

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖNLEYİCİ BAKIM POLİTİKASI ALTINDA OPTİMUM
STOK MİKTARININ BULANIK MANTIK
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Mehmet Fatih TAŞKIN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Baha GÜNEY

Mayıs 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖNLEYİCİ BAKIM POLİTİKASI ALTINDA OPTİMUM
STOK MİKTARININ BULANIK MANTIK
YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Mehmet Fatih TAŞKIN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr. Baha GÜNEY
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Harun TAŞKIN
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN
Üye**

ÖNSÖZ

Günümüzün teknolojik ve ekonomik boyutları, tesislerin fiziksel olarak genişlemelerini, dolayısıyla çok daha karmaşık makine ve üretim sistemlerini bünyelerinde bulundurmalarını zorunlu kılmıştır. Ayrıca üretim sürelerinin azalması makinelerin sürekli çalışmalarını gerektirmektedir. Üretim kaybının yüksek maliyetli olduğu durumlarda bakım ve stok konuları büyük önem taşımaktadır.

Yapılan bu çalışmada planlanmış önleyici bakım ve beklenmedik arıza ve üretim kayıpları durumunda; üretimin aksamaması için gerekli olan minimum stok miktarının belirlenmesine çalışılmıştır. Gelecekteki çeşitli senaryolar için bugünden öngörünün yapılmasında bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışma süresince her türlü yardım ve fedakarlığı sağlayan, bilgi ve tecrübeleri ile ışık tutan, çalışmanın yöneticisi, kıymetli hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Baha GÜNEY' e;

Tezimin hazırlanması sırasında sürekli yardımlarını gördüğüm Endüstri Yüksek Mühendisi ve oda arkadaşım Mehmet Rıza ADALI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu tezi; yetişmemde emeği bulunan ve maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen, buna benzer pek çok zahmet çekmiş olan aileme ithaf ediyorum.

Mayıs 2006

Mehmet Fatih TAŞKIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	2
2.1. Kullanılan Üretim Çevresi.....	2
2.1.1. Üretim sistemine göre.....	3
2.1.2. Makine sayısına göre.....	9
2.2. Kullanılan Çözüm Tekniği.....	11
2.2.1. Benzetim yöntemi.....	12
2.2.2. Yapay Zeka teknikleri.....	14
BÖLÜM 3.	
TEORİK ALTYAPI.....	18
3.1. Üretim Sistemleri ve Sınıflandırılması.....	18
3.1.1. Üretim miktarına göre sınıflandırma.....	18
3.1.1.1. Siparişe göre üretim.....	18
3.1.1.2. Parti üretim sistemleri.....	19

3.1.1.3. Sürekli üretim.....	19
3.1.1.4. Proje üretimi.....	20
3.1.2. İş yeri düzenlemesine göre sınıflandırma.....	20
3.1.2.1. Sabit pozisyonlu yerleşim.....	20
3.1.2.2. Mamule göre yerleşim.....	21
3.1.2.3. Prosese göre yerleşim.....	23
3.1.3. Üretilen mamulün cinsine göre sınıflandırma.....	24
3.1.3.1. Birincil üretim.....	24
3.1.3.2. Dönüştürücü üretim.....	25
3.1.3.3. Sentetik üretim.....	25
3.1.3.4. İmale dayalı üretim.....	25
3.1.3.5. Montaj üretimi.....	25
3.2. Bakım Yönetimi.....	26
3.2.1. Bakım ve bakım yönetimi kavramları.....	26
3.2.2. Bakım faaliyetlerinin amacı.....	27
3.2.3. Bakım faaliyetlerinin faydaları.....	27
3.2.3.1. Makine ömrü.....	27
3.2.3.2. Personelin geliştirilmesi.....	28
3.2.3.3. Duruş zamanının azaltılması.....	28
3.2.3.4. İşgücü kullanımı.....	28
3.2.3.5. Tesisin rasyonalizasyonu.....	28
3.2.3.6. Bakım teçhizatının ve yedek parçanın rasyonelleştirilmesi	29
3.2.4. Bakım çeşitleri.....	29
3.2.4.1. Arızı bakım.....	30
3.2.4.2. Koruyucu bakım.....	31
3.2.4.3. Önleyici bakım.....	32
3.2.5. Bakım maliyetleri.....	34
3.3. Stok Yönetimi.....	35
3.3.1. Stokların tanımı.....	35
3.3.2. Stokların faydaları.....	37
3.3.3. Stokların sınıflandırılması.....	38
3.3.4. Stok maliyetleri.....	39
3.3.4.1. Sipariş maliyetleri.....	39

3.3.4.2. Stok bulundurma maliyetleri.....	40
3.3.4.3. Stok bulundurmama maliyetleri.....	42
3.3.5. Optimum stok miktarı.....	43
3.4. Yapay Zeka ve Bulanık Mantık.....	45
3.4.1. Yapay Zeka.....	45
3.4.2. Uzman Sistemler.....	45
3.4.3. Yapay Sinir Ağları.....	48
3.4.4. Genetik Algoritmalar.....	51
3.4.4.1. Kodlama planları.....	51
3.4.4.2. Uygun değerlendirme.....	52
3.4.4.3. Seçim.....	52
3.4.4.4. Çaprazlama.....	53
3.4.4.5. Mutasyon.....	53
3.4.5. Bulanık Mantık.....	54
3.4.5.1. Bulanık Mantık tarihçesi.....	54
3.4.5.2. Bulanık kümeler.....	58
3.4.5.3. Bulanık kümelerdeki işlemler.....	59
3.4.5.4. Dilsel değişkenler.....	60
BÖLÜM 4.	
UYGULAMA.....	61
4.1. Üretim modeli ve tanımlamalar.....	61
4.2. Kabuller.....	63
4.3. Performans Kriterleri.....	64
4.4. Kullanılan Çözüm Yöntemi.....	64
4.4.1. Girdi değişkenleri.....	65
4.4.2. Çıktı değişkenleri.....	68
4.4.3. Kural tabanı.....	69
4.5. Sayısal Örnek.....	71
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR.....	74

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER..... 79

KAYNAKLAR..... 80

EKLER..... 83

ÖZGEÇMİŞ..... 95

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

c_R	: Arızı bakım maliyeti
c_M	: Önleyici bakım maliyeti
TC_B	: Toplam bakım maliyeti
h	: Elde bulundurma maliyeti
ρ	: Elde bulundurmama maliyeti
T	: Üretim periyodu
t	: Bakım süresi
α	: Stok doldurma oranı
β	: Stok harcama oranı
d	: Talep miktarı
S	: Stok miktarı
S^*	: Optimum stok miktarı
$F(t)$: Arıza dağılım fonksiyonu
$f(t)$: Yoğunluk fonksiyonu
TC_S	: Toplam stok maliyeti
AB	: Arızı Bakım
KB	: Koruyucu Bakım
ÖB	: Önleyici Bakım
TZÜ (JIT)	: Tam Zamanında Üretim
YSA	: Yapay Sinir Ağları
GA	: Genetik Algoritmalar
BM	: Bulanık Mantık

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Genel Sınıflandırma Yapısı.....	2
Şekil 3. 1. Hat Tipi Yerleşim.....	22
Şekil 3. 2. Grup Tipi Yerleşim.....	22
Şekil 3. 3. Fonksiyonel Yerleşim.....	22
Şekil 3. 4. Bakım-Onarım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması.....	30
Şekil 3. 5. Bakım Onarımında Maliyetler.....	35
Şekil 3. 6. Sabit Sipariş Maliyetlerinin Sipariş Sayısına Göre Değişimi.....	40
Şekil 3. 7. Optimum Stok Miktarının Belirlenmesi.....	44
Şekil 3. 8. Bir Sinir Modeli.....	49
Şekil 3. 9. Çok Katmanlı İleri Yönde Beslenen Sinir Ağı.....	50
Şekil 3. 10. İkili Kodlama.....	52
Şekil 3. 11. Bir ve İki Noktadan Çaprazlama.....	53
Şekil 3. 12. Bir Mutasyon Örneği.....	54
Şekil 3. 13. Bulanık Sistem Modelleme Akış Diyagramı.....	60
Şekil 4. 1. Üretim Sisteminin Genel Yapısı.....	62
Şekil 4. 2. Üretim Sisteminin Bulanık Modeli.....	65
Şekil 4. 3. Bakım Periyodu 1'in MATLAB'a Girilmesi.....	66
Şekil 4. 4. Stok 1 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	66
Şekil 4. 5. Bakım Süresi 1 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	67
Şekil 4. 6. Bakım Periyodu 2 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	67
Şekil 4. 7. Stok 2 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	67
Şekil 4. 8. Bakım Süresi 2 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	68
Şekil 4. 9. Yarı Mamul için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	68
Şekil 4. 10. Mamul için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu.....	69
Şekil 4. 11. MATLAB Genel Görünüşü.....	70
Şekil 4. 12. Örnek Uygulama 1 için Elde Edilmiş MATLAB Çıktısı.....	71

Şekil 4. 13. Örnek Uygulama 2 için Elde Edilmiş MATLAB Çıktısı.....	72
Şekil 4. 14. Örnek Uygulama 3 için Elde Edilmiş MATLAB Çıktısı.....	72
Şekil 4. 15. Örnek Uygulama 4 için Elde Edilmiş MATLAB Çıktısı.....	73
Şekil 5. 1. Bakım Süresi 1 ve Bakım Periyodu 1'in Yarı Mamul Stokuna Etkisi.....	75
Şekil 5. 2. Stok 1 ve Bakım Periyodu 1'in Mamul Stoku Üzerinde Etkisi.....	75
Şekil 5. 3. Stok 2 ve Bakım Periyodu 2'nin Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi....	76
Şekil 5. 4. Stok 1 ve Bakım Süresi 1'in Yarı Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi...	77
Şekil 5. 5. Stok 1 ve Stok 2'nin Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi.....	78

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2. 1. Değişik Bakımlar Arası Süreler Altında Birim Maliyet Zamanları.....	15
Tablo 4. 1. Bakım Periyodu 1'in Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	66
Tablo 4. 2. Stok 1'in Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	66
Tablo 4. 3. Bakım Süresi 1'in Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	67
Tablo 4. 4. Bakım Periyodu 2'nin Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	67
Tablo 4. 5. Stok 2'nin Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	68
Tablo 4. 6. Bakım Süresi 2'nin Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	68
Tablo 4. 7. Yarı Mamulün Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	69
Tablo 4. 8. Mamulün Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları.....	69

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Bakım Yönetimi, Önleyici Bakım, Stok Kontrol, Yapay Zeka, Bulanık Mantık

Makine arızaları ve işlem zamanlarındaki değişim üretim sistemini ekonomik kayıplarla birlikte zarara uğratar. Makine sorunlarını engellemeye çalışan bu bakım aktiviteleri ekonomik aktiviteleri düşürür. Fakat üretim tesisinin onarım veya önleyici bakım süresince eksik stok durumuna bağlı olarak talep de karşılanamayabilir. Bu yüzden en uygun ürün miktarlarıyla stok bulundurmama maliyetlerini düşürmek için emniyet stoku oluşturmaktayız.

Bu çalışmada, iki adet zamana bağlı yıpranan tesis ve aralarında bulunan bir emniyet stoklu seri üretim sistemi göz önüne alınmıştır. Amacımız, önleyici bakım politikası uygulanan sistemin herhangi bir arızalanma, kesintiye uğrama ve eksik stok durumuna düşmeden üretime devam edebilmesini sağlayan en uygun emniyet stokunu bulanık mantık yöntemiyle belirlemeye çalışmaktır.

OPTIMIZATION OF BUFFER INVENTORY FOR REGULAR PREVENTIVE MAINTENANCE USING FUZZY LOGIC

SUMMARY

Keywords: Maintenance Management, Preventive Maintenance, Inventory, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic

Breakdowns and operation time variability of a machine can disrupt a manufacturing system with economical losses. Maintenance activities which prevent machine failures reduce these economic costs. But during the preventive maintenance or repair time of a manufacturing facility, the demand can not satisfy due to an out-of-stock. So we produce a buffer inventory to decrease the shortage costs with optimal product sizes.

In this study, we considered a serial production system with two aging facilities and buffer inventory between of them. Our aim is to determine the optimal buffer inventory to operate the system without any breakdowns, failures and stock-out cases under regular preventive maintenance using fuzzy logic.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve bunun sonucu olarak değişen rekabet stratejileri karşısında modern üretim yapan sistemleri, rekabet gereği maliyetleri düşürmek esasına göre bakım ve onarım giderlerini minimize etmeyi hedeflemektedir. Onarılabılır makine ve teçhizata yapılacak önleyici bakım, arıza sıklığına ve dolayısıyla bakım onarım maliyetlerine etkisi azaltma yönünde oldukça fazladır. Uygulanacak önleyici bakımın avantajlı olabilmesi için, sistemin artan bozulma oranına sahip olması ve bakım maliyetlerinin onarım maliyetlerine göre daha düşük olması gereklidir.

Üretimin aksamaması için, bakım faaliyetleri hemen akla stokları getirmektedir. Stok konusu da işletmeler için en uygun seviyede tutulması gereken maliyet unsurlarıdır. Gereğinden fazla veya eksik bulunan stok sisteme ekstra maliyetler yüklemektedir. Sistemin servis kalitesine bağlı en uygun seviyede stokun belirlenmesi, yönetimin bir diğer stratejik kararları arasındadır.

Yapılmış olan bu çalışmada, üretim sisteminin bakım ve stok konuları eşzamanlı olarak değerlendirmeye tabi tutulmuş; gerçekleştirilecek herhangi bir durum karşısında, üretimin aksamaması için elde bulunması gereken minimum stok miktarına karar verilmesine yardımcı bir uygulama geliştirilmiştir.

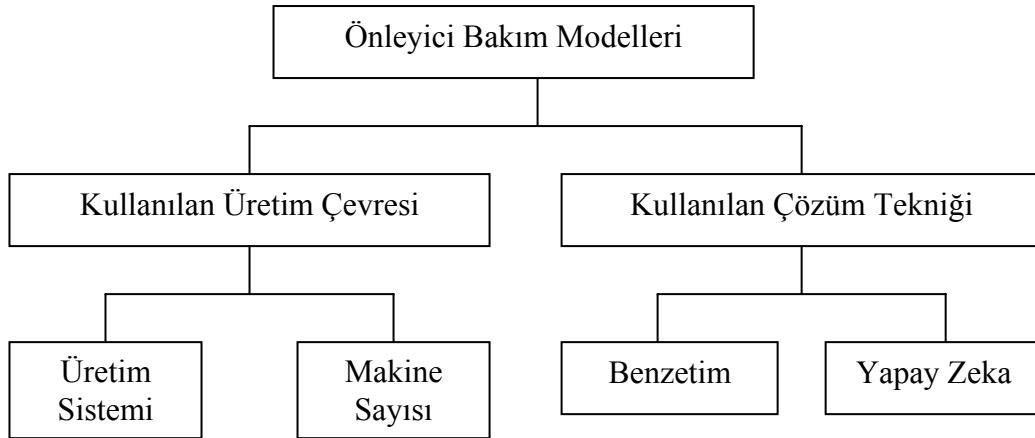
Çalışmanın ikinci bölümünde konuyla ilgili literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde çalışma konularıyla ilgili bilgi sunulmuştur.

Dördüncü bölümde örnek uygulamayla ilgili bilgiler yer almaktadır. Beşinci bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar gösterilmiş; değerlendirme ve yorumlarla çalışma neticelendirilmiştir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bakım konusyla ilgili olarak 1960'lı yıllardan beri yayınlanmış oldukça fazla sayıda makale bulunmaktadır. Fakat bu çalışmada tezin konusuyla ilintili olarak “Önleyici Bakım” ve “Envanter Sistemi” konularını birlikte içeren ve özellikle son dönemlerde ortaya konmuş makalelerden bahsedilmiştir.

İnceleme sırasında makaleler “Kullanılan Üretim Çevresi” ve “Kullanılan Çözüm Tekniği” olarak iki ana başlık altında toplanmıştır. Alt kademeleri “Üretim Sistemi” ve “Makine Sayısı” ile “Simülasyon” ve “Yapay Zeka” teknikleri oluşturmaktadır. Şekil 2.1, sınıflandırmayı şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2. 1. Genel Sınıflandırma Yapısı

2.1. Kullanılan Üretim Çevresi

Çalışmalarda yer alan bakım politikasının uygulandığı üretim sistemlerine göre veya makine sayısına göre ayırım yapılarak incelenmiştir. Üretim sistemleri olarak Tam zamanında üretim (JIT), zamana bağlı olarak aşınarak hatalı üretim yapan ortamda stok seviyeleri gibi konularda çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan makine sayısına göre ise tek veya birden fazla makine bulunan üretim ortamları işlenmiştir.

2.1.1. Üretim sistemine göre

Cheung ve Hausman [1]; rasgele makine arızalarının olduğu bir üretim ortamında güvenlik stoku ile önleyici bakımın eşzamanlı belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Genellikle bakım ve stok konuları ayrı ayrı ele alınırken, her iki faktörü hesaba katarak toplam maliyeti hesaplayan birleşik bir analitik model formüle etmişlerdir.

Burada h : elde tutma maliyeti
 s : emniyet stok miktarı
 c_R : arızı bakım maliyeti
 $L(s)$: makine arızasından dolayı üretim kesilince, s stoku sonunda elde bulundurmama ceza maliyeti
 $V(m)$: m zamanında çizelgelenmiş önleyici bakım sırasında makine duruş süresi
 $E(R)$: ortalama arızı bakım süresi
 c_M : önleyici bakım maliyeti
 $U(m)$: m zamanında çizelgelenmiş önleyici bakım süresi
 M : sabit önleyici bakım süresi

Modelin çözümünde tek tek veya her iki parametrenin de minimum maliyeti sağlamada en uygun koşulları yerine getirdiği varsayımı yapılmıştır. Detaylı olarak deterministik ve üssel dağılıma uyan onarım süreleri analiz edilmiştir.

Sonuç olarak beklenen makine arıza zamanı ile beklenen bakım zamanının makine arıza oranını nasıl etkilediği konusunda çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. Buna göre makine arıza oranı arttığında her koşulda beklenen bakım zamanı da artmakta; beklenen makine arıza zamanı ile ters orantılı olarak biri artarken diğeri düşüş göstermektedir.

Hsu-Hua Lee [2]; konuya maliyet/fayda açısından yaklaşmış ve önleyici bakım politikası uygulanmakta olan bir işletmede bakım ve stok yatırımlarını elde edilecek kazançta göre değerlendirmiştir. Yapılacak olan yatırımların servis kalitesi/seviyesini

artıracağı, hatalı ürün miktarını düşüreceği; dolayısıyla eksik stok, hammadde birikimi ve müşteriye teslim konularında azalmaların ortaya koyduğu mali kazancı incelemeye yöneliktir. Ardışık Kuadratik Programlama metodu kullanılarak çözümü bulunan analitik model, üretim maliyeti, stok maliyeti, birikmiş iş maliyeti, gecikme ve eksik stok maliyetlerini içermektedir.

Toplam üretim maliyeti;

$$TC_M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} C_M(i,j)M(i,j)$$

$C_M(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki birim üretim maliyeti

$M(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki birim üretim miktarı

Toplam stok maliyeti;

$$TC_S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} C_S(i,j)S(i,j)$$

$C_S(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki birim stok maliyeti

$S(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki birim stok miktarı

Toplam biriken iş maliyeti;

$$TC_B = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} B(i,j)M(i,j) \left[\frac{1}{L(i,j)} - 1 \right]$$

$B(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki birikmiş iş maliyeti

$L(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki her bir partisi için servis derecesi

Toplam elde bulundurmama maliyeti;

$$TC_A = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} A(i,j)M(i,j) \left[\frac{1}{L(i,j)} - 1 \right]$$

$A(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki elde bulundurmama maliyeti

Toplam elde bulundurma maliyeti;

$$TC_H = \frac{H}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} \left\{ \frac{1}{Pr(i,j)} - \frac{d}{\prod_{g=j+1}^{n(i)} [1 - p(i,g)]} \right\} \frac{Q[Pr(i,j)]}{\prod_{g=j}^{n(i)} [1 - p(i,g)]}$$

$1/Pr(i,j)$: i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki üretim oranı

Q : i. montaj/altmontaj parçasının j. durumdaki üretim miktarı

d : talep miktarı

Toplam gecikme maliyeti;

$$TC_R = C_R[\text{Max}\{(CT - T_R), 0\}]$$

C_R : birim başına gecikme ceza miktarı

CT : çevrim zamanı

T_R : müşteriye temrin zamanı

Önleyici bakım maliyeti;

$$TC_{PM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} [a(i,j) - b(i,j) \ln(p(i,j))]$$

$a(i,j) - b(i,j) \ln(p(i,j))$: hatalı ürün oranına bağlı kısıtlar

Formülün genel olarak gösterimi tüm maliyetlerin toplamından oluşmaktadır;

$$\begin{aligned} TC &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} C_S(i,j)S(i,j) + \frac{H}{2} \\ &\times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} \left\{ \frac{1}{Pr(i,j)} - \frac{d}{\prod_{g=j+1}^{n(i)} [1 - p(i,g)]} \right\} \frac{Q[Pr(i,j)]}{\prod_{g=j}^{n(i)} [1 - p(i,g)]} \\ &+ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} C_M(i,j)M(i,j) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} A(i,j)M(i,j) \left[\frac{1}{L(i,j)} - 1 \right] \\ &+ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} B(i,j)M(i,j) \left[\frac{1}{L(i,j)} - 1 \right] + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n(i)} [a(i,j) - b(i,j) \ln(p(i,j))] \\ &+ C_R[\text{Max}\{(CT - T_R), 0\}] \end{aligned}$$

Model çözümünde yazılım olarak MATLAB (Versiyon 5.3) kullanılmıştır. Modelin sağladığı kazancı göstermek amacıyla örnek problem oluşturulmuş ve sonuçları irdelenmiştir.

Yao, Xie ve arkadaşları da [3] stokastik bakım zamanlarına sahip belirsiz üretim ve stok yapısının olduğu bir imalat ortamında önleyici bakım ile üretim politikalarını aynı anda optimize etmeye çalışmışlardır. Problemi ortaya koyarken çeşitli kabuller yapmışlardır. Bunlar;

- I. Sistemi kesikli olarak kabul ederek problemi Markov zincirleriyle formüle etmişlerdir.
- II. Belirsiz stok yapısının talepten kaynaklandığını ve stokastik bir yapıya sahip olduğunu kabul etmektedirler.
- III. Makineler için ise operasyon esaslı arıza yapma yerine zaman esaslı arızalar yaptığı kabul edilmiştir.

Çözüm aşamasında ise üretim/bakım işlemlerini yüksek stok miktarı ve birikmiş olan işler olduğu kabulüne göre yapmışlardır. Daha sonraki çalışmalar için, örneğin maliyet faktörünün eklenmesi gibi durumlarda modelin kolayca probleme adapte olabileceğini göstermişlerdir.

Zequeira, Prida ve Valdés [4]; önleyici bakım süresince talebi karşılayacak emniyet stok seviyelerini (S,s) ve iki bakım işlemi arasındaki üretim zamanlarını (T) optimize etmek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Üretimin hatalı olma olasılığını da göz önünde bulundurarak problemi çözmüşlerdir. Çalışmalarının başında bazı kabuller yapmışlar ve üretimi buna göre değerlendirmişlerdir. Optimum " S,s " ve " T " değerlerinin belirlenmesinde maliyet tabanlı formül kullanılmıştır. Üstel dağılıma uyan makine arızalanmaları dikkate alınmıştır. Maliyeti hesaplarken hatalı ürün kalite maliyeti, bakım maliyeti, elde bulundurma maliyeti (h) ve elde bulundurmama maliyetlerini (ρ) hesaplamışlar ve sonuç olarak elde bulundurma/eksik stok (h / ρ) oranına bağlı sonuçlar elde etmişlerdir. Buna göre " h / ρ " oranının azalması ve hata

oranının artması stok seviyelerini etkilemektedir. Kabul ve şartları aynı şekilde olan sayısal örneklerinde bu problemi çözmüşlerdir.

Lam ve Tse [5]; $(k+1)$ duruma sahip (k defa çalışma ve 1 hata durumu) tekrarlı bir üretim sisteminde optimum bakım politikasını belirlemek için, stokastik yapıya sahip geometrik proses yaklaşımını kullanmışlardır. Problemin genel yapısını ortaya koymadan önce çeşitli varsayımlarda bulunmuşlardır. Bunlar;

- I. t zamanında sistem durumunu $S(t)$ ile gösterecek olursak; eğer sistem arızalı ise k ; çalışıyorsa i değerini alacaktır. ($i=0, 1, 2, \dots, k-1$)
- II. Başlangıçta yeni sistem sıfır (0) değerini almaktadır ve arıza sonrası yenilenince tekrar başa dönmektedir.
- III. $X_n(n-1)$. onarım sonrası işleme süresini, Y_n ise n. arıza sonrası onarım süresini ve Z değişim süresini gösterdiğine göre;

$P(X_1 \leq t) = U(t)$ daha geniş olarak $P(X_n \leq t | S(t_1) = i_1, \dots, S(t_{n-1}) = i_{n-1}) = U(a_{i_1} \dots a_{i_{n-1}} t)$ ile $P(Y_1 \leq t) = V(t)$ geniş ifade ile $P(Y_n \leq t | S(t_1) = i_1, \dots, S(t_{n-1}) = i_{n-1}) = V(b_{i_1} \dots b_{i_{n-1}} t)$ olarak gösterilmiştir. Buradan hareketle yapılan ileriki işlemlerde sistemin monoton bir proses olduğunu ispatlamışlardır.

Üretim sürelerinin, çalışma esnasında zamanla yıprandığı ve bozulduğu kabulü altında stokastik olarak azaldığı ve bunun karşısında bakım sürelerinin de aynı oranda arttığı kabul edilmiştir.

Sistemin (S_t) çalışır veya arızalı olma olasılık ve durumlarına göre problemi genişletmiş ve maliyetlerin harmonik ortalamalarına bağlı bakım politikası ortaya koymuşlardır.

Marquez, Gupta ve Heguedas [6]; sınırlı üretim oranı ve emniyet stoku ile rassal hata oranına sahip üretim ortamında, çeşitli bakım politikaları arasından en uygun bakım politikasının belirlenmesine çalışmışlardır. Sistemin mevcut durumuna bağlı arıza

olasılığı ve bakım/tamir süresi, bitmiş ürün stoku ve müşteri taleplerine göre, arızı bakım, makine zamanına bağlı bakım, makine zamanı ve emniyet stokuna bağlı bakım, onarılmış makine zamanı ve stoka bağlı bakım politikalarını karşılaştırmışlardır. En uygun bakım politikasını belirlerken Hooke-Jeeves, Nelder-Mead gibi yerel optimumu bulma tekniklerinin yanı sıra genetik algoritmalar gibi genel optimizasyon tekniklerini de kullanmışlardır. Sayısal örnek sonuçlarına bakarak sistemin performansına etkileyen faktörlerin, uygun bakım politikasının seçiminin yanında üretim kapasitesi ve stok seviyesinin önemini de ortaya koymuşlardır.

Şimdiye kadar incelediğimiz çalışmalarda üretim sisteminin arızalanma olasılığı zamana bağlı olarak artış göstermekteydi. Bakım sonrası sistem “yeni kadar iyi” kabulüne göre üretime devam etmekteydi. Ayrıca bakım esnasında talebi karşılayacak emniyet stokuna ihtiyaç duyulmaktaydı. Verimlilikte sürekli iyileştirmeyi hedefleyen; sıfır stok, sıfır hata, sıfır gecikme gibi kurallara sahip Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sisteminde en uygun bakım politikasının belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmalar da mevcuttur.

Salameh ve Ghattas [7]; üretim periyodu (T) boyunca makine arızalarını sıfır (0) olarak kabul eden ve bu süre sonunda düzenli önleyici bakım süresine (t) sahip bir TZÜ sisteminde en uygun emniyet stoku miktarının (S) belirlenmesini araştırmışlardır. “ T ” periyodu boyunca üretime devam eden ve diğer taraftan “ α ” stok doldurma oranına sahip sistemin “ β ” oranıyla stok harcadığını kabul etmişler ve problemi bu kabuller altında çözmüşlerdir. “ t ” bakım süresinin “ α/β ” oranından büyük veya küçük olmasına bakarak elde bulundurma veya bulundurmama maliyetini belirlemişlerdir. Buradan “ S ” stok miktarını çekerek en düşük maliyeti veren stok miktarını en uygun sonuç olarak bulmuşlardır.

Azadivar ve Shu [8] ise TZÜ sistemlerinde en uygun bakım politikasını belirlemede kullanılmak üzere on altı faktör belirlemiştir. Sistemin performans ölçütleri olarak “kalite”, “zamanında teslim” ve “maliyet” unsurlarını en iyi şekilde karşılayan uygun bakım politikasını belirlemede bu faktörleri kullanmışlardır. Bu faktörler;

1. Nihai ürün çeşit miktarı
2. Her bir ürün için gerekli işlem sayısı
3. Üretim rotasının karmaşıklığı
4. Arızalar arası ortalama süre
5. Hammadde bulunabilirliği
6. Arıza çeşidi
7. Üretim iş yükü
8. Dağılım çeşitliliği
9. Performans seviyesi
10. Arızalar arası ortalama süre değişim katsayısı
11. Ortalama bakım süresi değişim katsayısı
12. Bakım iş yükü
13. Talep sıklığı
14. Stok miktarı
15. Önleyici bakım/Reaktif bakım oranı
16. Önleyici bakımın doğruluk oranı

Sayısal örnekte ise faktörlerin performans ölçütlerine etkisine bakarak üç sınıf (Önemli, Miktara Bağlı ve Önemsiz) belirlemişlerdir. 3, 6, 7, 10, 11, 12, 15 ve 16 numaralı faktörler “Önemli Faktörler”; 13 ve 14. faktörler “Miktara Bağlı Faktörler” dir. Performansa etkisi olmayan “Önemsiz Faktörler” ise 1, 2, 4, 5, 8 ve 9 numaralı faktörlerdir.

