deney Tasarımı ve Taguchi Tekniği	53
4.3.1. Taguchi deney tasarımı yaklaşımı.....	56
4.3.2. Ortogonal diziler ve dizi seçimi	57
4.3.3. Faktör etkilerinin varyans analizi ile araştırılması	60
 BÖLÜM 5.	
FIRSATÇI BAKIM POLİTİKASI TASARIMI VE UYGULAMASI	61
5.1. Problemin Tanımı.....	61
5.2. Geliştirilen Fırsatçı Bakım Politikası ve Simülasyon Programı.....	62
5.3. Uygulama	71
5.3.1. Makine arıza dağılımlarının belirlenmesi	72

5.3.2. Optimal önleyici bakım zamanının belirlenmesi	76
5.3.3. Deney tasarımı ve simülasyon tekrar sayısının belirlenmesi ...	76
5.3.4. Deneylerin simüle edilmesi	79
5.3.5. Deney sonuçlarının analizi	80
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	88
6.1. Bulgular	88
6.2. Katkıları	89
6.3. İleriye Dönük Çalışma Alanları	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	97

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AD	: Anderson Darling Değeri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANOVA	: Analysis of Variance
C_1	: Arıza Bakımı Maliyeti
C_2	: Önleyici Bakım Maliyeti
FMEA	: Failure Mode and Effect Analysis
$f(t)$	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$F(t)$	: Olasılık Dağılım Fonksiyonu
$G(t)$	: Birim Zamanda Beklenen Maliyet
i	: Sıra Numarası
L	: Olabilirlik Fonksiyonu
MTBF	: Arızalar Arası Ortalama Süre
N	: Toplam Veri Sayısı
PUKO	: Planla Uygula Kontrol Et Önlem Al
RS	: Rassal Sayı
$r(t)$	: Arıza Hızı
$R(t)$	: Güvenilirlik Fonksiyonu
t	: Zaman
$\bar{T}$	: Weibull Dağılımının Ortalaması
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	: VİseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
VKİ	: Vücut Kütle İndeksi
Z_i	: Standart Normal Rassal Değişken

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir sistem olarak imalat	10
Şekil 2.2. Endüstri 4.0'ın bileşenleri	14
Şekil 3.1. Bakım fonksiyonlarının diğer karar sistemleriyle etkileşimi	21
Şekil 3.2. Bakım operasyon yönetim sisteminin temel bileşenleri	22
Şekil 3.3. Planlı ve plansız yenileme	27
Şekil 3.4. Mekanik sistem arıza karakteri	28
Şekil 3.5. Elektrik-elektronik sistemlerin arıza karakteri	29
Şekil 3.6. Yazılım sistemi arıza karakteri	29
Şekil 3.7. Banyo küveti eğrisi	30
Şekil 4.1. Uzman sistemin elemanları	48
Şekil 4.2. Yaş dilsel değişkeninin bulanık kümeleri	51
Şekil 4.3. Bulanık uzman sistemin yapısı	52
Şekil 5.1. Sürekli-proses tipi imalat örneği	62
Şekil 5.2. Fırsatçı bakımda ara stok değişkenlerinin bulanık kümesi	63
Şekil 5.3. Geliştirilen fırsatçı bakım politikasının akış şeması	69
Şekil 5.4. Geliştirilen zaman artırımlı simülasyon programı	70
Şekil 5.5. Uygulamanın gerçekleştirildiği fabrikanın imalat süreci	71
Şekil 5.6. En küçük kareler yöntemi parametre tahmini (üç parametrelili)	73
Şekil 5.7. Maksimum olabilirlik yöntemi parametre tahmini (üç parametrelili)	73
Şekil 5.8. En küçük kareler yöntemi parametre tahmini (iki parametrelili)	75
Şekil 5.9. Maksimum olabilirlik yöntemi parametre tahmini (iki parametrelili)	75
Şekil 5.10. Optimal önleyici bakım zamanının hesabında kullanılan Matlab kodu	76
Şekil 5.11. Simülasyon tekrar sayısının belirlenmesi	79
Şekil 5.12. L18 ortogonal dizisinin Minitab programından seçimi	80
Şekil 5.13. Simülasyon programında arıza bakımı politikasının çalışması	81
Şekil 5.14. Simülasyon programında önleyici bakım politikasının çalışması	82

Şekil 5.15. Simülasyon programında fırsatçı bakım politikasının çalışması	83
Şekil 5.16. Ortalamaya göre faktörlerin seviyeleri	84
Şekil 5.17. Sinyal-Gürültü oranına göre faktörlerin seviyeleri.....	84
Şekil 5.18. Minitab programından varyans analizinin seçimi.....	85



TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. L4 (22) deneyi düzey kombinasyonları	59
Tablo 4.2. L8 (27) deneyi düzey kombinasyonları	59
Tablo 4.3. Sinyal Gürültü (S/N) oranlarının hesaplanması.....	60
Tablo 5.1. Makinelerin arızalar arası süre verileri (saat cinsinden)	72
Tablo 5.2. Uygulamada kullanılan faktörler ve seviyeleri	77
Tablo 5.3. L18 (61x34) ortogonal dizisi	77
Tablo 5.4. Simülasyon sonucu elde edilen çıktı miktarları (ton cinsinden).....	79
Tablo 5.5. Uygulama kapsamında gerçekleştirilen varyans analizinin sonuçları .	86
Tablo 5.6. Güven aralığı için yapılan simülasyon deney sonuçları	86

ÖZET

Anahtar kelimeler: Fırsatçı bakım, sürekli-proses tipi imalat, bulanık mantık, uzman sistem

Bakım planlaması, imalat sistemlerinin verimliliği açısından önemli bir husustur. Etkin bir bakım planlaması, imalat sisteminin verimliliğinin yüksek olmasını sağlayacaktır. İmalat sisteminin veriminin artması, yüksek bir imalat miktarını da beraberinde getirecektir. Bununla beraber, özellikle sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde bir makinenin arızalanması tüm sistemin çalışmasını olumsuz etkileyebilmektedir. Doğru bakım politikasının uygulanması bu tip imalat sistemlerinde büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bulanık uzman sistem tabanlı bir fırsatçı bakım politikası geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni bakım politikasının performansı sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde toplam çıktı miktarı göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, bir çimento fabrikasının imalat süreci incelenmiş ve verileri kullanılmıştır. İmalat sisteminin modellenmesinde simülasyon yaklaşımından faydalanılmıştır. Deney tasarımı için Taguchi metodu kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda simülasyon sonuçları varyans analizi kullanılarak değerlendirilmiştir ve önleyici bakım ve fırsatçı bakım politikaları bu sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde toplam çıktı miktarının maksimum olabilmesi için bakım politikası olarak %25 kontrol oranlı fırsatçı bakım politikası, arıza dağılımı için Weibull dağılımı parametrelerinden β 'nin 4 olması, sistem uzunluğunun az olması, ara stok kapasitesinin yüksek olması ve arıza bakımı maliyetinin önleyici bakım maliyetine oranının küçük olması gerekmektedir. Bu sonuçlar, %25 kontrol oranına sahip fırsatçı bakım politikasının sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde önleyici bakıma göre toplam çıktı miktarı açısından daha iyi bir performans verdiğini göstermektedir.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A METHOD FOR DETERMINING THE OPTIMUM MAINTENANCE POLICY IN MANUFACTURING SECTOR

SUMMARY

Keywords: Opportunistic maintenance, continuous-process type manufacturing system, fuzzy logic, expert system

Maintenance planning is of crucial importance with regard to productivity of manufacturing systems. Effective maintenance planning ensures high productivity of manufacturing system. Increasing the efficiency of the manufacturing system will bring with it a high manufacturing amount. However, failure of a machine, especially in continuous-process type manufacturing systems, can adversely affect the operation of the entire system. The application of optimal maintenance policy is of crucial importance in these types of manufacturing systems. In this study, fuzzy expert system based opportunistic maintenance policy has been developed. Performance of this novel maintenance policy has been investigated for continuous-process type manufacturing system in terms of output amount. In the scope of the study, the manufacturing process of a cement plant was examined and data were used. Simulation approach was used for modeling the manufacturing system. Taguchi method was used for design of experiment. At the end of the study, simulation results were evaluated by using variance of analysis and preventive maintenance and opportunistic maintenance policy were compared according to results. When the results are examined, it is seen that 25% control ratio opportunistic maintenance policy, $\beta=4$ for weibull distribution parameter, low system length, high buffer capacity, the small proportion of maintenance costs to preventive maintenance costs enable high output amount in continuous-process type manufacturing systems. These results show that the 25% control ratio opportunistic maintenance policy provides better performance in terms of total output compared to preventive maintenance in continuous-process type manufacturing systems.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Endüstriyel devrimden bu yana mühendislik sistemlerinin bakımı çok önemli bir görev olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekipmanların bakımıyla ilgili önemli ilerlemeler sağlanmasına rağmen karmaşıklık, belirsizlik, maliyet ve rekabet gibi unsurlar bakımın hala zor bir süreç olmasına sebebiyet vermektedir. Dünyada bakım faaliyetleri için her yıl milyarlarca dolar harcanmaktadır. Bu durum, etkin bir varlık yönetimi ve bakım uygulamalarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir [1].

Bakım planlaması yaparken dikkate alınacak başarı faktörleri kalite, güvenlik, fiyat, karlılık, maliyet olarak adlandırılabilir [1]. Dolayısıyla tüm bu başarı faktörlerinde arzu edilen performansın yakalanmasını sağlayacak bir bakım politikası belirlenmesi gerekir. Örneğin, bir imalat fabrikasında arıza bakımı ve önleyici bakım yapıldığı varsayalım. Eğer çok sık önleyici bakım yapılırsa arıza olma olasılığı çok düşecektir, yani arıza bakımına hemen hemen gerek kalmayacaktır. Bu durumda arıza bakımının getireceği maliyetten kurtulmuş olunur fakat çok sık yapılan önleyici bakım sebebiyle önleyici bakım maliyetleri ve duruşlar sebebiyle meydana gelen imalat kayıpları artış gösterecektir. Çok az önleyici bakım yapılması durumunda ise arıza meydana gelme olasılığı çok artacak ve oluşacak arızalardan dolayı arıza bakımı maliyetlerine katlanılacaktır. Böyle bir durum için önleyici bakım maliyetlerinin azalması avantaj olacaktır. Buradaki iki örnek için de dikkate alınması gereken bazı faktörler yer almaktadır. Bunlar bakım için gerekli olan yedek parça, ekipman, bakım ekibi büyüklüğü, üretim planı, iş sırası olarak adlandırılabilir. Dolayısıyla, tüm bu faktörleri göz önünde bulunduracak bir yöntem tasarlanması ve buna göre uygun bakım politikasının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bakım alanında literatürde çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte burada bulanık mantık, uzman sistem ve bulanık uzman sistem kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.

Kumanan ve Ilankumaran [2] tekstil endüstrisinde yaptıkları çalışmada, belirsizlik ortamında AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak en uygun bakım stratejisinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışmada ilk olarak her kritere ait ağırlık değerleri bulanık mantık yaklaşımıyla belirlenmiştir. Ardından, en uygun bakım stratejisinin seçiminde kullanmak için AHP ve TOPSIS yöntemleri entegre edilerek çok kriterli karar verme yöntemi oluşturulmuştur.

Zhu ve ark. [3] yaptıkları çalışma ile bakım planının bulanık küme tabanlı Failure Mode Effect Analysis (FMEA) ile belirlendiği bir yaklaşım sunmuşlardır. Bulanık küme teorisinden faydalanan FMEA'daki dilsel ifadelerle, tablo ya da ağ yapısı ile ifade edilen ilişkiler sayısal olarak ifade edilmiştir. Böylece bir ekipman ya da alt sistemin toplam yıpranma durumu göz önüne alınarak bakım yapılıp yapılmayacağına karar verilmiştir. Önerilen yaklaşım, uygulanabilirliğini görmek amacıyla, Şangay Metro sisteminin bakım yönetiminde kullanılmıştır.

Shiraz ve ark. [4] bulanık kural tabanlı bir bakım sistemi üzerine çalışma yapmışlardır. Kural tabanındaki kurallar 'Ripple Down Rules' adı verilen bir kural yaklaşımına göre oluşturulmuştur. Böylece bakım problemlerine daha iyi bir çözüm getirmeyi amaçlamışlardır.

Bashiri ve ark. [5] optimum bakım stratejisinin belirlenmesi için bulanık etkileşimli doğrusal atama metodu geliştirmişlerdir. Geliştirilen metot hem niteliksel hem de niceliksel verileri kullanabilmektedir. Metot, ilk olarak bulanık doğrusal atama ile alternatif bakım stratejilerini ön sıralamaya sokmaktadır. Ardından, bakım uzmanlarının görüşü alınarak optimum bakım stratejisi belirlenmiştir.

Baban ve ark. [6] tekstil makinesinin kestirimci bakım faaliyetlerinin planlanması için bulanık karar verme sistemi geliştirmişlerdir. Kestirimci bakım, makinelerin titreşim,

sıcaklık vb. parametrelerinin gözlemlenmesine dayanmaktadır. Bulanık karar verme sistemi ise bu parametrelerin aldığı değerlere göre makinenin arıza zamanını tahmin etmektedir. Yapılan bu tahmine göre de kestirimci bakım faaliyeti yürütülür. Geliştirilen sistem, dikiş makinesi iğnesinin kestirimci bakım faaliyetlerinin planlanmasında kullanılmıştır.

Firouz ve Ghadimi [7] elektrik dağıtım sistemlerinde en uygun önleyici bakım stratejisinin belirlenebilmesi için bulanık AHP metodu ile bir uygulama yapmışlardır. Bulanık AHP metodu, uygun bakım stratejisini seçerken sistem güvenilirliğini göz önünde bulundurmaktadır. Uygun bakım stratejisinin seçimi için bulanık AHP metodu ile maliyet optimizasyonunu temel alan yöntem karşılaştırılmıştır.

Seiti ve ark. [8] riskli durumlarda en uygun bakım politikasının seçimini sağlayacak bir model önermişlerdir. Önerilen modelin temeli bulanık aksiyomatik tasarıma dayanmaktadır. Model, mevcut durum için bir risk puanı belirlemekte ve bu risk puanına göre en uygun bakım politikasına karar vermektedir.

Babashamsi ve ark. [9] üst yapı bakım faaliyetlerinin önceliklendirilmesi için bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve VIKOR metodunu kullanarak bir çalışma yürütmüşlerdir. Kriterlerin ağırlıkları bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile belirlenirken, bakım faaliyetlerinin sıralaması VIKOR modeli ile yapılmıştır.

Evazabadian ve ark. [10] ham petrol dolum tanklarının önleyici bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi için bulanık stokastik bir matematiksel model önermişlerdir. Modelin amaç fonksiyonunu toplam tedarik zinciri maliyetinin minimizasyonu olarak belirlemişlerdir. Modelin, talebin karşılanabildiği ve yeterli ham petrol akış hızının olduğu durumda iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Mazurkiewicz [11] bulanık mantık tabanlı bir uzman sistem kullanarak konveyörlerin bakım faaliyetlerini planlamıştır. Bu sistem bilgisayar destekli izleme sistemine entegre edilerek bakım planlaması gerçekleştirilmiştir.

Ranga ve ark. [12] güç transformatörlerinin toplam sağlık endeksinin, endeksi etkileyen tüm faktörler göz önünde bulundurularak değerlendirilmesini sağlayan bir bulanık uzman sistem önermişlerdir. Toplam sağlık endeksi değerine göre de en uygun bakım politikasına karar verilmiştir.

Zare ve ark. [13] süt ürünleri üreten bir fabrikada, bulanık grup VIKOR ve gri grup TOPSIS metotlarından faydalanarak, fabrika için en uygun olacak bilgisayarlı bakım yönetim sistemini belirlemeyi amaçlamışlardır. Beş ana kriter ve on üç alt kritere göre değerlendirme yapılarak en uygun bakım yönetim sistemine karar verilmiştir.

Mete [14] bakım politikası seçimi için bulanık çok kriterli karar verme modeli oluşturmuştur. Modelin kriterleri olarak maliyet, emniyet, çalışma morali, rekabet avantajı ve uygulanabilirlik belirlenmiştir. Model tasarlanırken AHP, TOPSIS, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinden faydalanılmıştır.

İmalat sistemlerinde, bakım planlama açısından önemli faktörlerdeki bir fırsat durumunun, bakım faaliyetleri açısından avantaja dönüştürülmesi fırsatçı bakım olarak tanımlanabilir. Literatürde fırsatçı bakım politikası ile ilgili çalışmaların arıza bakımı ve önleyici bakım politikaları ile ilgili çalışmalara göre daha az sayıda olduğu görülmektedir. Fırsatçı bakım politikası ile ilgili literatürdeki çalışmaları inceleyecek olursak; Derigent ve ark. [15] bileşen yakınlığının bulanık mantık ile modellendiği bir fırsatçı bakım politikası önermişlerdir. Bu politika üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, bir sistemdeki bileşenler arasındaki yakınlık kavramı modellenmektedir. İkinci aşamada, ekonomik faktörler göz önünde bulundurulmaktadır. Son aşamada ise proaktif bakım karar destek mekanizması yer almaktadır. Önerilen politikanın çalışması endüstriyel bir uygulama ile gösterilmiştir.

Zhang ve ark. [16] güvenilirlik temelli bir fırsatçı bakım politikası önermişlerdir. Önerilen politika iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada önleyici bakım uygulanırken, ikinci aşamada güvenilirlik temelli fırsatçı bakım uygulanmaktadır. Yöntemin performansını görebilmek için simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyon, sabit duruş maliyetleri açısından önemli bir fayda sağlandığını göstermiştir.

Abdollahzadeh ve ark. [17] bir rüzgâr çiftliğinde çok amaçlı fırsatçı bakım yöntemini kullanarak bir bakım optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Amaç fonksiyonu için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Uygulama gerçekleştirilirken bakım ekibi kısıtı dikkate alınmıştır. Performans değerlendirmesi için bir simülasyon yapılmıştır. Sonuçlar, kullanılan bakım politikasının üretilen enerji miktarı açısından değerlendirildiğinde başarılı sonuç verdiğini göstermiştir.

Iung ve ark. [18] çoklu bağımlı bileşen içeren imalat sistemleri için bir fırsatçı bakım politikası geliştirmişlerdir. ‘Rolling horizon’ adı verilen bir yaklaşım geliştirilmiş ve bu yaklaşım bakım stratejisinin temelini oluşturmuştur. Bu bakım politikasının uygulanmasıyla bakım faaliyetleri üretim ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilmiştir.

Hu ve Zhang [19] karmaşık mekanik sistemler için arıza riski tabanlı bir fırsatçı bakım politikası önermişlerdir. Bu politika ile farklı parametrelerin etkileri detaylı bir şekilde analiz edilebilmiştir. Bakım politikasının özellikle enerji endüstrisinde bakım maliyetlerinin düşürülmesi açısından etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Azadeh ve Zadeh [20] uygun bakım politikasının seçimi için entegre edilmiş bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve uzaklık tabanlı bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımını kullanmışlardır. Bakım politikası seçiminde, kriterlerin önem derecesini belirlerken AHP yönteminden faydalanılmıştır. Uzaklık tabanlı bulanık çok kriterli karar verme metodu ise en uygun bakım politikasının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bahsedilen yöntem, gerçek bir probleme uygulanmıştır. Uygulamada koşul tabanlı bakım, zaman tabanlı bakım, arıza tabanlı bakım ve fırsatçı bakım karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, problem için en uygun bakım stratejisinin koşul tabanlı bakım olduğunu göstermiştir.

Zhang ve Zeng [21] koşul tabanlı bir fırsatçı bakım politikası önermişlerdir. Bu bakım politikasında çok makineden oluşan bir sistemin makinelerinin yedek parça sayıları göz önünde bulundurularak bakım faaliyetlerinin nasıl yürütüleceğine karar verilmiştir. Önerilen bakım politikasını test etmek için çok sayıda rüzgâr türbininden oluşan bir rüzgâr tarlasında uygulama gerçekleştirilmiştir.

Xia ve ark. [22] farklı şekilde dizayn edilebilir imalat sistemleri için tüm sistemin durumunu baz alan bir fırsatçı bakım politikası geliştirmişlerdir. Bakım politikasının nasıl çalıştığı bir hidrolik direksiyon fabrikasında yapılan uygulama ile gösterilmiştir. Uygulama sonuçları, geliştirilen bakım politikasının maliyet açısından bir avantaj sağladığını ortaya koymuştur.

Salari ve Makis [23] yaptıkları çalışmada iki birimden oluşan bir modelde en uygun bakım politikasının belirlenmesi problemini ele almışlardır. Problemi modellerken, bir birimin önleyici bakımı yapılırken diğer birime bakım yapabilme durumu fırsatçı bakım olarak tanımlanmıştır. Problem yarı markov karar prosesi yapısına göre formüle edilip çözülmüştür.

Erguido ve ark. [24] rüzgâr enerjisi üretim sistemleri için dinamik fırsatçı bakım politikası geliştirmişlerdir. Hava koşullarının sistem güvenilirliğine olan etkisinin göz önünde bulundurulması, bakım politikasının dinamik yapısını temsil etmektedir. Geliştirilen bakım politikası bir rüzgâr tarlasında uygulanarak ürün ömür döngüsü maliyetlerinde azalış sağlanmıştır.

Shi ve Zeng [25] yaptıkları çalışma ile geliştirdikleri fırsatçı bakım politikasını tanıtmışlardır. Bu politika komponentlerin kalan ömürlerinin tahmin edilmesine dayanmaktadır. Komponentlerin kalan ömürleri belirlenirken, zamanla oluşan eskimeye bağlı olarak birbirleriyle stokastik bir etkileşime sahip oldukları kabul edilmektedir. Bu sebeple, komponentlerin kalan ömürleri belirlenirken stokastik filtreleme teorisi kullanılmıştır.

Cavalcante ve Lopez [26] şeker kamışı küspesinden ısı ve elektrik enerjisi üretilen tesiste bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada çok kriterli fırsatçı bakım politikasını incelemişlerdir. İncelenen bakım politikası kullanılabilirlik, maliyet gibi kriterlerden oluşmaktadır.

İncelenen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, fırsatçı bakım politikasının net bir tanımı yoktur. Bakım ekibi, yedek parça, ara stok gibi bakım planlamasında önemli

olan faktörlerdeki bir ‘fırsat’ durumu bakım faaliyetleri yürütülürken göz önünde bulundurulmaktadır. Bundan dolayı, geliştirilen her bir fırsatçı bakım politikası aynı isimle kullanılmış olmasına rağmen yapı olarak birbirinden farklıdır. Ayrıca, imalat sistemlerindeki farklılıklar da farklı fırsatçı bakım politikalarının geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde fırsatçı bakım politikasının performansı incelenmiştir. Bu amaçla, bir bulanık uzman sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık uzman sistem fırsatçı bakım politikasının çalışmasını sağlamaktadır. Fırsatçı bakım politikasının amacı, sistemin toplam duruş süresini minimize ederek toplam imalat miktarını yani toplam çıktı miktarını maksimize etmektir. Çalışma kapsamında, çimento endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmanın imalat süreci incelenmiş ve verileri kullanılmıştır. Ardından, fırsatçı bakım politikasının performansını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu faktörlerin değerleri değiştirildiğinde sistemde ne tür değişikliklerin olduğunu görebilmek için simülasyon yaklaşımından faydalanılmıştır. Ayrıca varyans analizi ile bu faktörlerin ve seviyelerinin toplam çıktı miktarı üzerine etkileri belirlenmiştir.

Tez çalışması altı ana başlıktan meydana gelmektedir. Birinci bölümde bu doktora çalışmasına genel bir giriş yapılmış, tezin konusuna ve amacına değinilmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması da bu bölümde yer almaktadır. İkinci bölümde imalat ve üretim kavramları açıklanarak imalatın gelişim sürecinden bahsedilmiştir. Ayrıca, imalat türlerinden sürekli imalat, kesikli imalat ve proje tipi imalat hakkında bilgi aktarılmıştır. Bakım ve bakım planlama kavramları üçüncü bölümün temelini oluşturmaktadır. Bu kapsamda bakım ve bakım planlama tanımlanmış ve bakım planlama ile güvenilirliğin ilişkisinden bahsedilmiştir. Ardından temel bakım faaliyetleri olan önleyici bakım ve arıza bakımı faaliyetleri açıklanmış, diğer bakım faaliyetleri hakkında da bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde bakım planlamada sıklıkla kullanılan teknikler alt başlıklar halinde açıklanmıştır. İlk olarak yapay zekâ kavramı tanıtılmış ve ardından yapay zeka teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Ardından simülasyon tekniği açıklanmıştır. Bu bölümde son olarak deney tasarımı ve deney tasarımı tekniklerinden Taguchi tekniği hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde tez çalışması kapsamında incelenen problem detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Daha sonra, bu problemin çözümü için geliştirilen bulanık uzman sistem tabanlı fırsatçı bakım politikası hakkında bilgi verilmiş ve bu bakım politikası için yazılımı gerçekleştirilen simülasyon programı hakkında detaylı açıklamalarda bulunulmuştur. Bu bölümde son olarak geliştirilen fırsatçı bakım politikasını analiz edebilmek için yürütülen uygulama adım adım açıklanmıştır. Altıncı ve son bölümde ise uygulamanın yürütülmesi ile elde edilen sonuçlar açıklanmış ve değerlendirilmiştir.



BÖLÜM 2. İMALAT KAVRAMI VE İMALAT TÜRLERİ

Bu bölümde tez çalışmasına temel olması açısından imalat kavramının tanımı yapılmaktadır ve imalat türleri hakkında bilgi verilmektedir.

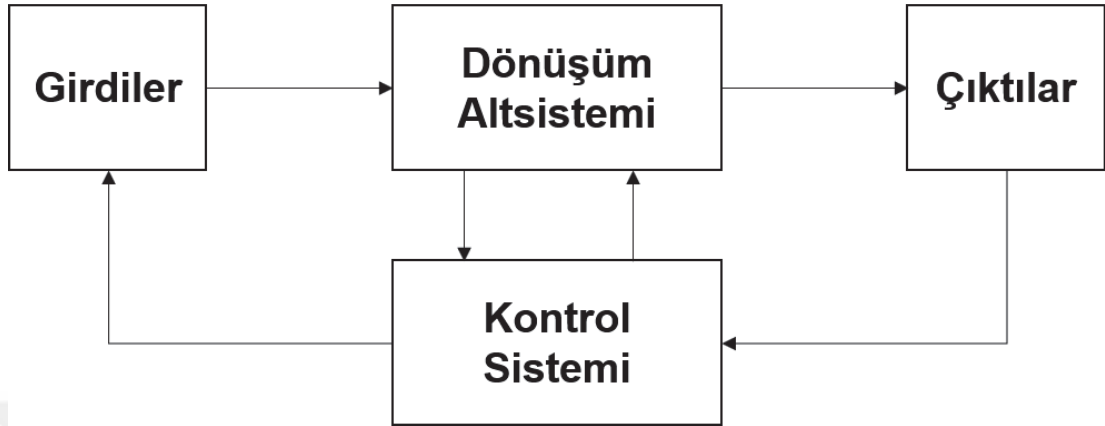
2.1. İmalatın ve Üretimin Tanımı

Tarihsel olarak medeniyetin başlangıcıyla imalat da başlamıştır. Tarih boyunca insan toplulukları daha iyi şeyler üretme çabasında olmuşlardır. İmalat, Latince ‘manus’ el ve ‘factus’ yapmak kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur [27]. İmalatın en temel tanımlarından bazıları aşağıda yer almaktadır:

- İmalat, başlangıç malzemesinin fiziksel ve kimyasal uygulamalarla geometrisinin ve özelliklerinin değiştirilmesi sürecidir. Bu süreç, birden fazla parçadan oluşan ürünlerin montaj işlemlerini de içerir [27].
- İmalat, hammaddelerin pazarlanabilir mallara dönüşümüne odaklanan organize edilmiş bir faaliyettir [28].
- İmalat süreçleri, hammaddenin bitmiş ürün olarak değişmesini sağlayan teknolojik metotlardır [29].

Bir sistem olarak imalat, girdi, dönüşüm, çıktı ve kontrol alt sistemlerinden oluşur. İmalat sisteminin girdileri, dışsal girdiler (yasal, ekonomik, sosyal, teknolojik), pazar girdileri (rekabet, müşteri istekleri, ürün bilgisi) ve birincil kaynaklar (malzeme, personel, sermaye, kapasite) olarak ifade edilebilir. Dönüşüm alt sistemi başlangıç malzemesinin işlenmesini ifade eder. Çıktılar, direkt (ürün) ve indirekt (atık, kirlilik, teknolojik gelişim) olarak ikiye ayrılır [30]. Bir sistem olarak imalat Şekil 2.1.’de gösterilmiştir.

İmalat Sistemi



Şekil 2.1. Bir sistem olarak imalat [30]

İmalat ve üretim kavramları birbirine yakın anlamlarda olup sıklıkla birbirinin yerine kullanılmaktadır. Fakat bu kavramlar arasında bir anlam farklılığı bulunmaktadır. Bu farklılık, üretim kavramının hizmet üretimini de kapsamasıdır. Diğer bir deyişle, hizmet imal edilemez fakat üretilebilir.