2.1.2. Makine sayısına göre

Üretim sistemindeki makine sayısına bağlı olarak yapılan çalışmalar tek veya çoklu makine üretim ortamı olarak incelenmiştir.

Armstrong ve Atkins [9]; tek makineli bir üretim sisteminde bakım ve stok miktarını eşzamanlı olarak optimize etmeye çalışmış ve daha önce yine kendileri tarafından çalışılmış ortalama maliyet fonksiyonu üzerine, makinenin genel yaşlanma yenileme

kısıdı altında çizelgelenmiş veya çizelgelenmeyen siparişler ve önceden tahmin edilemeyen makine gecikmeleri kısıtları incelenmiştir.

Önceki çalışmalarında;

$$= \frac{c + k_s \int_{t_0}^{t_0+L} F(x) dx + k_h \int_{t_0+L}^{t_r} \bar{F}(x) dx + bF(t_r)}{\int_0^{t_r} \bar{F}(x) dx + \int_{t_0}^{t_0+L} F(x) dx}$$

olarak ortaya koydukları $JCF(t_0, t_r)$ ortalama maliyet oranı eşitliğinde;

c : önleyici değişim maliyeti

b : arızı değişim maliyeti

k_s : elde bulundurmama maliyeti

k_h : elde bulundurma maliyeti

L : gecikme zamanı

$F(t)$: makine arızası dağılım fonksiyonu ve $\bar{F}(t) \equiv 1 - F(t)$

$f(t)$: yoğunluk fonksiyonu

$h(t)$: makine ömrü bozulma oranı

t_r : makine parçası yenileme zamanı

t_0 : makine boş kalma zamanı olarak ifade edilmiştir.

Önleyici yenileme maliyeti olan c yerine makine yaşına bağlı $cv(t)$ maliyet fonksiyonu eklenmiştir. Burada c maliyet katsayısı ve $v(t)$ makine yaşına bağlı konveks yenileme maliyet fonksiyonudur. Sonuç olarak bir çevrim için beklenen yenileme maliyeti;

$$cC(t_r) = c \left\{ \int_0^{t_r} v(x)f(x) dx + v(t_r)\bar{F}(t_r) \right\}$$

şeklinde değişmiştir. Ayrıca işleme zamanını da makine ömrüne bağlı olarak;

$$aA(t_r) = a \int_0^{t_r} q(x)\overline{F}(x) dx$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada a maliyet katsayısı ve $q(t)$ makine yaşına bağlı artan maliyet fonksiyonudur. Ve son olarak ortalaması R olan yenileme değişim zamanı müddetince ortaya çıkan elde bulundurmama maliyeti de $k_s R$ olarak bilinmektedir.

Her üç maliyet eşitliğinin önceki denkleme eklenmesiyle makine yaşına bağlı maliyetleri eşzamanlı olarak optimize etmeye çalışsan;

$$JOD(t_o, t_r) = \frac{cC(t_r) + k_s \int_0^{t_o+L} F(x) dx + k_s R}{\int_0^{t_r} \overline{F}(x) dx + \int_0^{t_o+L} F(x) dx + R} + \frac{k_h \int_0^{t_r} \overline{F}(x) dx + bF(t_r) + aA(t_r)}{\int_0^{t_r} \overline{F}(x) dx + \int_0^{t_o+L} F(x) dx + R}$$

eşitliği elde edilmiştir.

Irevani ve Duenyas [10] da zamana bağlı olarak arıza olasılığı artan tek makineli ve stoka üretim yapan bir sistem üzerinde çalışma yapmışlardır. En uygun üretim/stok ve bakım/onarım politikalarını aynı anda optimize eden problemi Markov Zincirleri ile çözmeye çalışmışlardır. Burada makinenin üretim sonrası boş kalması, bakıma girmesi veya sürenin tamamını bakımda geçirmesi gibi üç farklı durum göz önüne alınarak sayısal örnek yapılmıştır.

2.2. Kullanılan Çözüm Tekniği

Çözümde yer alan matematiksel modellerin karmaşıklığı ve daha da önemlisi sistemin ortaya koyacağı sonuçların önceden elde edilmesine imkan sağlayan çözüm yöntemlerinin geliştirilmesiyle, problemler artık daha farklı ele alınmaya başlamıştır. Sistemin modellenmesinden sonra, değişkenlerinin kabullere göre çıktılarının

belirlenmesini sağlayan benzetim yöntemi bunların başında gelmektedir. Ayrıca daha öncedeki verileri işleme, yorumlama, hata düzeltme, çıkarsama yapma özelliğine sahip yapay sinir ağları, uzman sistemler, genetik algoritmalar, bulanık mantık gibi yapay zeka teknikleri sayesinde gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir.

2.2.1. Benzetim yöntemi

Sarker ve Haque [11]; üç üretim hattında üç değişik ürünün üretildiği bir imalat ortamında bakım ve stok için yedek parça üretimini benzetim yardımıyla optimize etmeye çalışmışlardır. Problemin benzetimini yapmadan önce bazı kabuller ortaya koymuşlar ve çözümü buna göre yapmışlardır. Bu kabuller;

- a) Her bir istasyon bağımsızdır. Beklenmedik ani arızalara sahiptir.
- b) Grup değişim politikası uygulanmaktadır ve gerekli süre tahminidir.
- c) Arıza yapma olasılığı zamana bağlı olarak azalmaktadır.
- d) Birim maliyetler zamana bağlı değildir ve bu yüzden sipariş miktarları optimizasyonu etkilemez.
- e) Stok tükendiğinde veya negatif olduğunda acil siparişler verilmektedir. Elde bulundurmama maliyeti üretim kaybı ve diğer direkt maliyetleri içermektedir.
- f) Sürekli stok kontrolü ve grup yenileme politikaları kabul edilmiştir.
- g) Montaj hatları dengelenmiştir. Bir istasyonun arızası durumunda diğerleri üretime devam etmektedir.

Bu kabuller sonrasında işlem süreleri ve yükleme zamanlarının Weibull dağılımına, parça yenileme zamanlarının Gamma dağılımına uyduğu kabul edilmiştir. Sayısal örnek, SIMSCRIPT II.5. benzetim paketi ile modellenip çözümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda,

- a) Sipariş yükleme zamanlarının bakım ve stok miktarının eşzamanlı iyileştirilmesinde etkili olduğu, bakım ile ilişkili olmadığı için ayrı ayrı optimize edilmesinde herhangi bir etkisinin olmadığı açıklanmıştır.

- b) Bileşen ömürlerinin kısa olması işlem sürelerinin azalmasını sağlayacağı için, yenileme sıklığı artacak; dolayısıyla maliyetlerin artmasına neden olacaktır.
- c) Düzenli sipariş maliyeti de ortalama maliyetlerle doğru orantılı olarak elde edilmiştir. Sipariş maliyeti azaldığında stok miktarı da daha az sipariş miktarına sahip olacak; dolayısıyla maliyeti düşük tutmak için yenileme aralığı da azalacaktır.

Rezg, Xie ve Mati [12] ise çalışmalarında, makineler arası ara mamul stoku olmayan, n adet makineye sahip bir üretim hattı üzerinde bütünleşik bakım faaliyetleri ve stok kontrolü içeren bir metot geliştirmeye çalışmışlardır. Bakım politikaları ile ilgili olarak;

- a) Arıza zamanı $f_i(.)$, önleyici bakım zamanı $g_{pi}(.)$ ve arızı bakım zamanlarının $g_{ci}(.)$ olasılık dağılım fonksiyonları bilinmektedir.
- b) Önleyici bakım maliyeti M_p ve arızı bakım M_c maliyetleri bilinmektedir. Ve $M_c > M_p$ olduğu bilinmektedir.
- c) Hatalar anlık olarak ortaya çıkmakta ve bakım sonrası makineler yeni kadar iyi duruma gelmektedir.
- d) Bakım işlemleri sırasında yeterli kaynak mevcuttur.

Stok kontrolü ile ilgili olarak;

- a) Elde bulundurma maliyeti C_S ve elde bulundurmama maliyeti C_P bilinmekte ve $C_P > C_S$ olarak kabul edilmektedir.
- b) Stok doldurma sırasında makine yeni kadar iyi olduğu için hata olasılığı ihmal edilmiştir.

kabulleri yapılmış ve buna göre sayısal örnekte karşılaştırma için genel formülleri elde edilmiştir. $(0-t)$ arasında toplam maliyet;

$$\Phi(t) = M_C \cdot N_C(t) + M_P \cdot N_P(t)$$

$N_C(t)$ belirlenen süre içerisinde meydana gelen arızı bakım sayısı ve $N_P(t)$ önleyici bakım sayısını temsil etmektedir. Bu temel formülün geliştirilmesiyle optimum stok

miktarı için en uygun bakım politikasının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Sayısal başlangıç değerlerinin yerleştirilmesi sonucu uygun sonucu bulmak mümkündür.

Daha önce sayısal sonuçları bulunan problemin benzetim yoluyla çözümünü yapmak için model kurulmuştur. Bakım ve stok politikaları programlandıktan sonra değişik senaryolar geliştirilmiş ve en uygun sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Promodel benzetim programı kullanılarak sayısal sonuçlar belirlenmiş ve modelin bakım politikalarında % 10,3 hata oranı, stokta ise %2 hata oranı ile çözüme ulaşılmıştır.

2.2.2. Yapay Zeka teknikleri

Benzetim yöntemiyle elde edilen başarılı çözümlerin yanında, son zamanlarda gelişim göstermiş olan Yapay Zeka teknikleri ile de bu tür problemlerin çözülebileceği gösterilmiş ve çalışmalar yapılmıştır. Yapay Zeka teknikleri, problemlerin tanımlanması, modellenmesi ve sonuçların elde edilmesinde benzetim yöntemine göre daha kolay ve anlaşılır olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Yapay Zeka tekniklerinden biri olan genetik algoritmalar kullanılarak makine parçalarının en uygun bakım politikasının belirlenmesi Tsai, Wang ve Teng [13] tarafından çalışılmıştır. Makine parçalarına yapılacak bakım çeşitlerini ilk önce arızı ve önleyici olarak iki kategoriye ayırmışlardır. Arızı bakımı kendi içerisinde asgari onarım (1C) ve arızı yenileme (2C) olarak; önleyici bakım (1P) ve önleyici yenileme (2P) olarak da önleyici bakımı ikiye ayırmışlardır. 1C asgari bakımı sistem zamanı üzerinde herhangi bir değişiklik yapmayıp sadece hatayı onarıp güvenilirliği tekrar sağlar. Arızı yenileme (2C) bakımı ise sistem zamanını sıfırlayarak yeni bir makine ömrü oluşturur. 1P önleyici bakım güvenilirliği yükseltmeye yönelik olarak yapılmaktadır. Önleyici yenileme (2P) olarak yapılan bakım, 2C ile aynı olup yeni bir makine ömrü eğrisi oluşturur. Fakat sistem zamanı içinde meydana gelir.

Örnek uygulamada problemin çözümüne geçmeden önce belli kabuller yapılmıştır. Bunlar sistemin güvenilirlik düzeyinin aynı seviyede tutulmasına yönelik önleyici bakım parametrelerinin baştan belirlenmesini, maliyetlerin sistem zamanı içinde değerlendirileceği ve üretim zamanı içinde meydana gelecek arızaların asgari onarım (1C) ile en iyi haline döndürüleceğini içermektedir. Makinelerin 10 adet parçaya sahip olduğu ve her parça için iki tür bakım durumu (1P; 2P) olduğu kabul edilmiştir. Örneğin 1020110121 şeklindeki bir kromozom, birinci parça için 1P bakımının; üçüncü parça için 2P bakımının yapılması gerektiğini; ikinci parçanın bakıma ihtiyaç duymadığını göstermektedir. Çözüme başlarken 50 kromozom seçilmiştir. Bunlar sırasıyla tekrar üretim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulmuş ve böylelikle daha uygun sonucu verecek 50 yeni kromozom elde edilmiştir.

Sonuçların değerlendirilmesi için belirlenen amaç fonksiyonu, birim maliyet zamanına ($B_{m,j}^*$) bağlıdır.

$$B_{m,j} = \frac{t_p + T_{j+1}}{C_{s,0} + C_{r,j} + C_{p,j} + C_{r,n}}$$

formülünde t_p önleyici bakım zamanını, T_{j+1} bir sonraki bakım zamanını, $C_{s,0}$ sistemin işleme maliyetini ve $C_{r,n}$ sistem işlerken yapılan arıza bakım maliyetini göstermektedir ve sayısal olarak girilir. $C_{r,j}$ ve $C_{p,j}$ sırasıyla arıza ve önleyici bakım maliyetlerini temsil etmektedir.

Değişik arızalar arasındaki süreler karşılaştırıldığında, en uygun çözümü veren yani birim maliyet zamanı en yüksek olan süre 9000 saat olarak bulunmuştur. Bununla ilgili sonuçlar Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 1. Değişik Bakımlar Arası Süreler Altında Birim Maliyet Zamanları

Bakımlar Arası Süresi	Bakım İçeriği	Birim Maliyet Süresi
6000	0101100102	1,0503
7000	0202110102	1,1322
8000	0202110202	1,2151
9000	0202210202	1,3197
10.000	0202210212	1,2795
11.000	1202210212	1,2333
12.000	1202221212	1,1836

Çözüm sonrası elde edilen bazı sonuçlar;

- a) Önleyici bakım (1P) ve önleyici yenileme (2P) faaliyetlerinin ve etkilerinin gerçekte yapılacak üretim için ne kadar uygun olduğu gösterilmiştir.
- b) Önleyici bakımın çizelgelenmesinde kullanılan karmaşık sayısal formüller yerine, dinamik bir yapıya sahip genetik algoritma yaklaşımının aynı hesaplamayı hatta daha uzun süreler için hesaplamayı başardığı elde edilmiştir.
- c) Önleyici bakım faaliyetinin önleyici yenileme faaliyetinden maliyet açısından daha büyük öneme sahip olduğu gösterilmiştir.

Önleyici bakım konusuyla ilgili olarak yapılmış bir diğer çalışma ise Al-Najjar ve Alsyouf [14] tarafından yapılmıştır. En uygun bakım yaklaşımının belirlenmesinde bulanık mantık tekniği ve çok amaçlı karar verme değerlendirme metotlarını kullanmışlardır. Bu sayede hataların sifıra indirgenmesi ve parçaların en uzun kullanım süresine sahip olması amaçlanmıştır.

Sonuçların karşılaştırılmasında kullanılacak kriterler;

- a) İşleme ve çevre koşulları,
- b) Gözetim ve bakım faaliyetlerinin kalitesi,
- c) Makine kullanım zamanı,

şeklindedir. İşleme koşulları, makine yükleme şekilleri (sürekli, aralıklı, kısmi, ..), işleme hızı, işleme sıcaklığı ve basıncı altında gerilim gibi faktörlerdir. Çevresel koşullar ise ortam ısısı, nem, titreşim seviyesi, yağlama sıcaklığı ve çevrede oluşan kir gibi faktörlerdir. Gözetim ve bakım faaliyet kalitesini, yağlayıcı kalitesi, temizleme, mekanik gevşeklik, işleme ve bakım eleman becerileri, parça kalitesi, veri kalitesi oluşturmaktadır. Makine kullanım süresi gözlem yoluyla belirlenebilmektedir.

Çözümde yer alacak bulanık değişkenleri geçmiş veriler, mevcut veriler ve yeterlilik olarak üç grupta toplamışlardır. Çıktı kümesini ise bakım yeterliliği olarak belirlemişlerdir. Geçmiş veriler sistem hakkında önceki verileri içermektedir. Mevcut

veriler takım ve bileşen verilerini, yeterlilik ise sistemin işleyişi sırasında elde edilen verileri içermektedir. Verilerin kendi içlerinde üyelik dereceleri belirlenmiştir. Örneğin geçmiş veriler değişkenini kendi içinde çok düşük, düşük, az düşük, normal, az yüksek, yüksek ve çok yüksek şeklinde yedi dilsel değişkene bölmüşlerdir. Çıktı kümesini ise çok yetersiz, yetersiz, az yetersiz, vasat, az yeterli, yeterli, çok yeterli olarak ayırmışlardır. Daha sonra bu değişkenleri “eğer-ise-sonra” kuralları ile MATLAB Fuzzy programına girmişlerdir.

Sonuçta elde edilen verileri SAW derece sıralama tekniği ile sayısal değerlere (S_i) çevirmişlerdir.

$$S_i = \sum_j W_j R_{ij}$$

W_j , j. hatanın üyelik derecesini; R_{ij} ise i. bakımın j. kritere etki üyelik derecesini göstermektedir. Tüm S_i değerleri bulunduktan sonra da $O_i = S_i / \sum S_i$ derecelerini bularak dilsel değişkenlerin sayısal ifadelere dönüştürülmesini sağlamışlardır. Maksimum O_i 'ye sahip bakım yaklaşımını en uygun bakım yöntemi olarak bulmuşlardır.

BÖLÜM 3. TEORİK ALTYAPI

3.1. Üretim Sistemleri ve Sınıflandırılması

Üretim; bir fiziksel varlık üzerinde onun değerini arttırıcı bir değişiklik yapmak veya hammadde ve yarı mamulleri mamule dönüştürmek olarak tanımlanabilir. Bu mühendisler tarafından ortaya konmuş tanımıdır. Ekonomistler ise üretimi bir fayda meydana getirmek şeklinde düşünürler [15].

Üretim sistemleri ise istenilen ürünü, istenilen zamanda, makul maliyette, gerekli miktarda ve kalitede üretilmesini sağlar. Bir üretim sistemi içinde çok sayıda fonksiyonlar içeren bir sistemdir. İşletmelerde hammadde tedarikinden pazarlama sürecine kadar ister plan dahilinde, isterse plan dışı şüphesiz bir üretim sistemine sahiptirler. Üretim sistemleri çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır:

3.1.1. Üretim miktarına göre sınıflandırma

Üretim sistemi oluşturulurken işletmelerdeki üretim miktarı sisteme doğrudan etki edecek değişiklikler meydana getirmektedir. İstenilen üretim miktarını üretecek makineler, çalışanlar ve üretim yöntemleri üretim sistemlerini değiştirecektir. Bu sistemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [16].

3.1.1.1. Siparişe göre üretim

Küçük miktarlarda fakat yüksek düzeyde ürün çeşitliliğini kapsayan belirli siparişleri karşılamak üzere yapılan üretimdir. Bu sistemlerde kullanılan tezgahlar çok işlemlili olup bir çok değişik işlemi yapabilmektedir. Böylece her tezgaha bir işçi yerine her

tezgahta çalışabilecek işçi tipi ortaya çıkmaktadır. Talebin yapısındaki değişkenlik nedeniyle sipariş tipi üretimin yöneticileri üretim faaliyetlerinin bütün safhalarında daha büyük sorunlarla karşılaşır. Yüksek düzeyde imalat ara stokları, düşük tezgah ve işçi kullanımı, yüksek iş akışı, denetim güçlükleri, ana yönetim sorunlarıdır.

3.1.1.2. Parti üretim sistemleri

Sürekli bir üretimi veya siparişleri karşılamak için benzer ve aynı cinsten ürünler partiler halinde üretilir. Parti üretiminde talep sürekli ve sipariş tipi üretime göre daha az değişkendir. Parti adet ve büyüklükleri parti üretimindeki iki önemli sorun olarak kabul edilmektedir. Bu üretim türünde üretim planlama ve kontrol çalışmaları sipariş türü üretime göre daha kolaydır. Bununla birlikte partinin bir defalık, belirsiz aralıklarda ya da belirli aralıklarda üretilmesi de planlama çalışmalarının zorluğunu etkiler.

Aslında, (a) ürün çeşitliliği azaldıkça, (b) üretim miktarları arttıkça ve (c) işlem tekrarlılığı arttıkça, diğer bir deyişle kesikli üretimden sürekli üretime geçildikçe, üretim planlama ve kontrol faaliyetlerinin kolaylaştığı görülecektir. Genelde sipariş tipi üretimle parti üretiminin bir kısmı (bir defalık parti üretimi ve az sayıda belirsiz aralıklarda parti üretimi) kesikli üretim olarak tanımlanır. Partilerin üretilmesi bu tip üretimi sürekli üretim sistemlerine yaklaştırır.

3.1.1.3. Sürekli üretim

Üretilen ürün miktarının fazla, ürün çeşidinin az olduğu ve talebin üretim hızını aştığı üretim türüdür. Sürekli üretimde uzmanlaşmayla birlikte özel ve pahalı makine ve donanım kullanılır. Ayrıca tesisler üretilecek ürüne göre tasarlanmıştır.

Sürekli üretimde, birbirinden farklı operasyon sıralarına ve yardımcı üretim araçlarına ihtiyaç gösteren değişik ürünlerin imalatından ortaya çıkan karmaşıklıklar

ve zorluklar yoktur. Bu tip üretim ileri bir teknoloji gerektirir ve karmaşık ürünleri üreten sistemlerde görülür.

3.1.1.4. Proje üretimi

Belirli bir mamulün yalnız bir kez üretilmesi için işgücü ve makinelerin bir araya getirildiği üretim sistemleridir. Uydu, uçak, baraj ve gemi yapımı proje üretimi tipine girer. Bu üretim tipinde kullanılan ekipmanlar ürün için özel dizayn edilmiş olup maliyetleri yüksektir ayrıca ürünlerin birim fiyatı çok yüksektir. İşlemlerin yapılabilmesi için işlerin üretim başlamadan önce öncelikleri belirlenmeli ve planlar yapılmalıdır.

3.1.2. İş yeri düzenlemesine göre sınıflandırma

İşletmeler üretilecek ürünün niteliğine göre değişen, mantığa ve amaçlara en uygun olan iş yeri yerleşim biçimini seçme aşamasında; üretim faaliyetlerini düzenlemek, iş akışını kolaylaştırmak, iş akışlarında geri dönüşümleri minimize etmek, üretim süresini makul kılmak, ara stokları minimize etmek ve darboğaz olan işlemleri kontrolde tutmak isterler. Bu gibi iş yeri yerleşiminden kaynaklanan sorunların üstesinden gelerek, yerleştirmeden kaynaklanan maliyetleri ve işlem verimliliğini arttırmak amaçlanır. Yerleştirme tipleri ürünün cinsi ve kütlesine bakarak başlıca üç şekilde gruplandırılabilir:

3.1.2.1. Sabit pozisyonlu yerleşim

Üretimi gerçekleştirilecek taşınamayacak ürünlerin üretilmesinde kullanılan yöntemdir. Bu yerleşim türünde ürün ve ürüne ait malzemeler taşıyamayacağı kadar ağır veya hacimli olduğundan ürün olduğu yerde imal edilir. Aletler, işçiler ve diğer malzemeler ürünün etrafına konumlandırılır.

Birim üretim, ürünün niteliğinden kaynaklanan talep düşüklüğü olduğu durumlarda kullanılır. Uçak, gemi, baraj gibi büyük hacimli ve ağır ürünler bu tip yerleşim düzeni ile üretilir.

Bu yerleşim tipinin avantajları şöyle sıralanabilir:

- a) Malzeme hareketi düşüktür.
- b) Çalışanların çalışma alanları belli olduğundan, işin tamamlanmasına göre kontrol ve gözlem rahat yapılabilir.

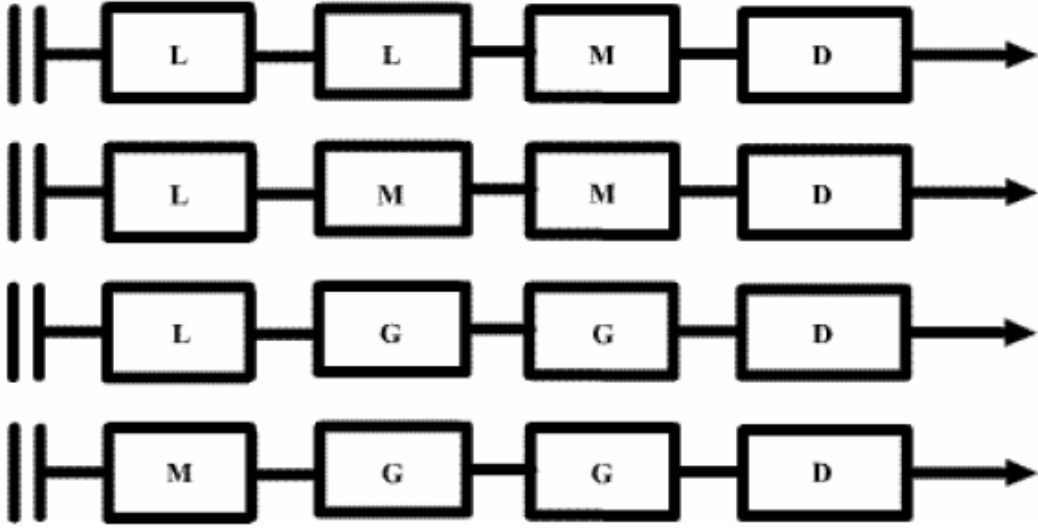
Bu avantajların yanında yerleştirme tipinin getirmiş olduğu dezavantajlarda vardır:

- 1) Malzeme ve çalışanların mamulün bulunduğu yere konumlandırmak pahalı ve zor olabilir.
- 2) Çalışanların işlerinde uzman olmaları gerekmektedir.
- 3) Makine ve teçhizattan yararlanama oranı düşüktür.
- 4) Bu tür yerleşim tipinde büyük enseliğe sahiptir.

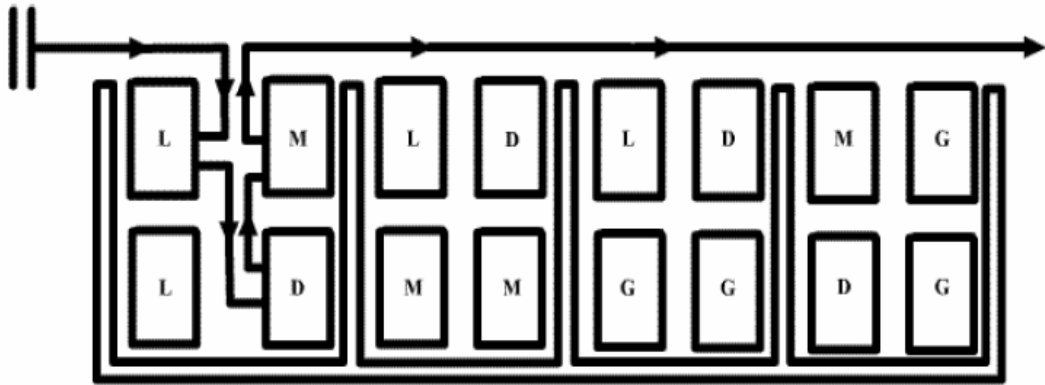
3.1.2.2. Mamule göre yerleşim

İmalatı gerçekleştirecek donatımın yerleştirilmesinde mamule uygulanacak işlemlerin önemli rol oynadığı yerleşim tipidir. Sürekli üretime uygun bir yerleşim biçimidir. İşletmede üretilen her ürün için ayrı üretim hattı kurulur. Bu yerleşim düzeninde makine ve ekipmanların dizilimi mamule yapılacak işlemler göz önüne alınarak dizilim gerçekleşir. Ürüne ait parçalar bir işlemde peşi sıra olan diğer işleme geçerek üretim gerçekleştirilir. Üretilen toplam ürün sayısını en yavaş işleyen iş belirler. Üretim de az çeşitte standart ürünleri yüksek miktarlarda üreten işletmeler bu yerleşim tipini seçerler. Bu yerleşim tipinde iş istasyonları arasında gecikmeler, ara stok yığılmaları, işlem sürelerinin farklı olması gibi sorunların üstesinden gelene bilmesi için montaj hatlarının dengelenmesi gerekmektedir.

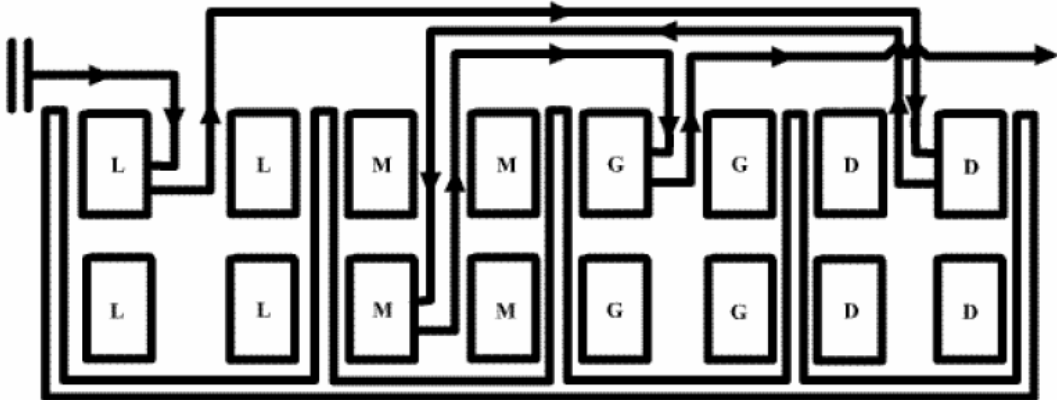
Aşağıdaki şekillerde sırasıyla Hat, Grup ve Fonksiyonel Yerleşim tipleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. Hat Tipi Yerleşim



Şekil 3. 2. Grup Tipi Yerleşim



Şekil 3. 3. Fonksiyonel Yerleşim

Bu yerleşim tipi ile sağlanan başlıca avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Taşımadan kaynaklanan maliyetler, fireler azalır.
- 2) Mamulün üretim zamanı standartlaştırılabilir ve birim mamulün üretim süresi diğer yonteme göre küçüktür.
- 3) İşlemler basitleştirilmiş olduğundan vasıfsız çalışanlar kullanılabilir.
- 4) Fabrika içinde yer alan yarımamül stoku azdır.
- 5) Üretimin gerçekleştirilmesi için daha az yer yeterlidir.
- 6) Üretim planlama ve kontrol işlemleri daha basit ve kolay yapılabilir.
- 7) Fabrika içinde iş akışı düzgün ve rasyoneldir.

Bu avantajların yanında yerleşim tipine ait dezavantajlar da mevcuttur. Yerleşim tipine ait dezavantajlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Tek bir ürüne yönelik uzmanlaşma sonucu esneklik azdır.
- 2) Makineler spesifik amaçlı olduğundan makinelerin temin edilme süreci zahmetli ve pahalıdır. Bu yüzden yatırım maliyetleri yüksektir.
- 3) Kritik iş istasyonunda meydana gelebilecek aksaklık tüm üretime etki eder.
- 4) İş istasyonları arasında koordinasyonu sağlamak kolay olmayabilir.

3.1.2.3. Prosese göre yerleşim

Bu tip yerleşimde imalatı gerçekleştirecek donatımın tipi ve karakteristikleri önemli rol oynar. Genel itibari ile prosese göre ayrılmada şu şekilde gerçekleşir: talaş kaldırma, freze, kaynak, pres gibi çeşitli bölümler ile meydana gelir. Sipariş üzerine değişik ürünlerin üretimini yapan işletmeler bu yerleşimi kullanır. Yerleşim yapılırken çeşitli işlem elemanlarının en önemlisinin ekonomik ve faydalı yerleştirilmesi önemlidir.

Bu tip yerleşimin avantajları şöyle sıralanabilir:

- 1) Donanımına harcanacak yatırım maliyeti azdır.
- 2) Üretim imkanları geniştir. Tezgahlar universal olduğundan aynı üretim dalında her türlü üretimin gerçekleştirilmesine olanak tanınır.
- 3) Tezgahların başında bulunana çalışanlar işlerinde uzmanlaşmış kişilerdir. İmalattaki sorunları çözebilecek teknik becerilere sahiptirler.
- 4) Çalışanlar devamlı aynı işi yapmadığından motivasyon düzeyleri yüksektir.

Aynı yerleşim biçiminin avantajlarının yanında bazı dezavantajlarda meydana getirir:

- 1) Bu tip yerleşimde prosesler arasında ara mamullerin taşınması masraflı ve zaman alıcıdır.
- 2) İşlemler arasında ara stok seviyesi yüksektir.
- 3) Makine ve işçilerin işlere dağılımını programlamak zordur. Çalışanlar veya makineler atıl bekleyebilir.
- 4) Aynı tip mamulün üretilmesi farklı zamanlar alabilir.
- 5) Toplam üretim miktarı uzundur.

3.1.3. Üretilen mamulün cinsine göre sınıflandırma

Üretim sisteminde yer alan mamuller elde edilme kaynağı aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

3.1.3.1. Birincil üretim

Doğada ham olarak var olan elementleri girdi olarak kullanarak üretimlerini gerçekleştiren işletmelerin sahip olduğu üretim tipidir. Petrol, orman ürünleri, balıkçılık, kömür, bakır ve demir gibi üretim gerçekleştiren işletmelerin üretim tipi bu sınıfta yer alır.

3.1.3.2. Dönüştürücü üretim

Doğada var olan bazı ürünlerin işlenerek parçalanıp veya ayrıştırılıp başka mamullere dönüştürülmesidir. Ham petrolün mazot, benzin ve diğer petrol ürünlerine dönüştürülmesi bu üretim grubuna örnek olabilir.

3.1.3.3. Sentetik üretim

Doğada var olan bazı maddelere üretim esnasında bazı kimyasal maddeler eklenerek yeni mamuller üreten üretim tipidir. Plastik ve cam üretimi bu gruba örnek teşkil eder.

3.1.3.4. İmale dayalı üretim

Yukarıda yer alan üretim tiplerinde biri ile elde edilmiş mamulleri şekil vererek üreten sistemler bu gruba dahil olurlar. Torna, döküm imalatı yapan işletmeler bu gruba dahil olurlar.

3.1.3.5. Montaj üretimi

Yukarıda sistemler ile üretilen mamullerin tamamı veya bir kısmının ürettiği ürünlerin hammadde olarak girdiği ve bu hammaddeler üzerine sistematik şekilde işlemler uygulandığı üretim sistemidir. Bu üretim tipine sahip sistemlerde ürünler bünyelerinde büyük miktarda bileşeni barındırırlar. Ayrıca bu ürünlere ait talepler de büyük miktardadır.

3.2. Bakım Yönetimi

3.2.1. Bakım ve bakım yönetimi kavramları

Bakım, sistemleri veya makineleri faal vaziyette, arızasız çalışma durumunda tutmak veya arızalanan ekipmanları en kısa sürede faal konuma geri döndürmek için yapılan faaliyetlerdir.

Bakım yönetimi, işletmelerin yüksek miktarlarda yatırım yaptıkları tüm fiziksel ve teknik donanımın arıza yapmadan sürekli olarak çalışır durumda tutulabilmelerini sağlayan faaliyetler ile ilgilidir. Bakım yönetimi faaliyetleri temel ve yardımcı fonksiyon faaliyetleri olmak üzere iki gruba ayrılır.

Bakım yönetiminin temel fonksiyonları şunlardır:

- a. Mevcut işletme, makine, araç-gereçlerin bakımı ve korunması,
- b. Makine ve teçhizatın periyodik bakımı, kontrolü ve yağlanması,
- c. Mevcut makine, araç-gereçlerin ve binaların yenilenmesi,
- d. Yeni makine, araç-gereçlerin yerleştirilmesi ve yeni bina inşası,
- e. Enerji üretim ve nakil vb. tesisatın kontrolü ve bakımı,
- f. Bakım hizmetlerinden yararlanma seviyesinin artırılması.

İşletmelerdeki başlıca yardımcı bakım yönetim fonksiyonları:

- a. Ambarların korunması ve kontrolü,
- b. İşletme binasının yangın, patlama vb. tahribata yol açan tehlikelere karşı korunması. Bunun için gerekli koruyucu malzeme ve tesislerin bakımı,
- c. Hurda makine, araç-gereçlerin değerlendirilmesi,
- d. Çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla atık maddelerin ortadan kaldırılarak değerlendirilmesi,
- e. Bina, makine, araç-gereçlerin sigorta işlemleri,

f. İşletme yönetimince bakım mühendisliğine verilecek diğer görevler [17].

3.2.2. Bakım faaliyetlerinin amacı

Sistemde meydana gelen arızalar üretim veya hizmet sürecinin sekteye uğramasına, bir başka deyişle kayıp zamanların çoğalmasına neden olur. Seçilerek uygulanacak bakım faaliyetleri kısacası bakım politikası, sistemdeki arızaların sıklığını veya arızaların ciddiyetini azaltarak, en etkin ve verimli şekilde çalışmalarını hedeflemektedir. Böylece sistemden elde edilecek faydanın çoğaltılmasını sağlamaktadırlar. Diğer amaçlar ise;

- a. Ürünlerin kalite seviyesini sabit tutmak,
- b. Makine ve ekipman ömürlerini en üst düzeye çekmek,
- c. Makine ve ekipmanın sürekliliğini sağlamak,
- d. Üretim planlarının etkinliğini sağlamak,
- e. Arızalar dolayısıyla duruş sayısını en aza indirmek,
- f. Arızalar yüzünden meydana gelebilecek kazaları bertaraf etmek,
- g. Iskartayı azaltarak israfı önlemek [18],

3.2.3. Bakım faaliyetlerinin faydaları

3.2.3.1. Makine ömrü

Planlı bakım uygulanan yerlerde, makine ömrünün artırılabilceğinin kabul edilmesi mümkündür. Bununla birlikte, istatistikî olarak durumun tespiti zordur. Birçok baskı makineleri, sadece küçük ayarlar ve operatörlerin yağlaması ile başarılı olarak yıllarca çalışmaktadırlar. Aynı şekilde, birçok takım tezgahları da operatörlerinin gösterdiği özen sayesinde uzun yıllar tatminkar olarak iş görebilmektedirler.

3.2.3.2. Personelin geliştirilmesi

Bakım planlamasının, planlı revizyonun ve teknik enformasyon sisteminin uygulanması, işçinin etkin olmayan zamanını azaltır, iş tatminini artırır ve bakım işçisinin çalışma ve sosyal davranışlarını geliştirir. Takımların, yedek parçaların ve iletişimin planlı bir şekilde temin edildiği ve programa göre tamamlanan başarılı bir işi yapan bakım işçisinin, diğer işçiler arasındaki yeri kuvvetli olur. Bundan başka, etkin olmayan davranışlardan kaçınılması işçiler üzerinde olumlu etki yapar ve daha yüksek verimlilik, daha iyi ilişkiler, istihdamda karlılık elde edilir.

3.2.3.3. Duruş zamanının azaltılması

Çok karmaşık olmayan tesislerde bile planlı bakım uygulaması ile duruşlarda elde edilen düşme, işçilik ve diğer bütün maliyetlerdeki artıştan daha önemli olmaktadır. Sürekli akış hatlarında bu durum daha da önem arz eder. Çünkü, yüksek üretim düzeyi yanında işlemler de birbirine bağlı olduğundan, bir kısımdaki aksama diğer kısımların da durmasına yol açar.

3.2.3.4. İşgücü kullanımı

Genel revizyon işlerinin planlaması, bakım bölümünde verimliliğin elde edilmesi için gereklidir. Uygun hazırlık, takım ve yedeklerin temini, sadece duruş ve hizmete geçiş zamanının sıhhatle hesaplanmasına olanak vermez, aynı zamanda işçi ve malzemelerin en etkin şekilde kullanılmasını da sağlar.

3.2.3.5. Tesisin rasyonalizasyonu

Yeni endüstriyel tesislerin kurulmasında veya mevcut bir tesisin düzeninde tesisin standardizasyonunun dikkate alınması gereklidir. Üretim kapasitesinin

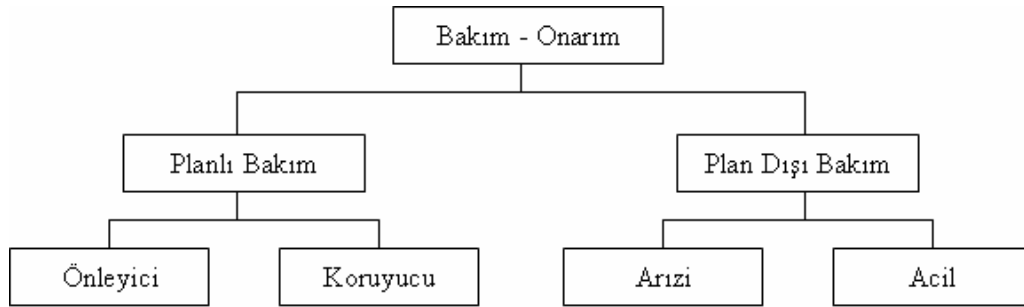
genişletilmesine veya geliştirmeler yapıldığında bazen standart olmayan üniteler de kullanılabilir ki bu durum yedeklere bağlanan yatırımı artırdığı gibi rasyonelasyon için kabul edilebilir sınırı da yükseltir. Standart ünitelerden oluşan bir tesis satın alınırsa bunların revizyonları yenileme suretiyle yapılabilir. Bu husus, merkez atölyeleri olan tesisler için özellikle değer ifade eder. Standardizasyon eğitim ve tanıma zamanını da kısaltır.

3.2.3.6. Bakım teçhizatının ve yedek parçanın rasyonelleştirilmesi

Mümkün olan rasyonelleştirme için, tesis ve yedek parçaların gözden geçirilmesi ve takım-teçhizat için yapılan yatırımlara olan etkisi daha önce belirtilmişti. Projenin planlaması aşamasında, satıcı tarafından tavsiye edilen yedek parçalar ve teçhizat listeleri dikkatlice incelenmeli ve aşırı stok ve standart bir parçanın değişik tekrarlarından kaçınılmalıdır. Bu aşamada bahsedilecek bir rasyonelasyon, gelecekte işletme için ekonomik bir esas ortaya koyar. Aynı şekilde stokların gözden geçirilmesi ve bakımı, düşük ve yüksek seviyelerinin kontrol edilmesi gerekir. Stoktaki yatırımın kontrolü bakım yönetim programının amaçlarından biri olmalıdır.

3.2.4. Bakım çeşitleri

İşletmelerde yapılan bakımı en genel şekliyle planlı ve plan dışı olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Makine arızalandığında veya acil müdahale edilmesi gereken durumlarda “Plan Dışı Bakım”; makine arızalarını beklemeden makinelerin bakıma alındığı Koruyucu ve Önleyici Bakımı ise “Planlı Bakım” olarak ifade edebiliriz. şekil 3.4., genel olarak bakım çeşitlerini göstermektedir.



Şekil 3. 4. Bakım-Onarım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması

3.2.4.1. Arızı bakım

En ilkel bakım yöntemi olup, makineler arızalandıktan sonra tamir yoluna gidilir. Makinelere servis süresince gereken yağlama vb. gibi işlemlerin uygulanması bakım planı dahilinde yapılır. Arıza anında, makinenin varsa yedeği devreye girer. Yoksa makinenin onarımı tamamlanana kadar üretim veya hizmet durur. Esas olarak, henüz bakım planlaması yapacak teknik düzeye ulaşmamış işletmelerde kullanılan bir yöntemdir.

Sistemin tek avantajı, makinenin ya da parçanın tamamıyla aşınmasından yani faydalı ömrün bitişinden sonra servisten çıkarılmasıdır. Makinenin arızalanması durumunda yedeğini buldurmak hem işletmeye maddi bir yük getirecek, hem de depolama sorunu oluşturacaktır. Hasarın ne zaman, hangi ekipmanda meydana geleceği bilinmediğinden, arıza anında gerekli yedek ekipman stokunun fazla olması beklenemez. Böylelikle, tamir için gereken duruşlar genellikle uzun olur. Bu nedenle, sağlıklı bir üretim organizasyonu veya iş planlaması mümkün olmayacaktır. En vahim olanı da, makine arızalarına durum felaket düzeyini alıncaya kadar bakmayan bu sistemde, çok ufak bir rulman arızası yüzünden çok büyük ve pahalı bir motorun kaybedildiği bile görülmektedir [19].

Bu nedenlerden ötürü, büyük makinelerle çalışan büyük işletmeler bu yöntemi terk etmiştir.

3.2.4.2. Koruyucu bakım

Servis süresinde oluşmaya başlamış, hasara neden olabilecek hataların basit, düzeltici ve koruyucu bakım yöntemleri ile önlenerek, hasarın oluşma süresinin uzatılabileceği düşüncesiyle ortaya çıkmış bir bakım tekniğidir. Ancak, tarafsız bir gözlem yapılırsa, günümüzdeki ağırlaşan piyasa şartlarına tek başına cevap veremeyecek bir bakım tekniği olduğu görülebilir.

Merkezi yönetime sahip her endüstriyel kuruluşta, bakım faaliyetleri, bir bakım sistemi esas alınarak yapılır [20]. Planlı periyodik bakım yöntemi, imalatçının verdiği bakım periyotları içinde, makineler arıza yapsın yapmasın durdurulup tamir ve bakımını önerir. Aynı şekilde, verilen ömür dolduğunda makine parçaları arızalı olsun olmasın değiştirilir. En uygun bakım aralığının tespiti oldukça güç olmasına rağmen, uygulama açısından en kolay yöntemdir. Uygulama ve organizasyon bakımından çok fazla masrafa neden olmamaları en önemli tercih sebepleridir.

Planlı periyodik bakım sisteminin ana amacı, üretim hattında kullanılan makinelerin sürekli olarak aynı güvenilirlikte kalmalarını sağlamaktır. Düzenli ve sürekli bakım organizasyonu sağlaması, beklenmeyen arızaların ortaya çıkma sıklığını azaltması, makine ve ekipmanların faydalı kullanım ömürlerini arttırması sistemin olumlu yönleridir. Bu yöntem, her ne kadar bozulunca bakımdan daha ileri bir yöntem ise de, en büyük zaafı, makineleri bazen, belki de çoğu kez arıza olmaksızın durdurmayı öngörmesidir. İşletmelerde, en büyük maddi zararlardan birinin duruşlardan ötürü kaybolan üretimden geldiği düşünülürse, bu yöntemin maliyet açısından bazen gereksiz zararlara yol açabileceği görülebilir.

Ayrıca, pek çok makine elemanı için tayin edilen ömür, laboratuvar şartlarında yapılmış ortalama hesaplara dayanır. Ancak, gerçek işletme şartlarında bazı parçalar, bu verilen ömürden çok önce kullanılamaz hale gelebileceği gibi, birçoğu da bu ömrü aşarak çok daha uzun süre kullanılabilir. Bu nedenle, beklenmeyen arızalardan kaynaklanabilecek üretim kayıpları tam olarak engellenemez.

3.2.4.3. Önleyici bakım

Bu bakım yönteminde, makine arızalarını ortadan kaldırmak için iki mantık geliştirilmiştir. Birincisi; arızaya neden olabilecek temel faktörler ortadan kaldırılarak makine çalışmaya dayanıklı hale getirilir. Buna örnek olarak yağ kirliliği ve ısınma gösterilebilir. Bu problemlerin önceden tanınması ve giderilmesi işlemine önleyici bakım denir [21].

Diğer düşünce ise, erken arıza belirtileridir. Her ne kadar önleyici bakım uygulaması ile arızaya sebep olan nedenler gözlenip ortadan kaldırılarak arızanın ortaya çıkması önlenmeye çalışılsa da, gerçekçi olmak gerekirse, bu her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, arızaların ortaya çıktığı an belirlenmeli ve makine ciddi bir şekilde arızalanmadan gereğinin yapılması sağlanmalıdır. Bu yöntem de, uyarıcı bakım olarak bilinmektedir.

Stratejik olarak, her iki bakım türü de birden uygulanmalıdır. Bu iki yöntemin birlikte uygulanması işletmede makine arızalarını, dolayısıyla beklenmeyen duruşları ciddi olarak azaltacak, o oranda da üretim ve verimliliği arttıracaktır. Zaten, uyarıcı bakım işletmede yerini aldığı ve sistem olarak oturduğunda otomatik olarak önleyici bakım gündeme gelmekte ve uygulamaya geçilmektedir [21].

Bu yöntemde esas olarak dikkat edilecek nokta makinenin sağlıklı konumudur, hastalıklı konumu değildir.

3.2.4.3.1. Önleyici bakımın hedefleri

Önleyici bakımın ilk hedefi, makinenin çalışma ömrünü uzatmaktır. Koruyucu bakımın da hedefi makinenin ömrünü uzatmak olmasına rağmen iki bakım yöntemi arasında büyük bir fark görülmektedir. Koruyucu bakım uygulamasında işlemlerin tahmini periyotlarla yapılmasına karşın önleyici bakımda makine arızalarına neden olan faktörler ortadan kaldırılarak makine sağlam bir duruma getirilmeye çalışılır.

Örneğin; rutubet metal yüzeylerde korozyona neden olacağından, sistemde nem miktarı sürekli olarak kontrol edilip bu limitler aşıldığında gerekli önlemler alınır, arızaya neden olabilecek bu durum ortadan kalkar.

Görüleceği üzere, önleyici bakım bir bakım iş emri çıkarmamaktadır. Sadece, arızaya neden olabilecek bir durumun ortadan kaldırılmasını istemektedir. Bu da, bakım ve tamiratla karşılaştırıldığında maliyeti çok daha ucuz bir yöntemdir.

Önleyici bakımın faydaları:

1. Makinelerin zamanında sıhhatli ayarları yapılacağından daha iyi verim elde edilebilir. Böylece çıktı kalitesi muhafaza edilir, kusurlu çıktı oranı azalır.
2. İşçilerin emniyeti ve tesisin korunması daha iyi temin edilebilir. Böylece tazminat ve sigorta masrafları daha az olur.
3. Bakım masrafları azalır. Planlı bakım, işçi ve malzeme masraflarında tasarruf sağlanır.
4. Onarım masrafları azalır. Ara kontrollerde yapılan işlemler ve değiştirilen parçaların maliyetleri, arızalara nazaran daha düşük olur.
5. Arızalardan oluşan ara onarımlar azalır ve onarımlar arasında geçen süre uzar. Böylece bakım işgücü ve teçhizatından daha iyi istifade edilir.
6. Makinelerin faydalı ömrü uzar. Genel olarak daha iyi bir bakım sebebiyle makinelerin yenilenmeleri için gereken zaman uzar.
7. Daha az makine arızası olacağından duruşlar daha iyi kontrol edilebilir ve makine kullanım süresi artar. Bunun sonucu imalat miktarı artar ve daha kesin teslim zamanları tespit edilebilir.
8. Yedek makine ve teçhizat ihtiyacı azalır ve tesisin yatırımında tasarruf sağlanır.
9. Daha iyi yedek parça kontrolü yapılabilir ve stok miktarı azaltılabilir. Masraflarda tasarruf sağlanır.
10. Daha uygun bir çalışma sağlanır. Bakım masraflarının aşırı olduğu bölümler dikkati çeker. Gerekli araştırmalar yapılarak lüzumsuz işler veya yanlış uygulamalar düzeltilebilir.
11. Arızalar sebebiyle üretimde çalışan işçilerin prim kaybı daha az olur.

12. Yukarıdaki sebeplerden dolayı üretimin birim maliyeti düşer.

3.2.5. Bakım maliyetleri

Daha önce de belirtildiği gibi, bakım politikaları bakım faaliyetlerinin en etkin ve verimli bir şekilde ve en az maliyetle icra edilmesine yöneliktir. Bakımla ilgili hemen hemen tüm stratejik düzeydeki kararlar da bakım maliyetlerinden doğrudan etkilenir. Dolayısı ile üretim kuruluşlarında bakım maliyetlerini gerçekçi bir şekilde belirlemek ve zaman içinde titizlikle takip etmek çok önem kazanmaktadır.

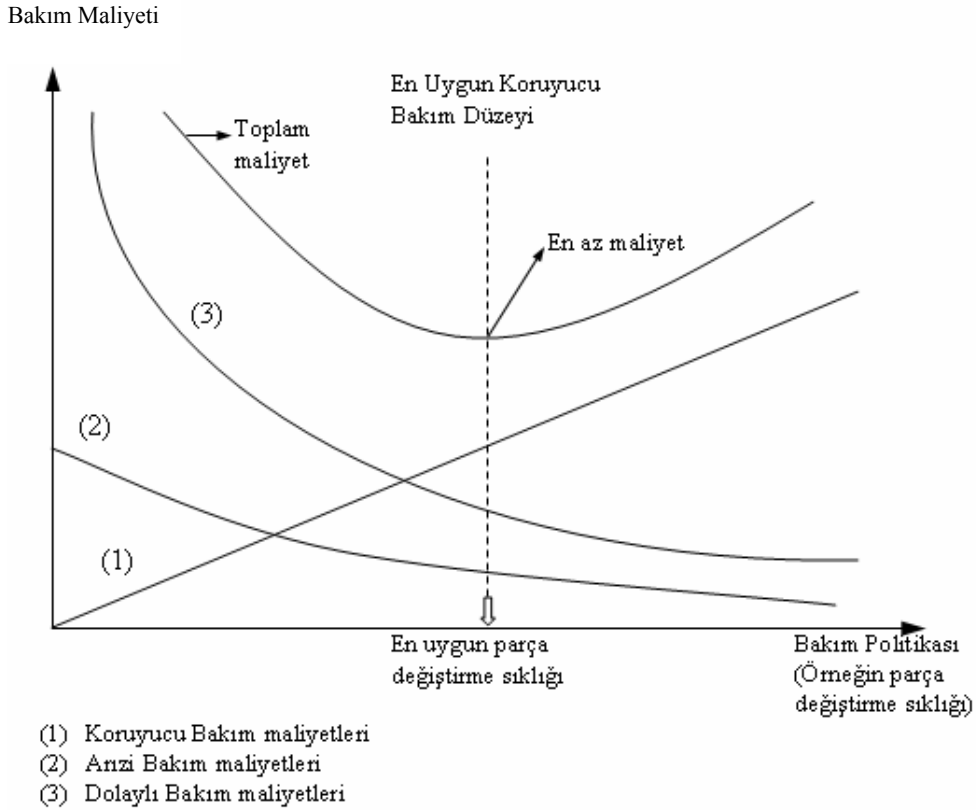
Bakım-onarım çalışmaları sırasında meydana gelen maliyetler üç grupta toplanır:

- 1) Koruyucu bakım maliyetleri: Muayene, ayarlama, yağlama, parça değiştirme revizyon ve rektifiye işlemleri için yapılan harcamalardan oluşmaktadır.
- 2) Arıza bakım maliyetleri: Plan dışı bakım kapsamına giren her türlü acil bakım ve onarım çalışmaları için yapılan harcamalardan oluşmaktadır.
- 3) Dolaylı Bakım maliyetleri: Bakım sırasında üretimin durmasından dolayı üretim kaybının yol açtığı maliyetlerden oluşmaktadır [22].

Bakım-onarım da arızalanmalar da pahalıdır. Bu yüzden makinenin veya üretim sisteminin üretkenliğini korurken, bakım politikalarına bağlı maliyet faktörleri arasında bir denge kurmak gerekir. Şekil 3.5.'de üç maliyet kaynağı arasındaki ilişki gösterilmiştir [22].

Şekilde iki önemli nokta görülmektedir. Birincisi, toplam bakım-onarım maliyetleri dolaysız maliyetlerden çok daha yüksektir ve bu nedenle maliyetlerin üzerinde önemle durulması gerekir. İkincisi, toplam maliyet eğrisi minimum noktada oldukça yayvan olduğundan planlı bakım-onarım çalışmalarının en uygun düzeyinden yapılabilecek bazı sapmalar önemli sonuçlar doğurmayacaktır. Bu sapmalar zaten kaçınılmazdır, çünkü dolaylı bakım maliyetlerini titizlikle belirlemek güçtür. Fabrikanın hizmet verebilmesi için gereken günlük değişiklikler, ürünler arasındaki

katma değer farklılıkları ve hatalı bakım yüzünden ortaya çıkan fazladan üretim maliyetlerinin oranını belirlemenin güçlüğü yaklaşık da olsa, dolaylı maliyetlerin hesaplanması için önceden belirlenmiş bir formülün kullanılmasını gerektirir. Uygulamalar, gerekli koruyucu bakım-onarım düzeyinin belirlenmesinde toplam bakım maliyetleri yaklaşımının önemli yararlar sağladığını göstermiştir [22].



Şekil 3. 5. Bakım Onarımında Maliyetler

3.3. Stok Yönetimi

3.3.1. Stokların tanımı

Bir üretim sisteminde üretilen mamule dolaysız veya dolaylı olarak katılan bütün fiziksel varlıklar ve mamulün kendisi stok kavramı içerisinde düşünülebilir. Stoklar, döner sermayenin bağlı bulunduğu iktisadi kıymeti olan ve bir sermaye yatırımı olarak kabul edilen fiziksel unsurlardır.

Genel anlamda stok, üretilen veya satın alınan ve kullanılmak için bekletilen malzemedir. Ekonomik değeri olan, atıl kaynaklar olarak tanımlanan stoklar, birçok işletmede büyük yatırımları temsil ederler. Çoğu zaman stok ve envanter sözcükleri birbirlerine yakın anlamda kullanılmıştır. Ancak bu iki kavram özde farklılık taşır. Stok, somut olup, belli bir sınıra sahip, birikmiş bir düzeydir. Envanter ise, bir birime sahip ölçülmüş stok büyüklüğüdür ve muhasebede genellikle yılsonlarında yapılan fiziksel sayım yolu ile stok tespiti anlamına gelir. Envanter aynı zamanda işletmenin sahip olduğu malların ve servetin gerekli özellikleri ile birlikte gösterildiği ayrıntılı bir listenin hazırlanmasını ifade etmektedir.

Stokun, iktisadi yönden bir tarifini vermek gerekirse: “ Ekonomik değeri olan, atıl bir kaynaktır ” diyebiliriz. Bu tarif analiz edildiğinde, şu unsurlar görülecektir: Bu kaynak içinde talep vardır. Talep, stoktan yapılan çıkışlarla karşılanmaktadır. Stoklar ise, yeni girişlerle beslenmektedir. Stokları, bir diğer şekilde şöyle tanımlayabiliriz: Eksiksiz, tahmine dayanan bir ekonomide, zorunlu bir yatırım olup, değişen bir talep veya tam tersi, mevsimlik karakterdeki doğal kaynaklar aracılığıyla karşılanan, devamlı bir talep karşısında, muntazam bir üretimi, süratli ve düzgün satın almayı sağlar. Başka bir deyişle stok, gelecekteki ihtiyaçları karşılamak için, en iktisadi olan stok miktarlarının, işletmenin üretim, satış ve mali durumu da dikkate alınarak belirlenmesini ve stok miktarlarının sürekli kılınmasını kapsar.