İmalat sektörünün önemli alt sektörleri aşağıdaki gibi listelenebilir [31]:

- Kömür, rafine edilmiş petrol ürünleri ve nükleer yakıtlar sektörü.
- Tekstil sektörü.
- Gıda sektörü.
- Kimyasal madde ve ürünler sektörü.
- Ana metal sanayi sektörü.
- Metalik olmayan mineraller sektörü.
- Motorlu kara taşıtları sektörü.
- Yüksek teknoloji grubu sektörler.

Üretimin varlığı insanlığın başlangıcıyla belirmiştir. İnsanoğlu varlığından beri süregelen bir yaşam mücadelesi içinde olmuş, bu mücadeleyi kaybetmemek için de şartlar elverdiğince ve tüm gücüyle bir şeyler üretmek istemiştir. Ancak aradan geçen

zaman göz önüne alındığında yüzyıllar boyu süren teknolojik gelişmelerin son derece yavaş olduğunu söylenebilir. Milat'tan önceki yıllara baktığımızda, Mısır piramitleri ve Çin seddinin inşası, Stonehenge taş kütleleri bugün hala insanlığın dikkatini çekmektedir. Bugünkü teknolojik gelişmelerin birçoğunun temeli de yıllar öncesinin buluşlarına dayanmaktadır. İlk çağlarda tekerleğin bulunması, yüzyıllar sonrasında lokomotif, otomobil ve benzeri araçların yapılmasına zemin hazırlamıştır.

18. yüzyıl sonrasında gerçekleştirilen sanayi devrimi bugünkü anlamda üretim faaliyetlerinin de başlangıcı olmuştur. Dönemin en önemli özelliği, üretkenliğin büyük oranda artmasına öncülük etmesidir. James Watt buharlı makineyi bulmuş ve akabinde önemli buluşlar gerçekleştirilmiştir.

Son iki yüzyılda birçok değerli bilim adamlarının üretim yönetiminin bir bilim dalı olarak ortaya çıkması ve gelişmesinde çok ciddi katkıları olduğu görülmektedir. Ekonomist Adam Smith, matematikçi Charles Babbage ve bilimsel yönetimin mucidi Frederick Taylor bu bilim dalının gelişmesine ön ayak olmuş ve çok ciddi çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Adam Smith uzmanlaşma ve işbölümü konusunu ilk kez ortaya atmış ve üretim yönetimi alanının bir parçası olmasını sağlamıştır. Daha sonra 20. yüzyılın başlarında Henry Ford kurduğu otomobil fabrikasında ilk montaj hattını kurarak bu düşünceleri uygulamıştır. Frederick Taylor zaman etüdü konusunda çok ciddi çalışmalar yapmış, kendi geliştirdiği teşvikli ücret sistemi ile sanayi mühendisliğinde çığır açmıştır. 1911 yılında yayınlanmış olan 'Bilimsel Yönetimin İlkeleri' kitabı bu alanda geçerliliğini halen koruyan birkaç yapıttan biridir. Henry Gannt ve Frank ve Lillian Gilbreth ise Taylor'u izleyerek onun bu disiplinine ve bazı yönlerine katkı yapmışlardır. Özellikle Frank Gilbreth hareket etütleri, Lillian Gilbreth ise iş akış konusu ve hareket ekonomisi ilkeleri konularında yaptığı çalışmalarla tanınmaktadır. Henry Gannt kendi adıyla bilinen şemalar yardımıyla sanayi mühendisliğine çok ciddi katkılarda bulunmuştur. Ayrıca ekonomik sipariş miktarı modelini geliştirerek stok teorisine katkılarıyla W. Harris, bekleme hattı teorisine yaptığı katkılarla Erlang ve de doğrusal programlama modeli üzerindeki çalışmalarıyla Dantzig gibi bilim adamları da matematiksel modeller yardımıyla bu disiplinin nicel temellerini atmışlardır.

20. yüzyılın ilk yarısı içerisindeki önemli gelişmelerden birisi de ‘Yöneylem Araştırması’ adıyla bilinen bilim dalıdır. İkinci Dünya Savaşı sırasında tohumları atılmış ve savaş sonrasında ortaya çıkmıştır. Yöneylem Araştırması için üretim yönetimine nicel modeller sunan kardeş disiplin de diyebiliriz. Daha sonraki yıllar yönetim sorunlarına bütüncül bakış açısını beraberinde getirmiştir. Yaygın adı 'Sistem yaklaşımı' olarak tanımlanan bu anlayış, disiplinler arası özelliği ile günümüzde de etkisini büyük ölçüde sürdürmektedir. Modern yönetim teorisinin temel ilke özelliğini kazanmış olan sistem yaklaşımı, üretim sistemlerinde başarıyla uygulanmıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısında ise bilişim teknolojisi, esnek üretim, tam zamanında üretim, verimlilik ve kalite gibi kavramlar ön plana çıkmıştır. Taiichi Ohno ve Shigeo Shingo Japon yönetim sistemleri ile özdeşleşen düşünce ve fikirleri ile tam zamanında üretim anlayışının öncüsüdürler. Ohno aynı zamanda kanban sisteminin yaratıcısı olarak bilinir. Tam zamanında üretim sistemlerinin temel ilkelerini yalın üretim, yalın düşünce kavramları altında sunan James Womack ve Daniel Jones diğer önde gelen teorisyenler arasındadırlar. Joe Orlicky, Oliver Wight ile Walter Goddard MRP-I ve MRP-II sisteminin yaratıcılarından olup bu üretim anlayışının öncüleri olmuşlardır. Optimize üretim teknolojisi adıyla bilinen ancak fazla tanınmayan bir diğer özgün üretim sisteminin yaratıcısı Eli Goldratt'tır. Verimlilik ve kalite konusunda Juran, Feigenbaum, Crosby, Shewhart, Deming çok ciddi çalışma ve katkı yapmışlardır. Özellikle Deming kendine has ve denenmiş düşünce ve fikirleri ile bu alanda bir düşünce devrimine yol açmıştır. Masaaki Imai, Karou Ishikawa ve Yoji Akao ise Japon kalite anlayışının önde gelen uygulamacıları olarak bilinirler.

1990'lı yıllardan sonra üretim kavramının içeriği genişlemiştir. Bu duruma sebep olan etmenler şunlardır:

- Yüksek Teknoloji: Teknoloji sürekli ve hızlı bir gelişim göstermektedir. Bu gelişimin etkileri üretimde de görülmektedir. Nitekim üretim sistemlerinde artık robotlar ve bilgisayarlar sıklıkla kullanılmaktadır. İşletmeler de teknolojideki gelişmeleri takip etmeli ve bu gelişmelerden faydalanmalıdırlar. Aksi takdirde, işletmenin rekabet gücü azalır ve piyasadaki rakiplerinin gerisinde kalır.

- Kalite: Kısa sürede çok fazla üretim yapmak yerine mümkün olduğunca kısa sürede kaliteli üretim yapmak anlayışı geçerlilik kazanmıştır. Sadece üretim sürecinde değil işletmenin tamamında kalite anlayışı göz önünde bulundurulmalıdır.
- Küreselleşme: Günümüzde, dünyanın herhangi bir yerindeki bir olay ya da bir gelişmeden tüm dünyanın haberi olmaktadır. Bu da, dünya üzerindeki herhangi bir gelişmenin tüm dünyadaki kişileri ve işletmeleri etkilediği anlamına gelmektedir. Artık bir işletmenin pazarı sadece kendi bölgesi ya da kendi ülkesi değil tüm dünyadır.
- Bilgi Toplumu: Bilgi, en çok aranan ve önem verilen değerlerin başında gelmektedir. Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin sıklıkla kullanılması, bilginin toplanması, analiz edilmesi ve yorumlanması sürecini kolaylaştırmıştır. Bir işletmenin üretim süreciyle ilgili bilgilerin analizi ve elde edilen sonuçlar, o işletmenin üretim sürecini doğrudan etkilemektedir.
- Çevre Bilinci: İşletmelerin üretim yaparken çevreyi kirletmemeleri, doğaya zarar vermemeleri çok önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeşil yönetim ve yeşil üretim kavramlarında hayat bulan, çevreye duyarlı bu yeni yönetim anlayışı alışılmış yöntemlerin terki anlamına gelir [32].

Günümüzde ise yeni bir dijital endüstriyel teknoloji olarak ifade edilen Endüstri 4.0 kavramı önem kazanmıştır. Endüstri 4.0'ın bileşenleri Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde de görüleceği üzere, Endüstri 4.0 kavramı bulut teknolojisi, sistem entegrasyonu, büyük veri, simülasyon, arttırılmış gerçeklik, katmanlı imalat, siber güvenlik ve nesnelerin interneti ile doğrudan ilişkilidir. Sensörler, makineler, iş parçaları ve bilişim teknolojileri birbirine bağlanarak bir değer zinciri oluşturulur. Bu zincir, diğer internet tabanlı protokollerle etkileşim sağlayarak kurumun değişikliklere adapte olabilmesini sağlar. Endüstri 4.0, işletmedeki makinelere ait verilere hızlı bir şekilde ulaşmayı ve bu verileri analiz etmeyi sağlar. Ayrıca hızlı, esnek ve etkin bir şekilde daha kaliteli ürünlerin imal edilmesini sağlar. Böylece işletmenin verimliliği artar, endüstriyel büyüme desteklenir ve işletmenin diğer işletmelerle olan rekabet gücü artar [33].



Şekil 2.2. Endüstri 4.0'ın bileşenleri

2.2. İmalat Türleri

Bu bölümde imalat türlerinden sürekli imalat, kesikli imalat ve proje tipi imalat hakkında bilgi aktarılmaktadır.

2.2.1. Sürekli imalat

Sürekli imalat sisteminde makine ve ekipmanlar yalnızca bir ürünün kullanımına ayrılır. Ürünün standardize olması sebebiyle aynı işlemler aynı sırayla gerçekleştirilir. Sürekli imalat sistemlerinde ürün talebi ve imalat miktarı çok yüksektir.

Sürekli imalat sisteminin dezavantajları şunlardır:

- Tesis yerleşimi açısından esnek değildir.
- Yüksek teknolojiye sahiptir ve maliyetlidir.
- İmalat hattındaki bir sorun tüm hattı doğrudan etkiler.

Sürekli imalat sisteminin belirleyici unsurları aşağıda belirtilmiştir:

- İmalat miktarı yüksek ve ürün çeşitliliği azdır.
- Düzenli bir talep durumu söz konusudur.
- Sermayesi yüksek yatırım gerektirir.
- Hammadde ve ürün stokları büyük, ara stoklar ise küçüktür.
- Kapsamı özel makineler kullanılmasını gerektirir.
- Fabrika içi prosesler arası ulaşımında özel tip araçlar kullanılır.
- Yüksek nitelikte olmayan işgücü kullanımına imkân verir.

Sürekli imalat sistemi kütle imalat sistemi ve akış tipi imalat sistemi olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kütle imalat sisteminde, tek ya da çok az sayıda üründen büyük miktarlarda imalat gerçekleştirilir. Talep geldiğinde imalat hattında bazı düzenlemeler yapmak sureti ile benzer ürün imalatına da geçilebilir. Örneğin otomobil, televizyon, beyaz eşya gibi ürünler kütle imalatına iyi bir örnek teşkil etmektedir. Akış tipi imalat ise tesisler, makine ve ekipmanlar tek bir ürün için tasarlanıp kurulmuştur. Tamamen otomasyona dayalı bir sistem olup büyük sermaye gerektirmektedir. Bu tip imalata çimento, şeker, kâğıt imalatı ve petrol rafinerileri iyi birer örnek olarak verilebilir [34].

2.2.2. Kesikli imalat

Farklı ürünlerin az miktarda üretildiği bir imalat tipidir. Farklı ürünlerin imalatı için genel amaçlı makineler kullanılır. Bu makineler üzerinde bazı ayarlamalar yapılarak farklı ürünlerin imalatı gerçekleştirilir. Aynı makinelerin bir arada bulunduğu bir yerleşim düzeni mevcuttur. Torna, freze, giyotin, matkap vb. makinelerin bulunduğu çalışma alanı oluşturulur.

Kesikli imalat sisteminin belirgin özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Değişken ve düzensiz bir talep mevcuttur.
- Çeşit ve miktar yönünden değişkenlik gösteren talepleri karşılayacak esnekliğe sahiptir.
- Az miktarda ancak çok çeşitli imalat yapılır.
- Genel amaçlı makinelerin kullanımına imkân sağlar.
- Aynı fonksiyonel özelliklere sahip imalat araçları aynı bölümlerde yer alır.
- Ürün ve hammadde stoku düşük ara stoklar ise yüksektir.
- Kalifiye işgücü kullanımı gerektirir.
- Fabrika içi taşımalar sabit veya hareketli vinçlerle gerçekleştirilir.

Kesikli imalat kendi arasında iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar siparişe göre imalat ve parti imalatıdır.

- Siparişe Göre İmalat: Müşteri firmanın veya tüketicinin siparişte belirttiği kalite, tasarım, imalat zamanı ve miktarı gibi kriterlere uygun olarak imalat yapılmasıdır. Makine takım atölyeleri, siparişe göre imalata örnek olarak verilebilir.
- Parti İmalat: Sürekli bir talep veya özel bir siparişi karşılamak amacıyla belirlenmiş bir ürün grubunun belirlenen miktarda oluşan partiler halinde üretilmesidir. Parti imalat tekrarlanarak, belirlenen miktardaki talep karşılanır. Parti imalat sisteminin küçük hacimde ancak farklı çeşitte imalata imkân sağlayan bir yapısı vardır. Siparişe göre imalat ile parti imalat arasındaki en önemli fark, parti imalatta ürün standardizasyonunun daha fazla olmasıdır. Belli büyüklükteki çeşitli parçaların partiler halinde üretildiği metal işleme atölyeleri iyi bir örnek teşkil edebilir [34].

2.2.3. Proje tipi imalat

Büyük ölçekli tek bir imalatı gerçekleştirmek için tasarlanan ve kurulan imalat sistemine proje tipi imalat denir. Yapılan işin hacmi büyük olup bir imalat sona

erdikten sonra yeni bir imalata geçilebilir. Gemi imalatı, bu imalat sistemine iyi bir örnektir.

Proje tipi imalatın belirgin özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Özel talep üzerine gerçekleştirilen bir imalattır.
- Tek seferlik büyük işlerden oluşur.
- İmalatta kullanılacak makine, ekipman ve işgücünün projenin yapılacağı yere intikal ettirilmesi gerekir.
- Ürünün konumu sabittir fakat makine ve işçiler ürün içinde hareketlidirler [34].



BÖLÜM 3. BAKIM PLANLAMA

İşletmelerde önemli sorun ve konulardan birisi imalatta kullanılan araçların (makine, tezgah, ekipman vb.) arızalanmaları halinde neler yapılacağıdır. İşletmeler genelde biraz fazla makine almak ve bir kısmını yedek bulundurmak yöntemi ile imalatın aksamamasını sağlayarak bu sorunu çözümlerler. Bu, ekonomik açıdan uygun bir çözüm değildir. Bazen de bazı işletmeler arızalanan veya bir süre devre dışı kalacak makinenin yerine bir makine alarak imalata devam ederler. Ancak makine onarıldığı zaman toplam makine sayısının artacağı aşikâr olduğundan, bunun da ekonomik açıdan uygun bir çözüm olmadığı görülmektedir. İşletme yönetiminde esas olan; kıt kaynakların en akılcı, en ekonomik bir biçimde kullanımı olduğuna göre, bu durumda başka çözüm aramak yanlış olmayacaktır. Özellikle, sürekli imalat sistemlerinde bu durum bir hayli önem kazanır. Birçok tezgâhın yer aldığı bir imalat hattında bir ya da bir kaç makinenin arızalanması durumunda, eğer yedekleri yoksa imalat durabilir. Kesikli imalatta ise arıza veya bakım nedeniyle devre dışı kalan bir makine yerine aynı tip başka bir makinenin geçici olarak kaydırılması da sorunu çözebilir. İmalatın durması, işletme için parasal bir kayıptır. Makine parkının arttırılması ise maddi kaynak gerektirir. Öyleyse bu kaybı, üretimi olumsuz etkilemeyecek bir şekilde azaltmak düşünülmelidir. İmalatın durması ekonomik açıdan bir kayıp olduğuna ve makinelerin arızalanmaları da bir noktadan sonra kaçınılmaz olduğuna göre; ya arızaları en kısa zamanda onarmak, ya da arızalanmaları mümkün olan en düşük seviyeye indirmek hedeflenmelidir. Bunun için de, belirli dönemlerde imalatı durdurup makineleri bakıma almak en akılcı yoldur. Buna rağmen, belli bir yaştan sonra makinelerin bakım masrafları işletmeye büyük bir yük olur. Bu nedenle, makineleri ekonomik oldukları sürece elde tutmak gerekir. Bu süre geçildikten sonra makineleri yenilemek, elde tutmaktan daha akılcı bir tutumdur [32].

3.1. Bakım ve Bakım Planlamanın Tanımı

Bakım ve bakım planlama kavramları imalat sistemleri açısından ele alındığında, en temel tanımları şu şekilde sıralanabilir:

- Sistemlerin, tesislerin ve ekipmanların tasarlanan fonksiyonlarını sürekli bir şekilde yürütebilmeleri için tekrarlı, periyodik ya da çizelgelenmiş olarak yapılması gereken işlemlere bakım denir [35].
- Bakım, onarım ya da yenileme ile fiziksel varlıkların entegrasyonunda devamlılığın sağlanmasıdır [36].
- Bakım, bir makine ya da sistemi çalışabilir koşullarda tutmak için kullanıcıları tarafından alınan önlemler olarak ifade edilebilir [37].
- İşletmedeki bakım onarım faaliyetlerinin hangi sıklıkta yapılacağı, hangi işlemleri kapsayacağı, bakım onarım maliyetlerinin hangi durumda minimum olacağına karar verilmesi bakım planlama olarak tanımlanabilir [32].
- Bakım planlama, işletmelerdeki donanımların yüksek bir verimlilikle çalışmasını sağlayabilmek için yapılan faaliyet ve planlamaların bir bütünü olarak tanımlanabilir [38].

Bakım faaliyetlerindeki aksaklıkların etkileri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- Satışlardaki düşmeler ve müşteri taleplerinin karşılanamaması.
- Siparişlerin belirlenen sürede teslim edilememesi yüzünden müşteri kaybı veya tazminat ödenmesi.
- Aksaklığın meydana geldiği departmanda ve bu departmanla ilgili diğer departmanlardaki gecikmeler ve boş beklemler.

Bir üretim tesisi veya işletmede bakım politikaları, bakım sistemlerinin en etkin, verimli ve minimum maliyetle kullanılmasına yönelik olmalıdır. Bu ana hedef doğrultusunda aşağıdaki alt hedefler belirlenmiştir:

- Makine ve ekipmanların kalite ve çalışma performansını yüksek tutmak.

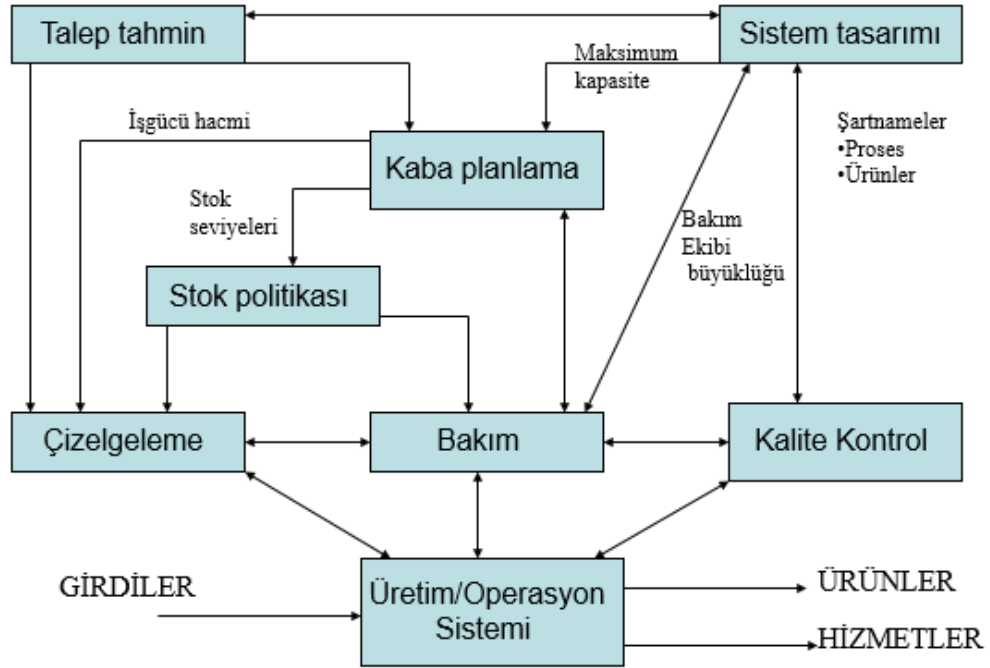
- Beklemeleri minimuma indirerek üretkenliği artırmak ve yatırım kârlılığını korumak.
- Uygulanan bakımlarla makine, ekipman ve tesislere yapılan yatırımı korumak.

Üretim tesislerinde, bakım politikalarının yukarıda bahsi geçen hedeflere ne ölçüde eriştiklerinin belirlenmesinde aşağıda belirtilen performans göstergeleri kullanılır:

- Önleyici bakımların yol açtığı toplam beklemeler.
- Toplam makine arızaları.
- Arızaların yol açtığı toplam beklemeler.
- Bir yılda gerçekleştirilen toplam bakım faaliyeti miktarı.
- Bütün ekipmanların üretimde geçirdikleri zamanın toplam ekipman zamanına oranı.
- Toplam yıllık beklemeler (Her bir makine için günlük olarak).
- Arızalanan herhangi bir ekipmana müdahale süresi.
- İki arıza bakımı arasındaki ortalama süre.
- Planlı bakım faaliyetlerinin yıl içinde gerçekleşen toplam süresinin planlanan süreye oranı.
- Planlı bakım faaliyetlerinin gerçekleştirildikleri zaman ile planlanıp çizelgelendikleri zaman arasındaki ortalama gecikme süresi [39].

Bir işletmenin tüm birimleri göz önüne alındığında aslında bunların merkezinde bakım faaliyetleri yer almaktadır. Yani bir işletmenin daha ileri seviyelere taşınmasında en büyük rol bakım birimine aittir. Çünkü her birimin daha etkin çalışması bakımdan geçer.

Bakımın işletmedeki diğer birimlerle olan ilişkileri Şekil 3.1.'de özetlenmiştir. İlgili şekli yorumlayacak olursak; bakım departmanı kullanılan teçhizatın arızalanmasını azaltmak ve ömrünü uzatmak amacıyla fazla önleyici bakım yapmak isteyecektir. Fakat üretim çizelgesini yapanlar da duruşların sıfır olmasını ve tüm zamanlarını üretim için kullanmayı isterler. Bu türden bir çekişme yaşanır.



Şekil 3.1. Bakım fonksiyonlarının diğer karar sistemleriyle etkileşimi

Bakım departmanı, bakım esnasındaki duruşlardan dolayı oluşan üretim kaybını en aza indirmek için üretilen ürünlerin stok miktarının fazla tutulmasını talep eder. Fakat bu durum planlamacıların istemediği durumdur. Zira fazla stok, fazla üretim maliyeti anlamına gelmektedir. Onların politikası da az stok ve az üretim maliyetidir. Bu noktada çatışma yaşanır.

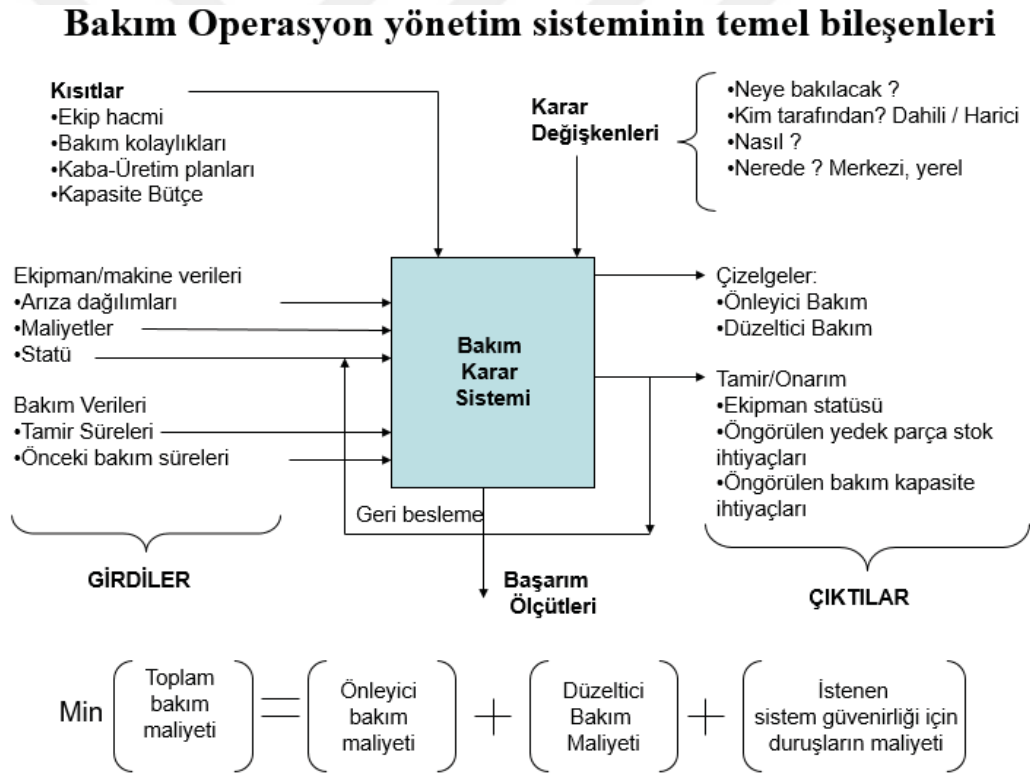
Mekanik sistemler ilk kullanılmaya başlandığı andan itibaren etkinliğini yitirmeye başlar. Bu, onun karakteristik özelliğindendir. Bu sebeple, prosesten çıkan çıktıların kalitesinde bir düşüş yaşanmaktadır. Bundan dolayı, kalite kontrol departmanı çok sık bakım yapılmasını talep etmektedir. Fakat eldeki imkânların (işgücü, makine, teçhizat, vb.) kısıtlı olması sebebiyle bakım departmanı, bu imkânlardan en etkin bir biçimde istifade etmeyi amaçlamaktadır. Bu noktada çatışma yaşanır.

Bakım departmanı, arızaların minimuma indirilmesini sağlamak ve geri dönüş süresini en aza indirmek amacıyla, operasyonun yapılabilmesi için bir kısıt teşkil eden işgücünün zengin olmasını talep eder. Fakat insan kaynakları ise üretimin temel

maliyetlerinden olan işgücünü en aza indirgeyip işletmeyi rekabet piyasasında güçlü hale getirmeyi amaçlar.

Bakım departmanı, işletmede en fazla alanın kendi hakkı olduğunu savunur. Çünkü oluşan arızaların beklemeye maruz kalmaksızın anında giderilmesini ve üretime sunulmasını amaçlar. Sistem tasarımcıları ise eldeki kaynağı en etkin bir biçimde dağıtmayı amaçlar.

Bakım planlamayı bir karar sistemi olarak ele aldığımızda; bu sistemin karar değişkenlerini, girdilerini, kısıtlarını, başarı ölçütlerini ve çıktılarını Şekil 3.2.'deki gibi ifade edebiliriz.



Şekil 3.2. Bakım operasyon yönetim sisteminin temel bileşenleri [40]

İşletmelerde bakım işleri planlanırken cevaplanması gereken temel soruların başında bakımı işletmenin kendisinin mi yapacağı, yoksa dışarıya mı yaptıracağı gelir. Bu soruya cevap verebilmek için, iyi bir ekonomik analiz yapmak zorunluğu vardır. İşletmenin tamir ve bakımı dışarıya mı yaptıracağı, yoksa kendi bünyesi içinde bu işi

yapacak bir ekip mi kuracağı konusunda bir karara varabilmek için yöneticinin göz önüne alması gereken bazı faktörler bulunur. İşletmedeki makine parkının büyüklüğü, üretim sürecinin niteliği, bakım giderleri gibi faktörler bu kararın verilmesinde önemli rol oynar.

Periyodik biçimde düzenli olarak kontrol edilen ve bakım yapılan makinelerin arızalanma olasılığı, bakım yapılmayan makinelere kıyasla çok daha düşüktür. Örneğin, yılda iki kez bakıma alınan bir makinenin arıza gösterme olasılığı yılda bir kez bakım yapılan bir makineye kıyasla daha düşüktür. Kuşkusuz, burada ne kadar sıklıkta bakım yapılacağına karar verilirken bakım maliyetinin göz önüne alınması gerekir [32].

3.2. Güvenilirlik ve Bakım Planlama - Güvenilirlik İlişkisi

Bakım planlama ve güvenilirlik ilişkisine değinmeden önce güvenilirlik kavramını açıklamak yerinde olacaktır. Güvenilirlik 1950'ler sonrası istatistiksel kalite kontrolün bir alanı olarak uzay ve elektronik endüstrilerindeki gelişmeyle ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde ürünün performansı ile ilgilidir.

Güvenilirlik, kalitenin zamana bağlı bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Güvenilirlikle ilgili olarak üretici riskleri aşağıda sıralanmıştır:

- Rekabet: Ürün güvenilirliği tüketici tarafından kalite olarak algılanır. Güvenilirliği az ürün müşteri güvenini yitirir.
- Müşteri Talepleri: Müşterilerin artık tanımlı güvenilirlik seviyeleri mevcuttur. Bakım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayıdır.
- Garanti ve Servis Maliyetleri: Ürün güvenilirliği az olduğu zaman üretici üzerinde büyük bir mali yükü vardır. Ürün garanti süreleri talebi artırmak için artırıldığı zaman güvenilirlik de artırılmalı aksi takdirde ekstra garanti süresi maliyetleri olacaktır.

- Yasal Yükümlülük Maliyetleri: Hatalı tasarım veya üretim neticesi ürün performansındaki eksikliklerin sonucu üreticiye yasal olarak ödettirilir. Az güvenilirliğin maliyetinin tüketiciden üreticiye kaymasıdır.

Tüketici tarafından yüklenilen düşük güvenilirlik riskleri ise şöyledir:

- Emniyet: Ürün arızası ölüme varan sonuçlar verebilir. Emniyet ve güvenilirlik yakın alakalıdır.
- Güvenlik Problemi: Ölümle neticelenmese bile arızalar istenmeyen durumların oluşmasına sebebiyet verir.
- Maliyet: Düşük güvenilirlik sonunda herkese yük getirir. Pazar payını artırmak için rakiplerinden daha güvenilir ürün üretilmelidir [41].

Güvenilirlik, bir makine ya da sistemin belirli bir zaman aralığında arıza yapmadan çalışma olasılığıdır. Bu tanım, bakım ile güvenilirliğin doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Çünkü güvenilirliğin yüksek olabilmesi için bakım yaparak arıza meydana gelme durumu engellenmelidir. Sık bakım yapmak güvenilirliği yükseltecek fakat buna karşın bakım maliyetlerini de artıracaktır. Az sayıda bakım yapılması ise bakım maliyetlerini düşürecek fakat bu durumda güvenilirlik de düşecektir. Bu sebeple, makine ya da sistemin tipine uygun olacak bir güvenilirlik seviyesi belirlenmesi, bakım maliyetlerinin de kabul edilebilir bir seviyede olmasını sağlayacaktır.

Güvenilirlik ile ilgili kavramları aşağıdaki eşitlikleri kullanarak (Denklem 3.1, Denklem 3.2, Denklem 3.3, Denklem 3.4) matematiksel olarak da ifade etmek faydalı olacaktır.

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (3.1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.2)$$

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.3)$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (3.4)$$

Burada t zamanı, $f(t)$ herhangi bir t zamanındaki arıza olasılığını, $F(t)$ t zamanına kadar olan arıza olasılığını, $R(t)$ t zamanına kadar olan güvenilirliği, $r(t)$ arıza hızını ve $MTBF$ ise ortalama ömrü (arızalar arası ortalama süre) ifade eder.

3.3. Önleyici Bakım

Arıza ortaya çıkmadan önce belli periyotlarda işletme, tesis, makine ve ekipmanların muayenesi gerekiyorsa ayarlama, temizleme, revizyon ve diğer ufak tamiratlar gibi sistem arızaya geçmeden önce yapılan uygulamalar önleyici bakımı ifade eder. Önleyici bakım tedbirselsel bir özelliktedir [42].

Önleyici bakım, mekanik cihazların üretim sürecinde yer aldığı tüm sistemlerde yerine getirilmesi gereken bir faaliyettir. Önleyici bakımın amaçları şöyle sıralanabilir:

- İmalat için en uygun makine ve ekipmanı hazır duruma getirmek.
- Makine veya ekipman arızalanmalarını minimum düzeye getirmek.
- İmalat giderlerini azaltmak.
- Makine veya ekipmanın çalışma ömrünü kabul edilebilir düzeye getirmek.

Önleyici bakımın ekonomik açıdan yararlı olabilmesi için, direkt bakım masrafları ile bakıma rağmen ortaya çıkacak arızaların doğurduğu maliyetlerin dengelenmesi gerekir. Bakıma ilişkin maliyetlerin, bakım yapılmadığı taktirde ortaya çıkabilecek zaman (makine atıl zamanı) ve pazar kaybı maliyetlerinin altında tutulması gerekir.

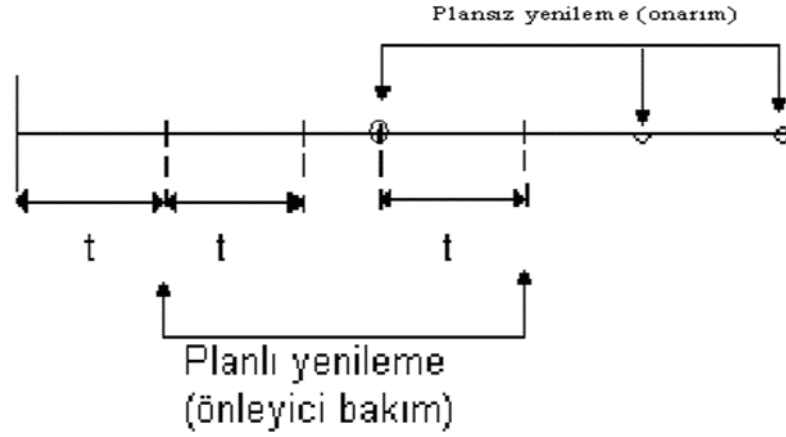
Önleyici bakımın uygulanma amacı, birim üretim başına düşen bakım yükünün en aza indirgenmesidir. Bu amaçtan yola çıkılarak, bakım nedeniyle oluşacak duruşların azaltılmasını ve makinede yer alan parçaların ömürlerinden azami yararlanılmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır.

Önleyici bakım ile ilgili olarak üzerinde en çok durulması gereken konulardan birisi de, makine kontrollerinin hangi sıklıkta, hangi zaman aralığında yapılacağıdır. Kontrol periyodu olarak bilinen bu zaman aralığının saptanmasında ekonomik nedenler belirleyici olur. Gereğinden daha sık yapılacak kontroller, o sırada geçecek zamanların toplamı, belki de arıza kendini gösterdiğinde geçecek boş zamandan fazla olabileceğinden, ekonomik olmayabilir. Kontrolün gerekenden daha seyrek yapılması ise, makine arızalarını oluşma zamanından önce saptamak ve gidermek gibi önemli bir önleyici bakım işlevinden gereği gibi yararlanamamak demektir.

Her makine veya tezgâhın hangi tarihte bakımının yapıldığı, hangi tarihlerde hangi parçaların değiştiği, hangi arızaların giderildiğini gösteren kayıtların tutulması gerekir. Bu kayıtlar ileride oluşabilecek arıza bakımlarının önceden planlanması için gereklidir. Buna göre de oluşabilecek arızalar için istatistiksel dağılım ortaya konabilir [32].

3.3.1. Optimal önleyici bakım zamanının belirlenmesi

Önleyici bakımın amacı, arızalanma ihtimalini azaltmaktır. Bu politikanın temel kabulü, arıza zamanında yapılacak onarım veya yenileme maliyetlerinin, önceden belirlenmiş bir zamanda yapılacak bakım veya yenilemeye nazaran daha maliyetli olduğudur. Seri bir üretim hattında meydana gelebilecek bir arıza, tüm sistemin durmasına sebebiyet verebilecekken, planlı bakım-yenileme uygun zamanlarda (hattın durduğu) yapılabilir. Bu yüzden planlı yenilemeler, plansız yenilemelere göre daha ucuzdur. Üstel dağılımın hafızasızlık özelliğinden dolayı, bir makine veya ekipman arızalanması üstel dağılıma uyuyorsa, arızadan önce yenilemenin hiçbir avantajı yoktur. Çünkü yenilemeden evvelki herhangi bir Δt zamanındaki arızalanma ihtimali ile yenilemeden sonraki arasında hiçbir fark yoktur. Bu yüzden planlı yenileme stratejileri, eğer makine veya ekipman yaşlanma emareleri gösteriyorsa anlam kazanır. Bu da artan arızalanma hızına sahip olması demektir.



Şekil 3.3. Planlı ve plansız yenileme

Planlı ve plansız yenileme ardışık periyotları sürekli çalışan bir makine için, rassal değişken t , makinenin ömrünü gösterebilir. Toplam arızalanma dağılım fonksiyonu $F(t)$ ve t sürekli rassal değişken, c_1 arızalanma durumundaki yenileme maliyetini ve c_2 ise planlı yenileme maliyetini ifade etsin. $c_2 < c_1$ kabulüyle planlı yenilemeler her tür yenileme sonrası (ister arızı ister önleyici olsun) t süre sonra yapılıyor. Birim zamanda beklenen maliyet aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklemler 3.5) ifade edilmiştir.

$$G(t) = \frac{c_1 F(t) + c_2 [1 - F(t)]}{\int_0^t x f(x) dx + t[1 - F(t)]} \quad (3.5)$$

Burada amaç $G(t)$ fonksiyonunun değerini minimum yapan t değerinin bulunmasıdır. Bunun için $G(t)$ fonksiyonunun türevi alınıp sıfıra eşitlenmelidir.

3.4. Arıza Bakımı

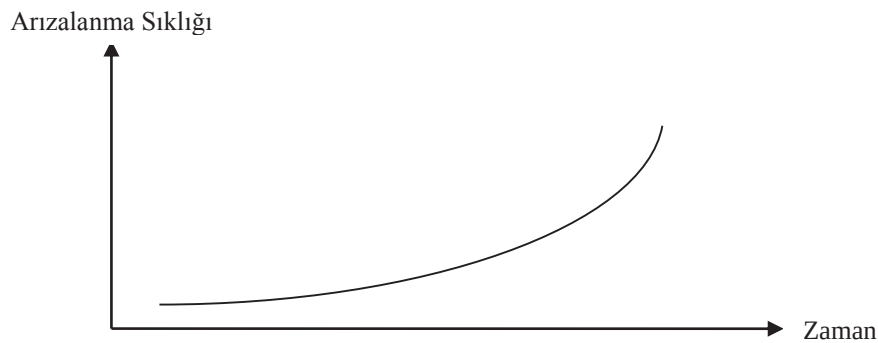
Arızanın basit ifadesi şu şekilde olabilir; engel olunamayan herhangi bir nedenle sistemin veya makinelerin çalışmaz duruma gelmesidir. Bu durum üretim hızının veya kalitesinin düşmesi anlamına gelir. Arıza bakımı ise arıza gerçekleştikten sonra tam donanımlı olarak bakımçıları tarafından arızanın giderilmesine yönelik yapılan uygulamalardır. Bu uygulamada makineler tamir edilene kadar durağan durumda bekler.

Arıza bakımının çok sık uygulandığı bazı durumlar aşağıda ifade edilmiştir:

- Atıl kapasite durumuna düşmüş demode tesisler.
 - Genel amaçlı üniversal tezgahları barındıran atölyeler.
 - Üretime katkı yapan yardımcı faaliyetler (kompresör, forklift, vagonet vb.)
- [42].

Ekipmanların ortalama arızalanma sıklığı, kullanıldığı süre boyunca sabit değildir. Ekipman ilk kez kullanılmaya başlandığında arızalanma sıklığı yüksek olabilir. Bunun sebebi ekipmanı kullanan elemanların tecrübesizliği ve imalat sırasında gözden kaçan bazı parçaların belirli bir standardın dışında oluşudur. Arızalanmalar sonucu standart dışı parçalar değişip işçilerin de zamanla tecrübe kazanmasıyla arızalanma sıklığı minimuma doğru yaklaşma gösterir. Daha sonra ortalama bir seviyede hemen hemen sabit hale gelir.

Mekanik sistemlerde, ilk kullanıldığı andan itibaren zaman ilerledikçe arızalanma olasılıklarında artış yaşanır. Bunun sebebi aşınmalardır. Kullanıldıkça aşınmalardan meydana gelen hatalar artmaktadır. Sistem istenen spesifikasyon sınırları dışında çıktılar vermeye başlar. Arızalanma sıklığının zamana göre değişimi Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Mekanik sistem arıza karakteri

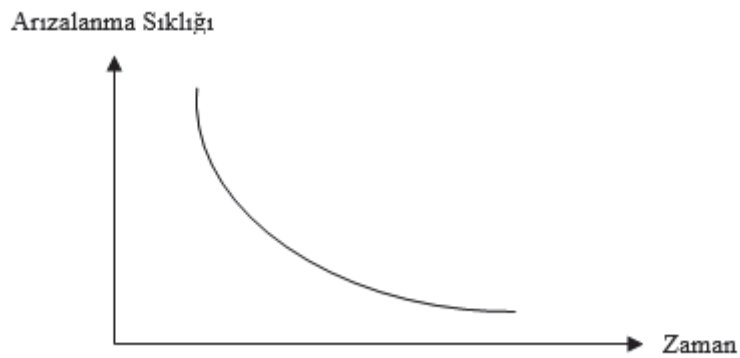
Elektrik-elektronik sistemler mekanik sistemler gibi aşınma yaşamazlar. Onun için arızalanma olasılıkları her zaman sabit özellik gösterir. Arızalanma, yalnızca

kullanılan güçteki dengesizlikten meydana gelir. Potansiyel farktaki dengesizlik sebebiyle hattan çekilen eksik ya da fazla miktardaki güç, sistemi negatif yönde etkiler ve bozulmasına sebep olur. Elektrik-elektronik sistemlerin arızalanma sıklığının zamana göre değişimi Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Elektrik-elektronik sistemlerin arıza karakteri

Yazılım sistemlerinde hatalar, sistemin ilk kullanılmaya başlandığı anda maksimumdur. Çünkü sistemden beklenen her şey ilk anda karşılanamayabilir. Kullanıldıkça eksiklikler gün ışığına çıkar ve bunlar tamamlanmaya çalışılır. Kullanım süresi ilerledikçe hata verme olasılıkları minimuma yaklaşır. Yazılım sistemlerinin arızalanma sıklığının zamana göre değişimi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.

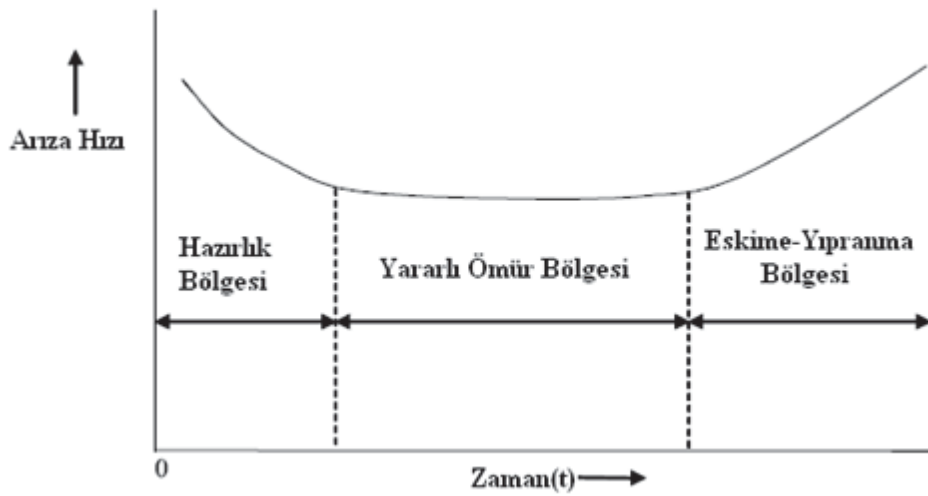


Şekil 3.6. Yazılım sistemi arıza karakteri

3.4.1. Makine arıza dağılımının belirlenmesi

Bir makinenin bakım planlamasını doğru bir şekilde yapabilmek için o makinenin arıza davranışının bilinmesi gerekir. Eğer makineye ait geçmiş arıza verileri mevcutsa bu makinenin arıza dağılımı belirlenebilir. Makinenin arıza dağılımının bilinmesi demek, arıza davranışının bilinmesi demektir.

Bakım planlamada bir makinenin arıza dağılımı belirlenirken weibull dağılımı kullanılır. Bunun sebebi, weibull dağılımının farklı arıza davranışlarını temsil edebilme kabiliyetidir. Weibull dağılımının β parametresinin birden küçük olduğu durumlar arıza hızının zamanla azaldığını ifade eder. β parametresinin bire eşit olduğu durumlar arıza hızının zaman boyunca eşit olduğunu ifade eder. β parametresinin birden büyük olduğu durumlar ise arıza hızının zamanla arttığını ifade eder. Bu üç farklı durumu, Şekil 3.7.'deki Banyo Küveti Eğrisi temsil eder.



Şekil 3.7. Banyo küveti eğrisi [43]

Geçmiş arıza verilerinden hareketle arıza dağılımı belirlenirken, dağılıma ait parametre değerleri grafik yöntemi, en küçük kareler yöntemi, maksimum benzerlik yöntemi ve moment yöntemi olmak üzere dört farklı yöntem kullanılarak belirlenebilir [44].

Bakım planlamada, makine arıza dağılımı belirlenirken genellikle weibull dağılımı tercih edilir. Bunun sebebi, weibull dağılımının farklı arıza davranışı durumunu temsil etme kabiliyetidir. Üç parametrelili weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.6) ifade edilmiştir [45].

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \frac{(t - \gamma)^{\beta-1}}{\eta} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.6)$$

$$f(t) \geq 0, \quad t \geq 0 \text{ ya da } \gamma, \beta \geq 0, \eta \geq 0, \quad -\infty < \gamma < \infty$$

t zamanı temsil eden rassal değişkeni, $f(t)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu η , β ve γ weibull dağılımı parametrelerini ifade etmektedir. Bu parametrelerden η ölçek parametresi, β şekil parametresi ve γ konum parametresidir.

Eğer γ parametresinin sıfır olduğu varsayılırsa weibull dağılımı iki parametrelili hale dönüşür. Weibull dağılımı $\beta = 1$ için ise üstel dağılıma dönüşür [46].

Weibull dağılımının ortalaması, diğer bir deyişle bakım planlama açısından arızalar arası ortalama süre, aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.7) ifade edilmiştir.

$$\bar{T} = \gamma + \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (3.7)$$

Bu denklemde $\bar{T}$ weibull dağılımının ortalamasını, Γ ise gama fonksiyonunu temsil etmektedir. Gama fonksiyonu aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.8) gösterilmiştir.

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{n-1} dx \quad (3.8)$$

3.4.2. En küçük kareler yöntemi

En küçük kareler yöntemi ya da diğer adıyla regresyon analizi, istatistiksel bir dağılıma ait parametrelerin tahmin edilmesi amacıyla matematiksel olarak bir dizi noktaya en iyi doğruyu uyarlar. Bu yöntem, bir doğrunun bir takım veri noktalarına uydurulmasını gerektirir, böylece noktaların doğruya olan mesafelerinin karelerinin toplamı minimize edilir. Varsayalım ki x değerleri bilinen $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ noktalar kümesi mevcuttur. En küçük kareler prensibine göre, bu noktalar kümesini en iyi temsil eden doğru, her bir nokta ile doğru arasındaki dikey mesafelerin karelerinin toplamının minimum olduğu doğrudur. Bu doğrunun $y = \hat{a} + \hat{b}x$ olarak ifade edildiği durum için minimizasyon denklemi aşağıdaki eşitlikte (Denklem 3.9) verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^N (\hat{a} + \hat{b}x_i - y_i)^2 = \min \sum_{i=1}^N (a + bx_i - y_i)^2 \quad (3.9)$$

Yukarıdaki eşitlikte $\hat{a}$ ve $\hat{b}$, a ve b katsayılarının en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen tahmini değerlerini, N toplam veri noktasını ve $i = 1, 2, \dots, N$ olmak üzere sıra numarasını ifade eder.

$\hat{a}$ ve $\hat{b}$ değerleri aşağıdaki eşitlikler (Denklem 3.10 ve Denklem 3.11) kullanılarak elde edilir.

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \quad (3.10)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}} \quad (3.11)$$

İki parametrelili weibull dağılımı için en küçük kareler yöntemine göre parametre tahmini yapabilmek için aşağıdaki eşitliklere (Denklem 3.12, Denklem 3.13, Denklem 3.14, Denklem 3.15, Denklem 3.16 ve Denklem 3.17) ihtiyaç duyulur.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.12)$$

$$y = \ln\{-\ln[1 - F(t)]\} \quad (3.13)$$

$$a = -\ln(\eta) \quad (3.14)$$

$$b = \beta \quad (3.15)$$

$$y_i = \ln\{-\ln[1 - F(t_i)]\} \quad (3.16)$$

$$x_i = \ln(t_i) \quad (3.17)$$

Burada $F(t)$ iki parametrelili weibull dağılımı için olasılık dağılım fonksiyonunu ifade eder. En küçük kareler yöntemi ile $\hat{a}$ ve $\hat{b}$ değerleri hesaplandıktan sonra bu ilave eşitlikler aracılığıyla da weibull dağılımı parametre değerleri elde edilir.

Korelasyon katsayısı, en küçük kareler yöntemi ile belirlenen doğrunun verilere ne kadar uyduğunun bir ölçüsüdür ve genellikle ρ ile gösterilir. Korelasyon katsayısı aşağıdaki eşitlikteki (Denklem 3.18) gibi tanımlanmıştır.

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}\right) \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N y_i)^2}{N}\right)}} , -1 \leq \hat{\rho} \leq 1 \quad (3.18)$$

En küçük kareler yöntemi, doğrusal olarak ifade edilebilen fonksiyonlar için oldukça iyi sonuç vermektedir. Bu yöntemde hesaplamalar nispeten kolay ve basittir. Ayrıca, bu teknik, korelasyon katsayısı ile seçilen dağılımın uygunluğu için iyi bir ölçüm sağlar [47].

3.4.3. Maksimum olabilirlik yöntemi

Maksimum olabilirlik yöntemi, verilen bir olasılık dağılımı için en olası parametre değerlerinin elde edilmesi esasına dayanır. Maksimum olabilirlik yönteminin çalışma prensibini bir örnekle açıklamak daha faydalı olacaktır. -3, 0, 4 olmak üzere üç veriye sahip olduğu varsayalım. Amaç, bu verilerin ortalamasını bulmak olsun.

Ortalamanın en olası değerleri için -5, 1 ve 10 arasından bir seçim yapma durumu söz konusu olsun. Bu durum için en olası değer 1'dir.

Maksimum olabilirlik yönteminin matematiksel formülasyonu aşağıda (Denklem 3.19) gösterilmiştir.

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k | x_1, x_2, \dots, x_R) = L = \prod_{i=1}^R f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (3.19)$$

x sürekli rassal değişkeni, $f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ tahmin edilmek istenen k adet parametreyi, $x_1, x_2, \dots, x_R$ toplam R adet veriyi, L olabilirlik fonksiyonunu ve $i = 1, 2, \dots, R$ olmak üzere sıra numarasını ifade eder.

Logaritmik olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.20) ifade edilmiştir.

$$\Lambda = \ln L = \sum_{i=1}^R \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (3.20)$$

L ya da Λ fonksiyonunu maksimize eden değerler, maksimum olabilirlik yöntemine göre parametre değerlerini verir. Λ fonksiyonunun maksimum olduğu noktayı bulmak L fonksiyonuna göre daha kolaydır. Λ fonksiyonunun türevi alınıp sıfıra eşitlendikten sonra her bir k değeri için çözülerek maksimum olabilirlik yöntemine göre parametre değerleri tahmin edilmiş olunur [47].

3.5. Diğer Bakım Türleri

Diğer bakım türleri, kestirimci bakım, minimal bakım ve genel bakım (overhaul) olarak adlandırılabilir. Kestirimci bakımda, bir makine yada ekipman belirli periyotlarla gözlemlenir. Eğer gözlemlenen anda makinenin yapmakta olduğu işlemde

bir hata veya normal olmayan bir durum söz konusu ise makinenin arızalanma eğilimde olduğuna kanaat getirilir ve bakım yapılır.

Minimal bakımda, bir makine yada ekipman arızalandığında tekrar çalışabilir duruma gelmesini sağlayacak bir bakım yapılır. Ancak bu durumda makinenin güvenilirliği ilk çalışmaya başladığındaki güvenilirliğinden azdır.

Genel bakımda ise makine ya da ekipman detaylı bir bakıma alınır. Tüm parçalara bakım yapılır ve değişmesi gereken parçalar değiştirilir. Maliyetli bir bakımdır, makinenin türüne ve kullanım alanına da bağlı olmakla birlikte uzun dönemde yapılır.



BÖLÜM 4. BAKIM PLANLAMADA KULLANILAN TEKNİKLER

Bu bölümde, bakım planlamada kullanılan tekniklerden bu teze konu olan simülasyon, yapay zeka ve deney tasarımı teknikleri hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

4.1. Simülasyon

Mevcut sistemler incelendiğinde, birçoğunun karmaşık bir yapıda olduğu görülür. Bu tür sistemlerin modellerini matematiksel yöntemlerle çözmenin mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle karmaşık yapıya sahip sistemlerin çözüm ve analizleri için simülasyon yaklaşımı kullanılır. Simülasyon hayatta karşılaşılan problemi temsil edecek bir model oluşturup bu modelin zaman bazlı olarak çalıştırılmasıdır [39]. Bir başka tanıma göre ise simülasyon, gerçek bir sistemin davranışını anlayarak modelini tasarlamak ve modelin farklı durumlar karşısındaki davranışını incelemek amacıyla model üzerinde denemeler yapmaktır [48]. Bir başka tanıma göre de, bir sistemi temsil edecek model oluşturma sürecine simülasyon denir. Bu model, gerçek sistem üzerinde denenmesi çok zor ya da maliyetli olan işlemlerin uygulanmasına olanak sağlar [49].

Simülasyon, deneysellik, rassallık, belirsizlik gibi durumların ve sistem bakış açısı, davranış analizi gibi ihtiyaçların söz konusu olduğu durumlarda etkin bir çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistem bakış açısı, bir sistemin bütün bileşenlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi olarak tanımlanabilir. Davranış analizi ise bir sistemin o sistemi oluşturan faktörler değiştiğinde bu değişime nasıl bir tepki verdiğinin incelenmesi olarak tanımlanabilir.

Simülasyon modelleri birer girdi-çıkı modelleri olarak adlandırılabilirler. Diğer bir deyişle, oluşturulan modele çeşitli girdiler verilir. Model bu girdilere göre çalışır ve bir çıktı elde edilir. Matematiksel olarak çözülemeyen problemler için simülasyon

modeli kurmak yaygın olarak karşılaşılan bir durumdur. Burada amaç, simülasyon modeli ile problemin optimum çözümünü elde etmek değil, problemin yapısını anlamak ve problemdeki değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini analiz etmektir. Böylece problemle ilgili olarak optimuma yakın bir çözüm elde edilebilir. Biraz daha ileri giderek, simülasyonun, sistem analizcinin elindeki birkaç değerli problem inceleme yaklaşımından biri olduğu söylenebilir. Önemli olanın, problemin tekniğe uydurulması değil de, yöntemin probleme uyarlanması olduğu hatırlanacak olursa, akla hemen simülasyonun ne zaman yararlı olduğu sorusu gelmektedir. Bilindiği gibi simülasyon, gerçek sistemin modeli ile yapılan bir deney olarak da tanımlanır. Sistemle ilgili spesifik bir bilgiye ihtiyaç olduğunda, bu bilgiye mevcut kaynaklardan ulaşılamıyorsa deneysel bir problem mevcut demektir. Gerçek sistem ve modeli arasında iyi bir denge kurularak güçlüklerin çoğunun bertaraf edilmesini sağlar.

Simülasyonun uygulandığında yararlı olacağı koşulları şöyle sıralayabiliriz:

- Problem matematiksel olarak formüle edilemiyorsa veya problemin matematiksel modeli mevcut çözüm yöntemleri ile çözülemiyorsa simülasyon yaklaşımına başvurmak uygun bir karar olacaktır. Burada bahsedilen problem tiplerine bekleme hattı modelleri örnek olarak verilebilir.
- Problemin çözüm yönteminin var olduğu fakat çok karmaşık olduğu durumlar.
- Ele alınan problem uzun zaman alan sistem veya proseslerden oluşuyorsa, simülasyon uygun bir çözüm yöntemi olacaktır. Çünkü simülasyon, kurulan modelin uzun dönemdeki davranışını kısa zamanda simüle ederek ortaya koyacaktır. Kentsel dönüşüm, uzun dönemli bir probleme örnek olarak verilebilir.
- Deney şartlarının oluşturulmasının ve deneylerin yürütülmesinin güç olduğu durumlar. Uzun mekiğinin uzaydaki seyahati buna örnek olarak verilebilir.