Stok politikası veya stok yönetimi, gelecekteki talebi karşılamak için ürünlerin ve gerekli maddelerin en iyi şekilde temin edilmesi temeline dayanır. Bir işletmenin etkin ve verimli bir faaliyet göstermesi, stok politikası ile yakından ilgilidir. Stok politikası, işletmenin üretim, satış ve finansal koşullarını göz önüne alarak, işletmenin yapısına göre en ekonomik stok miktarını belirlemeyi ve bu miktarı aynı seviyede tutmayı amaçlar. Stok politikası, hammadde ve malzemenin tedarik edilmesinden, yükleme ve boşaltma işlemlerine, malzemenin işletme içindeki akışının düzenlenmesinden depolanmasına ve parçaların veya tamamlanmış ürünlerin sevkine kadar geniş bir uygulama alanını kapsar.

3.3.2. Stokların faydaları

Stoklar rasyonel esaslara göre faaliyet gösteren ve iktisadi düzende, fonksiyonunu gerektirdiği gibi yerine getirmek isteyen işletmeler için, kaçınılmaz bir unsurdur. Stok bulundurmadan çalışan işletme, stok bulundurarak çalışan işletmeye göre, daha az kârlı ve daha çok masraflıdır. Stok bulundurmadan faaliyet gösteren bir işletme, tahmininin üzerinde bir taleple karşılaştığı zaman, ilave teçhizat ve ilave işgücü bulmak zorunda kalacak, stok tükenmesinden doğan, fiili ve potansiyel talebin kaybı ile karşılaşacaktır. Doğuş nedenleri ne olursa olsun, stoklar fayda sağlayan unsurlardır. Stokların sağladıkları bu faydalar, stokların üretim ve pazarlama faaliyetlerini, birbirinden ayırma fonksiyonuna bağlanmaktadır. Malzeme stoklarının temel fonksiyonu, üretim – dağıtım – tüketim zincirinde, birbirini izleyen kademelerin uyum halinde çalışmasını sağlamaktır.

Stoklar, işletmelerde üretim seviyelerinin düzenli olmasını sağlar. Talep miktarı ile, tedarik süresindeki dalgalanmalar, üretimi aksatarak, makine ve teçhizatın atıl kalmasına neden olur. İşletme, stok bulundurarak, üretimin duraklamasından doğacak bu zarardan, kendisini korumuş olur. Ayrıca, teçhizat ve işgücünden de, daha rasyonel olarak yararlanır. Yine stoklar sayesinde, üretim ve tedarik işlemlerinin en az masrafa sebep olacak miktarlar halinde, düzenlenmesi sağlanmış olur.

İşletmenin ürettiği mala yönelen talep, önceden tahmin edilen dalgalanmaları gösterdiğinden, ek kapasiteye ihtiyaç duyulmadan, stoklar yardımı ile talepteki artışlar karşılanabilir. Stoklar, talep tahminlerinin hatalı olmasından doğacak sonuçları hafifletir, tüketicilere kısa zamanda ve üstün bir seviyede hizmet temin eder.

Stokların sağladığı faydaları, prodüktivite ve rekabet gücünü arttırıcı etkileri bakımından, iki grupta düşünebiliriz. Buna göre stoklar, perakendeciyi, toptancıyı, üretim faaliyetleri içinde çeşitli safhaları ve tedarik kaynaklarını birbirinden ayırır. Dolayısıyla, üretim faaliyetlerinin verimi artar, talebin zamanında karşılanması

sağlanır. Talebin zamanında karşılanmasının, işletmeye sağladığı fayda, talebin zamanında karşılanmaması halinde ortaya çıkacak kayıplarla belirlenir. Bu kayıplar, kısa vadede karşılanamayan satışların, dolayısıyla satış kararlarının kaybı, uzun vadede, müşterilerdeki güvenin zayıflaması kaybıdır.

Endüstri işletmelerinde, girdi kalemi olarak stoklar, üretim faaliyetlerinin, daha düzenli şekilde devamını sağlar, üretim kapasitesinin, daha verimli kullanılmasını mümkün kılar, üretim faaliyetlerinin minimum maliyete sebep olacak şekilde planlanmasını ve bunun bir sonucu olarak da, toplam maliyetlerin, minimum düzeyde seyrini gerçekleştirir.

Stoklar, sağladıkları faydalar nedeniyle, tasarruf unsurlarıdır. Ancak, stokların aynı zamanda maliyet nedeni olmaları, sağlanan bu tasarrufların, stoklardaki artışlarla, doğrusal bir ilişki içinde artmadığını gösterir. Bu durumda, stoklara ilave edilen, her birimin sağladığı marjinal tasarruf, azalarak artar ve belli bir ölçüden sonra, stoklarla ilgili maliyetler, stoklardan sağlanan tasarrufları aşar. Rasyonel davranmak isteyen bir işletme, stokların sağladığı tasarruflarla, sebep oldukları maliyetler arasında, ekonomik bir denge kurmak suretiyle, kendisine minimum maliyete sebep olacak, stok seviyelerini tespit etmek durumundadır. Aslında stok kontrolünün esas gayesi, belirli bir stoku elde bulundurmamak veya bulundurmamaktan doğan maliyetleri, minimum kılmak başka bir deyişle, elde stok bulundurmamakla doğacak maliyetlerle, bulundurmamaktan doğacak kayıplar arasında, bir dengenin sağlanmasına çalışmaktır.

3.3.3. Stokların sınıflandırılması

Stoklar farklı durumlarda ve farklı amaçlarla elde bulundurulur ve stok terimi ile anlatılan unsurlar, aynı karakterde değildir. Bu yüzden, stok kontrolü konusunu incelerken öncelikle, stokların sınıflandırılması gerekir. Böyle bir sınıflandırma, çok çeşitli şekillerde olabilir. Burada, stokların üretim sürecindeki yerlerine göre sınıflandırılması gösterilecektir:

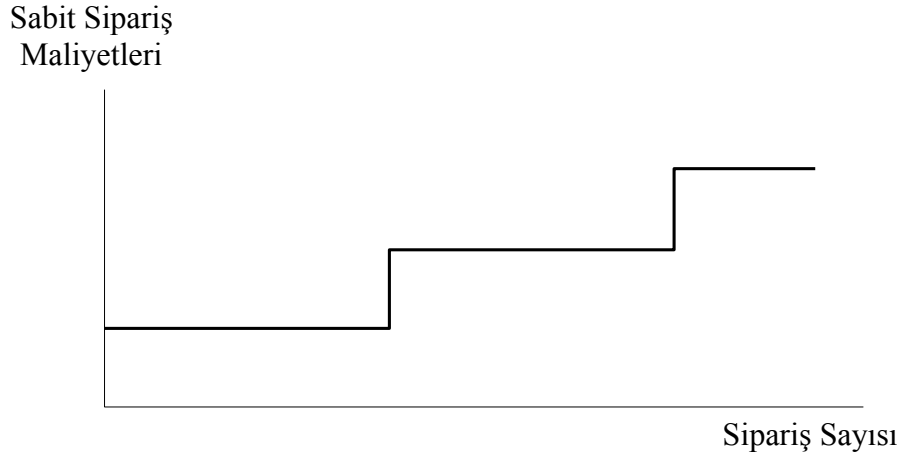
1. İşlem Öncesi Stoklar
 - a) Hammaddeler
 - b) Yedek Parçalar
 - c) Satın Alınan Montaj Parçaları
 - d) İşletme Malzemeleri
2. Yarı Mamul Stokları
3. Mamul Stokları

3.3.4. Stok maliyetleri

Stoklara ilişkin maliyetler çok çeşitlidir. Bir kısmı muhasebe kayıtlarına yansır ve kolayca hesaplanabilir. Bir kısmı muhasebe kayıtlarına yansımadağı gibi, tahmin edilmesi, bile çok güçtür. Stoklara ilişkin maliyetleri; sipariş, stok bulundurma ve stoksuzluk maliyetleri olarak üç grupta ele alınabilir.

3.3.4.1. Sipariş maliyetleri

İşletmenin gereksinim duyduğu malzemeleri işletme dışından satın alması durumunda, satın alınan miktardan bağımsız olarak ortaya çıkan maliyet unsurlarıdır. Sipariş maliyetlerini birçok bileşeni vardır. Bunlar bir kısmı belirli sınırlar içerisinde sipariş sayısından bağımsız sabit nitelikli giderlerdir. Örneğin tedarik servisinin personel giderleri, büronun tefrişi, ısınma ve aydınlatma giderleri vb. “belirli sınırlar içerisinde” sipariş sayısından etkilenmez. Ancak sipariş sayısının, tedarik servisinin mevcut yapısı ile gerçekleştirilebileceği üst sınırı aşması halinde tedarik servisini büyütme gerekeceğinden, yukarıda belirtilen giderler de artacaktır. Bu tür maliyetler sipariş sayısına bağılı olarak Şekil 3.6.’da görüldüğü gibi değışirler:



Şekil 3. 6. Sabit Sipariş Maliyetlerinin Sipariş Sayısına Göre Değişimi

Buna karşılık bazı sipariş maliyetleri ise, sipariş sayısı ile doğru orantılı olarak artar. Örneğin tedarik servisini yapacağı yazışmalar ve kırtasiye giderleri, piyasa araştırması için yapılan masraflar ve kırtasiye giderleri, piyasa araştırması için yapılan masraflar, telefon ve haberleşme giderleri, ilan giderleri, tesellüm ve muayene giderleri vb. bu türdür. Bu tür giderler, belirli bir kalamın siparişi için sabit nitelikli bir maliyet unsurudur. Ortalama sipariş maliyeti içinde önemli bir yer tuttuğundan “sipariş maliyetleri” denildiğinde bu tür maliyetler akla gelir.

3.3.4.2. Stok bulundurma maliyetleri

İşletmenin stok bulundurma sonucu yapacağı giderler de sabit ve değişken olarak alınabilir. Sabit giderler depo binası/depo alanının amortisman veya kira gideri, depodaki demirbaş malzeme ve araçların (forklift, vinç vb.) amortisman veya kira gideri, deponun ısıtma ve aydınlatma masrafları, depo personelinin ücretleri, deponun emniyeti için alınan önlemlerin maliyeti vb. giderlerden oluşmaktadır. Sipariş maliyetlerinde olduğu gibi bu tür giderlerin sabitliği, yine belirli sınırlar için geçerlidir. Stok miktarının belirli bir düzeyi geçmesi durumunda bu tür maliyetler artar. Stok bulundurma maliyetleri birim başına (ortalama) olarak ele alındığında sabit maliyetlerin etkisinin de bulunduğu görülür. Ortalama stok bulundurma

maliyetinin yapısını belirleyen unsur, değişken giderlerdir. Değişken maliyetler stok miktarına paralel olarak artar.

a) Sermaye Maliyeti

İşletmenin finansal kaynaklarının bir kısmının stoklara bağlanması ile bu kaynakların alternatif kullanım olanaklarından vazgeçilmektedir. Stoklara bağlanan sermayenin, alternatif alanlarda kullanılamaması nedeniyle kaybedilen getirisi, sermaye maliyetini oluşturur. Stoklara bağlanan sermaye miktarı arttıkça bu maliyet unsuru artar. Faiz oranlarının yükselmesi de sermaye maliyetini arttıran bir faktördür. Sermaye maliyeti, stokların öz kaynaklarla finanse edilmesi durumunda muhasebe kayıtlarına yansımamakla birlikte stok bulundurma maliyetleri içinde düşünülmesi gereken önemli bir maliyet unsurudur.

b) Değişken Depolama Giderleri

Depolama giderlerinin yukarıda belirtilen sabit kısmından başka, depolanan malzeme miktarına bağlı olarak değişen kısmı da vardır. Örneğin yükleme/boşaltmada kullanılan araç gereçlerin enerji masrafları (akaryakıt elektrik) bu araçların kullanılma sürelerine, bu da direkt olarak stok miktarına bağlıdır. Benzer şekilde stokta bulunan malzemelerin koruyucu bakımı yapılması gerekiyorsa, bunun maliyeti de stok miktarına bağlı olarak değişecektir.

c) Sigorta Giderleri

Doğal afetler, yangın, çalınma, kaza vb. gibi olaylar sonucu stok bulundurmanın bazı riskleri vardır. Stok miktarı (veya değeri) arttıkça, risk konusu olaylar meydana geldiğinde uygulanacak kayıplar da artar. İşletmeyi bu tür kayıplardan korumanın bir yolu, stokları sigorta ettirmektir. Stok miktarı (dolayısıyla değeri) arttıkça, sigorta giderleri de buna paralel olarak, yükselecektir.

d) Sigorta Edilmeyen Stok Bulundurma Riskleri

Stok bulundurmakla karşı karşıya bulunan risklerin bir kısmı sigorta kapsamının dışındadır. Stokta bulundurulan malların fiziksel veya iktisadi biçimde yapılanarak değerlerinin düşmesi, işletmenin faaliyetlerinin durması halinde risklerin işletme için taşıdığı değer çok altında alıcı bulabilmesi vb. bu tür, risklere örnek olarak verilebilir. Stok miktarına paralel olarak bu tür riskler de artar. Bu maliyet unsuru muhasebe kayıtlarına yansımadağı gibi, hesap edilmesi de çok güçtür.

e) Stok Kontrolünün Gerektirdiğı Giderler

Stokların izlenmesi amacıyla tutulan kayıtlar, malzemelerin depolandıkları bölümlere konulan kart/etiketler, sayım işlemlerinde kullanılan kırtasiye malzemeleri vb. stok kontrolünün etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan işlemlerin gerektirdiğı masraflardır. Bu tür giderler de stok miktarına paralel olarak artar.

3.3.4.3. Stok bulundurmama maliyetleri

“Stok bulundurmama” veya “Stok tükenme” maliyetleri olarak da ifade edilen bu maliyetler, işletmenin stoksuz kalması durumunda kullanılması gereken maliyet unsurlarıdır. Genel olarak stoksuzluk maliyetlerinin başlıcaları;

- a) Kaçırılan satışın maliyeti,
 - b) Azalan satışın maliyeti,
 - c) Yeniden elde etme için gerekli normal dışı çabalar,
- olarak sıralanabilir.

İşletmenin stoksuz kalması sonucu müşterinin talebini karşılayamaması durumunda, malın özelliğine göre müşteri ihtiyacını ya başka işletmelerden karşılayacak, ya da bir süre bekleyebilecektir. Birinci durumda kaçırılan satışın karı elde edilemeyeceğinden bu miktar işletmenin stoksuzluk maliyeti olarak

değerlendirilebilir. İkinci durumda ise bekleyen müşteriye elden kaçırmamak için işletme, talebi bir an önce karşılamak durumuyla karşı karşıyadır. Bu da normal çalışma koşullarının dışında yapılabileceğinden (fazla mesai, yüksek fiyatla alınan hammadde vb.), bazı ilave masraflara neden olacaktır. Ayrıca her iki durumda da firmaya duyulan güven sarsılacak, potansiyel müşterilerin sayısında azalma meydana gelebilecektir.

İşletmeler, karşılayamadığı taleplerin kaydını tutmadığı, tutsa bile mal olmadığını öğrenen müşteriler o işletmeye hiç gitmeden taleplerini diğer işletmelerden karşılayabildikleri için kaçırılan satışların tutarını kesin olarak belirlemek imkansızdır. Bununla birlikte karşılan satışların işletmenin mamullerine olan ortalama talep kadar olduğu varsayımı çok hatalı olmayacaktır. Buna karşın prestij ve potansiyel müşteri kaybı, başka bir deyişle firmanın gelecekteki satışlarının azalmasından dolayı uğrayacağı kayıpların, tahmin edilmesi bile çok güçtür.

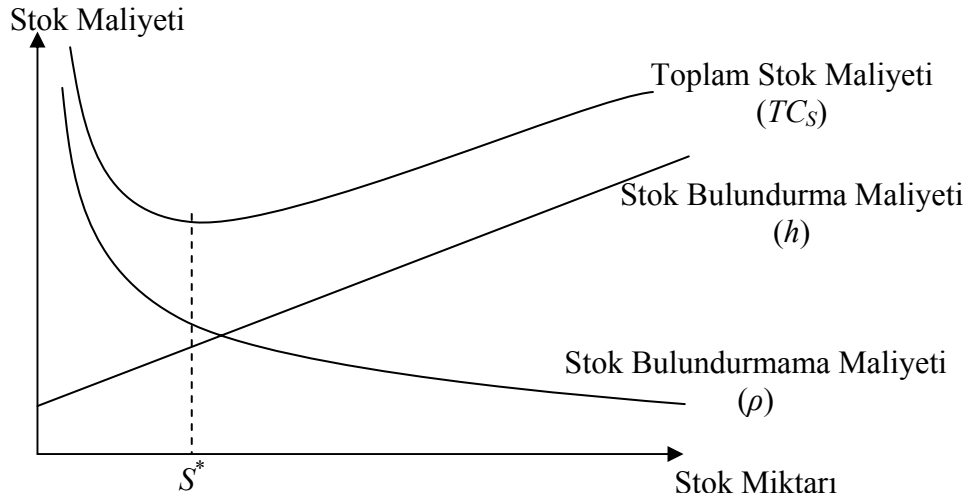
3.3.5. Optimum stok miktarı

Ekonomik anlamda optimizasyon, en iyi sonuca varmak veya belli sınırlayıcı şartlarda en iyi sonucu elde etmektir. Optimizasyon, minimum ve maksimum noktaların bulunması ve onların özelliklerinin tayini ile ilgilidir.

İşletmenin diğer alanlarında olduğu gibi, stok politikasında da optimizasyonu sağlamak, işletmenin amaçlarına ulaşması için gereklidir. Stok politikasında optimalliği sağlamak için ise, toplam stok maliyetlerini minimize etmek gerekir. İşte bütün stok kontrol modellerinin ortak amacı, yukarıda açıklanan stoklarla ilgili toplam maliyeti minimum yapan stok miktarının bulunmasından başka bir şey değildir.

İşletmenin elinde optimalden fazla bulunan stoklar, stok bulundurma maliyetlerini yükseltir. Optimalden az bulunan stoklar ise, stoksuzluk maliyetlerini yükselmesine

neden olur. Dolayısı ile toplam stok maliyeti zıt yönlü iki maliyet unsurunun etkisi altındadır. Aşağıdaki şekilde bu iki maliyet unsuru bir arada gösterilmiştir:



Şekil 3. 7. Optimum Stok Miktarının Belirlenmesi

Şekilde görüldüğü gibi stok bulundurma (h) ve stoksuzluk (ρ) maliyetleri, stok miktarının sırasıyla artan ve azalan fonksiyonlarıdır. S^* optimal stok düzeyi olup, toplam stok maliyetini (TC_S) minimum yapan stok miktarını verir. Optimal stok düzeyinin belirlendiği noktada artan ve azalan fonksiyonların birinci türevleri, başka bir deyişle eğimleri mutlak değer olarak birbirine eşittir. Çünkü toplam maliyet fonksiyonunu minimumunu veren noktayı bulmak için, birinci türevini sıfıra eşitlemek gerekir. Bu da yukarıdaki şekilde iki bileşenden oluşan (h ve ρ) maliyet fonksiyonlarının birinci türevlerini mutlak değer olarak birbirine eşit olması ile mümkündür.

Yukarıdaki şekil optimum stok miktarının bulunmasını teorik olarak net bir şekilde açıklamasına karşın, uygulamada optimal stok düzeyinin bu şekilde belirlenmesi hemen hemen imkansızdır. Bunun nedeni tüm maliyet unsurlarının hesaplanabilmesinin olanaksızlığıdır. Bununla birlikte uygulamada kullanılan yöntemler ve uygulamaya yönelik stok kontrol modelleri, bu temel mantık üzerine kurulmuştur.

3.4. Yapay Zeka ve Bulanık Mantık

3.4.1. Yapay Zeka

Yapay Zeka, karar verme, problem çözüme, öğrenme, algılama ve sebeplendirme gibi insan düşünceleri ile birleştirilen kontrol felsefesi olarak tanımlanmaktadır. Uzman Sistemler bilgiye ve tecrübeye dayalı proseslerde tecrübeli insan düşüncesinin kullanılmasına dayanmaktadır. Uzman sistemler insan tecrübelerine eşit seviyede karar verme kabiliyetine sahiptir. Bulanık mantık insan düşünceleri ile ilişkili bilgilerin gösterilmesi gereken durumlarda kullanılan ve Crisp Lojiğin daha güçlü bir çeşidi olan bir yapay zeka tekniğidir. Bulanık mantık dilsel bilginin gösterilmesinde oldukça güçlü olan uzman sistemlerin etkileşim kabiliyetine sahiptir. Bulanık mantık sistem modeli olmayan veya sistemin matematiksel modelinin çok kompleks olduğu kontrol uygulamalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Adaptif bulanık mantık önceki bilgilerin kullanılarak zeki sistemin performansının artırılması için Genetik Algoritmanın optimizasyon kabiliyetlerini veya Yapay Sinir Ağlarının öğrenme yeteneğini içeren bulanık mantık temelli bir yapay zeka tekniğidir. Yapay Sinir Ağları insanların beyin sinir yapılarının modellenmesine dayanmaktadır. Bu yapı oldukça karışık bir mimari yapı içerisindeki basit aritmetik birimleri içermektedir. Yapay Sinir Ağları karışık fonksiyonların gösterilmesi ve bu fonksiyonların örnekler ile öğrenilmesi kabiliyetlerine sahiptir. Genetik Algoritma uygun çözümler üretmek için insanın genetik gelişimini kullanan bir tekniktir.

3.4.2. Uzman Sistemler

Uzman Sistemler; çözümlerinde insan tecrübelerinin kullanıldığı oldukça zor problemlerin çözülmesi için etkileşim prosedürlerini ve bilgiyi kullanan zeki bilgisayar programı olarak tanımlanmaktadır. Bir Uzman Sistem insan tecrübesini kullanarak en iyi karar verme kabiliyetine sahip eksiksiz bir sistemdir. Uzman Sistemler sık sık “Bilgi Tabanlı Sistemler” olarak da anılmaktadırlar. Bir insan

tecrübesinden elde edilen bilgi bir problem için genellikle doğal olmamaktadır. Bu nedenle Uzman Sistemler bir problem üzerinde tecrübeli olabilmek için tasarlanırlar.

Uzman Sistemler birçok avantaja sahiptir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- 1) Verilen problemdeki tecrübeler gerekli bilgisayar donanımı hazır olduğunda kolayca kullanılabilir.
- 2) Uzman tavsiyelerinin fiyatı düşmektedir.
- 3) Uzman bilgileri sürekli dir.
- 4) Farklı alanlardaki bilgi bir sistemde birleştirilebilir.
- 5) Uzman insan tavsiyelerindeki güven artmaktadır.
- 6) Bir uzman fikrinin kullanılmasının ardından sebepler hakkında açıklama yapılabilir.
- 7) Bazı uygulamalar için gerekli olan hızlı cevap zaman sağlar.
- 8) Uzman Sistem tasarım aşamasında uzman insan bilgilerinin dokümantasyonu ve netleştirilmesi.
- 9) Tasarlanan Uzman Sistem zeki veri yönetimi ve zeki öğretim yeteneği sağlamaktadır.
- 10) Uzman Sistemler zaman dezavantajını ve hafıza sınırlamalarını ortadan kaldırmaktadır.

Bir Uzman Sistem yapılandırılmasındaki adımlar aşağıda özetlenmiştir:

- 1) Problemin ve bilginin alanının tanımlanması.
- 2) Problemin geleneksel programlama ile çözülüp çözülemeyeceğinin araştırılması.
- 3) Uzman bir sisteme niçin ihtiyaç olduğu.
- 4) Problem ile ilgili bilgi kaynağı olabilecek en az bir uzman bulunmalı.
- 5) Uzmandan bilgilerin alınması ve net olarak ifade edilmesi.
- 6) Elde edilen bilgideki belirgin olmayan seviyelerin tanımlanması.
- 7) Edinilen bilgilerin bir bilgisayar sistemi içerisinde programlama formunda gösterilmesi veya formüle edilmesi.

- 8) Uzman Sistemin probleme uygun olabilmesi ve bilginin gösterilebilmesi için etkileşim yeteneğinin üretilmesi.
- 9) Uzman Sistemin tamamlanması için ikinci dereceden gerekli elemanların yapılandırılması.

Bilginin programlama formatında gösterilebilmesi için birçok yol mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda mevcuttur:

- 1) Üretim kuralları.
- 2) Anlam ağları.
- 3) Nesne-Sembol-Değer üçlüsü.
- 4) Çatılar.
- 5) İlgeçsel mantık.
- 6) Birinci derece yüklem mantığı.

Üretim kuralları ve birinci derece yüklem mantığı en popüler bilgi gösterim metotlarıdır. Üretim kurallarında bilgi “EĞER...İSE...” kuralları şeklinde gösterilmektedir.

EĞER trafik ışığı kırmızı İSE dur.

EĞER trafik ışığı yeşil İSE git.

Birinci derece yüklem mantığı bilgiyi nesne, yüklem ve fonksiyon cinsinden tanımlar ve mantık bağlantıları ile nesne ve yüklem arasındaki ilişki açıklar.

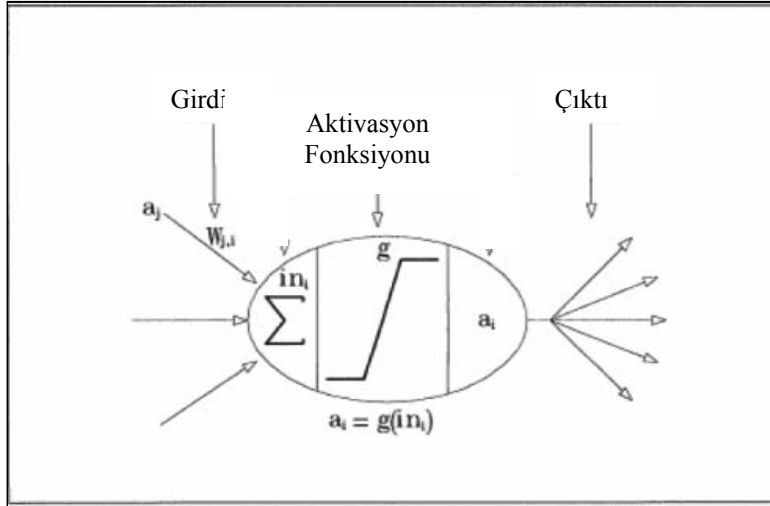
İyi bir Uzman Sistem aşağıdaki karakteristikleri göstermelidir:

- 1) Yüksek kaliteli performans: sistem tarafından verilen fikrin kalitesi insan tecrübesi ile karşılaştırılabilir. Sistem çoğu zaman çözüme erişebilmelidir.

- 2) Uygun cevap zaman: sistemin insan tecrübesinden daha hızlı cevap zamanına sahip olması gereklidir.
- 3) Güvenilir performans: güvenilir bir sistem minimum yazılım ve donanım problemlerine sahiptir.
- 4) İyi bir açıklama yeteneği: sistemin açıklama yeteneği güvenilirliği arttırmaktadır. Açıklama yeteneği uzman sistemin geliştirilmesinde de kullanılmaktadır.
- 5) İyi bir esneklik: bir uzman sistemin geliştirilmesinde birçok iş yapılmaktadır. Sistem olası eklemelere, değiştirmelere ve bilginin silinmesine izin vermelidir.
- 6) Bilgi boyutu: uzman sistemin boyutu bilgi tabanında mevcut olan kuralların sayısı ile belirlenir [23].

3.4.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları birbirleri ile birleştirilmiş çok basit aritmetik birimleri kullanan ve insan beyin sinirlerinin fonksiyon özelliklerini içeren yapay zeka yöntemidir. Bu çeşit bir ağ yapısı ile fonksiyonlar ifade edilebilir ve örnekler yardımıyla bu fonksiyonlar öğrenebilir. Şekil 3.8.'de bir yapay sinir ağının sinir işleme elemanlarının modeli görülmektedir. Model bağlantılar ile girilen “ a_j ” girişlerinin sayısını göstermektedir. Her bağlantı birleştirme işleminde kullanılan “ w ” ağırlığına sahiptir. Birim içerisinde 3 bölüm vardır. Giriş fonksiyon bölümünde her biri bağlantı ağırlığı ile çarpılan bireysel girişlerin toplamı hesaplanır. “ j ” bir önceki katmandaki bütün birimleri “ i ” ise sunulan birimi gösterir. Daha sonra toplam giriş aktivasyon fonksiyonu “ g ” ‘ye girilir. Bu işlemin sonucu “ a_i ” ile gösterilen bu birimin çıkışıdır. “ a_i ” çıkışı bir sonraki katman için üretilmiş ve ağırlığı olan bağlantılar ile birleştirilecek olan tek bir çıkış değeridir.