Simülasyonun hangi koşullarda yararlı olabileceğinin incelenmesi, bir anlamda, simülasyonun yararlarını da araştırmaktır. Yukarıda açıklanan uygun koşullarda kullanılması durumunda simülasyon yaklaşımı çok sayıda yarar sağlayacaktır:

- Simülasyon modeli için gerekli olan verilerin temininin maliyeti, gerçek hayat problemi ile ilgili bilgileri elde etmenin maliyetinden daha düşüktür.
- Simülasyon, matematiksel modellerin çözümlerinin doğruluğunu test etmek için kullanılabilir.
- Dinamik sistemlerin gerçek zamanı, simülasyon yaklaşımı ile artırılabilir ya da azaltılabilir.
- Bir sistemi analiz eden kişilerin daha geniş bir analiz yapmalarını sağlar.
- Simülasyon herhangi bir sistemin faktörlerinin ve faktörler arası etkileşimlerinin incelenmesini sağlar.
- Karakteristiği bilinen bir sistemin farklı durumlarda nasıl bir davranış göstereceği simülasyon yöntemi ile görülebilir [49].

4.1.1. Simülasyon modeli yapısı

Bir simülasyon modelinin temel elemanları bileşenler, değişkenler, varsayımlar, ölçütler, kısıtlar, parametreler ve ilişkilerdir. Bileşen, bir araya gelerek bir sistemi oluşturan parçalar olarak ifade edilebilir. Bileşenler bazen alt sistem ya da öge olarak ifade edilirler. Bileşenlerin ortak performansı sistemin çıktısını meydana getirir. Örneğin ulaşım sisteminin bileşenleri karayolu ulaşımı, demir yolu ulaşımı, deniz yolu ulaşımı ve havayolu ulaşımı olarak ifade edilebilir. Değişkenler ise değişik sistem durumlarında ve değişik şartlarda farklı değerler alan sistem özellikleridir. Değişkenler bağımlı ve bağımsız değişkenler, içsel ve dışsal değişkenler, girdi ve çıktı değişkenleri olarak sınıflandırılabilirler. Model üzerinde yapılan kabuller varsayım olarak ifade edilir. Ölçütler, değerlendirme standardı olarak adlandırılabilirler. Sistemin amaçlarının, hedeflerinin, bunların nasıl değerlendirileceğinin durumu ölçüt fonksiyonu olarak ifade edilir. Ölçütlerin modelin tasarımı ve işletilmesi üzerinde doğrudan etkisi olduğundan yanlış tanımlanmaları yanlış sonuçlar elde edilmesine sebep olacaktır. Bir modeli oluşturan değişkenler ve kaynaklar ile ilgili her bir sınırlandırma kısıt olarak ifade edilir. Bir modelde iki tür kısıt olabilir. Bunlardan ilki modelin temel doğası sebebiyle mevcut olan kısıtlardır. Diğeri ise model kurucu tarafından konulan kısıtlardır. Model kurucu, mevcut modelin analizi için belirlemiş olduğu kısıtlarda bir takım değişiklikler yapabilir. Parametreler model kurucu

tarafından belirlenir ve modelin analizi süresince değiştirilemezler. Örneğin, $y=5x$ denkleminde x ve y değişken, 5 ise parametredir. Bir modelin değişkenleri, bileşenleri ve parametreleri arasındaki bağlantılara ilişki denir. İlişkiler, modelin durumundaki değişimlerin denetlenmesini sağlar [49].

4.1.2. Simülasyon modelleme süreci

Simülasyon, farklı alanlardaki birçok probleme uygulanmaktadır. Bu problemlerin bir kısmı matematik bir kesinlik beklerken bir diğer kısmı da matematik ile ilişkisiz olabilmektedir. Simülasyon bir bilim dalı olmakla birlikte, hala bir sanat niteliği taşımaktadır. Değişik bilim dallarından gelen kimselerin değişik sorunlar üzerinde simülasyon uygulamalarının bir sonucu olarak tüm bu çalışmalarda geçerli olabilecek bir simülasyon yöntembiliminin bulunacağı düşünülebilir. Nitekim aşağıda bu yöntembilimin adımları açıklanmıştır. Ancak bu adımlar, çalışmayı sınırlandırıcı dar bir koridor olarak değil, genel bir yönlendirici ve yol gösterici olarak algılanmalıdır.

Simülasyon sürecinin adımları aşağıdaki gibi ele alınabilir:

- Problemin Formüle Edilmesi
 - a. Çalışmanın amacı
 - b. Sistem tanımı
 - c. Varsayımların belirlenmesi
- Simülasyon Deneylerinin Tasarımı
 - a. Matematik modelin formüle edilmesi
 - b. Simülasyon deneyi için veri oluşturma
 - c. Örnekleme
 - d. Model geçerliliği
- Bilgisayar Modelinin Kurulması
 - a. Başlangıç koşulları ve denge
 - b. Zaman-akış mekanizması
 - c. Proses üretme işlemleri
 - d. Parametre değişiklikleri ve alternatif karar kuralları

- e. Kayıt tutma ve istatistiklerin türetilmesi
- f. Bilgisayar modelinin organizasyonu
- g. Bilgisayar modeli geçerliliği
- Simülasyon Verilerinin Analizi
 - a. İstatistik testler
 - b. Sonuçların yorumlanması

Problemin formüle edilmesi temel olarak sistemin genel tanımını ve amaçlarını içermektedir. Bir çalışmanın ilk adımı, o çalışmanın amacının net bir şekilde ortaya konmasıdır. Amacın net bir şekilde belirlenememesi durumunda dışsal faktörler ile olan ilişkilerin gözden kaçırılması riski söz konusudur. Ayrıca, amaç tanımlanırken optimize etmek istenilen şey de açık ve net olarak belirtilmelidir.

Çalışmanın amacının ortaya konması aşamasında ölçütlerin belirlenmesi de büyük önem arz etmektedir. Ölçütlerin sayısı bazen çok fazla olmakla birlikte, en sık karşılaşılan ölçütler en düşük maliyet ve en büyük kardır. Çalışmanın türüne göre farklı ölçütler tanımlamak mümkündür. Bir üretim atölyesi için, ürün teslimatlarındaki gecikme seviyesi, stok miktarı, kapasite kullanım oranı, hurda miktarı, iş kazası sayısı ölçüt örnekleri olarak verilebilir. Ölçütler incelendiğinde bazı ölçütlerin birbirleriyle ilişki içinde olduğu görülmektedir. Örneğin, yüksek kalitede ürün üretmeyi temel ölçüt kabul eden bir atölyede hurda miktarının azalması da sağlanmış olacaktır.

Her bir çalışma bir diğerine göre farklılık göstereceğinden, simülasyon çalışmalarındaki tüm amaçların tanımlanması imkansızdır. Aşağıda, simülasyon çalışmalarının amaçlarından bazılarına yer verilmiştir:

- Karmaşık sistemlerin modelleri gerçek durumlara kıyasla düşük maliyetli ve risksiz olarak denenebilir. Modele ait değişken ve parametrelerin değerleri değiştirilerek farklı denemeler de yapılabilir. Böylece sistemin modelinin farklı durumlardaki çalışma şekli de görülmüş olur.

- Bir sistemin performansını en çok etkileyen değişkenler simülasyon yaklaşımı aracılığıyla belirlenebilir. Ayrıca, parametrelerdeki değişimlerin etkileri de ölçülebilir.
- Hipotezler, simülasyon modelleri aracılığıyla test edilebilirler.
- Simülasyon modeli üretim kontrol sisteminin bir bileşeni konumunda olabilir. Yani, üretim süreçlerinin fonksiyonel denetimi simülasyon modeli ile gerçekleştirilebilir.
- Gelecek dönemlere ilişkin tahminlerde bulunulup, bu tahminler karar verme mekanizmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılabilir.
- Simülasyon, eğitim ve yönlendirme amacıyla da kullanılabilir.
- Matematiksel modeller ile çözülemeyen problemler simülasyon yöntemi ile incelenebilir.
- Bir sistemin modeli zaman açısından istenilen uzunlukta denenebilir.

Çalışma amacının belirlenmesinden sonra, sıra sistemin tanımlanmasındadır. Sistemi tanımlayabilmek için, her şeyden önce sistem sözcüğünden ne anlaşıldığının açıklanması gerekmektedir. Günümüzde en sık kullanılan kelimelerden biri de sistem kelimesidir. Günlük konuşmalardan iş toplantılarına kadar hayatın her alanında sistem kelimesi ile karşılaşmak mümkündür. Böylesine geniş bir kullanım alanı olan bir kelimeyi tek ve temel bir tanım ile ifade etmek pek mümkün değildir. Yine de bir tanım yapılacak olursa; sistem, belli bir amaca odaklanmış, birbirleriyle ilişkili ve etkileşimli öğeler kümesi olarak tanımlanabilir. Bu tanımda yer alan öğe kavramını çeşitli örneklerle açıklamak doğru olacaktır. Örneğin bir otomobil ele alınsın. Otomobilin tekerlekleri, direksiyonu, koltukları, motoru gibi birçok parçası bulunmaktadır. Bu parçaların her biri otomobil sisteminin birer öğesi olarak düşünülebilir. Ekolojik sistemi düşündüğümüzde ise bitkiler ve hayvanlar ekolojik sistemin birer öğeleridirler. Simülasyon yaklaşımında sistemin amacı, belirli bir sorunun teşhis edilmesi, incelenmesi ve ortadan kaldırılması olarak ifade edilebilir.

Simülasyon deneylerinin tasarımı esas olarak simülasyon modelinin tüm yönleriyle kurulmasını ifade etmektedir. Matematik modelin formüle edilmesi aslında bir soyutlama işlemidir. Bu soyutlama işleminde bileşenler, değişkenler, parametreler ve

ilişkiler bir araya getirilir. Değişken ve parametrelerin gösterimi için semboller kullanılabilir. Modelin çalışma şeklini temsil eden akış diyagramı oluşturulur ve simülasyon çalışması manuel olarak yürütülerek modelin işleyişi incelenir.

Her bir simülasyon modelinin çalışabilmesi için veriye ihtiyaç vardır. Simülasyon modelinden istenilen performansın alınabilmesi için yeterli ve sağlıklı verinin mevcut olması gerekmektedir. Belli bir simülasyon incelemesinde yararlanılacak olan veri kaynakları incelemenin niteliğine göre farklılık gösterebilir. Bakım planlama simülasyonu açısından örnek veri kaynakları makinelerin geçmiş arıza kayıtları, arızaların giderilmesi için yürütülen arıza bakımı faaliyetlerinin süresidir.

Simülasyon deney sonuçlarının açık olarak yorumlanabilmesi için simülasyon deneylerinin özenle planlanması gerekmektedir. Planlama süreci kapsamında, simülasyonda kullanılacak verilerin olasılık dağılımlarının ve bu dağılımların parametrelerinin belirlenmesi gerekir.

Tasarlanan simülasyon modelinin bilgisayar programı kurulmadan önce, tasarlanan modelin incelenen sistemi doğru temsil edip etmediğinin belirlenmesi gerekir. Modelin, incelenen sistemi birebir temsil etmesi beklenmez. Burada önemli olan, tasarlanan modelin, incelenen sistemin önemli karakteristiklerini yansıtmasıdır. Tasarlanan modelin geçerliliğini ölçmek için öykü testinden faydalanılabilir. Öykü testi, simülasyon modeli ile hesaplamalar yapıp bu hesaplamalardan elde edilen değerlerin incelenen sistemle olan uygunluğunun kontrol edilmesidir. Örneğin, simülasyon modeli birkaç kez çalıştırılır ve elde edilen çıktı değeri incelenir. Çıktı değerinin incelenen sisteme göre mutlaka pozitif olması gerektiği varsayılın. Bu durumda, modelin geçerliliğinin doğrulanması için simülasyon modeli çalıştırılarak elde edilen çıktı değerinin pozitif olması gerekmektedir.

Simülasyon modelinin geçerliliği doğrulandıktan sonra bu modelin bilgisayar dili ile kodlanmasına geçilir. Bunun için önce akış diyagramı çizilir, ardından genel amaçlı derleyici ya da özel amaçlı simülasyon dilleri ile kod yazımı gerçekleştirilir.

Simülasyon modelleri ilk çalışmaya başladıklarında, genellikle bir ısınma sürecine ihtiyaç duyarlar. Örneğin bir süpermarket simülasyon modeli ele alınsın. Model çalışmaya başladığında süpermarkette hiç müşteri yoktur. İlk müşteri süpermarkete geldiğinde herhangi bir beklemeye maruz kalmadan alışverişini yapıp ödemesini tamamlayacaktır. Belirli bir zaman geçtikten sonra süpermarket içerisinde ödeme kuyruğu oluşma durumu söz konusudur. Bu durum, simülasyon modelinin hangi başlangıç şartlarıyla çalışmaya başlaması gerektiğini akıllara getirmektedir. Simülasyon modelinin başlangıç şartlarının belirlenmesinde spesifik bir kural yoktur. Simülasyon modelinin amacı ve model kurucunun deneyimleri burada etkili olan durumlardır. Her ne kadar net bir tekniği olmasa da, simülasyon başlangıç şartlarının belirlenmesinde kullanılabilecek iki teknikten bahsedilebilir. Bunlardan ilki, simülasyonun toplam çalışma süresinin, simülasyonun arzu edilen çalışma süresiyle simülasyonun ısınma sürecinde geçen sürenin toplamından oluştuğu durumdur. İkinci teknikte ise, simülasyon belirli bir çalışma süresince ve belirli tekrar sayısı kadar çalıştırılır. Sistemin içindeki değişkenlerin değerinin ortalaması alınır. Bu ortalama değerler ile simülasyona başlanır.

Simülasyon modellerinin çoğu belli bir zaman süresi boyunca sistem performansının değerlendirilmesi ile ilgili olduğundan, model tasarımı yapılırken ve simülasyon dili seçilirken en önemli noktalardan biri de zaman tutma yöntemi olacaktır. Simülasyonda zaman tutmanın iki yönü vardır; zamanı ilerletmek veya sistem zaman durumunu güncelleştirmek, değişik elemanların ve olay oluşumlarının senkronizasyonu. Her bir elemanın eylemleri, diğer elemanların durumuna ve eylemlerine bağlı olduğundan bunlar zaman içinde koordine edilmeli veya senkronize edilmelidir. Buna göre model, simülasyon zamanı ilerleyecek biçimde tasarlanmalıdır, öyle ki olaylar belli bir sırada ve belli zaman aralıklarından oluşsun. Bu ise bir sorun yaratmaktadır. Gerçek sistemde bileşenler eşzamanlı olarak işlemektedirler. Dijital simülasyon modelinde ise ardışık olarak sıra ile işlemektedirler. Ve bir anda, sistem bileşenlerinden yalnız bir tanesi işlenebilir. Olaylar sıklıkla, gerçek dünya sisteminin farklı parçalarından eşzamanlı olarak oluştuklarından, sistem bileşenlerinin performansını zaman alanında senkronize edebilecek bir zaman tutma sisteminin kurulması gereklidir.

Simülasyon modelinde zaman akışını sağlamak için düzgün artışlı yöntem ve değişken artışlı yöntem kullanılır. Düzgün artışlı yöntemde, modelin zamanı eşit aralıklarla artar. Zaman artışı, simülasyon modelinin çalışmasıyla gerçekleşecek tüm durumları değerlendirmeye yetecek kadar küçük seçilir. Simülasyon sıfır anında başlatılır ve bir zaman aralığı geçildikten sonra modeldeki etkileşimler göz önünde bulundurularak modeldeki değişkenlerin değerlerinin güncellemesi yapılır. Ardından zaman, belirlenen artış miktarı kadar artırılır ve aynı işlemler simülasyon bitiş zamanına kadar tekrarlanır. Değişken zaman artışlı yöntem ise olay tabanlı olarak çalışır. Yani, simülasyon modelindeki zaman, bir olayın gerçekleştiği zamandan bir sonraki olayın gerçekleştiği zamana ilerler. Dolayısıyla zaman artışları sabit değildir. Simülasyon modelinin zamanı sıfır alanında başlatılır. Her bir zaman ilerlemesinde modeldeki tüm değişkenlerin değerleri güncellenir. Bu süreç, belirlenen simülasyon bitiş zamanına kadar devam eder. Simülasyon modeli kurulan çalışmaların çoğunda temel amaç, modeldeki parametrelerin değişiminin simülasyon modelinin performansını ne derecede etkilediğinin tespiti. Örneğin, bir makine bakım problemi ele alınsın. Bu problemdeki parametrelere, makine arıza dağılımı, makine onarım süresi dağılımı, bakım maliyeti örnek olarak verilebilir. Bu parametrelerdeki bir değişim modelin performansını etkileyecektir. Parametrelerdeki değişime ek olarak, farklı karar kuralları da belirlenebilir. Böylece her bir karar kuralının hangi parametre değerleri seçildiğinde modelin performansı açısından iyi sonuç verdiği tespit edilebilir. Bir makine bakım problemi için, makinede bir onarım gerçekleşmese de bakımcılara ücret verilmesi, bakımcıların fazla mesai yapmaması, bir makineye aynı anda iki bakımcının müdahale etmesi zorunluluğu gibi durumlar karar kurallarına örnek olarak verilebilir.

Simülasyon modelinin bilgisayar yazılımı oluşturulurken, yazılımın, modelin çalışması esnasında gerekli bilgileri kayıt altına alması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü simülasyonun çalışması ve tamamlanması ile oluşacak bilgiler modelin performans analizi yapılırken kullanılacaktır.

Simülasyon modeli için oluşturulan bilgisayar programının geçerliliği araştırılırken yapılması gereken ilk şey, aynı girdilere, program ile gerçek durumun aynı çıktıyı üretip üretmediğinin kontrolüdür. Bunun için girdi değerleri ve çıktı değeri bilinen veri

setinden farklı deney setleri oluşturulabilir. Ayrıca, bilgisayar programındaki akışın, simülasyon modelindeki akışla aynı olup olmadığının kontrol edilmesi de faydalı olacaktır.

Simülasyon alanındaki çabaların büyük bir kısmı, model kurma, hesaplama yöntemleri ve genel simülasyon dillerine yönelmiştir. Buna karşılık, simülasyon deneylerinin tasarımına ve simülasyon verilerinin analizine görece olarak daha az çaba harcanmıştır. Simülasyon verilerinin analizinde en çok kullanılan araç varyans analizidir. Ayrıca, ortalama, standart sapma gibi parametrelerin belirlenmesi, verilerle çeşitli grafiklerin oluşturulması, elde edilen verilerin yorumlanmasına ve bu verilerden çeşitli çıkarımlar yapılmasına katkı sağlayacaktır [49].

4.2. Yapay Zekâ

Yapay zekâ genellikle, yapay metotlarla zeki makineler oluşturmak için, insan zekâsının taklit edilmesi sürecinin bilimi olarak ifade edilir. Yapay zekâ, algılama, çıkarsama, öğrenme, ilişkilendirme, karar verme gibi faaliyetleri bilgisayar sistemleri ile modelleyip karmaşık problemleri çözümlemeyi hedefler. Bazı araştırmacılar yapay zekâyı sembolik zekâ ve hesaplamalı zekâ olarak iki gruba ayırır. Sembolik zekâ, bilgilerden çıkarsama yaparak problemleri çözmeye çalışır. Hesaplamalı zekâ ise örnek problem verilerinin ilişkilerine dayanarak problem çözer [50-55].

Yapay zekânın tarihçesine bakıldığında, yapay zekâ ifadesinin ilk olarak 1956'da gerçekleştirilen Dartmouth konferansında kullanıldığı görülmektedir. Bu konferansta, insan zekâsının benzetimi ve düşünen bilgisayarlar konuları tartışılmıştır. 1950'lerin sonu ve 1960'ların başında ise basit yap-bozlar çözülmüş, mantıksal ve geometrik önermeler kanıtlanmıştır. Örneğin dama, satranç tarzı iki kişilik oyunlarla ilgili çalışmalar yürütülmüştür. 1960'lı yıllarda otomatik problem çözme, doğal dilin işlenmesi gibi temel sorunlar incelenmeye başlanmıştır. 1970'li yıllardaki araştırmalar ağırlıklı olarak uzman sistemlerin ve robot sistemlerin geliştirilmesi konularını kapsar. Bu dönemde, problemin çözümü için biçimselleştirilmiş bilginin ve özel işleme tekniklerinin kullanımını içeren bilgi temelli yaklaşım ön plana çıkmıştır. 1980'li

yıllarda ise matematiksel bilgi işleme ve durumsallık konularına ağırlık verilmiştir. Bunun sonucu olarak da çoklu etmen sistemleri ve sinir hücreleri konularına ağırlık verilmiştir. 1990'lı yıllarda, yeni sezgisel yöntemler ortaya çıkmıştır. Ayrıca imalat sistemlerinde yapay zekâ kullanılmıştır. 2000'li yıllarda, internet ve bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmelerin de etkisiyle yapay zekânın gelişimi hız kazanmıştır. Günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan problemlerin çözümü için yapay zekâ teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca, geleneksel optimizasyon teknikleri ile yapay zeka teknikleri bir arada kullanılarak hibrit teknikler geliştirilmiştir. Bu hibrit teknikler ile karmaşık problemlere çözüm üretebilme amaçlanmıştır. Son yıllarda ise derin öğrenme, konuşma işleme, yüz tanıma, parmak izi tanıma, insansız araçlar alanlarında çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Yapay zekâ günümüzde, savunma sanayisinde, tıp alanında ve e-ticarete de yaygın olarak kullanılmaktadır [56,57].

Yapay zeka, günümüzde tıbbi teşhis, kredi kartı sahtekarlığının tespiti, banka kredisi onayı, metro sistemleri, otomatik şanzımanlar, akıllı ev eşyaları, finansal portföy yönetimi, robotlar, navigasyon sistemleri gibi birçok alanda ve birçok amaç için kullanılmaktadır.

Yapay zekâ ile geleneksel programlama karşılaştırıldığında, arada bir takım farklılıkların olduğu görülmektedir. Yapay zekâ sembolik olarak bilgi işler ve heuristiklerdir. Ayrıca yapay zekâ, adaptif olabilme yeteneğine sahiptir. Geleneksel programlama ise nümerik olarak veri işler. Algoritmik bir yapıda çalışan geleneksel programlamanın esnek bir yapısı yoktur.

Yapay zekâ uzmanlığı ile insan uzmanlığı arasında da önemli farklılıklar söz konusudur. Yapay zekâ uzmanlığının sezgisel, ucuz ve kolay transfer edilebilir olduğu söylenebilir. Ayrıca yapay zekâ uzmanlığı programlanarak geliştirilebilir ve adaptif hale getirilebilir. Yapay zekâ uzmanlığı tekrarlı olaylara dayandığından çok nadir gerçekleşecek bir olay için yapay zekâ uzmanlığına gerek yoktur. İnsan uzmanlığı ise duygusaldır, adaptiftir, pahalıdır, transferi zordur ve tecrübeye dayanır. Bir diğer önemli özelliği ise kendi kendisini geliştirebilme kabiliyetidir [57].

Yapay zekâ teknikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uzman Sistemler: Uzman sistemler, normalde insan uzmanına gereksinim duyulan özel faaliyet alanlarındaki problemleri çözmek için, kodlanmış bilgiyi kullanan/yöneten programlar kümesi olarak ifade edilebilir [57].
- Yapay Sinir Ağları: Yapay sinir ağlarının çıkış noktası, insan beyninin çalışma şeklini anlama arzusu olmuştur. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin fonksiyonlarını içeren matematiksel bir model olarak tanımlanabilir. Daha matematiksel bir tanım olarak ise, yapay sinir ağları, doğrusal olmayan modelleme aracıdır. Girdiler ve çıktılar arasındaki karmaşık ilişkileri modeller. Yapay sinir ağlarının temelini yapay nöronlar oluşturur. Yapay nöronlar birbirleriyle bağlanarak katmanları, katmanların tümü de yapay sinir ağını oluşturur. Yapay sinir ağları, tahmin, sınıflandırma, yakınsama, kümeleme gibi amaçlar için sıklıkla kullanılır. Eksik bilgi ile çalışabilmesi ve çok karmaşık problemlere bile yaklaşık bir çözüm üretebilmesi, yapay sinir ağlarının güçlü yanlarıdır [58-61].
- Genetik Algoritmalar: Genetik algoritma, doğal seçim ve popülasyon genetiği mekanizmaları üzerine kurulu olan bir araştırma algoritmasıdır. Genetik algoritma ile araştırma düşüncesinin temelleri hayatta kalma ve adaptasyondan meydana gelen biyolojik süreçlerde yatmaktadır. Genetik algoritmalar üç temel işlemde meydana gelmektedir; seçilme, çaprazlama ve mutasyon [57].
- Bulanık Önermeler Mantığı: Bulanık önermeler mantığı, matematiksel olarak ifade edilemeyen, dilsel olarak ifade edilebilen olayların matematiksel çözümüdür.
- Sezgisel Algoritmalar (Tavlama Benzetimi, Karınca Kolonisi Algoritması).

4.2.1. Uzman sistemler

Uzman sistemler, herhangi bir alanda, insan uzmanların bilgisini depolayan ve sonra bu bilgiyi problem çözmek için kullanan programlama sistemleridir. Bir uzman sistem, insan uzmanına ait uzmanlık bilgisini işledikten sonra yapay çıkarsama yaparak insan uzmanın çıkarsamasını taklit eder. Birçok problem alanında planlama, teşhis ve

tasarım için uzman sistemler kullanılır. Bir uzman sistemin ana bileşenleri bilgi tabanı, çıkarım mekanizması, açıklama modülü ve kullanıcı ara yüzüdür. Bilgi tabanı, insan uzmanlardan alınan özel uzmanlık bilgisinden oluşur. Bilgi tabanında kurallar ve gerçekler olmak üzere iki çeşit bilgi mevcuttur. Bu bilgi, gerçek dünya nesneleri ve bu nesnelerin ilişkilerini yansıtır. Çıkarım mekanizması bilgi işlemenin gerçekleştiği kısımdır. Depolanan bilgi, bilgi tabanından alınır ve spesifik bir problemin çözümü için çıkarsama yapılır. Açıklama modülü sayesinde ise uzman sistemin hangi amaç ve hangi çıkarımlar için oluşturulduğu kullanıcı tarafından anlaşılır. Kullanıcı ara yüzü, uzman sistem ve kullanıcı arasında iletişim kurulmasını sağlar [62].

Uzman sistemin şematik gösterimi Şekil 4.1.'de verilmiştir:



Şekil 4.1. Uzman sistemin elemanları

Bilgisayar sistemlerinin zeki olabilmeleri için ilgili konudaki bilinen bütün tecrübe ve yetenekleri temsil eden bilgilerin bilgisayar tarafından anlaşılması ve buna dayanarak kararların verilmesi gerekmektedir. Bilgilerin bilgisayarın anlayacağı hale getirilmesi için öncelikle gerekli uzmanlardan ve örnek vakalardan temin edilmesi, ayıklanması, elenmesi ve faydalı olmayan bilgilerden arındırılması gerekmektedir. Bu konu yapay zekâ biliminde bilginin temini olarak tanımlanmaktadır. Bilgi temin edildikten sonra bilginin bilgisayar tarafından anlaşılmasının sağlanması için modellenmesi ve formüle edilmesi gerekmektedir. Bu konu da bilginin gösterimi olarak adlandırılmaktadır. Bilginin gösterimi konusunda gerekli çalışmalar tamamlandıktan sonra bilgilerin

bilgisayarlar tarafından kullanılabilmesi için saklanması ve bilgisayarın hafızasında depolanması gerekmektedir. Bu depolara bilgi tabanı denmektedir. Bilgi tabanındaki bilgiler sürekli güncellenebilmekte, yeni bilgiler ortaya çıktıkça bilgi tabanına konulmakta ve önemini yitiren bilgiler ayıklanmaktadır. Bilgi tabanı programdan bağımsız olduğundan bilgilerin güncellenmesi, değiştirilmesi, eklenmesi veya çıkartılması programda herhangi bir değişikliği zorunlu kılmamaktadır. Bu ise bilginin muhafaza edilmesini ve bakımını kolaylaştırmaktadır.

Bilgi ne kadar sağlıklı temin edilir ise uzman sistemin geliştirilmesi de o kadar sağlıklı olabilmektedir. Bilginin temin edilmesi konusunda oldukça yoğun bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bilginin temini sadece bilginin bulunup toplanmasını değil aynı zamanda elenmesi, ayıklanması, doğrulanması ve gerçekleşmesi gibi eylemleri de içermektedir. Bilginin temin edilebilmesi için öncelikle bilgi kaynaklarının çok iyi belirlenmesi gerekir. Bilgi kaynakları dokümente edilmiş bilgiler ve dokümente edilmemiş bilgiler olarak ikiye ayrılabilir. Dokümente edilmiş bilgiler kitap, rapor, film gibi basılmış veya bilgisayar hafızalarında saklanmış bilgilerdir. Dokümente edilmemiş bilgiler ise ulaşılması zor olan bilgiler olup genellikle insanların hafızalarında bulunan bilgilerdir. İnsan tecrübesi ve yeteneğinin ürünü olan bu bilgilerin genellikle dokümente edilmesi de kolay olmamaktadır.

Bir olay ile ilgili olarak toplanacak bilgilerin türleri ve kaynakları belirlendikten sonra ilgili kaynaklardan bilgilerin toplanması çalışması yapılır. Bilgi toplama işlemini üstlenen kişiye bilgi mühendisi denmektedir. Bilgi mühendisi bilginin toplanması konusunda eğitilmiş ve ne tür bilgilerin toplanması gerektiği hakkında fikir sahibi olan kişidir. Bilgi toplama yöntemleri konusunda uzman olup özellikle konuların farklı açılardan görülmesini sağlayacak yeteneklere sahiptir.

Bilgi gösterimi, karar verilecek olan olay hakkındaki bilgilerin bilgisayar tarafından anlaşılmasının sağlanmasıdır. Uzman sistemlerde kullanılan bilgi gösterim metotları kurallar, semantik ağlar ve bilgi çerçeveleridir. Bilgi gösterimini etkileyen elemanlar semboller, ifadeler, syntax, semantik ve gerçeklerdir. Semboller, belirli bir anlam oluşturan karakter topluluklarıdır. İfadeler, sembollerin bir araya gelmesi ile oluşan

düşüncenin gösterimidir. Syntax, sembollerin ifadeler içerisindeki yerleşim düzenini belirler. Semantik, oluşturulan ifadenin anlamını diğer bir deyişle bir ifadenin değerini gösterir. Gerçekler, bir olay hakkındaki bilinen kabuller ve ifadeler olarak tanımlanırlar. Gerçekler sistemin karar vermesini sağlayan temel taşlardır. ‘Türkiye’nin üç tarafı denizlerle çevrilidir.’ ifadesi ve ‘Oda sıcaklığı 20°C’dir.’ ifadesi gerçeklere örnek olarak verilebilir [57].

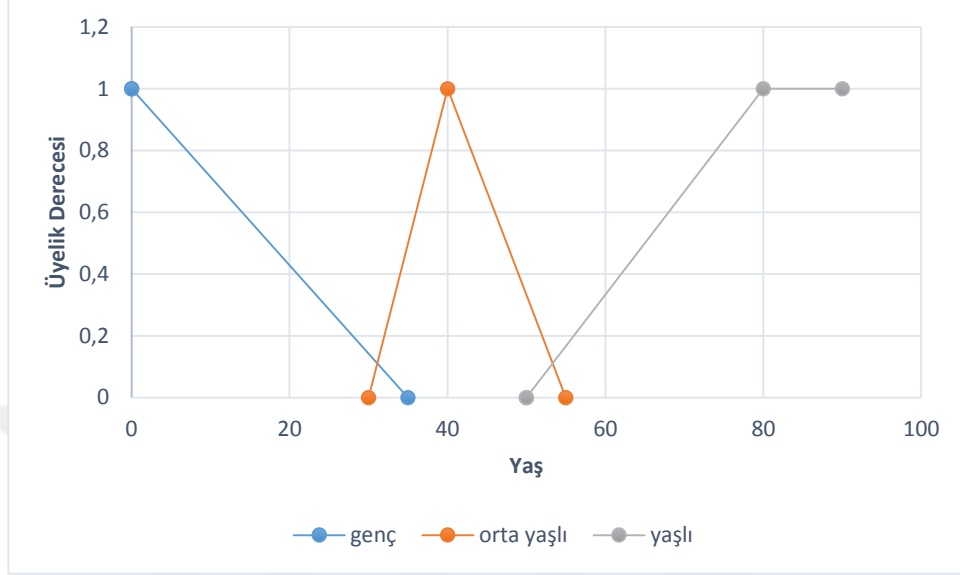
4.2.2. Bulanık mantık

Bulanık mantık, klasik kümelerin genelleştirilmiş halidir. Diğer bir deyişle, klasik mantık sıfır-bir temeline dayanırken bulanık mantık ise sıfır ile bir arasında sonsuz değer kümesi olduğunu esas alır. Bu değer kümesi de bulanık küme olarak adlandırılır. Bulanık mantık, doğal dildeki dilsel değişkenlere odaklanır ve net olmayan ifadeler için yaklaşık bir çıkarsama sağlar [63,64].

Bulanık mantığın çalışma prensibine daha iyi anlayabilmek için doğal dildeki bir kelime olan ‘yaş’ dilsel değişkeni ele alınsın. İnsanlar yaşlarına göre genç, orta yaşlı ya da yaşlı olarak gruplara ayrılabilirler. Fakat bu durumların hiçbirinin kesin bir sayısal karşılığı yoktur. Çünkü 15 yaşındaki bir kişi de 20 yaşındaki bir kişi de genç olarak ifade edilir. İşte burada devreye bulanık mantık girmektedir. Bulanık mantığa göre, 15 yaşındaki bir bireyle 20 yaşındaki bireyin genç grubu üyeliği farklılık göstermelidir. Bu farklılık, bulanık mantığa göre üyelik derecesiyle sayısal olarak ifade edilmiş olur. Yaş dilsel değişkeni ile ilgili grafik Şekil 4.2.’de yer almaktadır.

Aşağıdaki grafik incelendiğinde, yaş dilsel değişkenine ait genç, orta yaşlı ve yaşlı olmak üzere üç bulanık küme olduğu görülmektedir. Orta yaşlı bulanık kümesi incelendiğinde, 40 yaşın üyelik derecesi bir iken 45 yaşın üyelik derecesi yaklaşık olarak 0,8’dir. Bu örnekten, bulanık kümelerdeki her bir elemanın üyelik derecelerinin farklı olabileceği anlaşılmaktadır. Bir bulanık kümede, kümeyi ait her bir elemanın o küme için üyelik derecesini ifade eden fonksiyona üyelik fonksiyonu adı verilir. Grafikteki üyelik fonksiyonları incelendiğinde, üyelik fonksiyonlarının birbirleriyle kesiştiği görülmektedir. Bu durum, bir elemanın birden fazla bulanık kümeye ait

olabileceğini göstermektedir. Örneğin 33 yaş hem genç bulanık kümesine hem de orta yaşlı bulanık kümesine farklı üyelik dereceleri ile dahildir.



Şekil 4.2. Yaş dilsel değişkeninin bulanık kümeleri

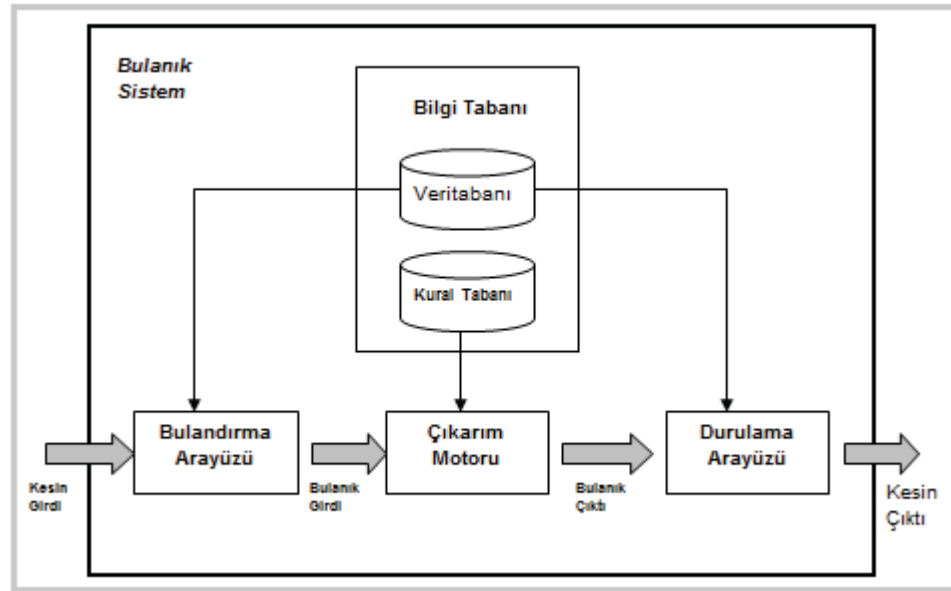
Bulanıklık, bir problemle ilgili değişkenleri veya kavramları tanımlarken kelimelerin sebep olduğu belirsizliktir. Özellikle insan düşünce, değerlendirme ve yargılarının önem arz ettiği durumlarda olmak üzere hayatın birçok alanında karşılaşılmaktadır [65].

4.2.3. Bulanık uzman sistem

Uzman sistemlerin en önemli dezavantajlarından biri, mantıksal bağlaçlarla bağlı öncüllerin işlenmesinde ve çıkarsama aşamasında ikili Aristo mantığı kullanmalarıdır. Bundan dolayı, kural tabanında yer almayan bir durum söz konusu olduğunda çözüme ulaşmakta başarısız olurlar. Örneğin; eğer vücut kütle indeksi (VKİ) = 24 ise obezite düşüktür gibi bir kural olduğunda, bu kural uygulanırken 24 den küçük veya büyük bir VKİ oranı söz konusu olduğunda uzman sistem bu kuralı uygulayamaz. Çare olarak karşılaşılabilecek her farklı durumun kural tabanına girilmesi gerekir. Bu, sistemin geliştirilmesini zorlaştıran, sistemin çalışmasını yavaşlatan ve karmaşıklaştıran bir durumdur. Uzman sistemlerde ikili mantık kullanılmasının yarattığı bir başka sorun da, öncüllerde ele alınan değişkenlerde ufak bir değişikliğin, yapılan çıkarsamayı

tamamen değiştirmesidir. Örneğin VKİ oranı 25 olduğunda obezite düşüktür sonucu yerine obezite ortadır gibi bir çıkarsama yapılacaktır. Fakat uzman sistemde kurallardaki karşılaştırma ve çıkarsama işlemleri bulanık mantık kullanılarak yapıldığında uzman sistemler çok daha etkin ve doğru çıkarsamalar yapar hale gelmektedirler. Bu durumda uzman sistemler, kural tabanında aynen ifade edilmeyen durumlar için de çıkarsama yapabilir hale gelmektedirler. Ayrıca bir problemin çözümünde o probleme uygun değişik kuralları ve gerçekleri kısmi olarak kullanarak, probleme en uygun çözümü üretebilmektedirler. Ortaya çıkan bu teknoloji ise bulanık uzman sistem olarak adlandırılmaktadır [66].

Bulanık uzman sistemin yapısı Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Bulanık uzman sistemin yapısı [66]

Bulanık uzman sistemin ilk adımı girdi değişkenlerini belirlemek ve girdi değerlerini bulanıklaştırmaktır. Bulanıklaştırma, belirlenen girdi değişkenlerinin sahip olduğu bilgileri kullanarak dilsel niteleyiciler olan bulanık değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik fonksiyonlarının kullanımı sayesinde tüm girdi bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeleri ve üyelik derecelerini tespit ettikten sonra girilen sayısal değerlere düşük, orta ve yüksek gibi dilsel değişken değerleri atanır. Üyelik fonksiyonları, uzmanlar tarafından elde edilen bilgiler kullanılarak oluşturulur. İkinci adım olarak uzman

bilgisi yardımıyla bilgi tabanı oluşturulur. Bilgi tabanı veri tabanı ve kural tabanı olarak iki kısma ayrılır. Veri tabanı; girdi ve çıktı değerlerinin dilsel tanımlarını, üyelik fonksiyonlarını, değişkenlerle ilgili bilgileri ve bulanık mantık kontrolünde kullanılan bulanık işlemlerin tanımlarını kapsar. Kural tabanı; uzmanlar tarafından belirlenmiş denetim kurallarını içerir. Bu kurallar, girdi ve çıktı değerleri arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. Kurallar, girdi değişkenlerinin tanımlandığı ‘eğer’ ve çıktı değişkenlerinin tanımlandığı ‘ise’ komutlarıyla oluşturulur. Üçüncü adım olarak uzman bilgisinden yararlanılarak oluşturulan kurallara göre elde edilen değerler bulanık çıkarım motorunda işlenir. Çıkarım mekanizması veya çıkarım motoru olarak adlandırılan bu ünite kontrol aşamasının yürütüldüğü ve karar vermenin gerçekleştiği ana bloktur. Bilgi tabanına erişerek aldığı bulanık kurallar ile bulanıklaştırma ara biriminden edindiği bulanık girdileri işleyerek kontrol aksiyonuna karar verir. Seçilen mantıksal çıkarım mekanizmasıyla kontrol aksiyonuna karar verildikten sonra bulanık sonuçlar elde edilir. Son adım olarak da bulanık çıktı değerleri durulaştırma ünitesine gönderilerek net değerleri elde edilir.

4.3. Deney Tasarımı ve Taguchi Tekniği

Deney tasarımı, 1920’lerde istatistik bilimine büyük katkılar sağlamış olan istatistikçi Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Fisher, deney verilerinin analizi olarak Varyans Analizi (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Deney tasarımının imalat sektöründe uygulanması oldukça yeni sayılır. İmalat sanayinde deney tasarımı uygulamalarında Genichi Taguchi’nin oldukça büyük katkıları olmuştur.

Bağımsız değişkenlerin farklı şartlarda bağımlı değişkenlere olan etkisini incelemeyi hedef alan ve bunun için farklı tasarımlar ve çözümlemeler öneren istatistik dalına deney tasarımı adı verilir. Alternatif bir tanım olarak ise deney tasarımı, bir süreç için etkili olması olası değişkenlerin değerleri değiştirilerek bu süreç ile ilgili deneylerin yürütülmesi olarak ifade edilebilir. Farklı koşullarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki amaçlara ulaşmak için değerlendirilirler:

- Test edilen değişkenler içinde etkin olanlarının belirlenmesi.

- Belli bir aralıkta değişkenlerin çeşitli seviyelerinin etkililerinin belirlenmesi.
- Bir takım etkileşimlerin karşılaştırılması.
- Bir sürecin işleyişinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması.

Deney tasarımının ürün ya da süreç geliştirme amacıyla kullanılması birçok yarar sağlar. Hedef değer çevresindeki değişkenliğin azaltılması, süreç çıktılarında iyileşme sağlanması, toplam maliyette düşüş sağlanması, sağlanan bu yararlar örnek olarak verilebilir.

Deney tasarımında kullanılan temel kavramlar kalite (respons) değişkeni, faktör ve seviyedir. Kalite değişkeni, bir süreçte iyileştirme yapılacak olan değişkendir. Kalite değişkeni, çelik yay üretimi için çatlak yay yüzdesi, seramik imalatında seramik ürünlerin şekil bozukluğu, talaşlı imalatta üretilen parçanın yüzey pürüzlülüğü gibi farklı değişkenler olabilir. Oluşturulan deneylerde, kalite değişkenliğine etki eden değişkenler faktör olarak adlandırılır. Zaman, sıcaklık gibi nicel değişkenler faktör olabileceği gibi işçilerin veya makinelerin üretim üzerindeki etkileri gibi nitel değişkenler de faktör olabilir. Faktörlerin deneylerde alabilecekleri farklı değerler faktör seviyeleri olarak ifade edilir. Örneğin, seramik fırınındaki sıcaklık faktörünün 30° ve 40° olmak üzere iki farklı seviyesi ele alınabilir.

Deney tasarımı çalışmalarını toplam kalite yönetimi çatısı altında yürütebilmek için bir deney tasarımı takımı oluşturmak uygun olacaktır. Bu takım, çalışma prensibi olarak PUKO (planla, uygula, kontrol et, önlem al) döngüsünü benimser. Takım elemanlarının sürekli iyileştirme yöntemleri hakkında bilgi sahibi olması çalışmanın doğruluğuna ve verimliliğine doğrudan katkı sağlayacaktır.

Deney tasarımı uygulamasında takip edilmesi gereken basamaklar aşağıda verilmiştir:

- Kalite probleminin tanımlanması: Bunun için ilk olarak kalite değişkeni belirlenmelidir. Kalite değişkenlerinin ölçülebilir yani nicel olması gerekir. Eğer kalite değişkeni olarak nitel bir değişken belirlenecek ise bunun için

birkaç kişilik bir grup kurup nitel değişkenin çıktısı bu grup tarafından puanlanmalıdır.

- Kalite değişkenini etkilemesi muhtemel tüm faktörlerin listesinin çıkarılması: Ürün ve süreç ile ilgili bir akış çizelgesi oluşturulup bu çizelgeyle ilgili birimlerden görüş alınması bu listenin doğru bir şekilde oluşturulmasında büyük katkı sağlayacaktır.
- Listesi çıkarılan faktörlerden deneyde incelenecek olanların belirlenmesi: Deneyde yer alacak faktörlerin değerleri değiştirilebilir olmalıdır yani kontrol edilebilir olmalıdır.
- Deneyde incelenecek faktörler arasında muhtemel etkileşimlerin tespiti ve deneyde incelenmesine karar verilmesi.
- Deneyde yer alacak faktör sayısına göre bir tasarım matrisinin belirlenmesi.
- Her faktör için seviye değerlerinin belirlenmesi: Alt ve üst seviye birbirine yakın olursa yani aralık dar olursa faktörün etkisi net olarak görülmeyebilir. Aralık çok büyük belirlenirse diğer faktörlerin etkilerinin tespit edilmesi zorlaşabilir.
- Faktörlerin tasarım matrisi kolonlarına atanması.
- Tasarım matrisini kullanarak uygulanacak faktör seviye kombinasyonlarının belirlenmesi.
- Rassallaştırma yaparak deneyin uygulama sırasının tespit edilmesi.
- Deneyin uygulama planının yapılması (personel seçimi, zaman, ölçme yöntemi vb.) ve faktör seviye kombinasyonlarının uygulama grubuna verilmesi. (Büyük bir olasılıkla uygulama grubunda takım üyelerinin bir bölümü yer alacaktır.)
- Deneyin uygulanması ve kalite değişkeni Y'nin değerlerinin alınması.
- Etki değerlerinin hesaplanması.
- Olasılık grafiği oluşturarak istatistiksel olarak önemli etkilerin belirlenmesi.
- Varsa önemli etkileşimler için ayrı grafikler çizilerek yorumlanması.
- Önemli olan etki ve etkileşimler göz önünde bulundurularak kalite değişkeni için en uygun olacak faktör seviyelerine göre kalite değişkenin beklenen değerinin bulunması.
- Belirlenen düzeylerde deneyler yaparak sonuçların doğrulanması.

Etkili bir deney tasarımı bulması istenen özellikler ve bu özellikleri sağlamak için takip edilmesi gereken yöntemler aşağıda yer almaktadır:

- Deneyin kapsamı, amacı açık şekilde tanımlanmış olmalıdır. Kapsamın tanımlanması, deneyin gerektirdiği tüm ayrıntıların deney tasarımı ekibi tarafından biliniyor olmasını ifade eder. Ayrıca faktörlerin ve seviyelerinin seçimini, deneyde kullanılacak malzeme, ekipman ve prosedürlerin seçimini, ölçüm metodunun belirlenmesini gerektirir.
- Mümkün olduğunca faktörlerin etkilerinin diğer değişkenlerle karıştırılmamasına dikkat edilmelidir. Uygun bir deney örneğinin seçimi kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerinden arındırılmasına ve analiz sonuçlarının basitleştirilmesine yardım eder.
- Deneyin mümkün olduğunca sebebi bilinen ya da bilinmeyen sapmalardan arındırılması gerekir. Rassallaştırmanın kullanımı sapmaların önlenmesine yardımcı olur.
- Deneylerin, deneysel hata sapmalarının (varyans) ölçümüne elverişli olması gerekir. Tekrarlı deneylerin yapılması varyansın ölçümünü, rassallaştırma da deneyin geçerliliğini mümkün kılar.
- Deneyin doğruluğu sonuçların belirlenen amaçları sağlamasıyla mümkündür. Doğruluğun artırılması ölçümlerin hassaslığı ve deneylerin tekrarıyla gerçekleştirilir [67].

4.3.1. Taguchi deney tasarımı yaklaşımı

Deney tasarımı daha önceleri ortaya konmuş bir yöntem olmakla birlikte, bu yöntemi ürün ve performanstaki varyansın azaltılması açısından ele alan kişi Taguchi olmuştur. Taguchi, deney tasarımının, çevre şartları açısından güçlü ürün üretilmesi, varyansın en küçüklenmesi, ürünlerin ömrü hakkında yapılan testler gibi konularda önemli olduğunu ifade etmiştir.

Taguchi deney tasarımında faktörler iki gruba ayrılarak ifade edilebilir. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen faktörlerdir. Tasarım mühendisi ya da süreç

mühendisi tarafından değerleri ortaya konulabilen faktörler, kontrol edilebilen faktörlerdir. Bu faktörler maliyet, sinyal ve varyans kontrol faktörleri olarak gruplandırılabilirler. Maliyet faktörleri ekonomik şartlara göre tespit edilen faktörlerdir. Sinyal faktörleri, ortalama tepki seviyesine etki eden faktörlerdir. Tepkideki varyansa etki eden faktörler varyans kontrol faktörleri olarak adlandırılır. Kontrol edilemeyen faktörler ise üretim ortamı ile alakalı varyansın kaynağıdır. Ürün performansı gürültü faktörlerinden etkilenmemeli ya da olabildiğince az etkilenmelidir.

Taguchi deney tasarımının geleneksel deney tasarımlarından farkı daha az sayıda deney yaparak uygun sonuçlara daha kısa sürede ve daha az maliyetle ulaşmaktır. Taguchi bu amaçla ortogonal dizilerden yararlanmaktadır. Taguchi deney tasarımı aşağıdaki temel adımları içerir:

- Analiz edilecek problemin belirlenmesi.
- Ölçüm sisteminin ve performans karakteristiklerinin belirlenmesi.
- Performansı etkileyen faktörler ve seviyelerinin belirlenmesi.
- Faktörlerin hata ve kontrol faktörleri şeklinde gruplanması.
- Faktörler arası etkileşimlerin belirlenmesi.
- Uygun ortogonal dizinin seçilmesi.
- Kontrol faktörleri için doğrusal bir grafik çizilmesi.
- Faktör ve etkileşimlerinin sütunlara atanması.
- Performans istatistiklerinde kayıp fonksiyonunun belirlenmesi.
- Deneylerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların kayıt altına alınması.
- Veri analizi yapılarak etkin faktör ve seviyelerin belirlenmesi.
- Doğrulayıcı deneylerin yapılması [67].

4.3.2. Ortogonal diziler ve dizi seçimi

Ortogonal diziler ilk olarak Fisher tarafından ortaya konmuş olup, ilk uygulama çalışmaları deneylerdeki hataları kontrol etmek için kullanılmıştır. Taguchi ise sadece

ortalama sonuçlar üzerinde faktörlerin etkisini ölçmekle kalmayıp, aynı zamanda ortalama sonuçlardan değişimi de incelemiştir.

Ortogonalite, bir faktörün, bir başka faktöre bağımlı olmaksızın hesaplanabilmesi demektir. Bir faktörün etkisi, bir başka faktörün etkisini tahmin etmeyi bağlamaz. Ortogonal dizilerin birinci şartı, dengeli deneyler olmalarıdır yani, farklı deneme koşullarında, eşit sayıda deneme içermeleridir. Her kolonda, eşit sayıda deneme bulunmalıdır.

Ortogonal dizilerin kullanılması, eldeki bir faktör için en az sayıda deney yapılmasını sağlar. Matris işlemlerinde, ortogonal kolonlar arasındaki matematiksel ifadelerden yararlanılarak, deney sayısı oldukça önemli ölçüde düşürülür. Örneğin bir problemi etkileyen 13 faktör olsun ve her bir faktör için üç seviye belirlenmiş olsun. Bu durumda 1594323 adet farklı deney dizilişi mevcuttur. Taguchi deney tasarımı ise ortogonal dizi kullanılarak deney sayısı 27'ye dönüşebilir. Bu sayede faktörlerin ortalama etkilerini tespit edebilmek için az sayıda deney yeterli olmaktadır.

Ortogonal dizilerin seçiminde toplam serbestlik derecesi kriterinden yararlanılır. Tüm faktörlerin serbestlik dereceleri toplamı, toplam serbestlik derecesini verir. Ortogonal dizi seçiminde toplam serbestlik derecesine eşit ya da daha büyük bir dizi seçilir. Herhangi bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğidir. Ortogonal dizilerde kolonların serbestlik derecelerinin toplamından oluşan bir toplam serbestlik derecesi vardır. Her bir kolona ait serbestlik derecesi de o kolondaki seviye sayısının bir eksiğidir. Mesela bir grupta 7 faktör olsun ve her faktör de 2 seviyeli olsun. Bu durumda, toplam serbestlik derecesi 7 olacağından onun bir fazlası olan L8 seçilir. Ortogonal diziler latin karelerden türetildiği için latin kareyi ifade eden L harfi ile tanımlanırlar. Ana faktör etkilerinin yanı sıra etkileşimli faktörler de söz konusu oluyorsa bunu dikkate alarak uygun bir dizi seçmek gerekir. En basit olarak 2 faktör ve her biri iki seviye içeren deneyler için L₄ dizisi seçilir ve Tablo 4.1.'deki gibi yazılır.

Tablo 4.1. $L_4 (2^2)$ deneyi düzey kombinasyonları

Deneyler	Etkiler	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	2	1
4	2	2

Her biri iki seviyeli 7 faktör içeren bir deney için L_8 ortogonal dizisi faktörlerin alt seviyeleri 1, üst seviyeleri 2 olmak üzere Tablo 4.2.'deki gibi yazılır.

Tablo 4.2. $L_8 (2^7)$ deneyi düzey kombinasyonları

Deney	A	B	C	D	E	F	G	Sonuç
1	1	1	1	1	1	1	1	Y_1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y_2
3	1	2	2	1	1	2	2	Y_3
4	1	2	2	2	2	1	1	Y_4
5	2	1	2	1	2	1	2	Y_5
6	2	1	2	2	1	2	1	Y_6
7	2	2	1	1	2	2	1	Y_7
8	2	2	1	2	1	1	2	Y_8

Ortogonal diziler $L_A B^c$ şeklinde gösterilirler. Burada L latin kareyi, A deney sayısını, B faktör seviyelerini, c ise ortogonal dizideki kolon sayısını gösterir. Her deney tasarımında faktör seviyeleri eşit olmayabilir. Mesela $L_{54} (2^1 \times 3^{25})$ gösterimi 2 seviyeli 1, 3 seviyeli 25 faktör olduğunu, 54 deney yapılacağını ve kolon sayısının 26 olacağını ifade eder.

Taguchi performans istatistiği oranı (Signal/Noise) olarak adlandırdığı ve kısaca S/N olarak gösterilen bir kriterin kullanımının faydalı olacağını ifade etmiştir. Performans istatistiği, kontrol edilemeyen faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisinin araştırılmasında kullanılmaktadır. Böylece kontrol edilebilen faktörler için en uygun bileşenler elde edilebilmektedir.

Taguchi üç adet S/N oranı geliştirmiştir. Bunlar Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Sinyal Gürültü (S/N) oranlarının hesaplanması

Karakteristik tipi	S/N Oranı
En küçük en iyi	$-10 \log\left(\frac{1}{n} \sum y_i^2\right)$
Nominal en iyi	$-10 \log\left(\frac{\bar{y}}{s^2}\right)$
En büyük en iyi	$-10 \log\left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2}\right)$

S/N oranı büyüdükçe hedef değer etrafında ürün varyansı küçülmektedir. Tercih edilmesi gereken durumun tespitinde S/N'nin en büyük değeri dikkate alınır [67].

4.3.3. Faktör etkilerinin varyans analizi ile araştırılması

Ürün veya proses geliştirmenin amacı, müşteri beklentileri ve ihtiyaçları ile ilgili olan ürün veya prosesin performans karakteristiğini geliştirmektir. Ürün veya sürecin değişiminin kontrol edilmesi veya azaltılması ise deneylerin amacıdır. Ardından performansa etki eden parametrelerin neler olduğu ile alakalı bir karara varılmalıdır. Kalite konusundaki tartışmaların çoğunluğu varyans ile alakalı olduğundan deneysel veriler yorumlanarak gerekli sonuçlara varılmasında varyans analizine (ANOVA) başvurulmaktadır.

Varyans analizi, farklı grupların ortalama performansları arasındaki farklılığı belirleyebilmek için kullanılan istatistik bir tekniktir. Varyans analizi ile toplam varyasyon bileşenlerine ayrılır ve kareler toplamı, serbestlik derecesi, varyans vb. değerler hesaplanır.

Varyans analizi ile tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü varyans analizi yapmak mümkündür. Taguchi ortogonal dizileri iki ve üç kademeli olduğundan, bu durumda genellikle iki veya üç kademeli varyans analizi kullanılmaktadır [67].

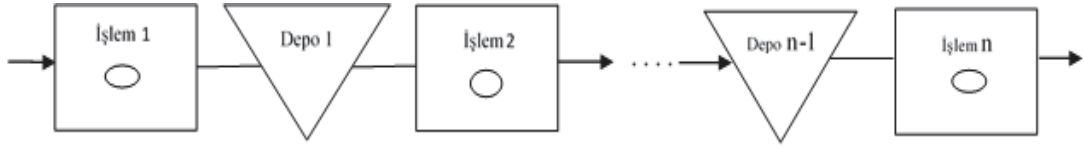
BÖLÜM 5. FIRSATÇI BAKIM POLİTİKASI TASARIMI VE UYGULAMASI

Bu bölümde, fırsatçı bakım kavramı ve geliştirilen fırsatçı bakım politikası açıklanmaktadır. Ayrıca geliştirilen fırsatçı bakım politikası kullanılarak gerçekleştirilen uygulama hakkında bilgi verilmektedir.