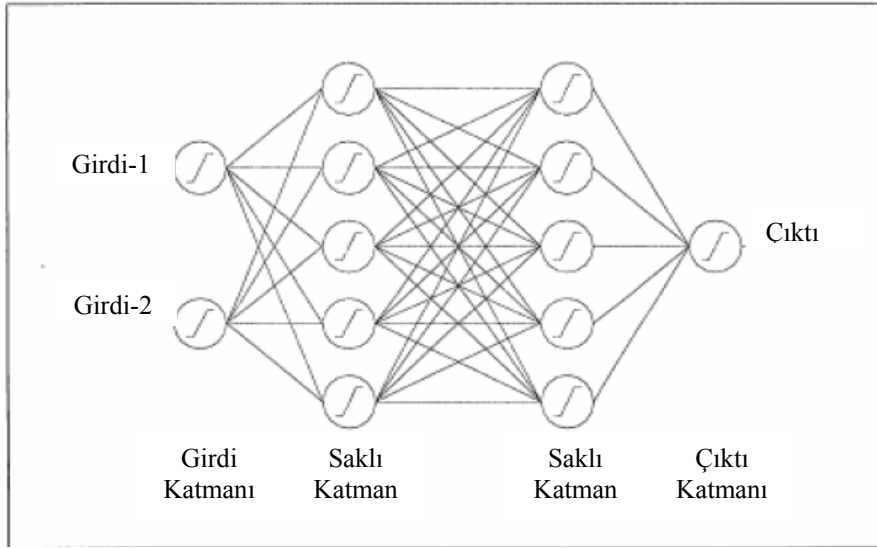
Şekil 3. 8. Bir Sinir Modeli

En popüler aktivasyon fonksiyonu Sigmoid fonksiyonudur:

$$\text{Sigmoid}(x) = 1/(1 + e^{-x})$$

Sigmoid fonksiyonunun başlangıç değeri sıfırdır fakat bu değer sinire eklenen ekstra bir giriş ile istenen “t” değerine değiştirilebilir. Böylece bağlantı ağırlığı -1 olurken bu girişin değeri istenen başlangıç değerine eşit olur.

Şekil 3.9.’da çok katmanlı ileri yönde beslenen bir veya daha fazla katman ile karakterize edilen yapay sinir ağlarının yapısı görülmektedir. Burada giriş ve çıkış katmanları dışındaki katmanlar “saklı ” katmanlar olarak bilinmektedir. Ayrıca bir katmandan diğer katmana akış sadece bir yönde karakterize edilmiştir. Örneğin giriş katmanından çıkış katmanına doğru. Yapay sinir ağlarının karmaşıklığı ve bu nedenle fonksiyonun lineer olmayışının derecesi gizli katmanların sayısını ve her katmandaki birimlerin sayısını artırır. Bilgi yapay sinir ağlarına yüklenmiş ve gösterilmiştir. Yapay sinir ağlar bilgiye örnekler ile öğrenerek sahip olmaktadır. Bu öğrenme işlemine “eğitilme” denilmektedir. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi için en çok kullanılan teknik “Back-Propagation” tekniğidir. Bu teknikte ağ için özel bir mimariye karar verildikten sonra başlangıç ağırlıkları belirlenir. Eğitilme durumlarının girişleri ağa uygulanır ve gerçek çıkışlar ile istenen çıkışlar arasındaki hata hesaplanır.



Şekil 3. 9. Çok Katmanlı İleri Yönde Beslenen Sinir Ağı

Yapay sinir ağları asla %100 doğru olamaz ancak pratik uygulamalarda 10 saat içerisinde %100 oranında doğru sonuç sağlayamasa da birkaç milisaniye içinde %99.5 oranında doğruluk sağlayabilir. Yapay sinir ağlarının donanımı neuro-işlemciler kullanılarak, yazılım kısmı ise özel yazılım paketleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Sinir ağları aşağıdaki karakteristikler kullanılarak diğer yapay zeka teknikleri ile karşılaştırılabilir [23]:

- 1) İfadesizlik: Yapay sinir ağları gösterdiği bilgiyi ifade edemez.
- 2) Hesaplama özelliği: Öğrenme ağı için gerekli olan hesaplama zamanının miktarına bağlıdır.
- 3) Genelleme: Fonksiyonlarda çok iyi genellemeler yapar.
- 4) Gürültüye karşı duyarlılık: Giriş verisinde gürültüye karşı çok toleranslıdır.
- 5) Şeffaflık: Birçok uygulamalarda ve birçok kullanıcılar için çok kullanışsız olan black-box benzeri bir işlem gerçekleştirir.
- 6) Önceki bilgi: Uzman kişinin bilgisi diğer yapay zeka tekniklerinin öğrenme işlemlerini geliştirir. Bununla birlikte şeffaflığın olmamasından dolayı öğrenmeyi daha iyi yapabilen bir yapay sinir ağı elde etmek için önceki bilgiyi kullanmak oldukça zordur.
- 7) Modelcilik: Eğer sinirlerin bazıları silinmiş ise ancak yeterli sinir elemanı kalmış ise ağ orijinal işlem yapabilme seviyesine gelecek şekilde eğitilebilir.

3.4.4. Genetik Algoritmalar

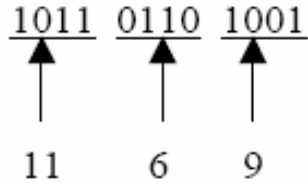
Genetik Algoritmalar gelişigüzel araştırma tekniğini kullanan çok boyutlu olasılıktır ve fonksiyonel türevlerinden bağımsız olmalarından dolayı da oldukça popülerdir. Aşağıdaki karakteristiklere sahiplerdir:

- 1) Genetik Algoritmalar paralel araştırma prosedürleridir ve paralel işlem makinelerinin hızlarının artırılması için kullanılırlar.
- 2) Genetik Algoritmalar sürekli ve ayırık optimizasyon problemleri için uygulanabilir.
- 3) Genetik Algoritmalar stokastiktir.
- 4) Karmaşık modellerde Genetik Algoritmalar özellikleri olan yapı ve parametre tanımlamaların esnekliği.

Genetik Algoritmalar “kromozom” olarak bilinen ikili bit sırası içinde yer alan bir çözüm uzayındaki her bir noktayı kodlar ve her bir nokta bir “form” ile birleştirilir. Genetik Algoritmalar tek nokta yerine “popülasyon” olarak noktalar kümesini tutar. Her üretimde Genetik Algoritmalar “çaprazlama” ve “mutasyon” gibi genetik operatörleri kullanarak yeni popülasyonlar kurar. Bu üretimlerden sonra popülasyon daha sağlıklı değerlerden oluşan üyeleri içermektedir. Bu gelişigüzel mutasyon ve doğal seçim sayesinde değişim modeli için benzerlikler oluşur. Genetik Algoritmalar ve bunların değişik biçimleri bazen popülasyon tabanlı optimizasyon metodlarının yerine kullanılmaktadır. Böylece giriş popülasyonlarının yükseltilmesi ile performans artırılır. Genetik Algoritmalarının temel bileşenleri; kodlama planlar, uygun değerlendirmeler, çiftlerin seçimi, çaprazlama operatörleri ve mutasyon operatörleri olarak sayılabilir.

3.4.4.1. Kodlama planları

Kodlama planlar BIT sırası içindeki parametre uzayında noktaları dönüştürür. Örneğin üç boyutlu bir parametre uzay şu şekilde gösterilebilir:



Şekil 3. 10. İkili Kodlama

Bu ikili sıra içerisindeki her bir koordinasyon değeri ikili kodlama kullanılarak 4 ikili bit bir “gen” olarak kodlanmıştır. Gerekli olduğunda diğer kodlama planları da kullanılabilir. Kodlama planları özel bilgilerin Genetik Algoritmalar çatısı içerisinde çevirme problemleri için bir yol sağlamaktadır. Böylece Genetik Algoritmaların performansının hesaplanmasında anahtar bir rol oynamaktadır. Hatta çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler özel uygulamalar için kullanılan kodlama planları ile birlikte tasarlanırlar.

3.4.4.2. Uygun değerlendirme

Bir üretimden sonraki ilk adım popülasyon içindeki her bir üyenin uygun değerinin hesaplanmasıdır. Maksimizasyon problemi için i 'inci üyenin f_i uygun değeri genellikle bu üyede değerlendirilen objektif fonksiyondur. Eğer objektif fonksiyon tam olarak pozitif değil ise monoton ölçeklemenin ve çevirmelerin bazı çeşitleri gerekli olabilir. Bu durumda pozitif uygun değere ihtiyaç duyulur. Diğer yaklaşım ise uygun değerler olarak popülasyon içindeki üyelerin rankını kullanmaktır. Bunun avantajı objektif fonksiyonun doğru olmasına ihtiyaç kalmayıştır.

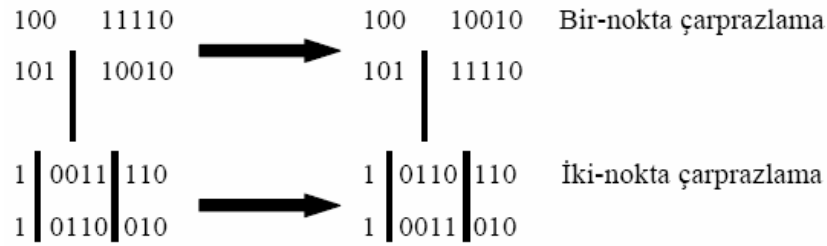
3.4.4.3. Seçim

Seçim operasyonu bir sonraki nesil için döl üretiminde hangi çiftlerin katılacağını belirler. Genellikle üyeler çiftleşme için seçilir. En bilinen yol seçim olasılığıdır. Bu metodun etkisi tekrar üretime ve düşük ortalamaya sahip uygun değerlere sahip

üyeler ile yüksek ortalama ve uygun değerlere sahip üyelerin yer değiştirebilmesine izin verilebilmesidir.

3.4.4.4. Çaprazlama

Gen havuzunun işletilmesinin sürdürülebilmesi için gerekli olan yeni kromozomların üretilebilmesinde çaprazlama operatörleri kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle eşlerin seçiminde kullanılmaktadır. Bir-nokta çaprazlama en temel çaprazlama operatörüdür. Genetik koddaki bir çaprazlama noktası gelişi güzel seçilir ve bu noktada iki eş kromozom değiştirilir. İki-nokta çaprazlamada ise iki çocuk üretebilmek için iki çaprazlama noktası seçilir ve iki nokta arasındaki kromozom satırının parçası değiştirilir.



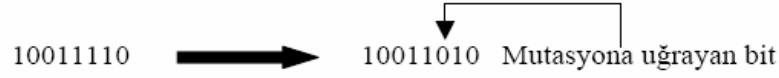
Şekil 3. 11. Bir ve İki Noktadan Çaprazlama

Benzer şekilde, n-nokta çaprazlama da tanımlanabilir. Genel olarak, (n-1)-nokta çaprazlama n-nokta çaprazlamanın özel bir durumudur. Çaprazlamanın etkisi doğal değişim işlemlerindeki birleşmeler ile benzerdir. Yani çiftler kendi kromozomlarını kendi çocuklarına geçirirler. Bu sebeple bazı çocuklar eğer iyi genlere sahiplerse kendi ebeveynlerinin performansını gösterebilirler.

3.4.4.5. Mutasyon

Çaprazlama işlemi işletilirken popülasyon problemlerin çözümü için gerekli kodlanmış bütün bilgileri içermiyorsa gen karışımlarının hiçbir miktarı tatmin edici

bir çözüm üretmez. Bu sebeple mutasyon operatörü yeni kromozomların üretilmesi kabiliyetine sahiptir. En çok bilinen yol bir biti değiştirmektir.



Şekil 3. 12. Bir Mutasyon Örneği

Bir mutasyon operatörü popülasyonun durgunlaşmasını ve bir noktada birleşmesini engelleyebilir. Çaprazlama ile iyi kromozomların elde edilebilmesi için mutasyon oranı genellikle düşük tutulur. Eğer mutasyon oranı yüksek ise Genetik Algoritmaların performansı oldukça düşecektir [23].

3.4.5. Bulanık Mantık

3.4.5.1. Bulanık Mantık tarihçesi

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir [24]. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır. Ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir.

Bulanık mantıkta, sonuç çıkarma veya karar verme sıfır veya birlerle ifade edilen kesin yanlış ve doğru önermeler veya var-yok gibi kesin gerçeklerle yapılır. Fakat bu şekildeki ikili mantık gerçek dünyanın belirsizliği gibi ifade etmede yetersizdir. Örnek olarak "1+"1"=2" kesin bir gerçektir ve doğruluk değeri birdir. Fakat "otlar yeşildir" ifadesi tam doğru olmamakla birlikte yanlış da değildir ve biz bunu klasik mantıkta tam olarak ifade edemeyiz. İnsan beyni ise "açık yeşil", "serin hava" veya

"yüksek hız" gibi matematiksel olarak kesin olmayan belirsiz ya da değer yargıları içeren "bulanık dilsel niteleyicileri" kullanarak sağduyulu kararlar verebilir ve sonuç çıkartabilir. Bulanık mantık, temel olarak yaklaşıklık ve kesin olmama gibi insan düşüncesinde ve doğada var olan belirsizliği kullanmaktadır ve kesin doğru veya kesin yanlış yerine doğal derece doğru ya da yanlışlık belirten tanımlar kullanır. Böylelikle bulanık mantıkta, günlük konuşmalarda kullanılan belirsiz ifadeler tanımlanabilmekte ve bu dilsel niteleyiciler kullanılarak insan benzeri sonuç çıkarma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede bulanık mantık, bilgisayarlara dolayısıyla kontrol sistemlerine insan düşünme ve karar verebilme yeteneğinin kazandırılmasında başarılı bir yol sağlamaktadır.

Bulanık mantık kavramı yeni değildir. 1920'li yıllarda Polonya'lı mantıkçı Jan Lukasiewicz, önermelerin sadece bir veya sıfır doğruluk değeri alabildiği klasik mantıktan farklı olarak önermelerin bir ve sıfır arasında da kesirli doğruluk değeri alabildiği "çok değerli" mantık ilkelerini oluşturdu. 1937'de ise kuantum felsefecisi Max Black yayımlanan bir makalesinde liste ya da nesnelere oluşan kümelerle "çok değerli mantığı" uygulayarak ilk bulanık küme eğrilerini çizdi. Daha sonra 1965'de Lotfi A. Zadeh bu alana adını veren "Bulanık Kümeler" adlı çığır açıcı yazısını yayınladı. Zadeh bu makalede, bir kümenin tüm elemanlarına Lukasiewicz'in mantığını uygulayarak bulanık kümeler için eksiksiz bir cebir geliştirdi. Buna rağmen, Ebrahim H. Mamdani'nin bir buhar makinası için bulanık mantıkla çalışan bir kontrol sistemi gerçekleştirdiği 1970'li yılların ortalarına dek bulanık kümeler kullanım alanı bulamadı. Ve bu tarihten itibaren "bulanık mantık" terimi bulanık kümeler yardımıyla akıl yürüten herhangi bir matematik ya da bilgisayar sistemini ifade etmektedir.

Bulanık mantığın uygulama alanları kontrol sistemleriyle sınırlı değildir. Geliştirilen son teoremler bulanık mantığın ilke olarak, ister mühendislik, ister biyoloji ve hatta isterse ekonomi olsun, her türlü alanda sürekli sistemleri modellemek için kullanılabilmesini göstermektedir. Çoğu alanda bulanık mantık temelli sağduyulu modellerin standart matematiksel modellerden daha yararlı ya da daha kesin sonuçlar verdiği görülmektedir.

Fuzzy kuramının merkez kavramı fuzzy kümeleridir. Küme kavramı kulağa biraz matematiksel gelebilir ama anlaşılması kolaydır. Örneğin “orta yaş” kavramını inceleyerek olursak, bu kavramın sınırlarının kişiden kişiye değişiklik gösterdiğini görürüz. Kesin sınırlar söz konusu olmadığı için kavramı matematiksel olarak da kolayca formüle edemeyiz. Ama genel olarak 35 ile 55 yaşları orta yaşlılık sınırları olarak düşünülebilir. Bu kavramı grafik olarak ifade etmek istediğimizde karşımıza bir eğri çıkacaktır. Bu eğriye “aitlik eğrisi” adı verilir ve kavram içinde hangi değer hangi ağırlıkta olduğunu gösterir.

Bir fuzzy kümesi kendi aitlik fonksiyonu ile açık olarak temsil edilebilir. Aitlik fonksiyonu 0 ile 1 arasındaki her değeri alabilir. Böyle bir aitlik fonksiyonu ile “kesinlikle ait” veya “kesinlikle ait değil” arasında istenilen incelikte ayarlama yapmak mümkündür.

Bulanık mantık ile matematik arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir.

Bulanık mantıkta fuzzy kümeleri kadar önemli bir diğer kavramda linguistik değişken kavramıdır. Linguistik değişken “sıcak” veya “soğuk” gibi kelimeler ve ifadelerle tanımlanabilen değişkenlerdir. Bir linguistik değişkenin değerleri fuzzy kümeleri ile ifade edilir. Örneğin oda sıcaklığı linguistik değişken için “sıcak”, “soğuk” ve “çok sıcak” ifadelerini alabilir [25]. Bu üç ifadenin her biri ayrı ayrı fuzzy kümeleri ile modellenir.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz

kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur.

Bulanık mantık konusunda yapılan araştırmalar Japonya'da oldukça fazladır. Özellikle fuzzy process controller olarak isimlendirilen özel amaçlı bulanık mantık mikroişlemci çipi'nin üretilmesine çalışılmaktadır. Bu teknoloji fotoğraf makineleri, çamaşır makineleri, klimalar ve otomatik iletim hatları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bundan başka uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de kullanılmaktadır. TAI'de araştırma gelişme kısmında bulanık mantık konusunda çalışmalar yapılmaktadır [26]. Yine bir başka uygulama olarak otomatik cıvatalamaların değerlendirilmesinde bulanık mantık kullanılmaktadır. Bulanık mantık yardımıyla cıvatalama kalitesi belirlenmekte, cıvatalama tekniği alanında bilgili olmayan kişiler açısından konu şeffaf hale getirilmektedir. Burada bir uzmanın değerlendirme sınırlarına erişilmekte ve hatta geçilmektedir.

Bulanık mantık, karışık endüstriyel proseslerin ve metro sistemlerinin kontrolünde, uzman sistemlerin tasarımında kazançlı bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık ilk olarak Amerika'da keşfedilmiş olmasına rağmen teknolojinin hızlı ilerleyişi Japonya'dan başlayıp tekrar Amerika'ya ve Avrupa'ya ulaşmıştır. Bulanık mantık hala Japonya'da hızlı bir ilerleme seyri sürdürmektedir. Basit bulanık kontrol kurallarının kullanıldığı uygulamalarda 'fuzzy' kelimesi pazarlamada anahtar kelime durumuna gelmiş durumdadır. İçinde 'fuzzy' kelimesi geçmeyen elektronikle alakalı makaleler ilgi görmemektedir. Hatta garibinize gidebilir ama üzerinde 'fuzzy logic' yazan tuvalet kağıtları bile mevcuttur. Japonya'da bulanık mantık araştırmaları dev bir bütçeyle desteklenmektedir. Avrupa'da ve Amerika'da çalışmalar bu muhteşem Japon başarısını yakalama yönünde sürdürülmektedir. Örneğin NASA uzay üssü şu an bulanık mantığı karmaşık iniş kalkış manevralarına uygulamaya çalışmakla meşgul durumdadır.

3.4.5.2. Bulanık kümeler

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki farkı en açık şekilde iki mantık sisteminin temelini oluşturan, kullandıkları küme teorilerini incelemekte görebiliriz. Klasik ikili mantığın dayandığı standart küme teorisinde, herhangi bir nesne bir kümeye ya aittir ya da değildir. Bunun ortası yoktur. Yani bir nesnenin bir kümeye aitlik derecesini gösteren "üyelik derecesi" ya "birdir" ya da "sıfırdır". Örneğin: Beş sayısı kesinlikle tek sayılar kümesine aittir ve asla bu kümenin tümleyeni olan çift sayılar kümesine ait değildir. Ayrıca bu birbirinin tümleyeni olan iki kümeden hiç birine ait olmaması da söz konusu değildir. Bu ilke hem klasik mantığın yapısını korumakta hem de bir nesnenin aynı anda hem bir şey olup hem de o şey olmaması çelişmesini ortadan kaldırmaktadır.

Bulanık mantığın kullanıldığı "bulanık" ya da başka bir deyişle "çok değerli" kümelerde ise, nesnelere bulanık bir kümeye ve bu kümenin tümleyeni olan kümeye aynı anda sonsuz farklı derecelerde ait olabilir. Buradaki tek sınırlama bu iki üyelik derecesinin toplamının bir olması gerektiğidir. Örneğin eğer hava, %20 serin ise %80 serin-değil olmalıdır. Bulanık mantık bu yolla, klasik mantığı geçersizleştiren "havanın %100 serin iken %100 serin-değil" ifadesinde olduğu gibi, çift çelişkidenden kaçınır. Bunun yerine nesnelere birbirlerinin tamamlayıcısı olan iki bulanık kümeye, hava %20 serin iken %80 serin-değil olması gibi aynı anda kısmen aittir. Ve bu da dilsel (linguistik) niteleyicilerde olduğu gibi kısmi çelişkilere sebep olur. Bulanık kümeler nesnelere %100 üye olup-olmadığı özel durumlar için klasik kümenin özelliklerini taşır ve klasik küme teorisi işlemleri uygulanabilir. Önemli bir nokta da bulanık kümedeki üyelik derecelerinin olasılık yüzdeleriyle aynı şey olmadığıdır. Olasılığı gösteren sayılar bir şeyin olup olmayacağına ölçütüdür. Bulanık sayıların üyelik dereceleri ise bir olayın ne dereceye kadar olduğunu, bir koşulun ne dereceye kadar gerçekleştiğini gösterir. Sabah hava %30 olasılıkla serin olacak önermesi sabah havanın serin olma ihtimalini gösterir; sabah hava %30 serindi veya hava %30 serin gibi ifadeler ise geçmişte veya o andaki havanın serinlik derecesini göstermektedir. Üyelik derecesi daha çok bir olayın benzerlik derecesini ifade ederken, olasılık olma sıklığını gösterir.

3.4.5.3. Bulanık kümelerdeki işlemler

Bulanık kümelere ait temel bilgilere sahip olduğumuza göre bulanık kümelerdeki temel işlemlerle tanışabiliriz. Keskin küme işlemlerinde olduğu gibi bulanık kümelere kesişme, birleşme ve ters eleman özelliklerini uygulamak istiyoruz.

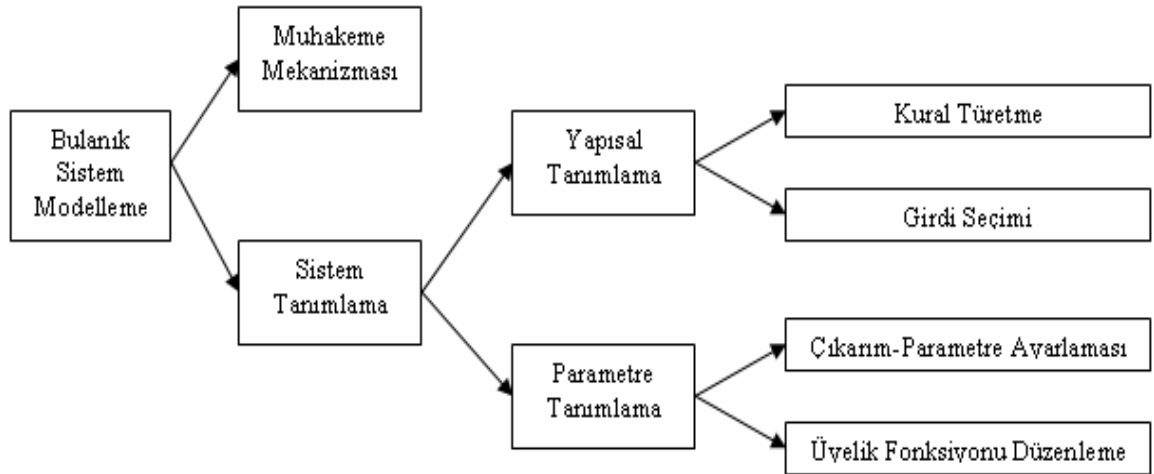
Bulanık mantıkla ilgili ilk makalesinde L. A. Zadeh iki bulanık kümenin kesişimi için minimum operatörünü birleşimi için de maksimum operatörünü önermişti. Bu yaklaşımın üyelik değerlerinin 0 ya da 1 olması durumunda keskin kümelerdeki kesişim ve birleşim işlemleriyle birebir örtüştüğü kolayca görülebilir.

Bu ölçütlerin dahilinde bulanık mantık kontrollü bir modeli üç adımda oluşturmak mümkün olmaktadır:

1. Bulanıklaştırma
2. Kural Tabanı Oluşturma
3. Berraklaştırma [27].

Bulanık Kontrol Aşamaları:

1. Sistem için girdi değişkenlerinin ve değişim aralıklarının belirlenmesi,
2. Sistem için çıktı değişkenlerinin ve değişim aralıklarının belirlenmesi,
3. Her girdi-çıkı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi,
4. Sistemin çıktı değişkenleri üzerine bir kural tabanının oluşturulması [28].



Şekil 3. 13. Bulanık Sistem Modelleme Akış Diyagramı [29]

3.4.5.4. Dilsel değişkenler

Bulanık kümeler genellikle üç, beş ya da yedi üyelik sınıfından oluşabilirler. Sınıflar tamamen insanların veya sistemlerin davranış ve söylemleriyle belirlenir ve dilsel niteleyiciler olarak anılırlar. Bunların işlevsel olarak elde edilmeleri ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemden daha önceden elde edilmiş deneyimlere bağlıdır ve bu sistemlere uzman sistemler denir.

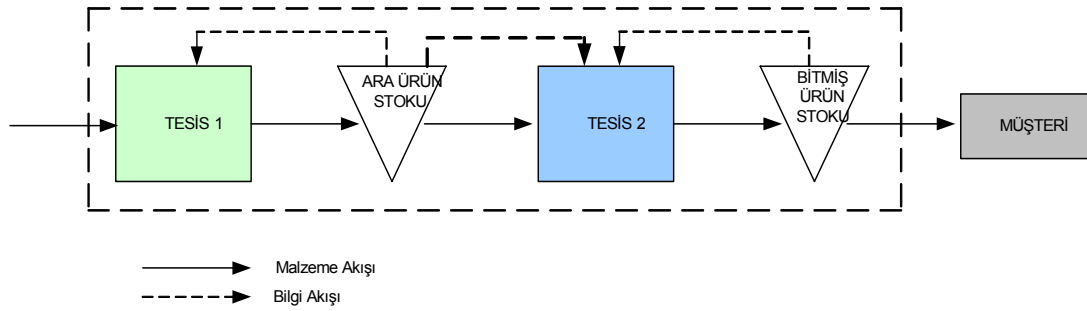
BÖLÜM 4. UYGULAMA

Yapmış olduğumuz bu çalışmanın amacı, sürekli üretim yapan bir madeni yağ endüstrisinde tesislerin bakım periyotları, bakım süreleri, stok ve üretim bilgileri gibi önceden elde edilmiş verileri ve problemin çözümünü kolaylaştırmak amacıyla belirlediğimiz kabuller altında; girdi değişkenlerinin farklı değerlerine bağlı olarak eksik stok durumuna düşmemek için gerekli olan en uygun stok miktarının belirlenmesidir.

Uygulama aşamasında öncelikli olarak üretim modelinin tasarımı yapılmış, sistem ile ilgili kabuller, performans kriterleri tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında çözüm yöntemi olarak kullandığımız MATLAB Fuzzy Toolbox' da girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Her birinin tasarımından sonra performans kriterlerine uygun kural tabanı oluşturulmuştur. Muhtemel senaryolar altında program çalıştırılmış ve çıktı değerleri elde edilmiştir. Genelleştirilmiş sonuçların değerlendirilmesiyle çalışma tamamlanmıştır.

4.1. Üretim modeli ve tanımlamalar

Şekil 4.1. ile gösterilmiş olan üretim modelinde, birbirine seri bağlanmış iki adet tesis bulunmaktadır. Tesisler arasında bir adet ara ürün stoku ve ikinci tesis sonrasında bir adet bitmiş ürün stoku bulunmaktadır. Sistem öncesinde herhangi bir girdi stoku yer almamaktadır.



Şekil 4. 1. Üretim Sisteminin Genel Yapısı

Madeni yağ endüstrisindeki karışım ve dolum tesislerine örnek uygulamamızda, karışımı yapan hazırlık tesisi “Tesis 1” ve dolum işlemini gerçekleştiren “Tesis 2” için üretim kapasitesi bilgileri, ara ürün stoku ve bitmiş ürün stoku için kapasiteler kurulum sırasında yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiş ve yönetimin amaç ve stratejik kararlarına göre düzenlenmiştir.

Tedarikçiler istenilen miktarda hammaddeyi zamanında teslim ettikleri için sistemde herhangi bir girdi stoku bulunmamaktadır. Diğer bir deyişle hammadde sıkıntısı yoktur. Tesis 1’in olası arıza ve duraklamalarına karşı “Ara Ürün Stoku” oluşturulmuştur. Aynı şekilde 2. Tesis sonrası nihai ürünlerin depolandığı “Bitmiş Ürün Stoku” bulunmaktadır. Tesislerin kurulumu esnasında ara ürün stoku için 200 m³ ve bitmiş ürün için ise 300 m³ kapasiteli stok alanları oluşturulmuştur.

Ara ürün stok miktarını belirlerken, ilk tesisin o anki bakım periyoduna, bakım süresine ve stokun durumuna dikkat etmekteyiz. Karışım tesisi için önceden bilinmekte olan bakım periyodu üç ayda bir olarak yapılmaktadır. Bir yıllık süre zarfında toplam dört kez bakıma girmekte, yılsonundaki dördüncü bakımda yıllık ağır bakım uygulanmaktadır. Planlanmış bakıma bir ay kalana dek meydana gelen arızalarda arıza bakım uygulanmaktadır. Eğer arıza bakıma bir aydan daha kısa sürede meydana gelirse, arıza bakım yerine önleyici bakım uygulanır ve planlanmış önleyici bakım süresinden önce yapılmış olur. Daha sonraki bakım planlarında değişim olmaz.