5.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, sürekli-proses tipi imalat sisteminde, makineler arasındaki depo (ara stok) doluluk oranlarını göz önünde bulundurarak sistemin toplam çıktısının en fazla olmasını sağlayacak bir bakım zamanı belirlenmeye çalışılmıştır. Genellikle sistem için önceden belirlenmiş bir önleyici bakım çizelgesi mevcuttur. Ancak çizelgedeki zamanda önleyici bakım uygulandığında depolardaki yarı mamül seviyesi sürecin durmasına sebep olacak bir seviyede olabilir. Sistemdeki herhangi bir makine için, önceki deponun boş ve sonraki deponun dolu olduğu an bakım yapmak için en uygun zamandır. Bu durumun tam tersi yani önceki deponun dolu ve sonraki deponun boş olduğu durum ise bakım yapmak için en kötü zamandır. Çünkü bu durumda sistem, bakım tamamlanana kadar duracaktır. Bu durumda şöyle bir düşüncede bulunulabilir; önleyici bakımı planlanan zamanından bir miktar önce ya da bir miktar sonra yapmak, bakım kaynaklı duruşu azaltabilir. Çünkü bu durumda, duruşun az olmasına imkân verecek depo doluluk oranları mevcut olabilir. Bu durumda da şöyle bir düşünce akla gelmelidir. Bakım zamanını planlanan zamanından öne çektiğimizde arızaya yakalanma riski düşerken önleyici bakımların sayısı planlanan çizelgedekinden fazla olabilir. Bakım zamanını planlanan zamanın sonrasına çektiğimizde ise arızaya yakalanma riski artarken önleyici bakımların sayısı planlanan çizelgedekinden az olabilir. Bundan dolayı, sistemdeki makinelere ait önleyici bakımların zamanlarının öncesine ya da sonrasına çekilmesi öyle bir oranda ayarlanmalıdır ki sistemin toplam duruş süresi minimum ve toplam çıktı miktarı maksimum olsun. Bu sebeple, bu

çalışmada, sistemdeki makinelere ait önleyici bakımların zamanlarının öncesine ya da sonrasına çekilmesine karar verecek ve bu zaman değişiminin miktarını belirleyecek bulanık uzman sistem tabanlı bir fırsatçı bakım politikası geliştirilmiştir.



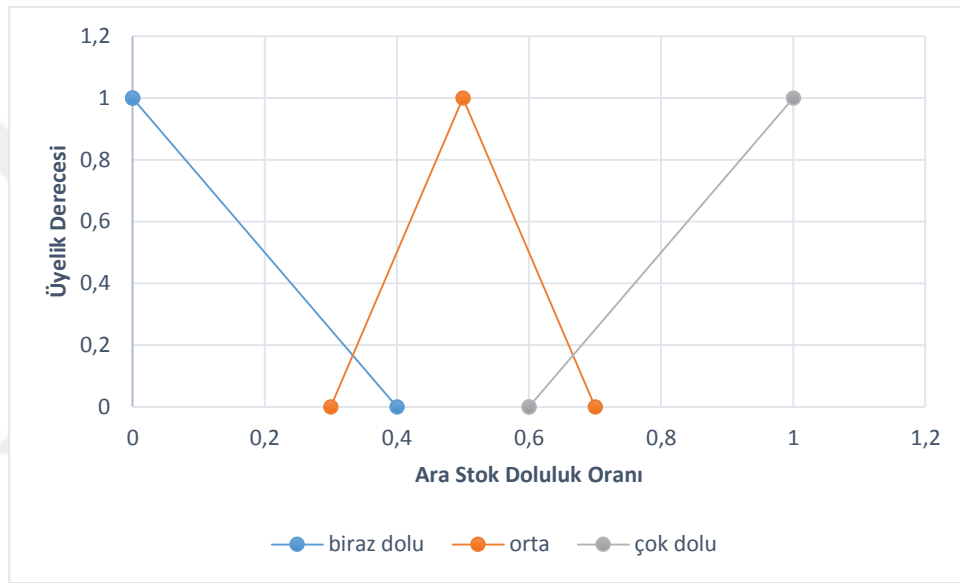
Şekil 5.1. Sürekli-proses tipi imalat örneği

5.2. Geliştirilen Fırsatçı Bakım Politikası ve Simülasyon Programı

Geliştirilen fırsatçı bakım politikası sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde daha önceden belirlenmiş olan önleyici bakım zamanının sistemdeki ara stokların doluluk oranları ve önleyici bakıma kalan zaman göz önünde bulundurularak değiştirilmesini hedefler. Böylece, bakım kaynaklı duruşların azalması ve buna bağlı olarak da sistemin toplam çıktısının artması amaçlanmaktadır. Fırsatçı bakım politikası oluşturulurken dört farklı girdi değişkeni ve bir çıktı değişkeni tanımlamıştır. Bunlar, bakım zamanına karar verilecek makineden önceki ara stok, sonraki ara stok, fırsatçı bakım kontrol aralığı, ilgili makinenin önleyici bakım zamanına kalan süre ve çıktı değişkeni olarak da fırsatçı bakım zamanıdır. Bu değişkenlerden bir tek fırsatçı bakım kontrol aralığı değişkeninin değeri kesinlik içerir. Örneğin bir makine için önleyici bakım zamanının beş yüzüncü saat olduğu varsayalım. Fırsatçı bakım kontrol oranı değerinin ise 0,1 olduğu kabul edilsin. Bu durumda, fırsatçı bakım politikası planlanan bakım zamanının 50 ($500 \times 0,1$) saat öncesinden 50 saat sonrasına kadar çalışacaktır. Diğer değişkenler ise klasik ikili mantık kullanımı için pek uygun değildir. Bunun sebebi şu örnekle açıklanabilir. Ara stok doluluk oranlarının üç kümeye ayrıldığı düşünülün. Bu kümelerin düşük kümesi, orta kümesi ve yüksek kümesi olduğu varsayalım. Düşük kümesinin %1 ile %30 arasında değer aldığı kabul edilsin. Bu durumda %2 doluluk oranı da %25 doluluk oranı da düşük kümesine ait olacaktır. Bu iki doluluk oranının sistemin çalışmasına olan etkisi farklı olacağından, bu farklılığı yansıtmayı sağlayacak bir küme üyeliği belirlenmesi gerekir. İşte bu küme üyeliği bulanık mantık kullanılarak her bir küme için üyelik dereceleri ile ifade edilir. Fırsatçı bakım politikasının bakım zamanının değiştirilmesine karar verebilmesi için depoların

doluluk oranları bilgisine ve planlanmış olan önleyici bakıma kalan süre bilgisine ihtiyacı vardır. Bu bilgiler bir karar mekanizmasında işlenerek bakım zamanının değiştirilmesine karar verilecektir. Bu iş için en uygun karar mekanizmasının bilgi tabanlı sistemler olduğu söylenebilir. Tüm bu sebeplerden dolayı, fırsatçı bakım politikası geliştirilirken bulanık uzman sistem yaklaşımı kullanılmıştır.

Fırsatçı bakım politikasının değişkenlerinden olan önceki ara stok ve sonraki ara stok değişkenlerinin bulanık kümesi örnek olması açısından Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Fırsatçı bakımda ara stok değişkenlerinin bulanık kümesi

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde, önceki ara stok ve sonraki ara stok değişkenlerine ait üç bulanık küme yer aldığı görülmektedir. Fırsatçı bakım politikasının bulanık mantık ile ifade edilen diğer değişkenlerinde de üç bulanık küme yer almaktadır. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu olarak üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Fırsatçı bakım politikasında, fırsatçı bakım kontrol aralığı değişkeninin değeri belirlenirken çok dikkatli olunmalıdır. Bu değer küçük belirlenmesi yakalanması muhtemel fırsatları kaçırmaya sebep olabilir. Bu değer çok büyük seçilmesi ise bakım zamanının çok öne alınmasına sebep olabilir. Bundan dolayı da gereğinden daha sık önleyici bakım yapmış olma durumu ile karşılaşılabilir. Bu sebeplerden dolayı,

farklı fırsatçı bakım kontrol aralığı değişken değerleri belirlenip, bu değerlerin sağladıkları sistem performansları test edilerek uygun değer belirlenir.

Bu çalışmada, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde, önerilen fırsatçı bakım politikasının toplam üretim miktarına olan etkisi araştırılmıştır. Diğer bir deyişle, gerçekleştirilen bu çalışma ile, fırsatçı bakım politikası, toplam çıktı miktarı açısından sürekli-proses tipi imalat sistemlerinin performansına olumlu katkı sağlıyor mu, eğer olumlu katkı sağlıyorsa hangi şartlar altında olumlu katkı sağladığının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bunun için, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinin performansını doğrudan etkileyen faktörler belirlenmeli ve bu faktörlerin farklı değerleri için fırsatçı bakım politikasının etkisi incelenmelidir. Bu durum, farklı sürekli-proses tipi imalat sistemlerinin oluşturulmasını ve farklı sistemler için fırsatçı bakım politikası kullanılarak deneyler yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu iş için en uygun yöntemin simülasyon tekniği olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Çalışma kapsamında, bakım türü, makinelerin arıza dağılımı, imalat sisteminin uzunluğu, arıza bakım maliyetinin önleyici bakım maliyetine oranı ve ara stok kapasitesi sürekli-proses tipi imalat sistemlerinin performansını doğrudan etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir. Bu faktörlere göre farklı imalat sistemleri tasarlanarak bunların simüle edilmesi amaçlanmıştır. Simülasyon deneylerinin gerçekleştirilmesi için ilk olarak mevcut simülasyon yazılımları incelenmiştir. Mevcut yazılımların, simülasyon yürütülürken simülasyondaki değişkenlerin değerlerinin sürekli kontrol edilmesi ve anlık güncellenmesi açısından dezavantaj içerdiği görülmüştür. Ayrıca, fırsatçı bakımın temelini oluşturan bulanık uzman sistemin mevcut yazılımlara entegrasyonu ile alakalı da bir takım zorluklarla karşılaşmıştır. Bu sebeplerden dolayı, simülasyon programı yazmanın daha uygun olacağına karar verilmiştir. Bu kararın ardından, programın yazılım dilinin seçimi aşamasına geçilmiştir. C# programlama dilinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca bu dilin, AForge.NET (<http://www.aforge.net.com/>) adlı bulanık mantık ile ilgili kütüphaneye sahip olduğu görülmüş ve bu kütüphanenin program içerisinde bulanık uzman sistemin tasarımını kolaylaştıracağı düşünülmüştür. Bununla birlikte, istatistiksel dağılımlara uygun olarak rassal değer üretebilmek için Math.NET Numerics

(<https://numerics.mathdotnet.com/>) adlı bir kütüphane mevcuttur. Bu sebeplerden dolayı, simülasyon programının yazım dili olarak C# seçilmiştir.

Simülasyon programının yazımına başlamadan önce simülasyon modelinin oluşturulması gerekir. Simülasyon modeli oluşturulurken modelde yer alacak değişkenler, modele ait kabuller ve modelin performans kriterleri belirlenmiştir.

Modelin değişkenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Makine sayısı
- Ara stok sayısı
- Her bir makine için ömür süresi
- Her bir makine için onarım süresi
- Ara stok kapasitesi
- Ara stok başlangıç miktarı
- Makine hızı
- Simülasyon modeli için çalışma zamanı
- Önleyici bakım periyodu
- Önleyici bakım süresi
- Fırsatçı bakım kontrol oranı

Modeli ait kabuller aşağıda yer almaktadır:

- Tüm makineler özdeş
- Tüm ara stoklar özdeş
- Sistemin girdi ve çıktısının hacmi aynı
- Bakım ekibi kısıtı yok
- Makine onarım süresi sabit
- Ara stok başlangıç seviyesi ara stok kapasitesinin yarısı

Modelin performans kriteri ise toplam çıktı miktarıdır.

Fırsatçı bakım politikasına uygun olarak çalışacak olan simülasyon modelinin akış şeması Şekil 5.3.'te yer almaktadır. Modelin akış şeması incelendiğinde zaman artırımlı simülasyon modelinin tercih edildiği görülmektedir. Modelde olayların aynı anda gerçekleşme ihtimalinin bulunması ve modeldeki değişkenlerin değerindeki anlık değişimlerin bir sonraki olayın gerçekleşme durumunu etkilemesi zaman artırımlı simülasyon modelinin tercih edilmesine sebep olmuştur. Model, değişkenlerin başlangıç değeri ile çalışmaya başlar. Model, içinde bulunduğu zamanda herhangi bir olayın gerçekleşip gerçekleşmediğini her bir makine için kontrol eder. O zaman birimi içerisinde gerçekleşen bir olay varsa bu olayla ilgili gerekli işlem yapılır. Bu işlemin yapılmasından sonra ya da bu zaman biriminde herhangi bir olay yoksa bir sonraki zamana geçmeden önce simülasyon modelinin akışı güncellenir. Bir başka deyişle, modeldeki tüm değişkenlerin değeri güncellenir. Ardından bir sonraki zamana geçilir ve bir önceki zaman diliminde gerçekleştirilen işlemlerin hepsi aynı şekilde gerçekleştirilir. Simülasyon zamanı, sistemin arzu edilen çalışma zamanına ulaştığında simülasyon durdurulur.

Geliştirilen simülasyon programının ana çalışma ekranı Şekil 5.4.'te verilmiştir. Ana çalışma ekranına bakıldığında bakım politikası kısmının seçmeli olduğu görülmektedir. Simülasyon programı, kullanışlı olması açısından hem arıza bakımı politikasına, hem önleyici bakım politikasına, hem de fırsatçı bakım politikasına uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Hangi bakım politikası seçilir ise o bakım politikası ile ilgili değişkenler programın ana ekranında aktif olmaktadır. Örneğin arıza bakımı politikası seçildiğinde fırsatçı bakım kontrol oranı değişkeni bu politikada kullanılmadığı için aktif olmaz. Ardından makine sayısı, makine hızı, ara stok kapasitesi, ara stok başlangıç seviyesi, önleyici bakım periyodu, önleyici bakım süresi, makine ömrünün belirlenmesi için η , β ve γ gama parametreleri, makine onarım süresinin belirlenmesi için μ ve σ parametreleri ve fırsatçı bakım politikasında kullanılan fırsatçı bakım kontrol oranı değeri ana ekran üzerinden belirlenir. Weibull dağılımı makinelerin farklı arıza davranışlarını iyi temsil ettiği için makinelerin ömür değerleri bu dağılıma göre belirlenmiştir. Weibull dağılımına göre rassal ömür değeri aşağıdaki eşitlik (Denklem 5.1) kullanılarak türetilmiştir.

$$X = \gamma + \eta(-\ln(RS))^{1/\beta} \quad (5.1)$$

X weibull dağılımına göre türetilen ömür değerini, RS $[0,1]$ aralığında seçilen rassal sayıyı ifade etmektedir.

Modelde onarım süreleri sabit olmasına rağmen farklı uygulamalarda kolaylık olması açısından onarım süresinin normal dağılıma göre belirlenebilir olması sağlanmıştır. Normal dağılıma göre rassal onarım süresi değeri aşağıdaki eşitlikler (Denklem 5.2, Denklem 5.3, Denklem 5.4) kullanılarak türetilmiştir.

$$Z_1 = (-2 \ln R_1)^{1/2} \cos(2\pi R_2) \quad (5.2)$$

$$Z_2 = (-2 \ln R_1)^{1/2} \sin(2\pi R_2) \quad (5.3)$$

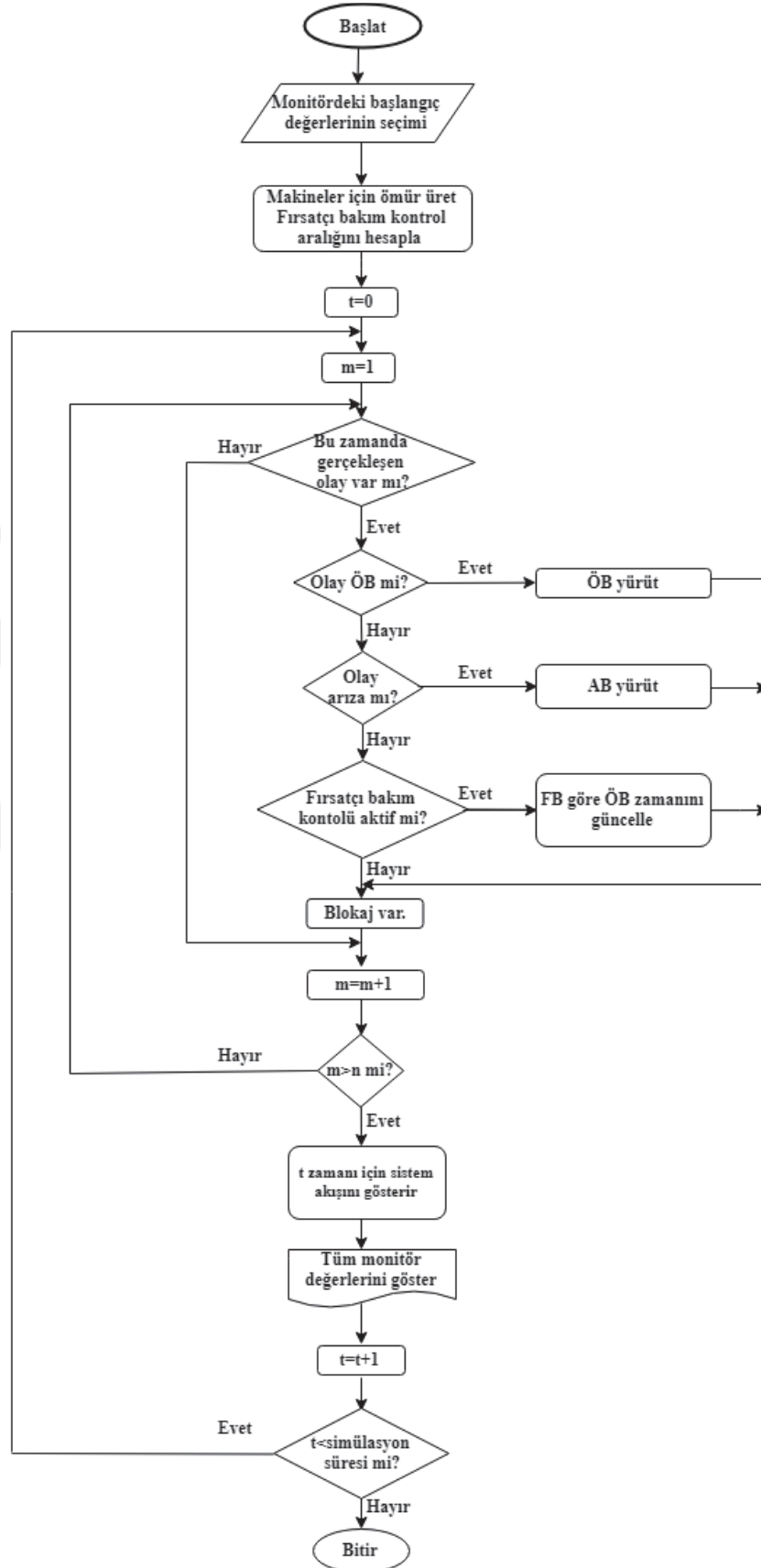
$$X_i = \mu + \sigma Z_i \quad (5.4)$$

Z_1 ve Z_2 iki standart normal rassal değişkeni, R_1 ve R_2 $[0,1]$ aralığında seçilen rassal sayıları, i sıra numarasını, μ normal dağılımın ortalamasını, σ normal dağılımın standart sapmasını ifade etmektedir.

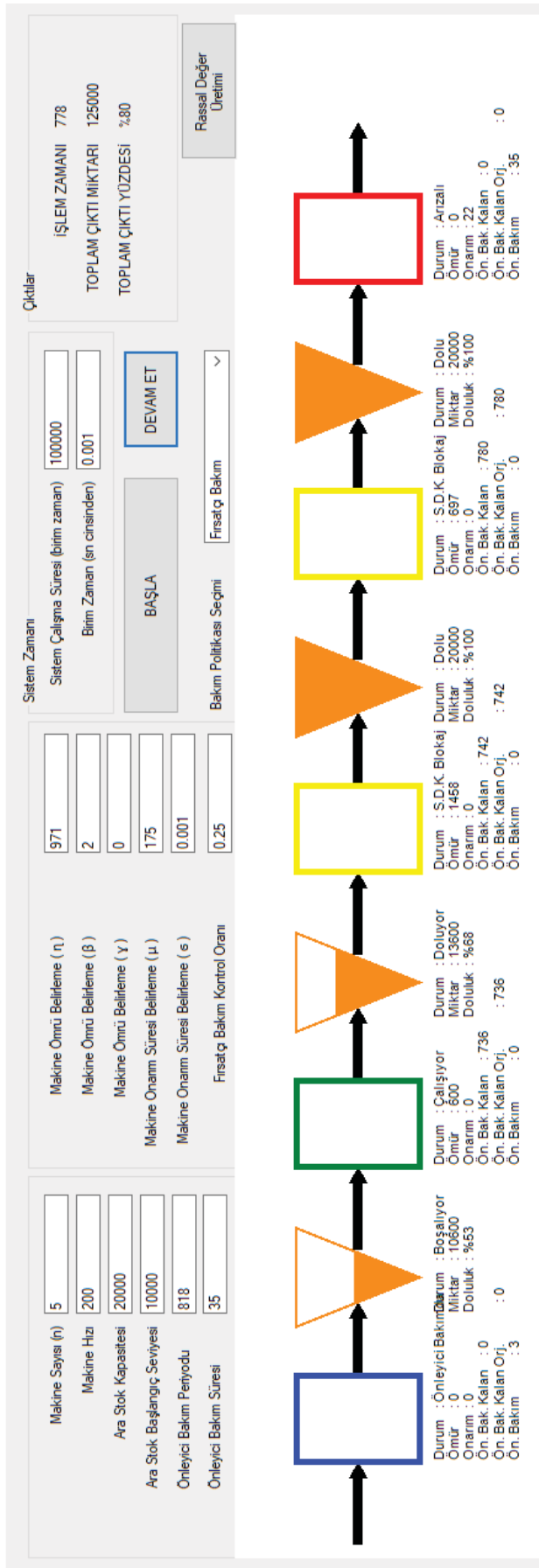
Ana ekrandaki sistem çalışma süresi kısmından simülasyonun çalışması istenen sürenin girişi yapılır. Oluşturulan simülasyon modeli için birim zaman saat cinsindendir. Bir alt satırda yer alan birim zaman ise simülasyon programının çalışma hızının ayarlanmasını sağlamaktadır. Örneğin birim zaman kısmına 0,1 yazılırsa bu, simülasyon programının saniyede on birim zaman ilerleyeceği anlamına gelmektedir. Ana ekrandaki tüm değerler girildikten sonra başlat tuşu ile simülasyon başlatılır. Simülasyon programı çalışmaya başladıktan sonra ana ekranda şekiller ortaya çıkar. Bu şekillerden kare makineyi, üçgen ara stoğu, ok ise sistemin akış yönünü temsil eder. Makineleri temsil eden kare şekli program çalışırken farklı renkler alır. Karenin aldığı bu renklerden yeşil, makinenin çalıştığını, mavi, makinenin önleyici bakımda olduğunu, kırmızı, makinenin arıza bakımında olduğunu ve sarı, makinenin bloke olduğu anlamına gelir. Bir makinenin bloke olması, makinenin arızalı olmadığı, bakımda olmadığı fakat ara stok seviyelerinden dolayı bekleme konumunda olduğu anlamına gelir. Her bir makine ve ara stok simgesinin altında o makine ve ara stoğa ait bilgiler yer alır ve bu bilgiler simülasyon zamanı ilerledikçe güncellenir. Simülasyon,

herhangi bir anda detaylıca incelenmek istenirse duraklat tuşunu kullanarak durdurulabilir, tekrar aynı tuşla program kaldığı yerden çalışmaya devam edebilir. Ana ekranın sağ üst kısmında yer alan işlem zamanı simülasyonun mevcut zamanını ifade eder. Toplam çıktı miktarı ve toplam çıktı yüzdesi ise simülasyonun o işlem zamanındaki çıktı miktarını ve çıktı yüzdesini gösterir. Ayrıca ana ekranda rassal değer üretimi adında bir buton görülmektedir. Bu butona tıklandığında açılan sayfada weibull dağılımına göre ve normal dağılıma göre rassal değer üretilebilir.

Programın bilgi ekranından ise her bir makinenin durumu, kalan ömrü, kalan arıza bakımı süresi, toplam bekleme süresi, arıza bakımında geçen toplam süre, toplam blokaj süresi, önceki depo kaynaklı blokaj süresi, sonraki depo kaynaklı blokaj süresi ve önleyici bakımda geçen toplam süre görülebilir. Ara stokların ise ara stok durumu, ara stok miktarı ve ara stok doluluk yüzdesi bilgileri görülebilir.



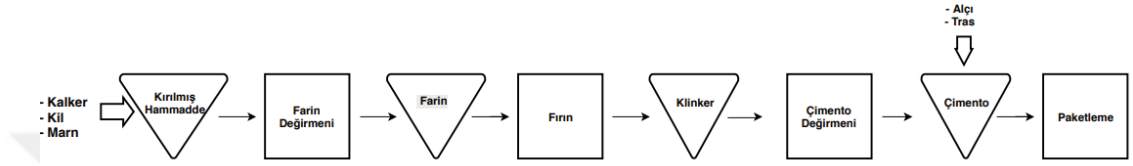
Şekil 5.3. Geliştirilen fırsatçı bakım politikasının akış şeması



Şekil 5.4. Geliştirilen zaman artırımı simülasyon programı

5.3. Uygulama

Burada şu hususu yeniden ifade etmek yerinde olacaktır. Bu çalışmada, fırsatçı bakım politikasının tüm sürekli proses tipi imalat sistemlerinde toplam çıktı miktarına olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sağlam temellere dayanması için çimento üretimi yapan bir fabrikanın üretim süreci incelenmiş ve verileri kullanılmıştır. Çimento üretimi gerçekleştirilen fabrikanın üretim sürecinin modeli Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Uygulamanın gerçekleştirildiği fabrikanın imalat süreci

Hammaddeler ocak bölgesinde taşıyıcı araçlara yüklenir. Ocaktan getirilen hammaddelerin boyutları tozsuzlaştırma ünitesi ile donatılmış bir çeneli kırıcıda 25×25 mm'ye düşürülür. Kırılan hammaddeler çeşitlerine göre stoklanır. Tozlar transfer noktalarındaki torbalı filtrelerle geri kazanılır. Alınan hammaddeler değirmende öğütülerek farin haline getirilir. En son ürün silolarda stoklanır. Farin silosunda tartılarak alınan farin siklonlardan oluşan bir ön ısıtıcı kuleye beslenir. Farin 30 dereceden 1000 dereceye kadar ısıtılarak %90 oranında kalsine olur. Bu, tamamen kapalı bir sistem olup çevreyi etkileyecek hiçbir madde yaymaz. Ön ısıtıcıdan gelen farin, döner fırında 1500 derecede pişirilerek granüle hale getirilir ve buna klinker denir. 1300 derecede fırından çıkan klinker soğutularak sıcaklığı 100 dereceye düşürülür. Silodan alınan klinker, alçı ve tras gibi katkı maddeleri ile birlikte çimento değirmenine gönderilir ve öğütülerek çimento haline getirilir. Silolardan alınan çimento, ya silobuslarla ya da paketleme makinelerinde torbalanarak piyasaya sevk edilir.

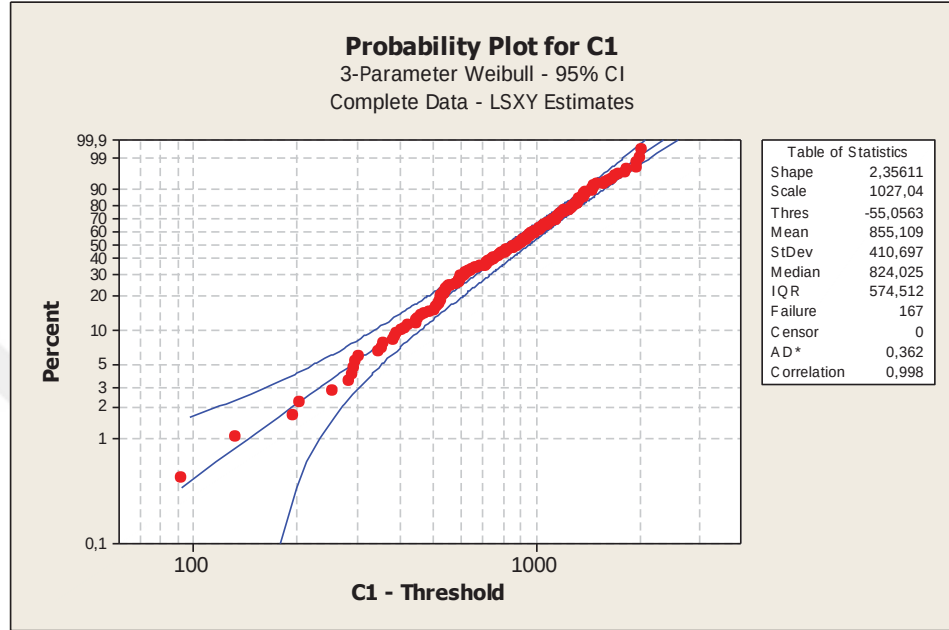
5.3.1. Makine arıza dağılımlarının belirlenmesi

Çimento fabrikasından temin edilen 167 adet makinelerin arızalar arası süre verileri Minitab programı ile analiz edilerek makine arıza dağılımı belirlenmiştir. Temin edilen veriler saat cinsinden olup Tablo 5.1.'de verilmiştir.