Bitmiş ürün stok miktarını belirlerken, ikinci tesisin o anki bakım periyoduna, bakım süresine, ara ürün stoku ve kendi stokunun durumuna bakılmaktadır. Tesis 2 için

önceden bilinmekte olan bakım periyodu dört ayda bir olarak yapılmaktadır. Bir yıllık süre zarfında toplam üç kez bakıma girmekte, yılsonundaki üçüncü bakımda ağır bakım uygulanmaktadır. Yine ilk makinede olduğu gibi planlanmış bakıma bir ay kalana dek meydana gelen arızalarda arıza bakım uygulanmaktadır. Eğer arıza bakıma bir aydan daha kısa sürede meydana gelirse, arıza bakım yerine önleyici bakım uygulanır ve planlanmış önleyici bakım süresinden önce yapılmış olur. Daha sonraki bakım planlarında değişim olmamaktadır.

4.2. Kabuller

Üretim modelinde çözüm aşamasına geçmeden önce, çözüm için gerekli ve bilinmesi gereken bazı kısıtların ortaya konması lazımdır. Bizim modelimiz için gereken kabuller aşağıda listelenmiştir:

1. Sistemin tedarikçilerinin hammaddeyi istenilen zamanda istenildiği kalitede temin edeceklerine olan güvenden dolayı giriş stoku bulunmamaktadır.
2. Kullanım öncesi ve kullanım esnasında elde edilen verilere göre makine bakım periyotları Makine 1 için 3 ayda bir; Makine 2 için 4 ayda bir olarak planlanmıştır.
3. Tesisin fiziki durumu ve yapılan hesaplamalar sonucu stok kapasiteleri 200 ve 300 birim olarak belirlenmiştir.
4. Bakım periyodu bakım zamanına göre değişiklik göstermektedir.
5. Bakım süresi arızanın durumu ve ÖB periyoduna bağlıdır.
6. Bakım ve stok maliyetleri her bir sınıf için birim maliyet olarak düşünülmüştür.
7. Eksik stok durumu ve stok bulundurmama maliyetleri hesaba katılmamış, bu duruma düşmemek için gerekli en uygun stok miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.
8. Müşteriden gelen talebin sürekli ve sabit olduğu düşünülmüştür.
9. Makinelerin üretim hızlarının değişken olduğu ve anahtarlı pozisyonlama ile azaltılıp çoğaltıldığı bilinmektedir.
10. Planlanmış bakım periyotlarından önceki 1 ay içerisinde arıza meydana gelirse, arıza bakım yerine önleyici bakım yapılır ama daha sonraki planlarda değişiklik meydana gelmez.
11. Önleyici bakımın erkene gelmesi herhangi ilave bir maliyete yol açmamaktadır.

12. İşletme sınırlı stok alanına sahiptir.

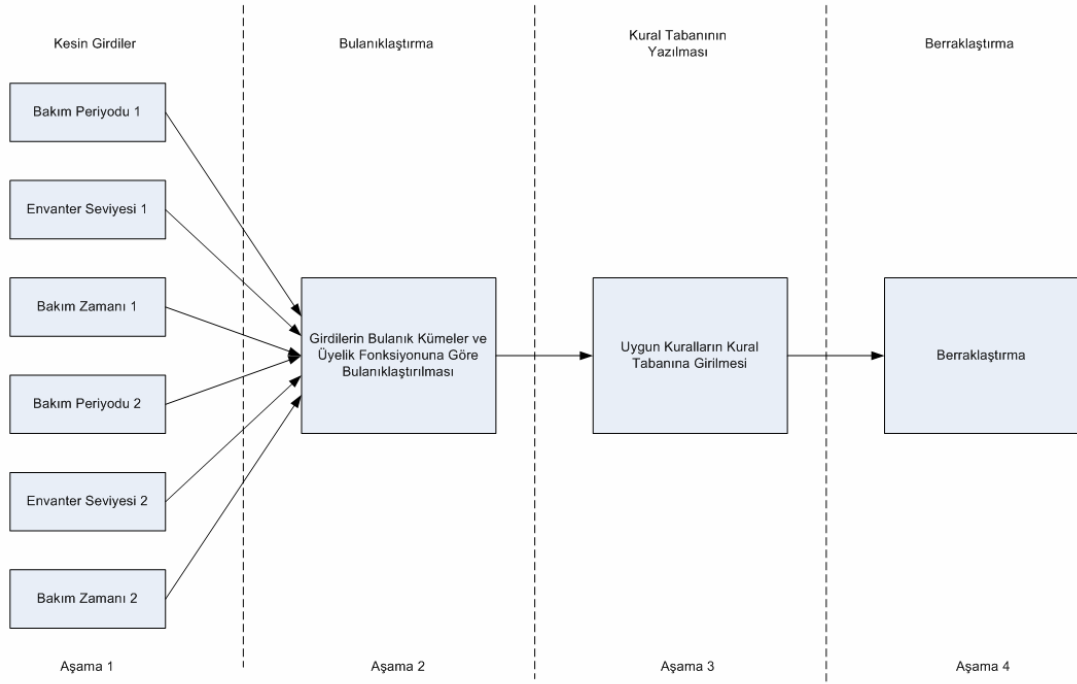
4.3. Performans Kriterleri

Çalışmanın başında da dile getirdiğimiz gibi, amacımız eksik stok durumuna düşmeden sistemin üretime devam etmesini sağlamaktır. Yani başlıca kriterimiz hizmet kalitesinin yüksek olmasıdır. Ayrıca bakım ve stokla ilgili maliyetler de göz önüne alınmış ve her bir sınıf için ayrı ayrı birim maliyetler olduğu düşünülmüştür. MATLAB Fuzzy Toolbox'ın kural tabanı en uygun çözümü elde ederken bizim belirlediğimiz yöntemi kullanmaktadır. Bizim modelimizde maliyetleri göz önüne aldığımız için kural tabanında minimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

4.4. Kullanılan Çözüm Yöntemi

MATLAB; (MATrix LABoratory); ilk defa 1985'de C. B. Moler tarafından matematik ve özellikle de matris esaslı matematik ortamında kullanılmak üzere geliştirilmiş etkileşimli bir paket programlama dilidir. MATLAB mühendislik alanında (hesaplamalarda); sayısal hesaplama, veri çözümleri ve grafik işlemlerinde kullanılabilir genel amaçlı bir program olmakla birlikte özel amaçlı modüler paketlere de sahiptir. FORTRAN ve C dili gibi yüksek seviyeden programlama dillerine göre MATLAB'da daha az sayıda komutla çözüm üretmek mümkündür. Gerçekte MATLAB M-dosyaları olarak bilinen pek çok sayıda fonksiyon dosyalarından, alt programlardan ibarettir. Hazırlanacak bir program içinde M-dosyalarını kullanmak suretiyle program komut sayısı çok kısa tutmak mümkündür [30].

Yukarıda modelini açıklamaya çalıştığımız üretim sistemi değişkenlerinin ve modelin genel yapısının MATLAB Fuzzy Toolbox'ındaki gösterimi Şekil 4.2.'deki gibidir.

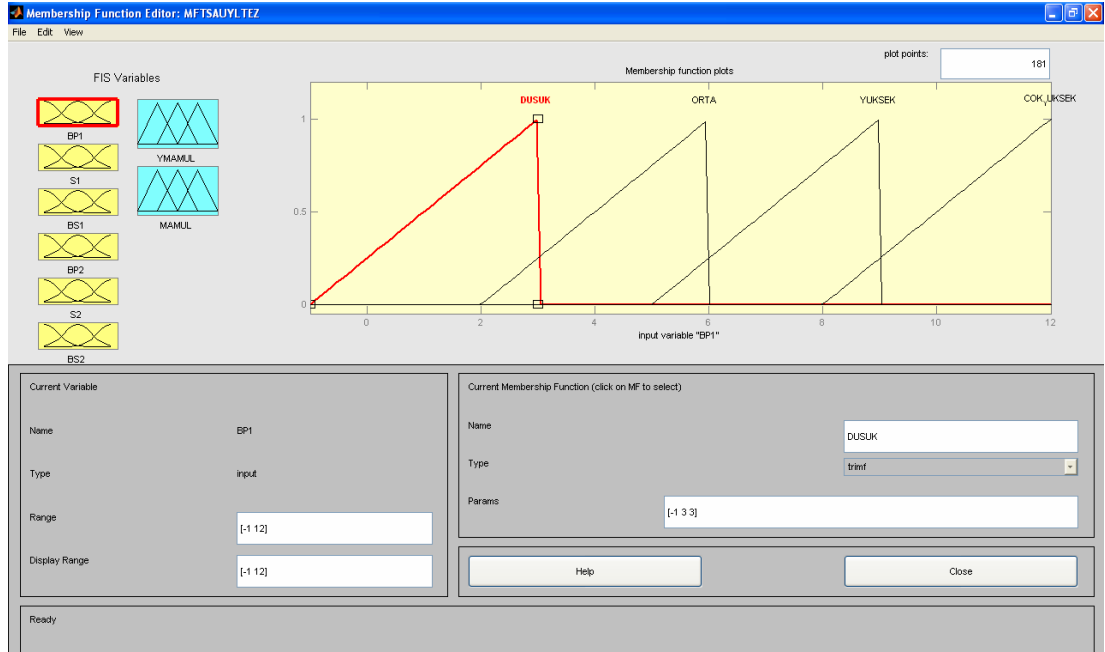


Şekil 4. 2. Üretim Sisteminin Bulanık Modeli

Bulanık modelin girdileri Makine 1'in bakım periyodu (BP1), bakım süresi (BS1) ve ara ürün stoku (S1); Makine 2'nin bakım periyodu (BP2), bakım süresi (BS2) ve nihai ürün stoku (S2) ise diğer girdi değişkenleridir. Sistemin çıktı değişkenleri ise ara ürün Stoku (YMAMUL) ve nihai ürün stokudur (MAMUL).

4.4.1. Girdi değişkenleri

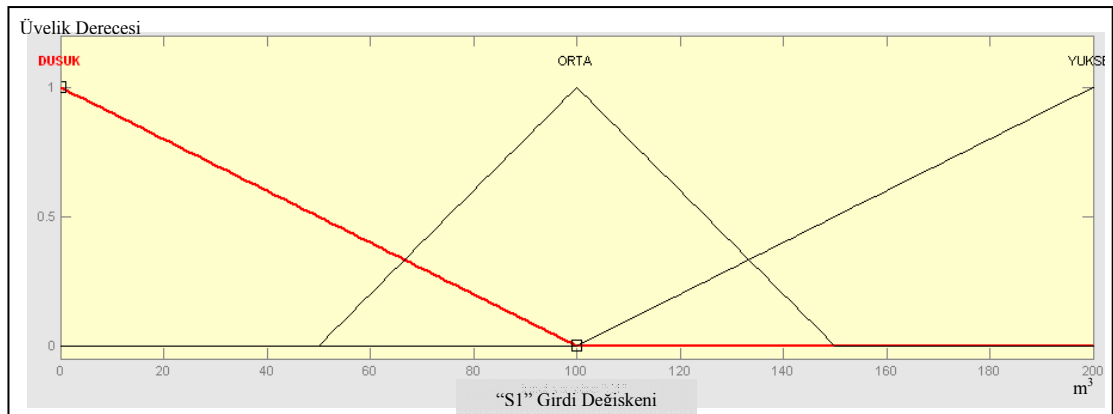
Bakım periyotları (BP1, BP2), bakım süreleri (BS1, BS2) ve stoklar (S1, S2) sistemin girdi değişkenleridir. Edinilmiş tecrübeler ve uzmanlarla görüşmeler sonucunda girdi değişkenlerinin sınıflara ayrılması ve MATLAB Fuzzy Toolbox'ına değerlerin girilmesi aşağıdaki şekil ve tablolarda gösterilmiştir.



Şekil 4. 3. Bakım Periyodu 1'in MATLAB'a Girilmesi

Tablo 4. 1. Bakım Periyodu 1'in Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

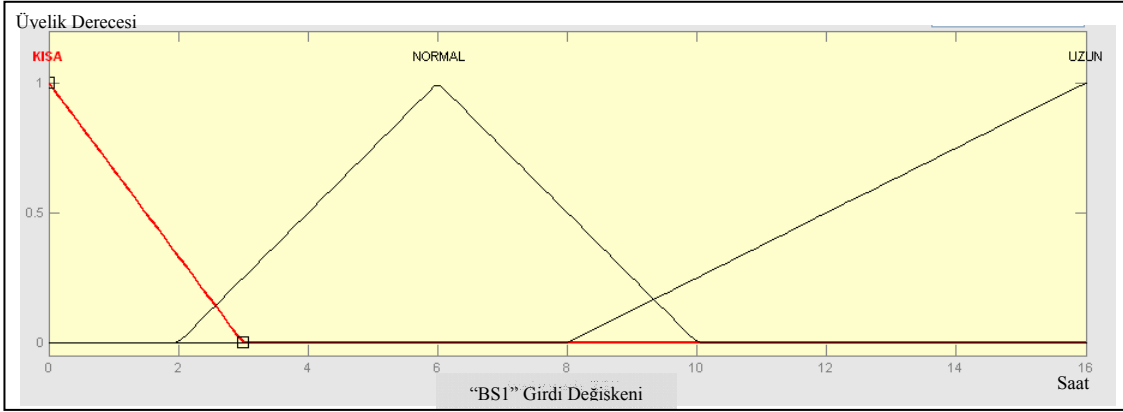
Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
1-3 Ay	3-6 Ay	6-9 Ay	9-12 Ay



Şekil 4. 4. Stok 1 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Tablo 4. 2. Stok 1'in Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

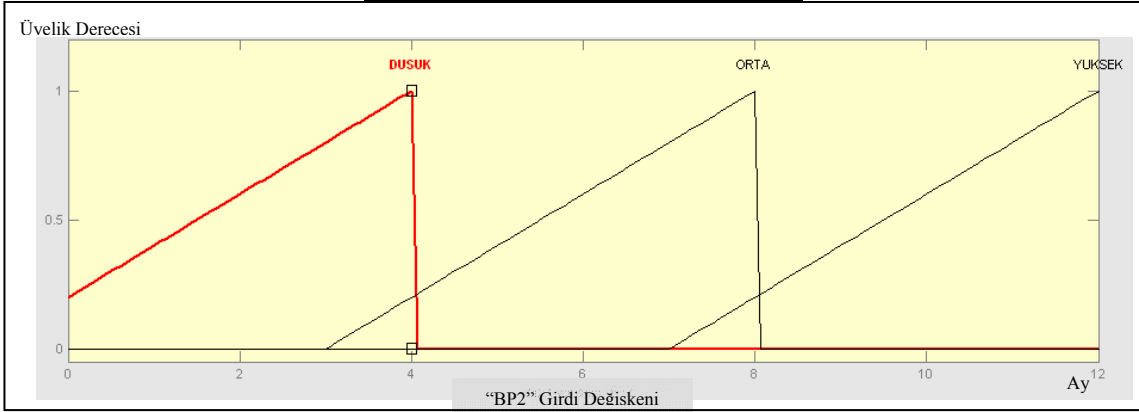
Düşük	Orta	Yüksek
0-100 m ³	50-150 m ³	100-200 m ³



Şekil 4. 5. Bakım Süresi 1 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Tablo 4. 3. Bakım Süresi 1'in Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

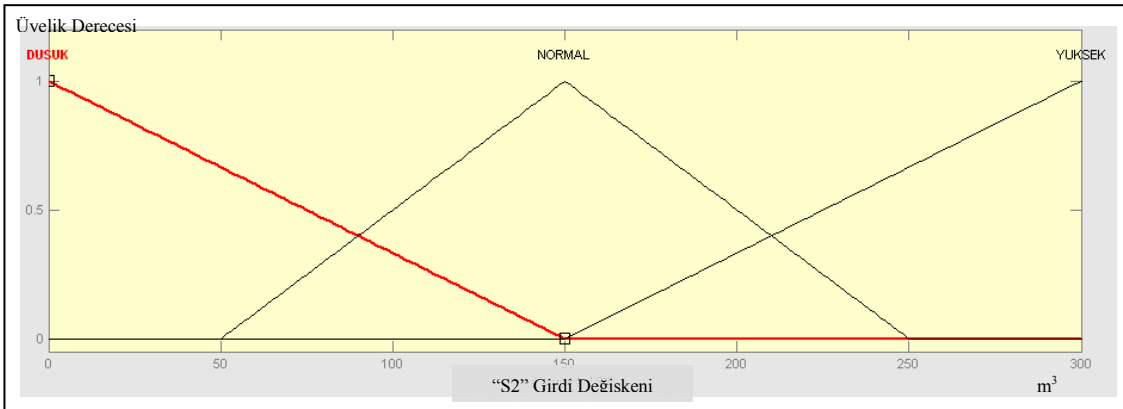
Kısa	Normal	Uzun
1-3 Saat	2-10 Saat	8-16 Saat



Şekil 4. 6. Bakım Periyodu 2 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Tablo 4. 4. Bakım Periyodu 2'nin Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

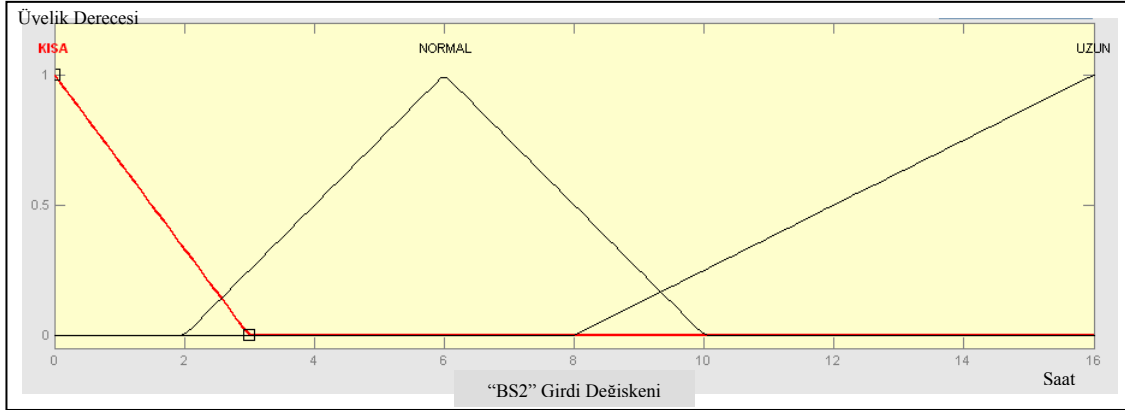
Düşük	Orta	Yüksek
1-4 Ay	4-8 Ay	8-12 Ay



Şekil 4. 7. Stok 2 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Tablo 4. 5. Stok 2'nin Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

Düşük	Orta	Yüksek
0-150 m ³	50-250 m ³	150-300 m ³



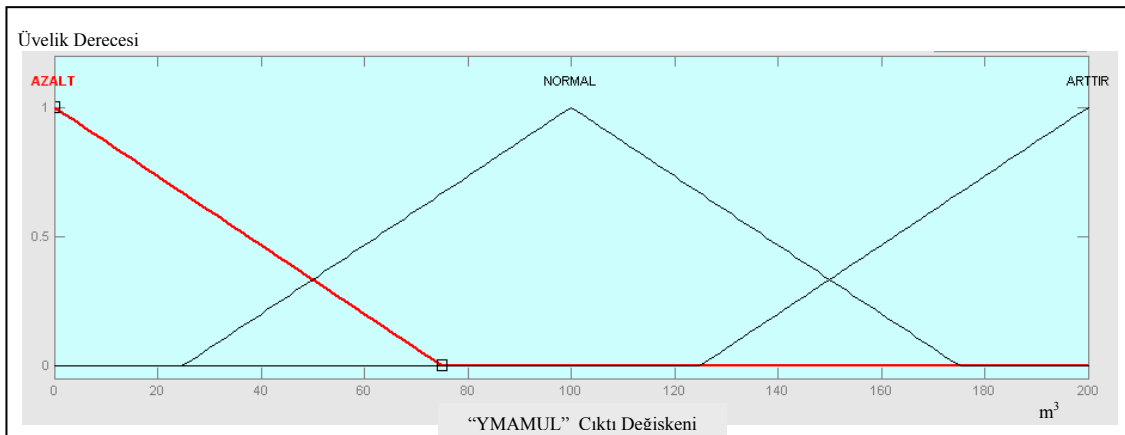
Şekil 4. 8. Bakım Süresi 2 için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Tablo 4. 6. Bakım Süresi 2'nin Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

Kısa	Normal	Uzun
1-3 Saat	2-10 Saat	8-16 Saat

4.4.2. Çıktı değişkenleri

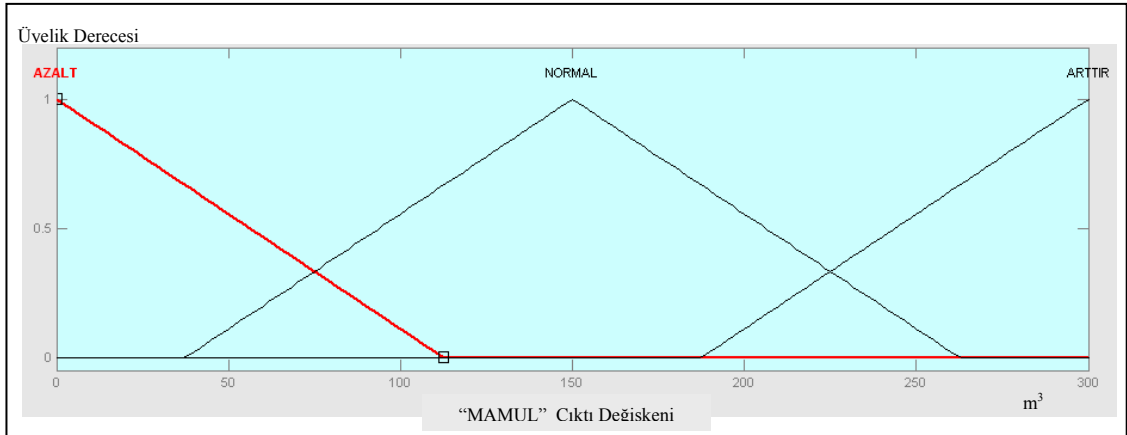
En uygun değerlerini bulamaya çalıştığımız ara ürün stoku (YMAMUL) ve nihai ürün stoku (MAMUL) sistemin çıktılarını oluşturmaktadır. Çıktı değişkenlerinin sınıflara ayrılması ve gösterimi aşağıdaki tablo ve şekillerde bulunmaktadır.



Şekil 4. 9. Yarı Mamul için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Tablo 4. 7. Yarı Mamulün Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

Düşük	Orta	Yüksek
0-75 m ³	25-175 m ³	125-200 m ³



Şekil 4. 10. Mamul için Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

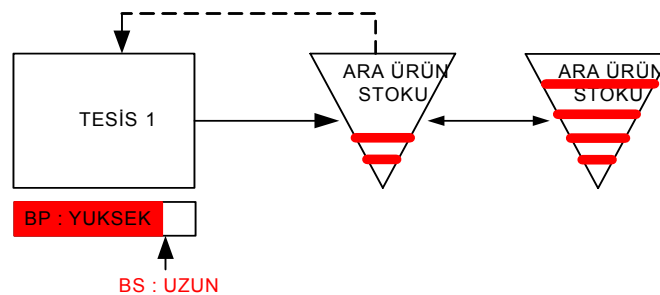
Tablo 4. 8. Mamulün Bulanık Kümelerinin Değer Aralıkları

Düşük	Orta	Yüksek
0-125 m ³	50-250 m ³	175-300 m ³

4.4.3. Kural tabanı

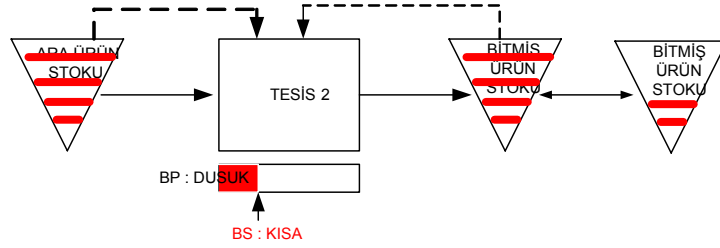
Kural tabanını oluştururken maliyetlerin en aza indirgenmesi esasına göre değerlendirme yapması düşünülmüş ve çözüm için gerekli kurallar, buna göre girilmiştir. Örnek olarak birkaç kuralı inceleyelim;

- Eğer BP1 “YUKSEK”, S1 “DUSUK”, BS1 “UZUN”; YMAMUL “ARTTIR”



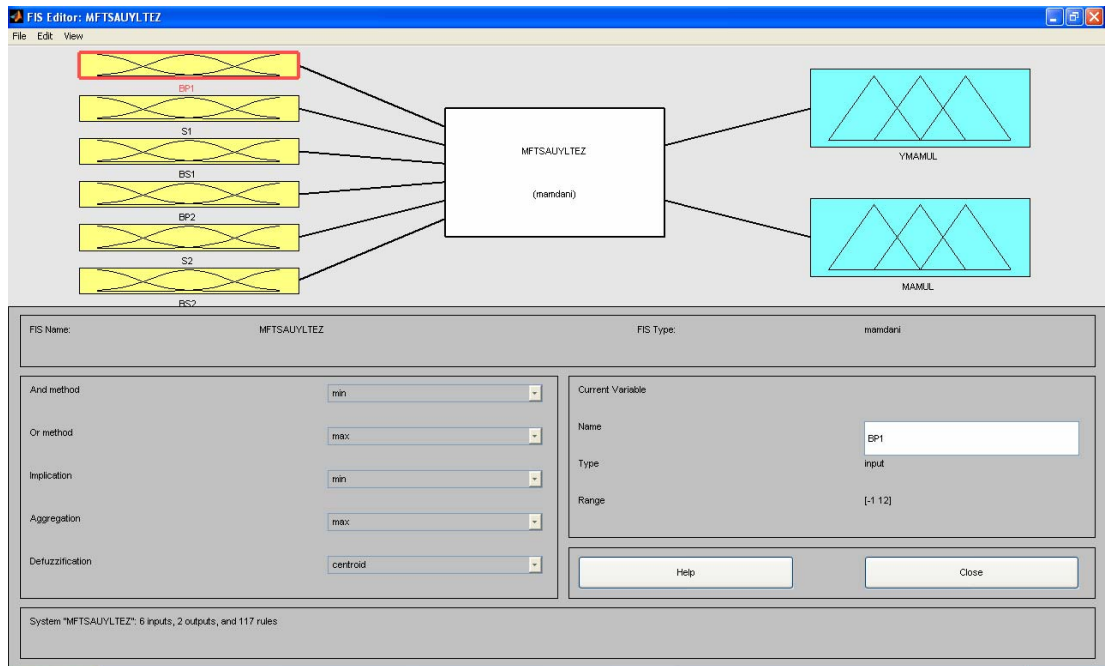
Yani ilk tesise ait arıza ihtimali oldukça yüksekse ve bundan sonraki önleyici bakım süresi uzun sürecekse ve ara ürün stokunun şu anki durumu düşük seviyede ise bu stok seviyesinin artırılması yönünde yazılmış bir kuraldır.

- Eğer S1 “YUKSEK”, BP2 “DUSUK”, S2 “YUKSEK”, BS2 “KISA”;
MAMUL “AZALT”



Nihai ürün stok seviyesinin belirlendiği bu kuralda ise fazladan stok maliyetinden kaçınmak için stokların azaltılması kararı verilmiştir. Tüm kurallar tezin ek kısmında listelenmiştir.

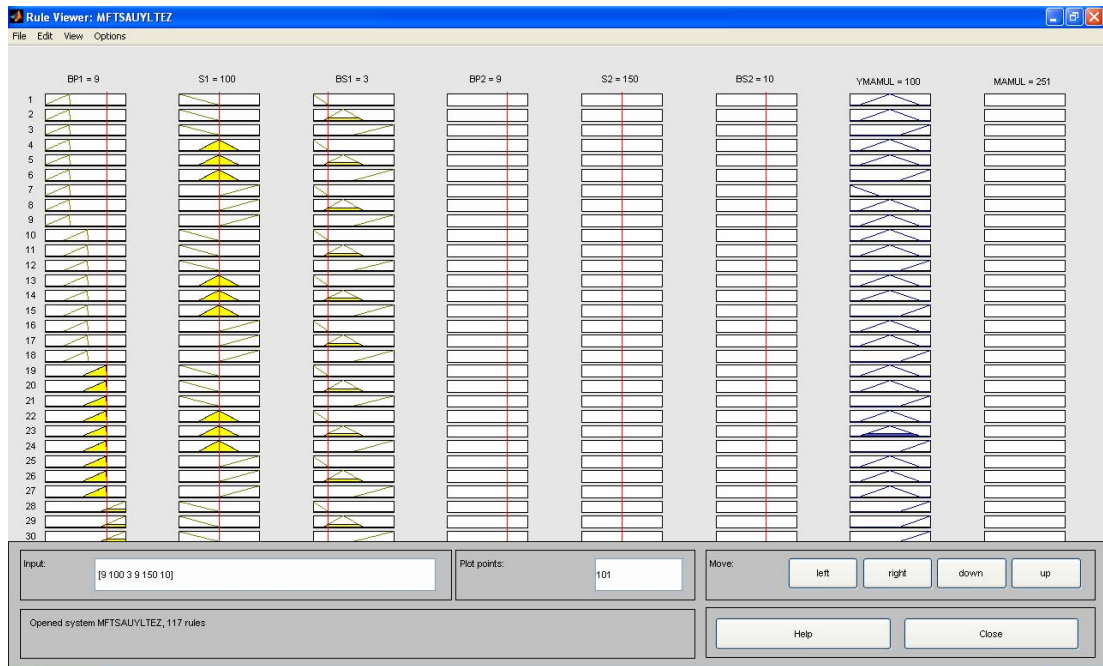
Kural tabanının oluşturulmasından sonra girdi-çıktıların belirlendiği ve isimlendirildiği, kural tabanı çözüm yönteminin seçildiği genel ekran Şekil 4.11.’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 11. MATLAB “Fuzzy Toolbox” Genel Görünüşü

4.5. Sayısal Örnek

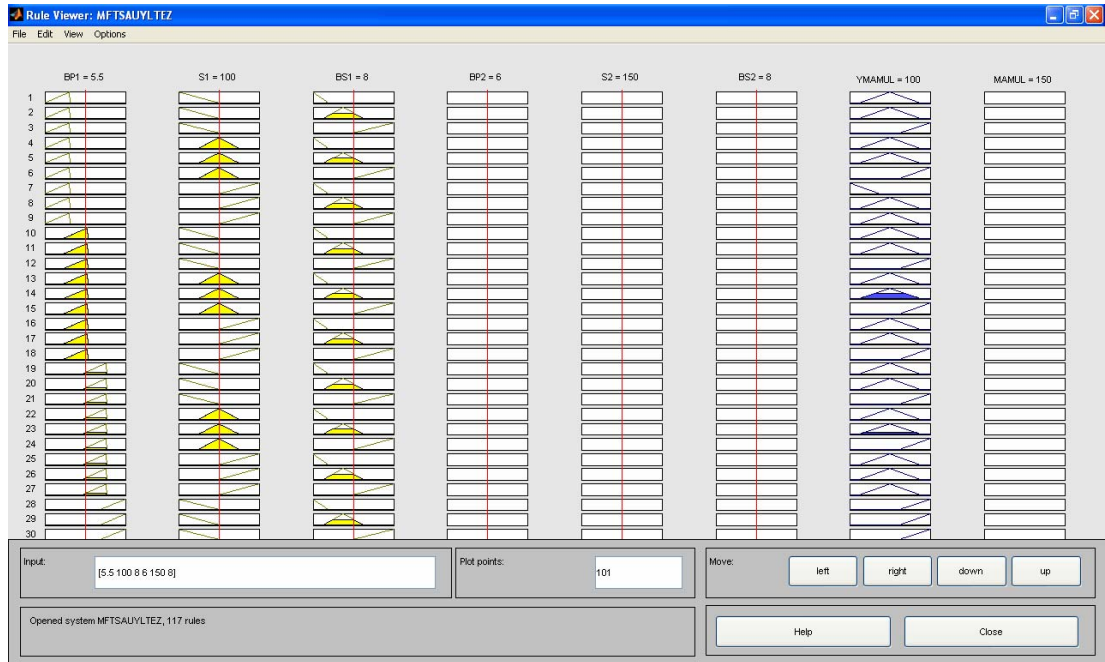
Örnek bir durumun incelemesini yapacak olursak; 9. ayda yarı mamul için 100 m^3 emniyet stoku, nihai ürün için 150 m^3 bitmiş ürün stokunun bulunduğu bir ortamda 3 saatlik Tesis 1 bakımı ve 10 saatlik Tesis 2 bakımlarının olduğunu düşünelim. Bu durum için yarı mamul seviyesi 100 m^3 ve mamul seviyesi 251 m^3 seviyesine getirilmesi gerektiğini gösteren MATLAB çıktı görüntüsü Şekil 4.12.'de verilmiştir.



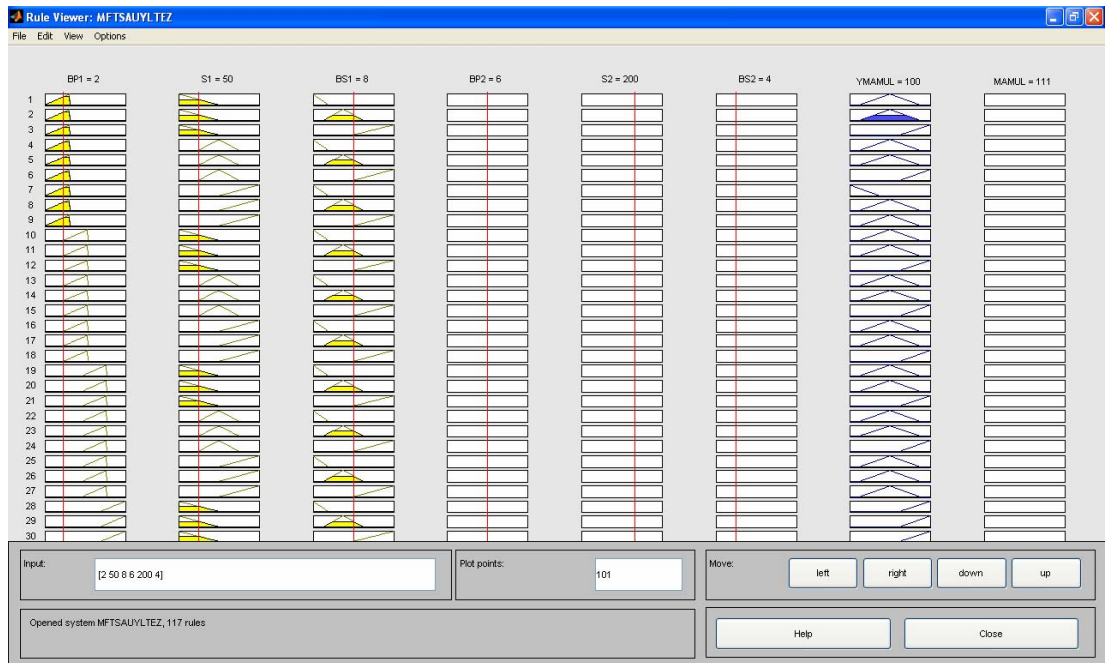
Şekil 4. 12. Örnek Uygulama 1 için Elde Edilmiş MATLAB Çıktısı

Elde edilen sonuçlara göre ara ürün stokunun aynı şekilde 100 m^3 olarak kalması ve nihai ürün stokunun 251 m^3 'e çıkartılmasında özellikle Tesis 2'nin 10 saatlik bakıma girmesi etkilidir. Bunun için Tesis 2'nin üretim hızının artacağı açıktır. Buna bağlı olarak Tesis 1'in de üretim hızının artırılması gerektiği kararını beklerken, ara ürün stokunun normal seviyede olması ve Tesis 1'in ağır bir bakıma girmemesi ara ürün stokunda herhangi bir değişime yol açmamıştır. Yani mevcut ara ürün stoku ve Tesis 1 bakım durumu, hızı artacak olan Tesis 2 için yeterli olmaktadır.

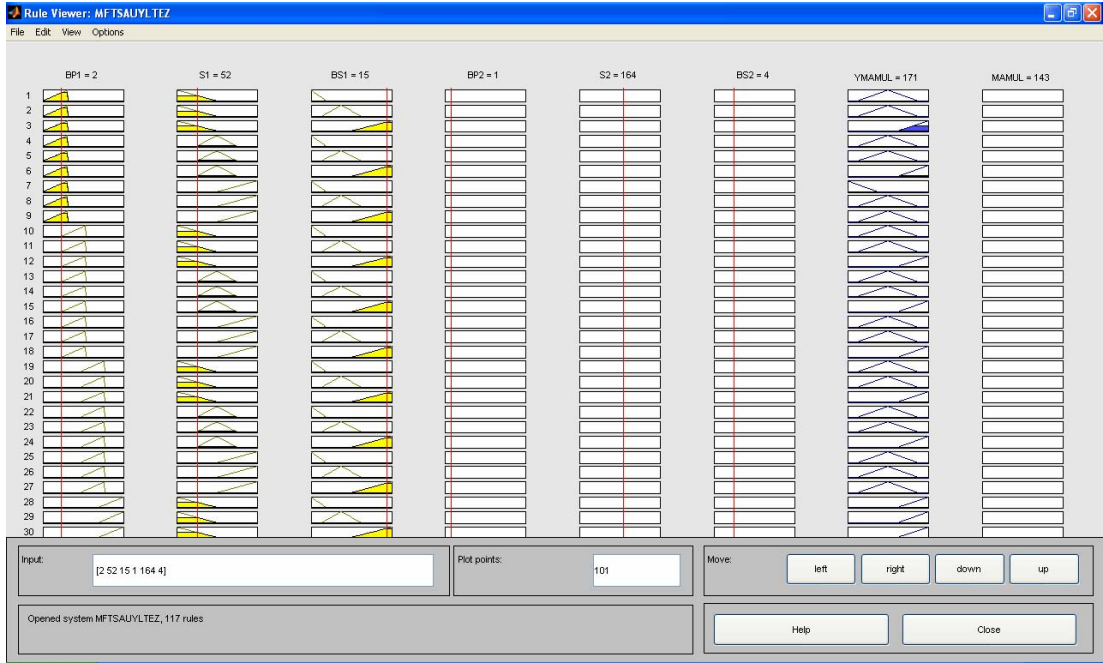
Bunun gibi farklı durumların MATLAB Fuzzy Toolbox çıktıları Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 13. Örnek Uygulama 2 için Elde Edilmiş MATLAB “Fuzzy Toolbox” Çıktısı



Şekil 4. 14. Örnek Uygulama 3 için Elde Edilmiş MATLAB “Fuzzy Toolbox” Çıktısı



Şekil 4. 15. Örnek Uygulama 4 için Elde Edilmiş MATLAB “Fuzzy Toolbox” Çıktısı

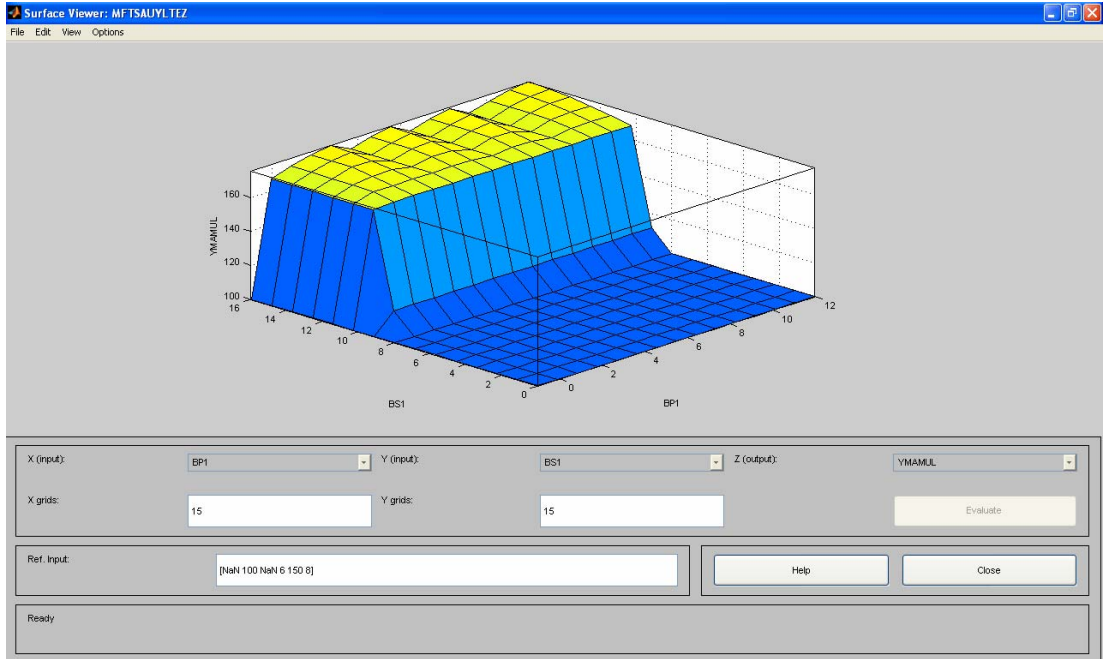
BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, bakım ve stok politikalarının belirlenmesi konusunda kullanılmakta olan benzetim gibi tekniklerin yanı sıra son zamanlarda gelişim gösteren yapay zeka tekniklerinin de kullanılabileceği gösterilmiştir. Sistem hakkındaki verilerin bilgisayar ortamında modellenmesi ve belirlediğimiz kurallar ölçüsünde en uygun sonucun elde edilmesi esasına dayalı bir yöntemin nasıl ve ne şekilde kullanılacağını açıklanmıştır.

Bulanık modellemesi yapılan üretim sisteminin çıktıları her zaman için genel bir sonuç içermemekte; sistemin mevcut durumuna bağlı olarak en uygun çözümün elde edilerek gerekli kararın verilmesine yardımcı olmaktadır. Sistem hakkında genel sonuçlara varmak için 200 adet farklı durum değerlendirilmiş ve sonuçları tezin ek bölümünde verilmiştir.

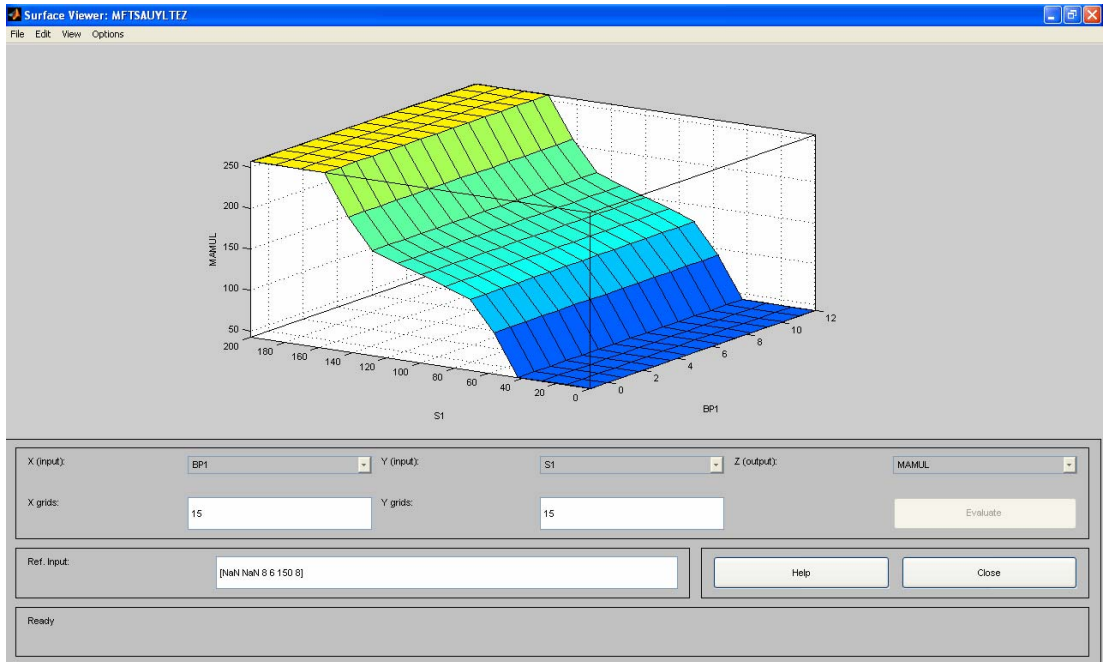
Endüstri firmalarında verimliliği artırmaya yönelik girdi-çıktı etkileşimlerinin ve seviyelerinin belirlemelerine yardımcı bir model ortaya konmuştur. Bununla ilgili olarak, bakım ve stok konularının eşzamanlı olarak ele alınarak bulanık mantık ile modelleme ve çözümü yapılmaya çalışılan bu çalışmanın son aşaması olarak girdilerimizin çıktı üzerine etkilerini incelenmiştir ve şu genel sonuçlara varılmıştır:

Birinci makinenin bakım periyodu ve bakım süresinin ara ürün stokunun belirlenmesinde etkisini incelediğimiz Şekil 5.1.'de bakım periyodunun çok fazla etkisinin olmamakla birlikte sadece önleyici bakım zamanlarında (3, 6, 9 ve 12. aylar) artırılması yönünde etki yapmaktadır. Asıl etkiyi bakım süresi yapmaktadır. Özellikle normal bakım seviyesinin üzerine çıkıldığında stokların hızlı olarak artırılması yönünde etkisi aşağıdaki şekilde de görülmektedir.



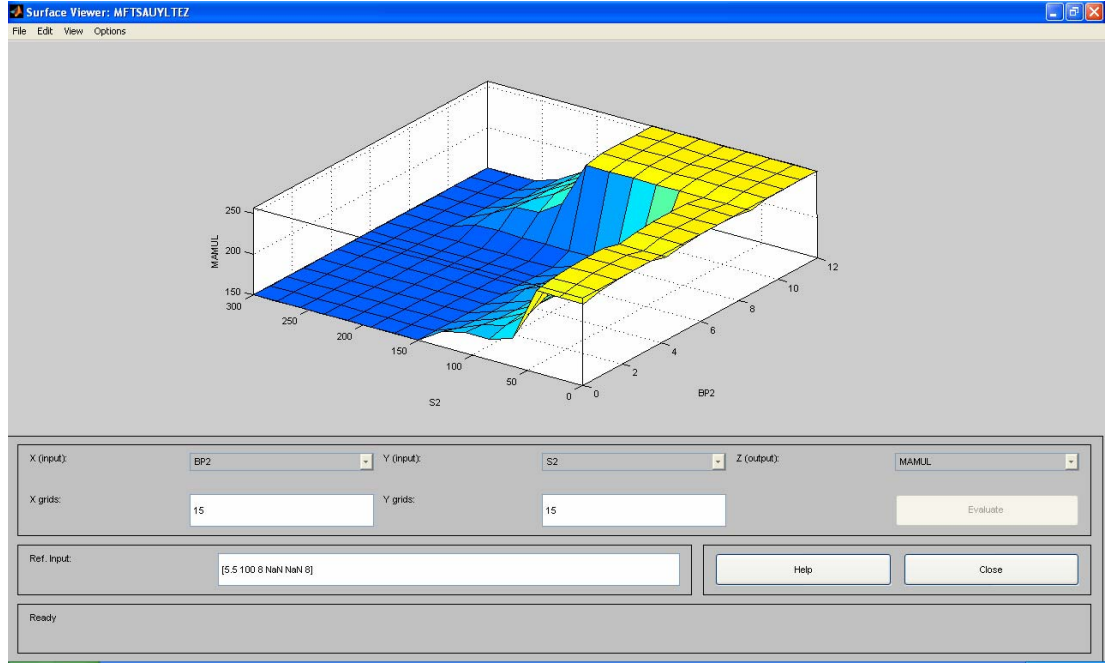
Şekil 5. 1. Bakım Süresi 1 ve Bakım Periyodu 1'in Yarı Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi

Yine birinci makinenin bakım periyodu ile ara ürün stok miktarının nihai ürün stok miktarına etkisini incelediğimizde, özellikle ara ürü stokuyla doğru orantılı şekilde arttığı görülmektedir. Bununla ilgili Şekil 5.2. incelenebilir.



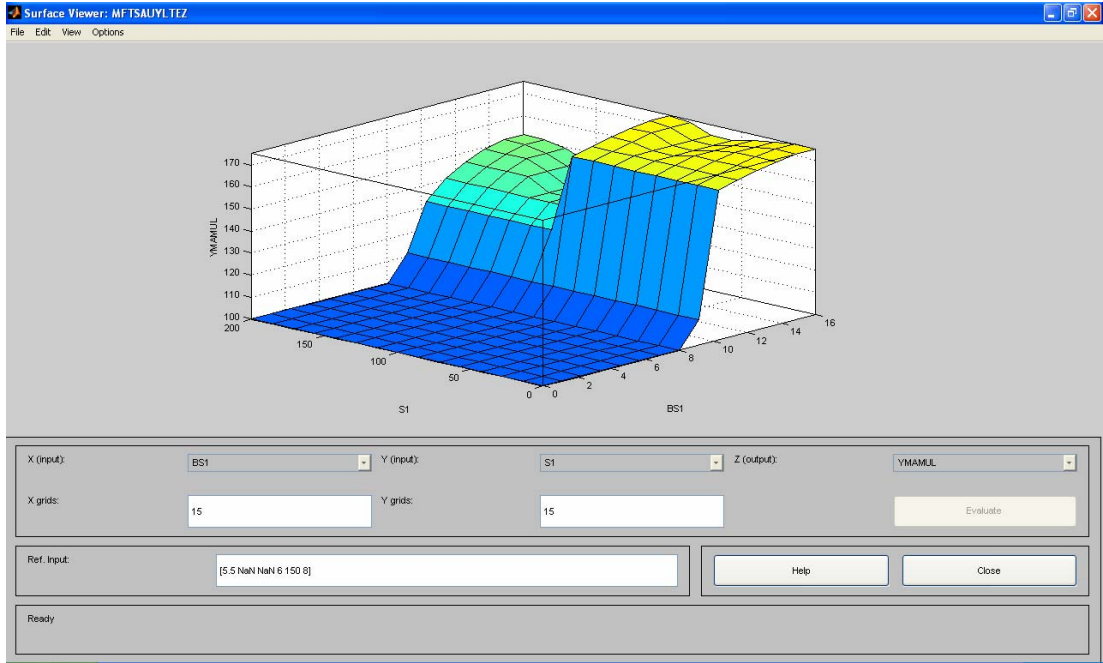
Şekil 5. 2. Stok 1 ve Bakım Periyodu 1'in Mamul Stoku Üzerinde Etkisi

İkinci makinenin bakım periyodu ve stok girdilerinin nihai ürün stoku üzerine etkilerini incelediğimizde; özellikle stok miktarının az olup da bakım periyodunun arttığı durumda nihai ürün stokunun arttırılması yönündeki karar Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 3. Stok 2 ve Bakım Periyodu 2'nin Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi

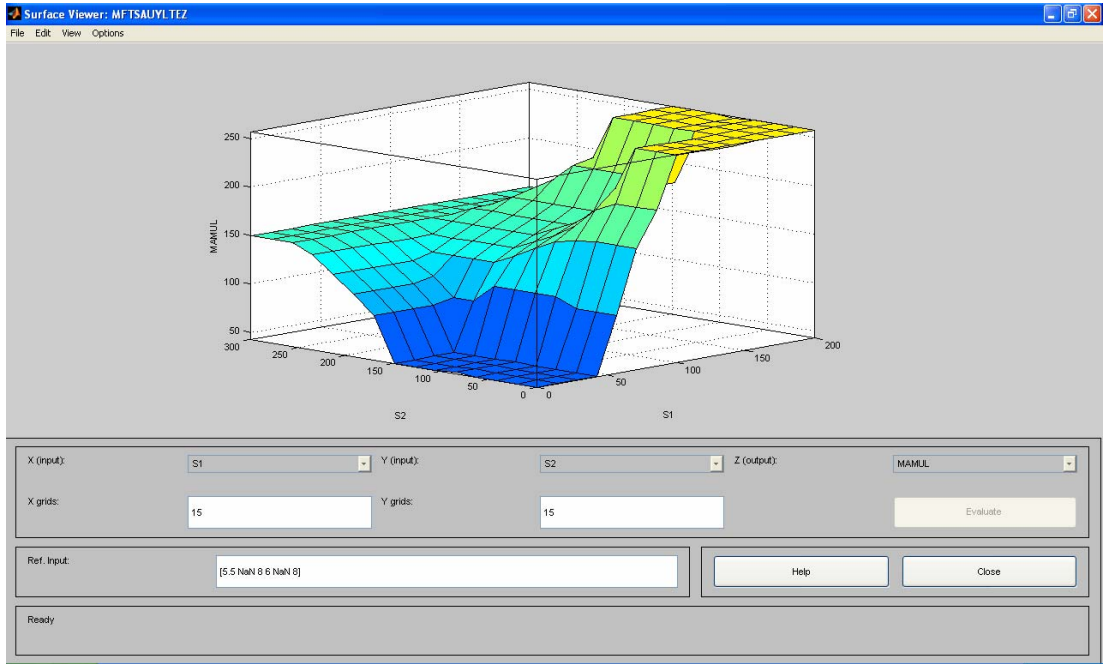
Ara ürün stoku ve ilk makinenin bakım süresinin etkilerini incelediğimizde, stokun normalin altına düştüğü ve bakım sürelerinin artış gösterdiği durumlarda ara ürün stokunun en üst seviyelere çıkarılması, stokun çoğaldığı durumlarda ise stokun normalin biraz üzerinde olması gerektiği görülmektedir. Bununla ilgili Şekil 5.4. grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. 4. Stok 1 ve Bakım Süresi 1'in Yarı Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi

Stokların bitmiş ürün stokuna etkilerine baktığımızda; ara ürün stokunun normalin üzerine çıktığında nihai ürün stokunun da artırılması gerektiği, aksi takdirde kapasite yetersizliği olacağı görülmektedir. Bitmiş ürün stokunun normalin üzerine çıktıkça stok seviyelerinin de orta seviyelere geldiği görülmektedir. Bitmiş ürün stoku 250 birim ve üzerine çıktığında ara ürün stokunun herhangi bir etkisi kalmamakta, nihai ürün stoku direkt olarak ikinci makinenin bakım girdileri ve stok miktarına bağımlı hale gelmektedir. Bu açıklamanın grafiği Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.

Bu incelemelerin yanı sıra yaptığımız çalışmada üretim sisteminin dinamik yapısına bağlı girdiler sonucu değişik hesaplamaların yapılarak en uygun çözümün bulunabileceğini göstermiş olduk. Sistemin mevcut yapısına göre girdilerin farklı değerleri karşısında bulanık mantık yaklaşımının en uygun çözümü verecek yöntemlerden bir tanesi olduğu ortaya konmuştur.



Şekil 5. 5. Stok 1 ve Stok 2'nin Mamul Stoku Üzerindeki Etkisi

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile bakım bilgileri ve stok bilgileri gibi sayısal değerlere sahip ama nesnel değerlendirmede farklı değerler kazanan değişkenlerin bulanık mantıkla çözümünün kolaylığı gösterilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalar için, bakım konusunda öngörü sağlayan benzetim (Arena, Promodel, SimuLink, vb.) tekniğiyle bu yöntemin bütünleşik halde çalışması sonucu özellikle arıza durumlarında sistem davranışının ne şekilde olacağı ve nasıl değerler alacağı ortaya çıkarılmış olur.

Dilsel değişkenlerin bakım ve stok bilgilerini daha iyi temsil edebilmesi için, üretim ortamlarının tüm fiziki şartlarının dikkate alınması, verilerin özenle seçilmesi ve bunların “Cluster Analizi” gibi metotlarla sınıflandırılması gerekmektedir.

Ayrıca MRP gibi diğer programlarla bütünleşmiş programlar için, işletmelerin organizasyonlarında bulunan diğer benzer fonksiyon girdilerinin eklenmesi ile yönetime karar verme aşamasında yardımcı olacaktır.