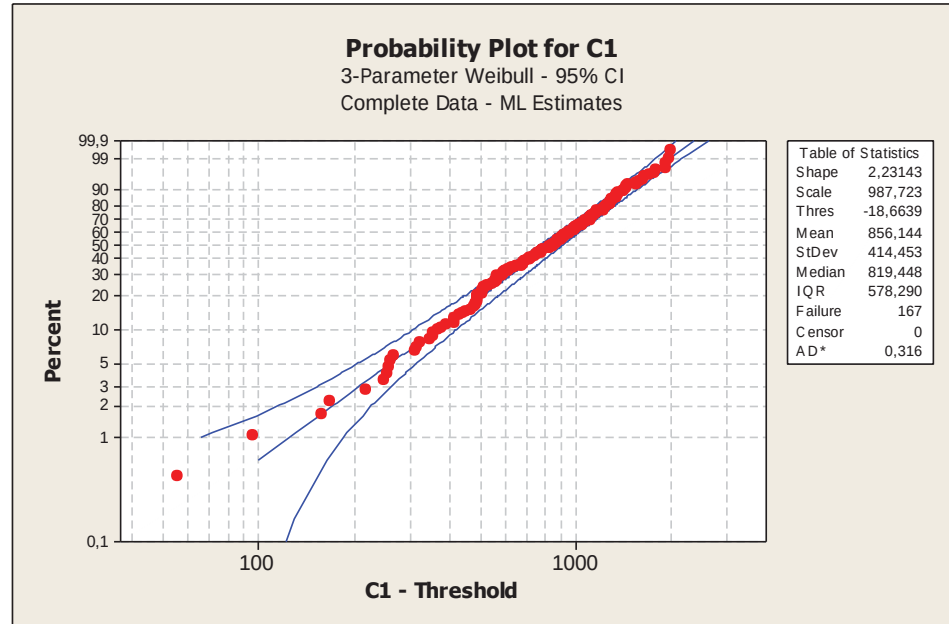
Tablo 5.1. Makinelerin arızalar arası süre verileri (saat cinsinden)

No	Veri	No	Veri	No	Veri	No	Veri	No	Veri	No	Veri
1	140	29	351	57	630	85	774	113	546	141	1400
2	902	30	738	58	808	86	1150	114	1407	142	512
3	539	31	493	59	1103	87	577	115	1058	143	420
4	1113	32	1117	60	1031	88	474	116	1234	144	836
5	1968	33	1638	61	1448	89	1528	117	1046	145	542
6	918	34	1099	62	825	90	1004	118	564	146	661
7	807	35	1425	63	1151	91	243	119	1568	147	1607
8	1423	36	700	64	697	92	474	120	888	148	487
9	1340	37	1090	65	618	93	330	121	1200	149	1259
10	883	38	1311	66	304	94	829	122	969	150	150
11	1294	39	469	67	1338	95	1284	123	850	151	397
12	1223	40	1100	68	760	96	1329	124	931	152	1538
13	450	41	660	69	546	97	473	125	771	153	946
14	410	42	1901	70	844	98	861	126	235	154	983
15	1678	43	1756	71	544	99	487	127	967	155	973
16	37	44	878	72	1130	100	724	128	238	156	993
17	914	45	833	73	901	101	571	129	856	157	579
18	1216	46	395	74	667	102	1322	130	1282	158	1090
19	337	47	593	75	1033	103	614	131	459	159	371
20	248	48	934	76	708	104	938	132	546	160	595
21	687	49	395	77	1278	105	661	133	730	161	890
22	1209	50	987	78	1006	106	474	134	1209	162	1258
23	497	51	1778	79	492	107	1400	135	858	163	804
24	1148	52	762	80	1320	108	229	136	358	164	464
25	78	53	729	81	1910	109	199	137	1131	165	432
26	571	54	1095	82	292	110	672	138	467	166	335
27	1055	55	1235	83	1271	111	677	139	299	167	506
28	1946	56	483	84	765	112	1027	140	529	168	

Minitab programında ilk olarak makine arıza verilerinin üç parametrelili weibull dağılımına uygunluğu analiz edilmiştir. %5 anlam düzeyinde hem en küçük kareler yöntemine göre hem de maksimum olabilirlik yöntemine göre weibull dağılımının parametreleri tahmin edilmiş ve tahmin sonuçları Şekil 5.6. ve Şekil 5.7’de verilmiştir.



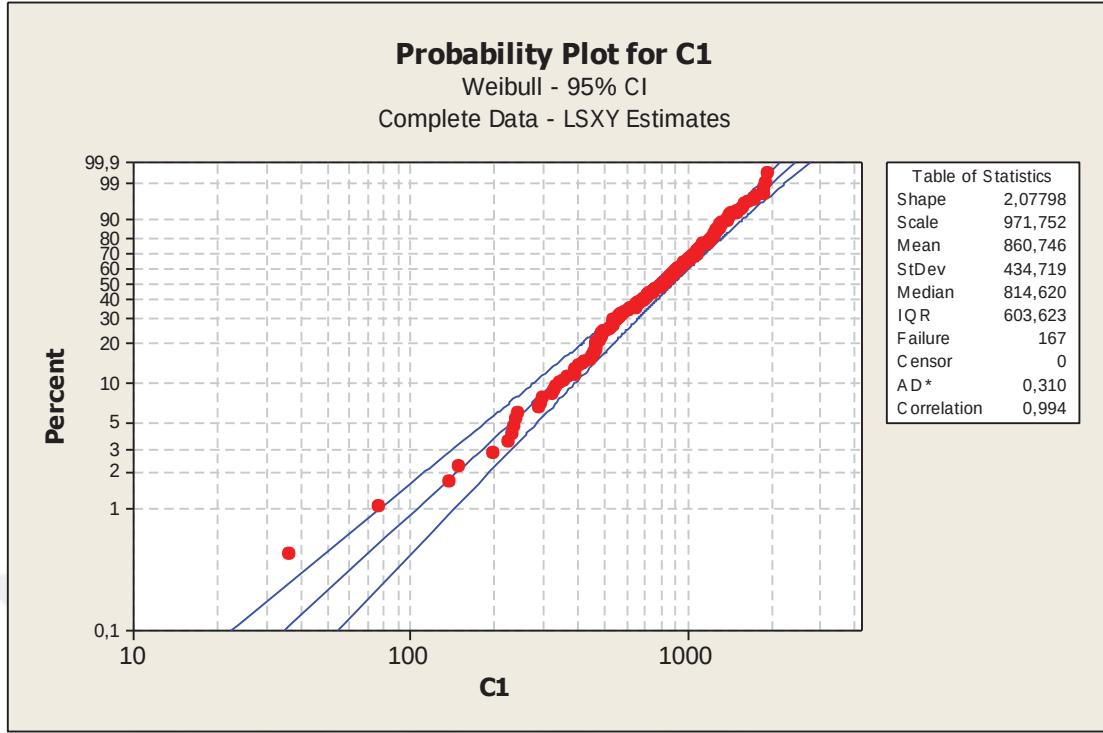
Şekil 5.6. En küçük kareler yöntemi parametre tahmini (üç parametrelili)



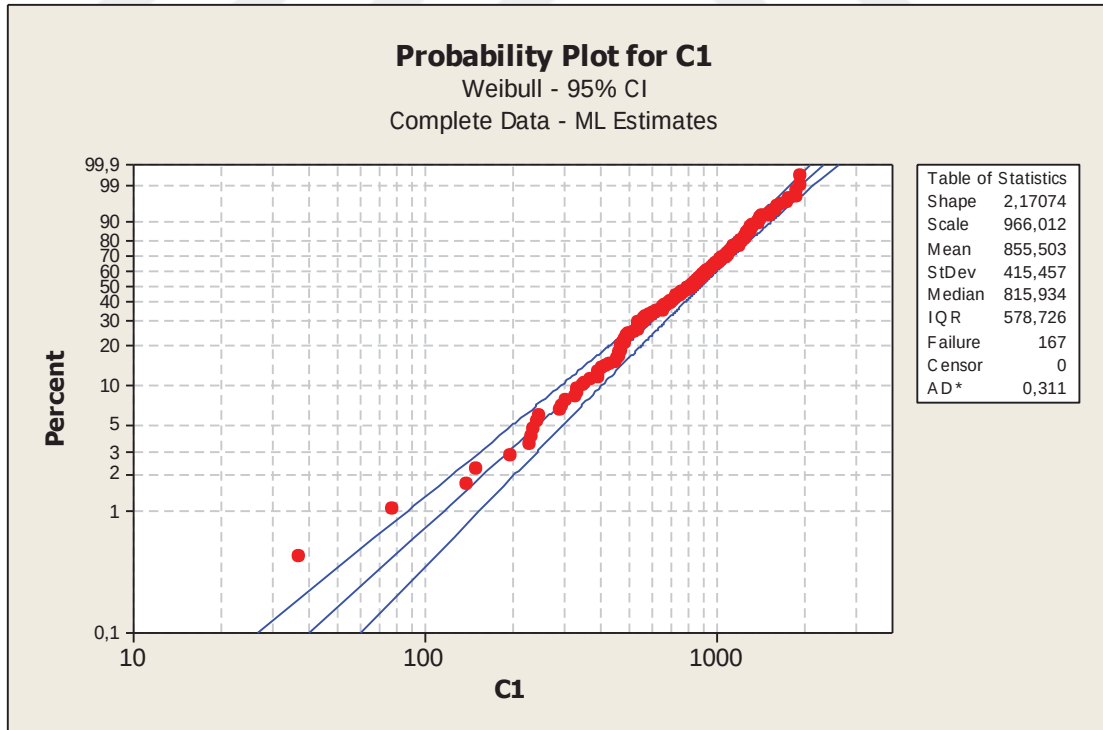
Şekil 5.7. Maksimum olabilirlik yöntemi parametre tahmini (üç parametrelili)

Tahmin sonuçları incelendiğinde, weibull dağılımı parametreleri en küçük kareler yöntemine göre $\beta=2,35$ $\eta=1027$ ve $\gamma=-55$ olarak, maksimum olabilirlik yöntemine göre ise $\beta=2,23$ $\eta=987,7$ ve $\gamma=-18,6$ olarak bulunmuştur. Sonuçların olduğu kısımda AD İle ifade edilen değer, Anderson Darling istatistik değeridir. Anderson Darling testi bir veri setinin belirlenen bir dağılıma uygunluğunu belirlemek için kullanılır. Anderson Darling testinin hassas bir test olduğu söylenebilir. Fakat test edilecek her bir dağılım için kritik değerlerin ayrı ayrı hesaplanması gerekir [68]. Ayrıca bu test Kolmogorov-Smirnov testine göre yeterli istatistiksel güce ulaşma açısından daha az veriye ihtiyaç duyar [69]. Weibull dağılımına göre %5 anlam düzeyinde Anderson Darling kritik değeri 0,752'dir. Hem en küçük kareler yöntemi hem de maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak yapılan parametre tahminlerinde Anderson Darling istatistiği değeri Anderson Darling testi kritik değerinden küçük çıkmıştır. Bu, mevcut veri setinin hesaplanan parametre değerleri ile weibull dağılımına uygun olduğu anlamına gelir. Üç parametrelili weibull dağılımına göre hesaplanan parametre değerlerinden gama parametresi değerinin negatif olduğu görülmektedir. Zaman değeri negatif olamayacağından, üç parametrelili weibull dağılımının kullanılması pek doğru olmayacaktır. Bundan dolayı, makine arıza verilerinin iki parametrelili weibull dağılımına uygunluğu da analiz edilecektir.

İki parametrelili weibull dağılımı için en küçük kareler yöntemi ve maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak parametre tahmini yapılmış ve tahmin sonuçları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Tahmin sonuçları incelendiğinde, weibull dağılımı parametreleri en küçük kareler yöntemine göre $\beta=2,07$ $\eta=971,7$ olarak, maksimum olabilirlik yöntemine göre ise $\beta=2,17$ $\eta=966$ olarak bulunmuştur. Anderson Darling test istatistiği değerlerine bakıldığında iki yöntem için de bu değerlerin kritik değerden küçük olduğu görülmektedir. Bu, mevcut veri setinin hesaplanan parametre değerleri ile weibull dağılımına uygun olduğu anlamına gelir. En küçük kareler yönteminde Anderson Darling test istatistiği değeri daha küçük çıktığından bu yöntem ile hesaplanan parametre değerleri mevcut veriler için weibull dağılımı parametre değerleri olarak belirlenmiştir.



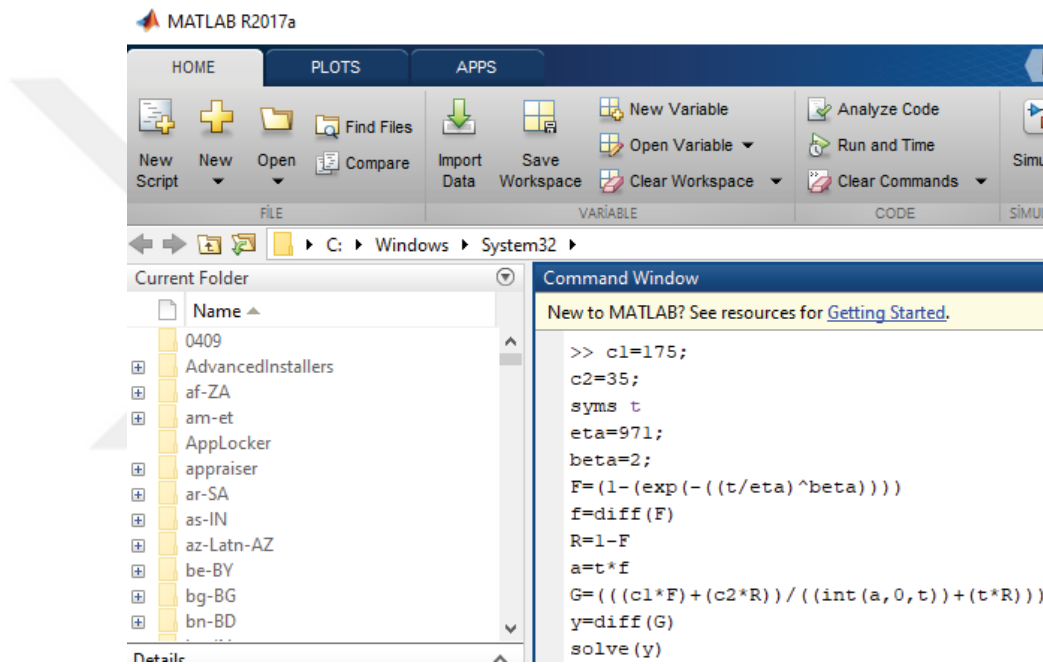
Şekil 5.8. En küçük kareler yöntemi parametre tahmini (iki parametrelî)



Şekil 5.9. Maksimum olabilirlik yöntemi parametre tahmini (iki parametrelî)

5.3.2. Optimal önleyici bakım zamanının belirlenmesi

Bir makine için optimal önleyici bakım zamanı belirlenirken Denklem 3.5 kullanılır. Bu denklemin türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde makine için optimal önleyici bakım zamanı belirlenmiş olur. Optimal önleyici bakım zamanının belirlenmesi için yapılması gereken matematiksel işlemler Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimal önleyici bakım zamanının hesaplanmasında kullanılan Matlab kodu Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Optimal önleyici bakım zamanının hesabında kullanılan Matlab kodu

5.3.3. Deney tasarımı ve simülasyon tekrar sayısının belirlenmesi

Deney tasarımı, bir araştırmaya konu olan tüm olası deneyleri temsil eden bir deney setinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Tüm deneyleri yapmak maliyetli olacağından bu deneyleri temsil edecek bir deney setinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Deney tasarımı yöntemlerine örnek olarak, tam faktöriyel deney tasarımı, Taguchi deney tasarımı örnek olarak verilebilir. Çalışmada Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Toplam 5 faktör bulunmakta, bunların dördü 3 seviyeli, biri ise 6 seviyelidir.

Tablo 5.2. Uygulamada kullanılan faktörler ve seviyeleri

Faktörler	Seviyeler					
Bakım Politikası	ÖB	FB-%10	FB-%15	FB-%20	FB-%25	FB-%35
Arıza Dağılımı	2	3	4	-	-	-
Sistem Uzunluğu	3	6	10	-	-	-
Buffer Kapasitesi	10000	20000	30000	-	-	-
C ₁ /C ₂ Oranı	2	5	8	-	-	-

Çalışmada yer alan tüm faktörler ve seviyeleri için 486 farklı deney ile karşılaşılmaktadır. Bunların her biri için on tekrar yapılacağı varsayılırsa toplam 4860 adet simülasyon deneyi yapılması gerekecektir. Bu durum, ciddi bir analiz zamanı yükü getirmektedir. Bu çalışmada, Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak tüm olası deneyleri en iyi şekilde temsil edecek bir deney seti belirlenmiştir. Belirlenen bu deney seti, Taguchi deney tasarımındaki L₁₈ dizisidir. Taguchi deney tasarımı ile belirlenen deneyler Tablo 5.3.'te gösterilmiştir:

Tablo 5.3. L₁₈ (6¹×3⁴) ortogonal dizisi

Deney no	Faktör adı				
	Bakım Politikası	Arıza Dağılımı	Sistem Uzunluğu	Ara stok Kapasitesi	C ₁ /C ₂ Oranı
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2
5	2	2	2	3	3
6	2	3	3	1	1
7	3	1	2	1	3
8	3	2	3	2	1
9	3	3	1	3	2
10	4	1	3	3	2
11	4	2	1	1	3
12	4	3	2	2	1
13	5	1	2	3	1
14	5	2	3	1	2
15	5	3	1	2	3
16	6	1	3	2	3
17	6	2	1	3	1
18	6	3	2	1	2

Deneyler belirlendikten sonra sıra her bir deneyin kaç kez tekrarlanacağını belirlenmesine gelmiştir. Deneylerin tekrarlı olarak yapılmasının amacı, rassallığın etkisini minimize ederek simülasyon modelinin gerçek modeli yüksek bir doğrulukta temsil etmesini sağlamaktır. Deney tekrar sayısı belirlenirken, az tekrar belirlenmesi rassallığın etkisini minimize etmede yetersiz kalabilir. Çok tekrar belirlenmesi ise gereksiz yere fazla sayıda deneyi yapılmasına ve buna bağlı olarak deney maliyeti ve zaman kaybına sebep olabilir. Bu yüzden yeterli sayıda deney yapmak en doğru olanıdır. Deney tekrar sayısı belirlenirken ilk olarak yeterli olabilecek bir deney tekrar sayısı belirlenir. Yaygın olarak başlangıç deneyi tekrar sayısı on olarak belirlenir. Aynı deney on kez tekrarlanır ve elde edilen sonuçların ortalaması ve standart sapması hesaplanır. Bu değerlere göre de standart hata hesabı yapılır. Standart hata formülü Denklem 5.5’de verilmiştir.

$$\text{Standart Hata} = t_{1-\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.5)$$

Standart hata, elde edilen deney sonuçlarının ortalamasının etrafındaki yayılımını temsil eder. Gerçekleştirilen deneye göre standart hata değeri hesaplandıktan sonra bir hassasiyet değeri belirlenir. Model kurucu modele aşına olduğundan model için uygun olacak bir hassasiyet değeri belirleyebilir. Hassasiyet değeri belirlendikten sonra Denklem 5.6’ya göre gerekli tekrar sayısı hesaplanır.

$$i = 10 \left[\frac{t_{1-\alpha/2, n-1} s / \sqrt{n}}{\text{Hassasiyet}} \right]^2 \quad (5.6)$$

Burada i gerekli deney sayısını, s standart sapmayı ve n deney sayısını ifade etmektedir [70]. Simülasyon tekrar sayısı belirlenirken ise Şekil 5.11.’deki Excel sayfası kullanılmıştır. Çalışmadaki 18 deney için de deney tekrar sayıları hesaplanmış ve her bir deney için on tekrarın yeterli olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin simülasyon süresinin çok uzun olması olduğu söylenebilir. Zira simülasyon süresi uzadıkça rassallığın etkisi de önemli oranda azalmaktadır.

Deney sonuçları (ton cinsinden)		
16275000	$t(1-\alpha/2, n-1)$	2,2621572
15786000		
16614000	Standart Sapma(s)	243663,43
15974000		
15772000	Deney Sayısı (n)	10
15997000		
15957000	Standart hata	174306,32
16040000		
16090600	Hassasiyet	200000
16053400		
	Tekrar sayısı (i)	7,5956733

Şekil 5.11. Simülasyon tekrar sayısının belirlenmesi

5.3.4. Deneylerin simüle edilmesi

Deney setindeki her deney tekrarlı bir şekilde simüle edilmiştir. Arıza bakımının, önleyici bakımın ve fırsatçı bakımın yürütüldüğü simülasyon ekran görüntüleri Şekil 5.13., Şekil 5.14. ve Şekil 5.15.'de gösterilmiştir.

Bu uygulama kapsamında belirlenen 18 farklı deney için 10 tekrarla simüle edilerek toplam 180 adet deney sonucu elde edilmiştir. Bu deney sonuçları Tablo 5.4.'te verilmiştir. Elde edilen deney sonuçları, ilgili deneydeki sürekli proses tipi imalat sistemi özelliklerine göre toplam çıktı miktarını ton cinsinden göstermektedir.

Tablo 5.4. Simülasyon sonucu elde edilen çıktı miktarları (ton cinsinden)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Deney 1	17674000	17659000	17613000	17626000	17610000	17667000	17421000	17582000	17536000	17618000
Deney 2	16435000	16443000	16627000	16681800	16582000	16370600	16644000	16488000	16615000	16788000
Deney 3	16633000	16926200	16838000	16865000	16760000	16534000	16907000	16596200	16633000	16959000
Deney 4	16395000	16102000	15950000	16115000	15819000	16061000	15603000	16472000	16102000	16520000
Deney 5	16275000	15786000	16614000	15974000	15772000	15997000	15957000	16040000	16090600	16053400
Deney 6	18005000	18031200	18076000	17929000	18032000	18018000	18041000	18067000	18062400	18089000
Deney 7	12552000	13059000	13063000	12777200	12866000	13476000	12540000	12967000	12869800	12832000
Deney 8	18225800	18261000	18275000	18330000	18256800	18317000	18293000	18226800	18282000	18288000
Deney 9	17924000	17826000	17852200	17698000	17981200	17871000	17743600	17871000	18108000	18026000
Deney 10	15579000	15787000	15431000	15502000	15600000	15431800	15289000	15662000	15496000	15434000
Deney 11	16515000	16948600	16536000	16687000	17316000	16776000	16437600	16990000	16997800	16646000
Deney 12	18511000	18525000	18479000	18499000	18496000	18444000	18543000	18456000	18532000	18533000
Deney 13	18131000	18225000	18187000	18172000	18158000	18254000	18161000	18134000	18125000	18171200

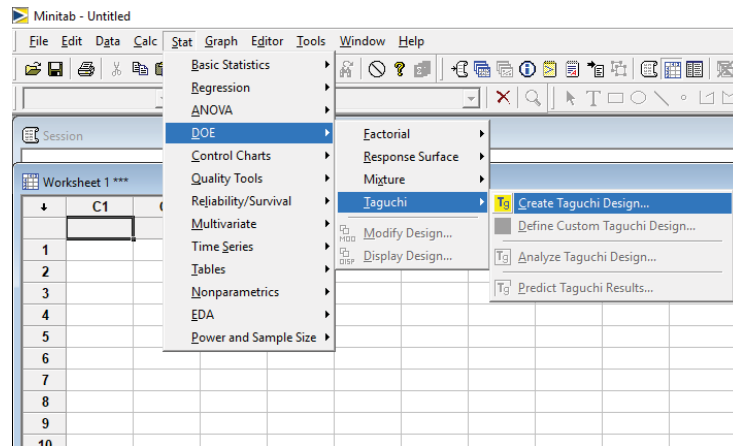
Tablo 5.4. (Devamı)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Deney 14	15948000	16255000	16026600	15917000	16165000	15916000	15956000	16429000	15981000	16000400
Deney 15	17465000	17467000	17714000	17491800	17458000	17453000	17327000	17388800	17523200	17589000
Deney 16	13206800	13073000	13018800	13093000	12656200	13227000	13076200	12606000	13018000	13341000
Deney 17	18483000	18420000	18448000	18564000	18485800	18440000	18510000	18390000	18394000	18372000
Deney 18	17511000	17603000	17505000	17457000	17513000	17523000	17112000	17392000	17428000	17472000

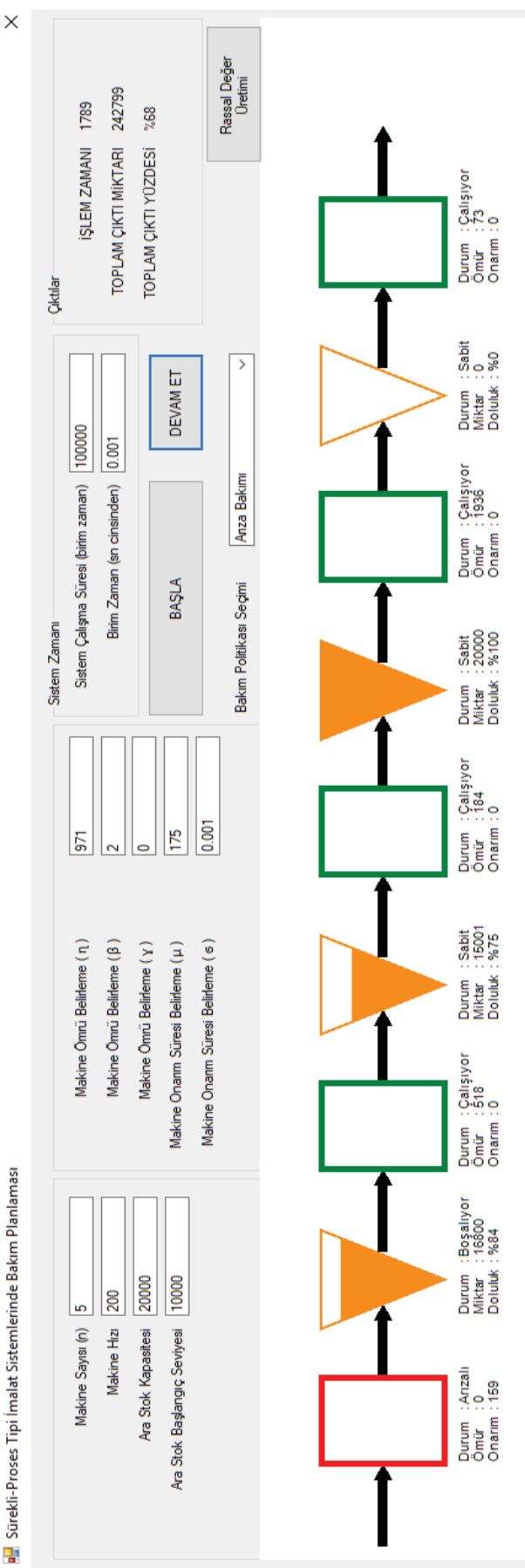
5.3.5. Deney sonuçlarının analizi

Deney sonuçlarının analizi için varyans analizi kullanılmıştır. Varyans analizini uygulamak için ise Minitab yazılımı tercih edilmiştir.

Deney sonuçlarının analizi için ilk olarak Minitab programında, uygulamada kullanılan deney dizilişi oluşturulmalıdır. Bunun için, Minitab programından 'Create Taguchi Design' sekmesine tıklanır. Açılan sayfadan karışık seviyeli tasarım seçilir ve uygulamada beş faktör olduğundan faktör sayısı beş olarak belirlenir. Buradaki alternatif dizilişler arasından bir faktörü altı seviyeli, dört faktörü üç seviyeli olan L₁₈ ortogonal dizisi seçilir.