Model parametrelerinin tekrar gözden geçirilip değiştirilmesi ile gelecek dönemler için talep tahmini, üretim ve satış miktarlarının belirlenmesi, satış dağıtım kanallarının analizi, vb. yönetim konularında da endüstri işletmeleri tarafından etkin bir biçimde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

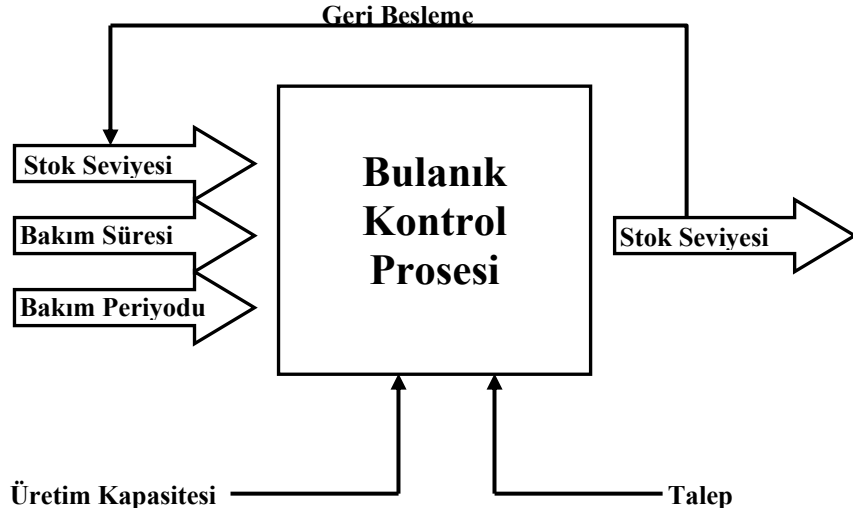
- [1] CHEUNG, K. L., HAUSMAN, W. H., (1997). Joint Determination of Preventive Maintenance and Safety Stocks in an Unreliable Production Environment, *Naval Research Logistics*, Vol. 44, pp. 257–272
- [2] LEE, Hsu-Hua, (2004). A cost/benefit model for investments in inventory and preventive maintenance in an imperfect production system, *Computers & Industrial Engineering*, 48, pp.55–68
- [3] YAO, X., XIE, X., FU, M. C., Marcus, S. I., (2005). Optimal Joint Preventive Maintenance and Production Policies, *Wiley Periodicals, Inc. Naval Research Logistics*, 52, pp.668–681
- [4] ZEQUEIRA, R. I., PRIDA, B., VALDÉS, J. E., (2004). Optimal buffer inventory and preventive maintenance for an imperfect production process, *International Journal of Production Research*, Vol. 42, no. 5, pp.959–974
- [5] LAM, Y., TSE, Y. K., (2003). Optimal maintenance model for a multistate deteriorating system: a geometric process approach, *International Journal of Systems Science*, Vol. 34, no. 5, pp.303–308
- [6] MARQUEZ, A. C., GUPTA, J. N. D., HEGUEDAS, A.S., (2003). Maintenance policies for a production system with constrained production rate and buffer capacity, *International Journal of Production Research*, vol. 41, no. 9, pp.1909–1926
- [7] SALAMEH, M. K., GHATTAS, R. E., (2001). Optimal just-in-time buffer inventory for regular preventive maintenance, *Int. J. Production Economics*, 74, pp.157-161
- [8] AZADIVAR, F., SHU, V., (1999). Maintenance policy selection for JIT production systems, *International Journal of Production Research*, vol. 37, no. 16, pp.3725-3738
- [9] IREVANI, S. M. R., DUENYAS, I., (2002). Integrated maintenance and production control of a deteriorating production system, *IIE Transactions*, 34, pp.423–435

- [10] ARMSTRONG, M. J., ATKINS, D. A., (1998). A note on joint optimization of maintenance and inventory, *IIE Transactions*, 30, pp.143-149
- [11] SARKER, R., HAQUE, A., (2000). Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation, *Applied Mathematical Modelling*, 24, pp. 751-760
- [12] REZG, N., XIE, X., MATI, Y., (2004). Joint optimization of preventive maintenance and inventory control in a production line using simulation, *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 10, pp.2029–2046
- [13] TSAI, Y., WANG, K., TENG, H., (2001). Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithms, *Reliability Engineering and System Safety*, 74, pp.89-97
- [14] AL-NAJJAR, B., ALSYOUF, I., (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making, *Int. J. Production Economics*, 84, pp. 85–100
- [15] ACAR, Nesime, “Üretim Planlaması ve Yöntem Uygulamaları”, Milli Produktivite Yayınları, Ankara, 1989
- [16] TEKİN, Mahmut, Üretim Yönetimi, Arı Ofset, Konya, 1999
- [17] YAMAN, Yener, Bakım Planlaması, Y. Ü., Lisans Tezi, s. 44, 1997
- [18] VURAL, Muharrem, “Filo Sistemlerinde Bakım Yönetimi”, Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tasarım Projesi, 2005, Sakarya
- [19] YAVUZ, C., “Titresim Esaslı Bakım”, Bitirme Tezi, SAÜ Makine Mühendisliği Bölümü, 2000
- [20] KONAÇ, B., “Makine Performansinin Titresim Analizi Metotları Yardımıyla Belirlenmesi ve Rulmanlarda Titresim Analizi İle Hasar Tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Makine Mühendisliği Bölümü, 1996
- [21] ÇAGLAYAN, I.H., “Önleyici (Proaktif) Bakım Nedir? Nasıl Yapılır?”, Vibratek Mühendislik ve Mümesillik Ltd. Sti., TB-10, 1995
- [22] ŞİMŞİR, Fuat, “Bakım Malzemeleri İhtiyaç Planlaması Sistemi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002, Sakarya

- [23] KURU, Ersen, “Adaptif Bulanık Mantık Yöntemi Kullanılarak Harmoniklerin Sınıflandırılması ve Adaptif Filtre Yaklaşımı İle Temel Bileşenin Belirlenmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2003, Sakarya
- [24] MERCAN, Cem Ahmet, Bilişim Enstitüsü- Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik, www.bumat.itu.edu.tr
- [25] Bulanık Mantık, 27.07.02 www.ealt.org
- [26] DERELİ, T., Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, End. Mühendisliği Bölüm Başkanı ders notları www.gantep.edu.tr/~dereli
- [27] SELF, K., (1990), “Designing with Fuzzy Logic”, I.E.E.E. Spectrum, vol.108
- [28] ZEYDAN, M., “Bir Petrol Ünitesinde (FCCU) Bulanık Mantık Modelleme ve Kontrol”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 1999
- [29] ROSS, T. J., “Fuzzy Logic with Engineering Applications”, McGraw-Hill, Inc., 1995
- [30] YÜKSEL, İ., MATLAB ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 1996

EKLER

Ek – A: Bir Madeni Yağ İşletmesine Ait Kontrol Prosesi



Ek – B: Bir Madeni Yağ İşletmesinden Elde Edilmiş Girdi Verileri

ÖRNEK	BP1 (ay)	S1 (m³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m³)	BS2 (saat)
1	5	65	7	6	163	4
2	8	120	3	9	76	8
3	11	86	8	1	131	1
4	4	39	9	7	123	3
5	6	164	5	6	159	7
6	2	91	8	4	171	8
7	8	111	14	11	176	8
8	6	33	8	7	158	6
9	9	55	2	12	298	4
10	7	72	7	6	170	12
11	3	97	10	5	89	9
12	1	112	9	4	50	6
13	6	41	5	9	71	8
14	10	132	8	10	83	8
15	11	67	6	3	100	5
16	4	42	5	7	190	2
17	2	71	7	5	135	10
18	6	80	8	7	213	8
19	3	80	9	5	109	7
20	8	93	9	12	141	5
21	5	27	11	9	193	6
22	12	54	3	2	247	2
23	5	75	5	8	174	10
24	8	13	2	11	218	8
25	9	58	7	1	82	4
26	6	99	12	9	120	13
27	4	150	1	7	100	11
28	5	100	3	10	216	15
29	3	75	6	6	73	7
30	6	86	4	9	85	8
31	8	178	8	8	97	3
32	9	154	11	12	286	10
33	7	105	2	10	169	4
34	5	180	8	8	253	3
35	1	45	15	3	225	1
36	5	95	10	7	49	7
37	6	57	5	9	143	12
38	4	100	4	5	174	8
39	2	80	7	5	109	6
40	7	78	1	9	167	9
41	3	88	4	7	250	4

ÖRNEK	BP1 (ay)	S1 (m ³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m ³)	BS2 (saat)
42	6	148	8	7	158	7
43	8	118	5	6	255	8
44	5	119	1	9	187	2
45	7	100	4	9	164	1
46	2	158	7	5	108	5
47	9	53	9	7	137	16
48	11	125	3	4	112	9
49	4	177	4	2	188	7
50	2	81	10	4	244	10
51	10	182	13	10	212	6
52	9	100	4	5	179	3
53	1	103	9	8	175	9
54	8	178	3	9	163	5
55	6	130	8	3	93	5
56	4	92	9	1	75	8
57	2	123	8	2	113	7
58	5	117	9	5	213	1
59	11	170	4	12	204	6
60	7	166	3	9	106	8
61	2	143	1	7	155	2
62	12	190	13	1	273	2
63	5	160	6	6	198	8
64	9	171	7	12	273	8
65	6	87	11	9	95	7
66	3	176	6	5	157	1
67	5	66	7	7	102	5
68	7	73	12	7	168	2
69	8	147	10	9	257	13
70	2	60	6	4	173	11
71	4	157	9	6	58	5
72	1	122	8	10	270	6
73	9	92	3	11	204	5
74	4	183	8	8	199	8
75	9	96	6	11	88	4
76	8	104	4	9	169	2
77	1	36	8	3	270	7
78	5	195	4	7	127	8
79	3	160	13	5	75	9
80	9	87	12	12	246	5
81	2	155	9	4	154	8
82	1	184	7	10	137	8

Ek – C: Bir Madeni Yağ İşletmesinden Elde Edilmiş Çıktı Verileri

ÖRNEK	YMAMUL (m³)	MAMUL (m³)	ÖRNEK	YMAMUL (m³)	MAMUL (m³)
1	162	295	42	53	67
2	136	177	43	140	166
3	101	146	44	97	290
4	83	177	45	110	187
5	145	221	46	188	255
6	96	171	47	104	235
7	186	223	48	128	70
8	127	252	49	153	63
9	88	120	50	163	119
10	43	244	51	94	214
11	166	293	52	143	164
12	125	176	53	142	81
13	80	129	54	107	131
14	190	36	55	87	136
15	56	198	56	125	89
16	97	225	57	196	245
17	121	150	58	70	168
18	199	130	59	107	153
19	110	273	60	82	180
20	95	226	61	160	230
21	173	295	62	111	129
22	138	152	63	96	109
23	179	127	64	172	104
24	139	248	65	96	238
25	128	180	66	160	218
26	197	68	67	137	177
27	38	126	68	166	120
28	74	106	69	194	121
29	111	100	70	199	152
30	153	230	71	108	275
31	122	106	72	88	180
32	233	223	73	156	67
33	164	251	74	180	265
34	172	206	75	181	134
35	100	197	76	133	94
36	95	219	77	101	288
37	100	216	78	138	113
38	122	283	79	66	231
39	109	252	80	74	154
40	180	280	81	195	278
41	168	151	82	156	183

Ek – D: Çözümde Kullanılan Kural Tabanı

KURAL	BP1	S1	BS1	BP2	S2	BS2	YMAMUL	MAMUL
1	DÜŞÜK	DÜŞÜK	KISA	-	-	-	NORMAL	-
2	DÜŞÜK	DÜŞÜK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
3	DÜŞÜK	DÜŞÜK	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
4	DÜŞÜK	ORTA	KISA	-	-	-	NORMAL	-
5	DÜŞÜK	ORTA	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
6	DÜŞÜK	ORTA	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
7	DÜŞÜK	YÜKSEK	KISA	-	-	-	AZALT	-
8	DÜŞÜK	YÜKSEK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
9	DÜŞÜK	YÜKSEK	UZUN	-	-	-	NORMAL	-
10	ORTA	DÜŞÜK	KISA	-	-	-	NORMAL	-
11	ORTA	DÜŞÜK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
12	ORTA	DÜŞÜK	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
13	ORTA	ORTA	KISA	-	-	-	NORMAL	-
14	ORTA	ORTA	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
15	ORTA	ORTA	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
16	ORTA	YÜKSEK	KISA	-	-	-	NORMAL	-
17	ORTA	YÜKSEK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
18	ORTA	YÜKSEK	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
19	YÜKSEK	DÜŞÜK	KISA	-	-	-	NORMAL	-
20	YÜKSEK	DÜŞÜK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
21	YÜKSEK	DÜŞÜK	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
22	YÜKSEK	ORTA	KISA	-	-	-	NORMAL	-
23	YÜKSEK	ORTA	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
24	YÜKSEK	ORTA	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
25	YÜKSEK	YÜKSEK	KISA	-	-	-	NORMAL	-
26	YÜKSEK	YÜKSEK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
27	YÜKSEK	YÜKSEK	UZUN	-	-	-	NORMAL	-
28	ÇOK YÜKSEK	DÜŞÜK	KISA	-	-	-	ARTTIR	-
29	ÇOK YÜKSEK	DÜŞÜK	NORMAL	-	-	-	ARTTIR	-
30	ÇOK YÜKSEK	DÜŞÜK	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
31	ÇOK YÜKSEK	ORTA	KISA	-	-	-	NORMAL	-
32	ÇOK YÜKSEK	ORTA	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
33	ÇOK YÜKSEK	ORTA	UZUN	-	-	-	ARTTIR	-
34	ÇOK YÜKSEK	YÜKSEK	KISA	-	-	-	NORMAL	-
35	ÇOK YÜKSEK	YÜKSEK	NORMAL	-	-	-	NORMAL	-
36	ÇOK YÜKSEK	YÜKSEK	UZUN	-	-	-	NORMAL	-

KURAL	BP1	S1	BS1	BP2	S2	BS2	YMAMUL	MAMUL
37	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
38	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	NORMAL	KISA	-	NORMAL
39	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
40	-	DÜŞÜK	-	ORTA	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
41	-	DÜŞÜK	-	ORTA	NORMAL	KISA	-	NORMAL
42	-	DÜŞÜK	-	ORTA	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
43	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	KISA	-	NORMAL
44	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	NORMAL	KISA	-	NORMAL
45	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
46	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	NORMAL	-	AZALT
47	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	NORMAL	NORMAL	-	NORMAL
48	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	NORMAL	-	AZALT
49	-	DÜŞÜK	-	ORTA	DÜŞÜK	NORMAL	-	AZALT
50	-	DÜŞÜK	-	ORTA	NORMAL	NORMAL	-	AZALT
51	-	DÜŞÜK	-	ORTA	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
52	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	NORMAL	-	NORMAL
53	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	NORMAL	NORMAL	-	NORMAL
54	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	YÜKSEK	NORMAL	-	AZALT
55	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	UZUN	-	NORMAL
56	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	NORMAL	UZUN	-	NORMAL
57	-	DÜŞÜK	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL
58	-	DÜŞÜK	-	ORTA	DÜŞÜK	UZUN	-	NORMAL
59	-	DÜŞÜK	-	ORTA	NORMAL	UZUN	-	NORMAL
60	-	DÜŞÜK	-	ORTA	YÜKSEK	UZUN	-	AZALT
61	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	UZUN	-	NORMAL
62	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	NORMAL	UZUN	-	NORMAL
63	-	DÜŞÜK	-	YÜKSEK	YÜKSEK	UZUN	-	AZALT
64	-	ORTA	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
65	-	ORTA	-	DÜŞÜK	NORMAL	KISA	-	NORMAL
66	-	ORTA	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
67	-	ORTA	-	ORTA	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
68	-	ORTA	-	ORTA	NORMAL	KISA	-	NORMAL
69	-	ORTA	-	ORTA	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
70	-	ORTA	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
71	-	ORTA	-	YÜKSEK	NORMAL	KISA	-	NORMAL
72	-	ORTA	-	YÜKSEK	YÜKSEK	KISA	-	NORMAL
73	-	ORTA	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	NORMAL	-	ARTTIR
74	-	ORTA	-	DÜŞÜK	NORMAL	NORMAL	-	NORMAL
75	-	ORTA	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
76	-	ORTA	-	ORTA	DÜŞÜK	NORMAL	-	ARTTIR
77	-	ORTA	-	ORTA	NORMAL	NORMAL	-	NORMAL
78	-	ORTA	-	ORTA	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
79	-	ORTA	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	NORMAL	-	ARTTIR

KURAL	BP1	S1	BS1	BP2	S2	BS2	YMAMUL	MAMUL
80	-	ORTA	-	YÜKSEK	NORMAL	NORMAL	-	ARTTIR
81	-	ORTA	-	YÜKSEK	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
82	-	ORTA	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	UZUN	-	ARTTIR
83	-	ORTA	-	DÜŞÜK	NORMAL	UZUN	-	ARTTIR
84	-	ORTA	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL
85	-	ORTA	-	ORTA	DÜŞÜK	UZUN	-	ARTTIR
86	-	ORTA	-	ORTA	NORMAL	UZUN	-	ARTTIR
87	-	ORTA	-	ORTA	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL
88	-	ORTA	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	UZUN	-	ARTTIR
89	-	ORTA	-	YÜKSEK	NORMAL	UZUN	-	ARTTIR
90	-	ORTA	-	YÜKSEK	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL
91	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
92	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	NORMAL	KISA	-	NORMAL
93	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
94	-	YÜKSEK	-	ORTA	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
95	-	YÜKSEK	-	ORTA	NORMAL	KISA	-	NORMAL
96	-	YÜKSEK	-	ORTA	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
97	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	KISA	-	ARTTIR
98	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	NORMAL	KISA	-	NORMAL
99	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	YÜKSEK	KISA	-	AZALT
100	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	NORMAL	-	ARTTIR
101	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	NORMAL	NORMAL	-	NORMAL
102	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
103	-	YÜKSEK	-	ORTA	DÜŞÜK	NORMAL	-	ARTTIR
104	-	YÜKSEK	-	ORTA	NORMAL	NORMAL	-	ARTTIR
105	-	YÜKSEK	-	ORTA	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
106	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	NORMAL	-	ARTTIR
107	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	NORMAL	NORMAL	-	ARTTIR
108	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	YÜKSEK	NORMAL	-	NORMAL
109	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	DÜŞÜK	UZUN	-	ARTTIR
110	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	NORMAL	UZUN	-	ARTTIR
111	-	YÜKSEK	-	DÜŞÜK	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL
112	-	YÜKSEK	-	ORTA	DÜŞÜK	UZUN	-	ARTTIR
113	-	YÜKSEK	-	ORTA	NORMAL	UZUN	-	ARTTIR
114	-	YÜKSEK	-	ORTA	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL
115	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	DÜŞÜK	UZUN	-	ARTTIR
116	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	NORMAL	UZUN	-	ARTTIR
117	-	YÜKSEK	-	YÜKSEK	YÜKSEK	UZUN	-	NORMAL

Ek – E: Örnek Olarak İncelenmiş 200 Özel Durum Ve Çıktıları

DURUM	BP1 (ay)	S1 (m³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m³)	BS2 (saat)	YMAMUL (m³)	MAMUL (m³)
1	3	30	3	3	30	8	100,0000	42,9823
2	4	124	12	4	124	5	171,3451	163,0877
3	7	87	7	7	87	9	100,0000	162,8083
4	9	109	9	9	109	11	108,9460	254,2405
5	11	101	11	11	147	3	165,5933	251,1861
6	3	35	5	3	127	5	100,0000	141,2272
7	5	55	15	5	188	2	170,6289	127,9611
8	2	200	12	2	190	7	100,0000	150,0000
9	7	79	7	7	152	12	100,0000	199,5924
10	12	124	14	12	55	1	132,2308	236,7644
11	1	11	11	10	70	3	169,4937	150,0000
12	3	39	13	2	11	7	172,7895	41,0008
13	6	65	15	7	122	4	169,1003	134,8092
14	4	147	14	5	140	1	170,9184	154,9385
15	7	127	12	9	150	0	127,9701	150,0000
16	8	188	1	3	93	3	100,0000	176,3865
17	9	190	10	2	78	7	100,0000	192,2206
18	2	152	2	6	59	4	31,1713	257,0177
19	5	55	5	9	94	5	100,0000	157,5286
20	0	70	7	3	76	13	100,0000	185,6360
21	1	11	11	2	88	5	169,4937	118,1197
22	12	122	1	6	109	9	100,0000	176,3865
23	12	140	14	9	175	4	110,2779	200,8588
24	5	150	10	11	141	6	167,4574	257,0177
25	3	93	3	11	190	8	100,0000	188,4610
26	8	78	8	12	121	7	100,0000	202,6644
27	9	59	5	3	170	15	112,6921	163,6148
28	4	94	4	4	134	11	100,0000	225,8266
29	6	76	6	7	178	8	100,0000	133,8041
30	8	88	8	9	120	9	100,0000	195,9093
31	9	109	12	11	156	5	149,0974	246,7232
32	5	175	15	3	180	11	174,3019	193,8424
33	11	141	11	5	139	5	109,6389	198,6934
34	10	190	3	2	10	15	100,0000	258,9992
35	11	121	7	7	82	12	100,0000	256,0169
36	7	170	1	12	97	7	100,0000	256,3776
37	4	134	13	1	55	2	168,9399	226,8912
38	8	178	5	12	99	11	100,0000	254,2405
39	2	120	10	5	123	3	121,0904	171,3396
40	6	156	12	3	122	2	130,7939	166,2709

DURUM	BP1 (ay)	S1 (m ³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m ³)	BS2 (saat)	YMAMUL (m ³)	MAMUL (m ³)
41	8	180	11	8	186	4	100,0000	197,2681
42	9	139	13	9	59	8	111,5192	254,5856
43	10	10	10	12	181	9	167,4574	127,9662
44	2	82	2	1	142	2	100,0000	154,5120
45	7	97	7	3	93	12	100,0000	240,7500
46	5	55	5	6	126	3	100,0000	116,8279
47	9	99	9	4	137	4	108,9460	154,9737
48	3	123	3	7	71	7	100,0000	202,2930
49	2	122	2	8	32	9	87,2121	251,1861
50	6	186	6	9	70	12	100,0000	254,8197
51	9	59	2	2	55	3	114,5059	135,9568
52	11	181	11	5	72	4	100,0000	254,8197
53	12	142	4	0	80	12	100,0000	249,8930
54	3	93	3	1	95	7	100,0000	173,0918
55	6	126	16	12	91	11	130,0416	254,2405
56	3	137	7	12	111	2	100,0000	172,6103
57	1	71	1	5	33	12	100,0000	186,3876
58	2	32	2	3	55	7	100,0000	59,3369
59	1	70	7	8	72	3	100,0000	150,0000
60	5	55	5	9	97	8	100,0000	157,5286
61	7	72	2	4	112	9	100,0000	150,0000
62	8	80	8	6	41	4	100,0000	190,0243
63	9	95	5	8	232	6	101,6911	158,4337
64	9	91	9	9	67	10	108,9460	204,2970
65	11	111	11	5	42	9	140,4492	251,1861
66	3	33	3	11	71	3	100,0000	150,0000
67	5	55	5	10	80	11	100,0000	157,8839
68	2	72	2	11	93	10	100,0000	176,3865
69	7	97	7	7	27	14	100,0000	250,0960
70	12	112	12	4	101	5	144,2002	171,9035
71	1	41	1	8	35	9	100,0000	118,3644
72	3	32	3	2	55	13	100,0000	150,0000
73	6	67	7	6	200	12	100,0000	150,8444
74	4	42	4	8	79	15	100,0000	150,0000
75	7	71	1	9	124	11	100,0000	184,5927
76	8	80	0	10	11	13	100,0000	207,0676
77	9	93	3	2	39	5	104,9780	230,6542
78	2	27	7	7	65	7	100,0000	41,6339
79	5	54	4	5	54	1	100,0000	235,0563
80	5	75	5	9	75	14	100,0000	189,9008
81	3	13	13	3	13	13	172,9705	150,0000
82	8	58	5	2	58	2	100,0000	215,8821
83	9	99	9	6	99	8	108,9460	172,6883
84	4	24	4	9	24	3	100,0000	150,0000
85	6	16	6	11	16	9	100,0000	150,0000

DURUM	BP1 (ay)	S1 (m ³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m ³)	BS2 (saat)	YMAMUL (m ³)	MAMUL (m ³)
86	8	98	8	12	98	10	100,0000	236,4287
87	9	179	7	3	179	2	100,0000	133,1458
88	5	195	15	6	195	9	174,3019	176,3865
89	7	157	17	3	157	15	100,0000	239,7464
90	8	98	8	1	98	10	100,0000	236,4287
91	9	19	9	2	19	13	117,5910	150,0000
92	9	59	5	1	59	12	112,6921	163,8422
93	11	11	11	5	11	16	169,4937	150,0000
94	3	53	5	7	53	1	100,0000	242,3620
95	5	75	15	8	75	11	171,3451	188,0424
96	2	12	12	9	12	12	171,3451	150,0000
97	7	67	7	4	67	3	100,0000	150,0000
98	12	102	2	7	102	7	100,0000	171,2324
99	1	11	11	8	11	12	169,4937	150,0000
100	3	37	3	9	37	1	100,0000	150,0000
101	7	72	2	7	72	13	100,0000	189,8327
102	4	48	4	12	248	7	100,0000	51,7404
103	8	81	8	1	81	2	100,0000	179,9674
104	2	29	9	3	29	12	108,9460	150,0000
105	2	42	2	7	42	10	100,0000	150,0000
106	6	67	7	4	67	2	100,0000	194,8088
107	8	82	2	8	82	3	100,0000	157,4287
108	12	120	12	2	120	5	134,7897	162,0964
109	10	100	10	2	100	9	167,4574	176,3865
110	2	21	2	6	21	2	100,0000	253,2431
111	7	73	3	8	73	2	100,0000	186,6850
112	5	85	5	9	85	6	100,0000	203,8350
113	9	97	9	2	97	9	108,9460	173,3700
114	3	32	2	11	32	10	100,0000	150,0000
115	2	21	2	3	21	14	100,0000	150,0000
116	6	60	6	5	60	4	100,0000	122,9006
117	9	90	9	2	90	11	108,9460	213,2673
118	11	110	10	7	110	2	134,1775	173,1747
119	12	12	12	12	12	12	171,3451	150,0000
120	3	31	3	1	31	16	100,0000	150,0000
121	4	45	4	3	45	15	100,0000	150,0000
122	7	76	7	6	76	8	100,0000	172,1476
123	9	97	9	10	97	11	108,9460	238,2178
124	11	112	12	2	112	2	144,2002	172,0389
125	3	38	3	7	38	10	100,0000	150,0000
126	5	54	4	2	54	5	100,0000	84,1098
127	2	182	12	5	182	4	100,0000	194,0292
128	7	27	7	3	27	7	100,0000	38,8310
129	12	112	11	8	190	1	138,8183	133,6339
130	1	200	2	9	53	12	31,1713	254,8197

DURUM	BP1 (ay)	S1 (m ³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m ³)	BS2 (saat)	YMAMUL (m ³)	MAMUL (m ³)
131	12	112	12	4	171	10	144,2002	191,4468
132	5	57	7	6	160	11	100,0000	156,0165
133	3	37	3	8	140	14	100,0000	150,0000
134	8	84	8	9	75	11	100,0000	200,0976
135	9	97	9	5	91	6	108,9460	177,7116
136	4	42	4	7	131	5	100,0000	41,3771
137	6	61	6	8	123	15	100,0000	167,2788
138	8	180	10	9	259	12	100,0000	150,0000
139	9	190	9	9	171	7	100,0000	205,7969
140	5	53	3	11	13	14	100,0000	153,9652
141	11	171	11	3	55	11	100,0000	254,2405
142	10	160	10	5	72	13	100,0000	254,8197
143	4	140	14	2	177	3	169,8798	150,0000
144	7	75	5	7	122	12	100,0000	196,1908
145	9	91	9	12	193	7	108,9460	188,7838
146	11	131	13	1	200	9	122,3547	163,4190
147	3	123	12	3	68	11	132,2580	254,2405
148	9	159	15	7	83	10	100,0000	251,1861
149	11	171	11	4	90	11	100,0000	254,2405
150	3	13	13	8	120	12	172,9705	150,0000
151	5	55	5	2	31	4	100,0000	87,4569
152	2	72	7	2	27	1	100,0000	255,7179
153	7	177	1	6	112	2	100,0000	172,0389
154	12	122	14	8	112	7	135,1096	166,0745
155	1	193	13	4	193	5	100,0000	162,4305
156	2	200	2	6	247	2	31,1713	64,0168
157	6	68	8	8	174	15	100,0000	167,8229
158	8	83	3	9	218	14	100,0000	161,9705
159	9	90	9	5	22	12	108,9460	215,0756
160	10	120	10	4	152	1	121,0904	149,2778
161	2	200	2	7	176	10	31,1713	185,4116
162	7	79	9	9	158	2	108,9460	145,4880
163	5	15	15	11	298	5	174,3019	38,5472
164	9	190	10	3	200	7	100,0000	150,0000
165	3	133	13	9	79	11	119,5511	253,4098
166	2	182	12	11	15	1	100,0000	260,1765
167	6	186	16	3	290	14	138,9110	150,0000
168	9	119	1	5	133	10	100,0000	251,1861
169	11	191	11	2	182	3	100,0000	150,0000
170	12	112	12	7	186	8	144,2002	157,8362
171	3	31	3	12	119	5	100,0000	150,0000
172	7	27	7	1	291	4	100,0000	45,1803
173	12	112	12	2	212	6	144,2002	150,0000
174	1	112	1	6	110	8	94,7759	168,0462
175	3	193	13	8	20	12	109,9974	257,0177

DURUM	BP1 (ay)	S1 (m³)	BS1 (saat)	BP2 (ay)	S2 (m³)	BS2 (saat)	YMAMUL (m³)	MAMUL (m³)
176	7	147	14	9	127	15	102,6435	254,8197
177	4	174	4	10	25	11	100,0000	254,2405
178	8	18	11	2	139	3	169,4937	142,1664
179	2	22	2	7	173	7	100,0000	80,5445
180	2	152	12	5	51	1	100,0000	249,2165
181	6	176	16	9	102	13	137,5595	254,8197
182	8	158	15	3	135	5	100,0000	155,9271
183	9	198	8	2	213	10	100,0000	176,3865
184	10	110	11	6	109	12	142,1782	257,0177
185	2	20	2	9	141	11	100,0000	150,0000
186	7	127	10	11	12	13	117,5910	256,1618
187	5	25	5	12	31	10	100,0000	150,0000
188	9	139	4	3	134	2	100,0000	159,1872
189	3	173	7	5	191	7	100,0000	187,7436
190	1	51	1	9	61	5	100,0000	151,4448
191	12	102	12	3	212	9	165,0971	163,4190
192	5	135	10	1	200	3	167,4574	150,0000
193	3	113	11	12	112	2	137,3327	172,0389
194	9	109	10	5	57	6	136,1980	223,9522
195	11	141	11	3	37	11	109,6389	254,2405
196	12	12	12	1	84	4	171,3451	116,9171
197	3	31	4	12	97	3	100,0000	150,0000
198	4	134	14	3	242	16	168,9399	156,7363
199	11	191	11	4	261	7	100,0000	150,0000
200	6	61	6	6	280	4	100,0000	150,0000

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İzmir’de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Uşak ve İzmir illerinde tamamlamıştır. Üniversite öğrenimine 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde başlamıştır. 2003 yılında “Endüstri Mühendisi” olarak bu bölümden mezun olmuştur.

Yüksek lisans öğrenimi için 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nı kazanmıştır. Aynı yıl, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde “Araştırma Görevlisi” unvanıyla çalışmaya başlamıştır. Halen aynı bölümde görev yapmaktadır.