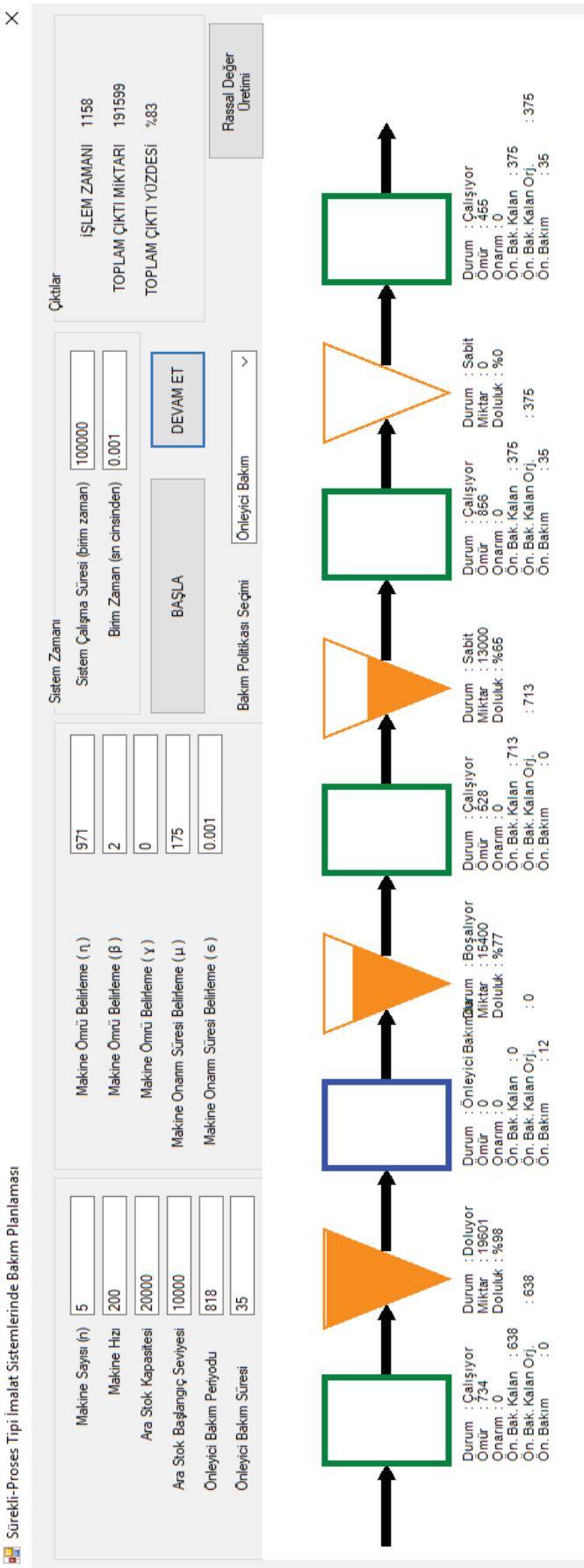
Şekil 5.12. L₁₈ ortogonal dizisinin Minitab programından seçimi

Süreklî-Proses Tipi İmalat Sistemlerinde Bakım Planlaması



Şekil 5.13. Simülasyon programında arıza bakımı politikasının çalışması

Süreklî-Proses Tipi İmalat Sistemlerinde Bakım Planlaması

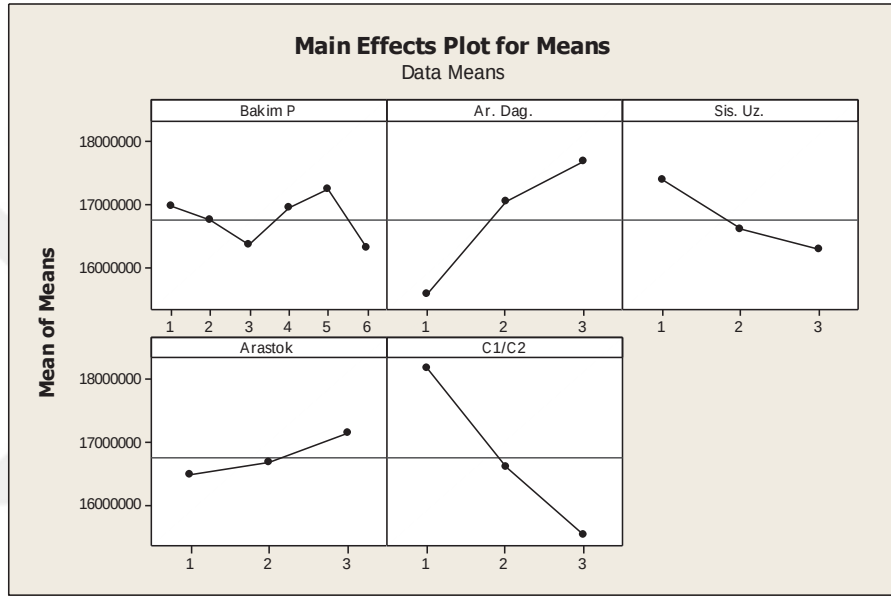


Şekil 5.14. Simülasyon programında önleyici bakım politikasının çalışması

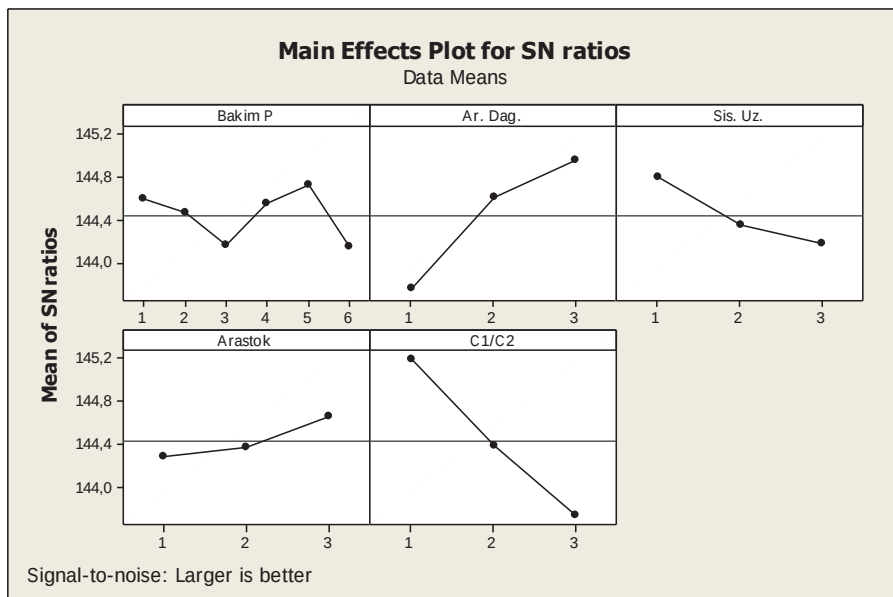
[illegible]

Şekil 5.15. Simülasyon programında fırsatçı bakım politikasının çalışması

Taguchi deney tasarımına göre deney dizilişi oluşturulduktan sonra simülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar programın veri giriş ekranına eklenir. Ardından ‘Analyze Taguchi Design’ sekmesine tıklanır ve açılan sayfadan analiz edilecek deney sonuçları seçilir. Yine bu sayfadan ‘Larger is better’ seçeneği seçilir. Bunun sebebi, uygulamada amacın toplam çıktı miktarının en büyüklenmesi olmasıdır. Gerekli işlemler yapıldıktan sonra programdan aşağıdaki şekiller (Şekil 5.16. ve Şekil 5.17.) elde edilir.

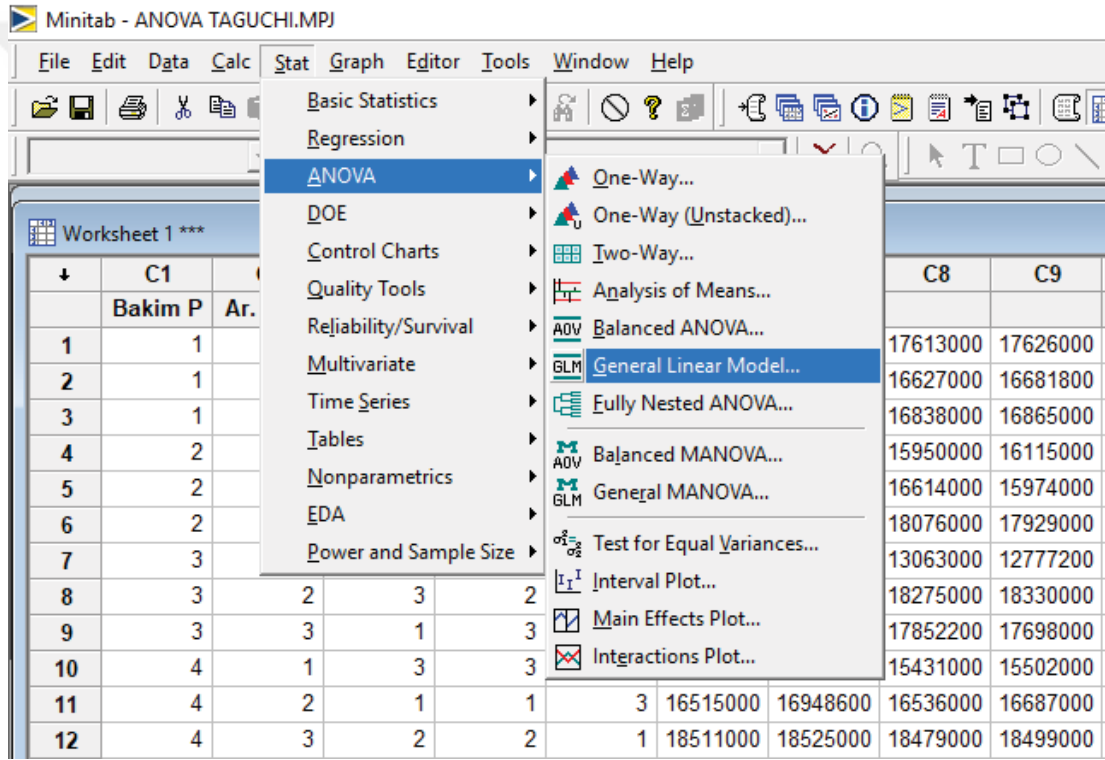


Şekil 5.16. Ortalamaya göre faktörlerin seviyeleri



Şekil 5.17. Sinyal-Gürültü oranına göre faktörlerin seviyeleri

Bu şekillerden ilki faktörlerin seviyelerini ortalamaya göre sıralarken ikincisi sinyal-gürültü oranına göre sıralamaktadır. Her iki şekil de incelendiğinde, gerçekleştirilen uygulamada toplam çıktı miktarının maksimum olabilmesi için bakım politikası faktöründen beşinci seviyenin, arıza dağılımı faktöründen üçüncü seviyenin, sistem uzunluğu faktöründen birinci seviyenin, ara stok kapasitesi faktöründen üçüncü seviyenin ve c_1/c_2 faktöründen birinci seviyenin seçilmesi gerektiği görülmektedir. Elde edilen bu sıralamanın doğruluğunun onaylanması için varyans analizi yapılması gerekmektedir. Bunun için programın ‘ANOVA’ sekmesinden ‘General Linear Model’ sekmesi seçilir.



Şekil 5.18. Minitab programından varyans analizinin seçimi

Açılan sayfadan analiz edilecek çıktı değerleri seçilir. Bu çıktı değerlerinin uygulamadaki faktörlere göre analiz edilebilmesi için yine aynı ekrandan uygulamadaki faktörler seçilir. Başka spesifik bir seçim yapmadan %5 anlam düzeyinde varyans analizi gerçekleştirilir ve sonuç olarak Tablo 5.5.'deki değerler elde edilir.

Tablo 5.5. Uygulama kapsamında gerçekleştirilen varyans analizinin sonuçları

Analysis of Variance for C6, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Bakim P	5	2,02256E+13	2,02256E+13	4,04511E+12	17,70	0,00
Ar. Dag.	2	1,43081E+14	1,43081E+14	7,15404E+13	313,05	0,00
Sis. Uz.	2	3,87944E+13	3,87944E+13	1,93972E+13	84,88	0,00
Arastok	2	1,43189E+13	1,43189E+13	7,15947E+12	31,33	0,00
C1/C2	2	2,15862E+14	2,15862E+14	1,07931E+14	472,29	0,00
Error	166	3,79356E+13	3,79356E+13	2,28528E+11		
Total	179	4,70217E+14				
S = 478046 R-Sq = 91,93% R-Sq(adj) = 91,30%						

Yukarıdaki tablo incelendiğinde her bir faktör için P değerinin 0,05’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durum, uygulamadaki tüm faktörlerin toplam çıktı miktarı üzerinde gerçekten etkili olduğu anlamına gelmektedir. Yine varyans analizi tablosundan görüleceği üzere R-Sq(adj) değeri %91,30’dur. Bu, uygulamadaki faktörlerin toplam çıktıyı %91,30 oranında etkilediği anlamına gelir. Diğer bir deyişle, çıktıların değeri %91,30’luk oranda bakım politikası, arıza dağılımı, sistem uzunluğu, ara stok kapasitesi ve c₁/c₂ faktörlerinin etkisiyle oluşmaktadır.

Varyans analizi yapıldıktan sonra çıktı miktarı için güven aralığı hesabı yapılabilir. Bunun için Minitab programının ‘Predict Taguchi Design’ sekmesinden her bir faktörün toplam çıktının maksimum olmasını sağlayan seviyeleri seçilir ve bu seviyelere göre tahmini çıktı değeri hesaplanır. Uygulama kapsamında elde edilen tahmini çıktı değeri 20594657’dir. Ardından, simülasyon programından aynı faktör seviyeleri seçilerek simülasyon deneyi en az üç tekrar ile gerçekleştirilir. Bu kapsamda ilgili deney on kez tekrarlanmış ve sonuçlar ton cinsinden Tablo 5.6.’da verilmiştir.

Tablo 5.6. Güven aralığı için yapılan simülasyon deney sonuçları

Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Tekrar 4	Tekrar 5	Tekrar 6	Tekrar 7	Tekrar 8	Tekrar 9	Tekrar 10	Ortalama
18557000	18571000	18591000	18596600	18592000	18621000	18603000	18575400	18633000	18651000	18599100

Çıktı miktarı için güven aralığı hesabı aşağıdaki eşitlikler (Denklem 5.7, Denklem 5.8 ve Denklem 5.9) kullanılarak yapılır.

$$\hat{\mu} \pm CI \quad (5.7)$$

$$CI = \pm \sqrt{\frac{F(\alpha, 1, v_2) MSE}{N_e}} \quad (5.8)$$

$$N_e = \frac{N}{1 + v_z} \quad (5.9)$$

CI güven aralığını, $\hat{\mu}$ deney tasarımı uygulamasından elde edilen tahmini çıktıyı, α anlam düzeyini, v_2 hatanın serbestlik derecesini, N toplam yapılan deney sayısını, v_z etkili olan faktörlerin serbestlik dereceleri toplamını, $F(\alpha, 1, v_2)$ F tablosunda α anlam düzeyi için birinci satır ve v_2 'nci sütundaki değeri ve MSE hatanın kareler ortalamasını ifade eder [71].

Yapılan hesaplamalara göre çıktı miktarı için güven aralığı $20594657 \pm 2124793,5$ ton olarak belirlenmiştir. Simülasyon deneyleri sonucunda elde edilen ortalama çıktı miktarının bu güven aralığı içinde yer alması yapılan analizlerin doğruluğunun bir göstergesidir. Simülasyon deneyleri sonucunda elde edilen ortalama çıktı miktarı 18599100 tondur. Bu değer, çıktı miktarı için güven aralığı olan 18469863,5 ile 22719450,5 değerleri arasında yer almaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İmalat sistemlerinde bakım planlaması, imalat miktarının yüksek olması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde optimum bakım planlamasının yapılabilmesi için yeni bir bakım politikası önerilmiştir. Önerilen bu politika bulanık uzman sistem tabanlı olarak çalışmaktadır. Makinelerin önleyici bakım zamanları, ara stokların durumuna göre bir miktar öne alınarak ya da bir miktar geciktirilerek duruş süresinin minimum olmasını sağlayacak bir fırsat durumu bulunmaya çalışılmaktadır. Önerilen bakım politikasının farklı imalat koşullarındaki performansını görebilmek için bir simülasyon programı yazılmıştır. Deney tasarımı kullanılarak elde edilen deney setindeki farklı deneyler, geliştirilen simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçların analizi için varyans analizi kullanılmıştır. Sonuç olarak, önerilen bulanık uzman sistem tabanlı fırsatçı bakım politikasının sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde toplam çıktı miktarının artmasını sağladığı görülmüştür.

6.1. Bulgular

Yapılan çalışmanın neticesinde elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Bulanık uzman sistem yaklaşımının bakım planlamadaki kullanılabilirliği görülmüştür.
- Fırsatçı bakım politikasının, fırsatçı bakım kontrol oranı %25 olduğunda toplam çıktı miktarını maksimize etmede en uygun bakım politikası olduğu görülmüştür.
- Önerilen fırsatçı bakım politikasında fırsatçı bakım kontrol oranının çok küçük seçilmesi olası fırsatların kaçırılmasına sebep olabilmektedir.

- Önerilen fırsatçı bakım politikasında fırsatçı bakım kontrol oranının çok büyük seçilmesi bakım zamanının gereğinden fazla öne alınmasına sebep olabilmektedir.
- Çalışmada ele alınan faktörler göz önüne alındığında, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde toplam çıktı miktarının en büyüklenebilmesi için makine sayısının az, weibull dağılımı beta parametresinin yüksek, ara stok kapasitesinin büyük ve arıza bakımı maliyetinin önleyici bakım maliyetine oranının küçük olması gerekmektedir.

6.2. Katkılar

Çalışmanın sağlayabileceği katkılar aşağıda verilmiştir:

- Önerilen fırsatçı bakım politikası ve bu politikanın simülasyon modelinin nasıl kurulacağı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.
- Literatür incelendiğinde, gerçekleştirilen çalışmada, sürekli-proses tipi imalat sistemlerinde makine sayısı, makine arıza dağılımı, ara stok kapasitesi, bakım maliyetleri faktörleri göz önünde bulundurularak toplam çıktı miktarını en büyükmek için yeni bir bakım politikası önerildiği görülmektedir.
- Mevcut simülasyon programları fırsatçı bakım politikasının çalışma prosedürünün modellenmesinde bulanık uzman sistemin entegrasyonu ve simülasyon modelindeki değişkenlerin değerlerinin anlık olarak güncellenip kaydedilmesi açısından esnek bir yapıya sahip değildir. Bu sebeple geliştirilen fırsatçı bakım politikası için spesifik bir simülasyon programı yazılmıştır.
- Bu çalışmada kullanılan simülasyon modeli zaman artırımlıdır. Böylece sistemdeki en küçük zaman birimi kadar artırımlar yapılarak sistemdeki değişimler kontrol edilmektedir. Ayrıca, zaman artırımlı simülasyon modelinin nasıl kurulacağı akış seması yardımıyla açıklanmıştır.
- Çalışmada deney tasarımı yöntemlerinden Taguchi tekniği kullanılmıştır. Bu açıdan çalışma, deney tasarım tekniklerinin bakım planlama alanındaki kullanımına bir örnek teşkil etmektedir.

6.3. İleriye Dönük Çalışma Alanları

Bu çalışmada bulanık uzman sistem kullanılarak bir fırsatçı bakım politikası geliştirilmiştir. Geliştirilen bakım politikasının sürekli-proses tipi imalat sistemlerindeki performansını analiz edebilmek için imalat sistemindeki tüm makinelerin özdeş olduğu varsayımı yapılmıştır. Spesifik bir sürekli-proses tipi imalat sistemi için fırsatçı bakım politikası kullanılarak bakım planlama uygulaması gerçekleştirmek istenildiğinde makinelerin farklı olabileceği durum göz önünde bulundurularak bir analiz yapılabilir.

Geliştirilen bulanık uzman sistem tabanlı fırsatçı bakım politikasında önceki ara stok kapasitesi, sonraki ara stok kapasitesi, önleyici bakıma kalan süre ve fırsatçı bakım zamanı değişkenleri bulanık kümeler kullanılarak modellenmiştir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu olarak ise üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Farklı uygulama alanlarında sürekli-proses tipi imalat sisteminin yapısına uygun olacak şekilde farklı tür üyelik fonksiyonları da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Dhillon, B. S., Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers, CRC Press, 2006.
- [2] Kumanan, S., Ilangkumaran, M., Selection of maintenance policy for textile industry using hybrid multi-criteria decision making approach. Journal of Manufacturing Technology Management, 20(7), 1009-1022, 2009.
- [3] Zhu, W., Li, C.Y., Xiao, X. Y., Diagnosing urban rail transit vehicles with FMEA and fuzzy set. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 21(3), 332-345, 2015.
- [4] Shiraz, G. M., Compton, P., Martinez-Bejar, R. (n.d.). FROCH: a fuzzy expert system with easy maintenance. SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 3, 2113-2118, 1998.
- [5] Bashiri, M., Badri, H., Hejazi, T. H., Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method. Applied Mathematical Modelling, 35(1), 152-164, 2011.
- [6] Baban, C. F., Baban, M., Suteu, M, D., Using a fuzzy logic approach for the predictive maintenance of textile machines. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 30(2), 999-1006, 2016.
- [7] Hosseini Firouz, M., Ghadimi, N., Optimal preventive maintenance policy for electric power distribution systems based on the fuzzy AHP methods. Complexity, 21(6), 70-88, 2015.
- [8] Seiti, H., Hafezalkotob, A., Fattahi, R., Extending a pessimistic-optimistic fuzzy information axiom based approach considering acceptable risk: Application in the selection of maintenance strategy. Applied Soft Computing, 67, 895-909, 2018.
- [9] Babashamsi, P., Golzadfar, A., Yusoff, N. I. M., Ceylan, H., Nor, N. G. M., Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities. International Journal of Pavement Research and Technology, 9(2), 112-120, 2016.

- [10] Evazabadian, F., Arvan, M., Ghodsi, R., Short-term crude oil scheduling with preventive maintenance operations: a fuzzy stochastic programming approach. *International Transactions in Operational Research*, 1-26, 2017.
- [11] Mazurkiewicz, D., Maintenance of belt conveyors using an expert system based on fuzzy logic. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(2), 412-418, 2015.
- [12] Ranga, C., Chandel, A. K., Chandel, R., Fuzzy Logic Expert System for Optimum Maintenance of Power Transformers. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 8(4), 836-850, 2016.
- [13] Zare, A., Feylizadeh, M. R., Mahmoudi, A., Liu, S., Suitable computerized maintenance management system selection using grey group TOPSIS and fuzzy group VIKOR: A case study. *Decision Science Letters*, 341-358, 2018.
- [14] Mete, M., Bakım yönetiminde bulanık çok amaçlı karar verme modeli. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2007.
- [15] Derigent, W., Thomas, E., Levrat, E., Iung, B., Opportunistic maintenance based on fuzzy modelling of component proximity. *CIRP Annals*, 58(1), 29-32, 2009.
- [16] Zhang, C., Gao, W., Guo, S., Li, Y., Yang, T., Opportunistic maintenance for wind turbines considering imperfect, reliability-based maintenance. *Renewable Energy*, 103, 606-612, 2017.
- [17] Abdollahzadeh, H., Atashgar, K., Abbasi, M., Multi-objective opportunistic maintenance optimization of a wind farm considering limited number of maintenance groups. *Renewable Energy*, 88, 247-261, 2016.
- [18] Iung, B., Do, P., Levrat, E., Voisin, A., Opportunistic maintenance based on multi-dependent components of manufacturing system. *CIRP Annals*, 65(1), 401-404, 2016.
- [19] Hu, J., Zhang, L., Risk based opportunistic maintenance model for complex mechanical systems. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 3105-3115, 2014.
- [20] Azadeh, A., Abdolhossein Zadeh, S., An integrated fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy multiple-criteria decision-making simulation approach for maintenance policy selection. *Simulation*, 92(1), 3-18, 2015.
- [21] Zhang, X., Zeng, J., Joint optimization of condition-based opportunistic maintenance and spare parts provisioning policy in multiunit systems. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 479-498, 2017.

- [22] Xia, T., Xi, L., Pan, E., Ni, J., Reconfiguration-oriented opportunistic maintenance policy for reconfigurable manufacturing systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 166, 87-98, 2017.
- [23] Salari, N., Makis, V., Optimal preventive and opportunistic maintenance policy for a two-unit system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(1-4), 665-673, 2016.
- [24] Erguido, A., Crespo Márquez, A., Castellano, E., Gómez Fernández, J. F., A dynamic opportunistic maintenance model to maximize energy-based availability while reducing the life cycle cost of wind farms. *Renewable Energy*, 114, 843-856, 2017.
- [25] Shi, H., Zeng, J., Real-time prediction of remaining useful life and preventive opportunistic maintenance strategy for multi-component systems considering stochastic dependence. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 192-204, 2016.
- [26] Cavalcante, C. A. V., Lopes, R. S., Multi-criteria model to support the definition of opportunistic maintenance policy: A study in a cogeneration system. *Energy*, 80, 32-40, 2015.
- [27] Groover, M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, John Wiley & Sons, 2010.
- [28] Wu, B., *Fundamentals of Manufacturing Systems Design and Analysis*, Chapman & Hall, 1992.
- [29] Aran, A., *Manufacturing Properties of Engineering Materials: Lecture Notes*, ITU Department of Mechanical Engineering, 2007.
- [30] Gaither, N., Frazier, G., *Operations Management*, South-Western/Thomson Learning, 2002.
- [31] Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. Ekonomik Araştırmalar Müdürlüğü, Küreselleşme sürecinde dünya ve Türkiye ekonomisinde sektörel yapıdaki dönüşüm üzerine bir inceleme. *Sektör Araştırması*, 2007.
- [32] Yamak, O., *Üretim Yönetimi*, Alfa, 1994.
- [33] <https://industry4magazine.com/the-beginners-guide-to-the-industry-4-0-f45b93a95649>, Erişim Tarihi: 07.05.2018.
- [34] Yıldırım, F., *Üretim Yönetimi*, www.fazliyildirim.com/pdf/uretim.pdf, Erişim Tarihi: 04.05.2017.
- [35] Johnson, P. D., *Principles of Controlled Maintenance Management*, Lilburn, 2002.

- [36] Kelly, A., Strategic Maintenance Planning, Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2006.
- [37] Dhillon, B. S., Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance, Gulf Professional Publishing, 1999.
- [38] Karayalçın, İ. İ., Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı I, Çağlayan Kitabevi, 1986.
- [39] Gündoğar, E., Benzetim Dersi Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2013.
- [40] Dervitsiotis, K. N., Operations Management, Mc Graw Hill, 1981.
- [41] Meredith, J. R., Shafer, S. M., Operations Management, John Wiley & Sons, 1998.
- [42] Köksal, M., Bakım Planlaması, Seçkin Yayıncılık, 2007.
- [43] Dhillon, B. S., Applied Reliability And Quality, Springer-Verlag London Limited, 2007.
- [44] Çakır Zeytinoğlu, F., Weibull dağılımının ölçek ve biçim parametreleri için istatistiksel tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8(15), 73-87, 2009.
- [45] http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution, Erişim Tarihi: 07.05.2018.
- [46] NIST/SEMATECH, e-Handbook of Statistical Methods, www.itl.nist.gov/div898/handbook/apr/section1/apr162.htm, Erişim Tarihi: 14.05.2018.
- [47] http://reliawiki.org/index.php/Parameter_Estimation, Erişim Tarihi: 07.05.2018.
- [48] Halaç, O., İşletmelerde Simülasyon Teknikleri, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, 1982.
- [49] Erkut, H., Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı, 2. Baskı, İrfan Yayıncılık, 1992.
- [50] Davim, J. P., Artificial Intelligence in Manufacturing Research, Nova Science Publishers, 2010.
- [51] Gordon, B. M., Artificial Intelligence: Approaches, Tools and Applications, Nova Science Publishers, 2011.
- [52] Thornton, C., Boulay, B., Artificial Intelligence: Strategies, Applications, and Models Through Search, AMACOM, 1998.

- [53] Raynor, W., The International Dictionary of Artificial Intelligence, AMACOM, 1999.
- [54] National Research Council, Computer Science and Artificial Intelligence, National Academy Press, 1997.
- [55] Shi, Z., Advanced Artificial Intelligence, World Scientific, 2011.
- [56] Sönmez, A. C., Yapay Zeka Dersi Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012.
- [57] Arslankaya, S., Yapay Zeka Dersi Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2013.
- [58] Binner, J. M., Kendall, G., Chen, S. H., Applications of Artificial Intelligence in Finance and Economics, Elsevier, 2004.
- [59] Kattan, A., Abdullah, R., Geem, Z. W., Artificial Neural Network Training and Software Implementation Techniques, Nova Science Publishers, 2011.
- [60] Ladstatter, F., Garrosa, E., Prediction of Burnout: An Artificial Neural Network Approach, Diplomica Verlag GmbH, 2008.
- [61] Bacciga, A., Naliato, R., Recent Advances in Artificial Intelligence Research, Nova Science Publishers, 2013.
- [62] Bennett, A., New Developments in Expert Systems Research, Nova Science Publishers, 2015.
- [63] Bojadziev, G., Bojadziev, M., Fuzzy Logic for Business, Finance and Management, World Scientific, 2007.
- [64] Vukadinovic, D., Fuzzy Logic: Applications, Systems and Technologies, Nova Science Publishers, 2013.
- [65] Zimmermann, H. J., Fuzzy Sets Theory and Its Applications, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [66] Siler, W., Buckley, J., Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning, John Wiley & Sons, 2005.
- [67] Engin, B., Kalite Yönetimi Dersi Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, 2012.
- [68] NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>, Erişim Tarihi: 16.05.2018.

- [69] Engmann, S., Cousineau, D., Comparing distributions: the two-sample Anderson–Darling test as an alternative to the Kolmogorov–Smirnov test. *Journal of Applied Quantitative Methods*, 6(3), 1-17, 2011.
- [70] Chung, C., *Simulation Modeling Handbook*, CRC Press, 2003.
- [71] Antony, J., Kaye, M., *Experimental Quality*, Kluwer Academic Publishers, 2000.



ÖZGEÇMİŞ

Çağatay Teke, ilk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 2005 yılında Sakarya Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nü 2009 yılında bitirdi. Aynı yıl, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı. 2010 yılında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve yüksek lisans eğitimini 2012 yılında tamamladı. Aynı yıl, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde doktora eğitime başladı. Halen Bayburt Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.