

155986

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAGUCHİ YÖNTEMİ VE BULANIK MANTIK
KULLANILARAK ÇOK YANITLI KALİTE
KARAKTERİSTİKLERİNİN EŞZAMANLI ENİYİLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Ümit TERZİ

Anabilim Dalı: Endüstri

Danışman: Prof. Dr. Meriç ÖZTÜRKCAN

Haziran 2004

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAGUCHİ YÖNTEMİ VE BULANIK MANTIK
KULLANILARAK ÇOK YANITLI KALİTE
KARAKTERİSTİKLERİNİN EŞZAMANLI ENİYİLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. Ümit TERZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Haziran 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Temmuz 2004

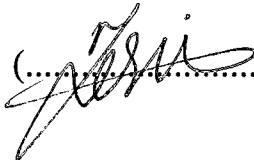
Tez Danışmanı

Prof. Dr. Meriç ÖZTÜRKCAN

(..........)

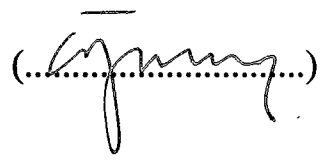
Üye

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ

(..........)

Üye

Doç. Dr. Coşkun ÖZKAN

(..........)

Haziran 2004

TAGUCHİ YÖNTEMİ VE BULANIK MANTIK KULLANILARAK ÇOK YANITLI KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN EŞZAMANLI ENİYİLENMESİ

Ümit TERZİ

Anahtar Kelimeler: Taguchi, Bulanık Mantık, Çok Yanıtlı Kalite Karakteristikleri

Özet: Bu çalışmada, çok sayıda kalite karakteristiğine sahip bir üretim sürecinin eniyilenmesi için, Taguchi Yöntemi Bulanık Mantıkla birlikte uygulanmıştır. Üretim sürecinin çoklu kalite karakteristiklerini birlikte analiz edebilmek için, bir Çok Yanıtlı Performans Göstergesi (ÇYPG) kullanılmıştır. Üretim parametreleri, çoklu kalite karakteristikleri göz önüne alınarak eniyilenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımın etkinliğini göstermek amacıyla uygulama sonuçları sunulmuştur.

CONCURRENT OPTIMIZATION OF MULTI RESPONSE QUALITY CHARACTERISTICS USING TAGUCHI METOD AND FUZZY LOGIC

Ümit TERZİ

Anahtar Kelimeler: Taguchi, Fuzzy Logic, Multi-Response Quality Characteristics

Özet: In this study, for the optimization of a production process that has multiple characteristics, Taguchi Method has been applied in accompany with Fuzzy Logic. A Multi Response Performance Index (MRPI) was used to be able analyse multiple quality characteristics together. Production parameters were studied to be optimized by considering the multiple characteristics. Experimental results are presented to demonstrate the effectiveness of this approach.



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz işletmeleri, değişim süreci içinde değişen hayat standartları ve buna bağlı olarak artan müşteri taleplerini karşılamak ve müşteri tatminini sağlamak için hep daha iyiyi aramak, ürün/hizmet ve süreçlerini geliştirmek zorunda oldukları bir rekabet ortamı içerisinde faaliyet göstermektedirler. Bu ortamda varlıklarını sürdürebilmeleri için en önemli dayanak noktalarından biri kalitedir. Kaliteye bakış açısı günümüzde değişmiştir. Daha iyi kalitenin gerçekleştirilmesi işlemi için Taguchi, üretimin öncesine ürün ve süreç tasarım noktasına bakılması gerektiğini göstermiştir.

Süreç ve ürün tasarımında Taguchi yöntemlerinin kullanımı konusunda oldukça fazla çalışma yapılmış olmasına karşın çoklu kalite karakteristiklerinin eş zamanlı eniyelenmesi için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, TÜRKKABLO A.O'da yer alan çok yanıtı kalite karakteristiklerinin bulunduğu bir sürecin geliştirilmesi için bulanık mantık ve Taguchi deney tasarımı yöntemi bir arada kullanılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen ve beni her konuda destekleyen değerli danışman hocam Prof.Dr. Meriç ÖZTÜRKCAN'a, bilgi ve fikirlerinden yaralandığım Sayın Prof.Dr. Alparslan FIĞLALI'ya, tezin uygulama aşamasında desteğini esirgemeyen Sayın Dr. Kasım BAYNAL'a, tezin yazım aşamasında yardımcı olan arkadaşım Arş.Gör. Yıldız YULUĞKURAL'a, uygulamada gösterdikleri işbirliğinden dolayı TÜRKKABLO A.O. Üretim Müdürü Sedat KARABAY'a ve diğer çalışanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca maddi, manevi destekleriyle yanımda olan sevgili çalışma arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. YAPAY ZEKA.....	4
2.1. Yapay Zekanın Tanımı ve İçeriği.....	5
2.2. Yapay Zekanın Tarihçesi.....	6
2.3. Yapay Zeka Programlarındaki Genel Özellikler.....	9
2.4. Yapay Zeka Teknikleri.....	10
2.4.1. Genetik Algoritmalar.....	11
2.4.2. Bulanık Mantık.....	12
2.4.3. Yapay Sinir Ağları.....	12
2.4.4. Uzman Sistemler.....	13
2.4.5. Tabu Arama.....	14
2.4.6. Tavlama Benzetimi.....	15
2.4.7. Karınca Algoritması.....	16
2.4.8. Bağışıklık Sistemi Algoritması.....	17
2.5. Yapay Zekanın İlgilendiği ve Kullanıldığı Alanlar.....	17
BÖLÜM 3. BULANIK MANTIK.....	18
3.1. Tarihçe.....	20
3.2. Bulanık Küme Kuramı.....	21

3.2.1. Geleneksel Mantık ile Kısa Karşılaştırma.....	21
3.2.2. Bulanık ve Geleneksel Mantıkta Küme Kavramı	23
3.2.3. Bulanık ve Geleneksel Mantıkta Küme İşlemleri.....	25
3.2.3.1 Üyelik Fonksiyonları.....	28
3.2.3.2 Üyelik Fonksiyonunun Özellikleri.....	29
3.3. Bulanık Kontrol Sistemi.....	31
3.3.1. Bulanıklaştırma.....	31
3.3.2. Bulanık Çıkarım.....	32
3.3.3. Durulaştırma.....	37
3.4. Bulanık Karar Verme.....	41
3.5. Bulanık Matematik.....	43
3.5.1. Bulanık ilişki ve genişleme ilkesi.....	43
3.5.2. Bulanık dört işlem.....	45
3.5.2.1. Bulanık sayıların toplanması ve çıkarılması.....	46
3.5.2.2. Bulanık sayıların çarpılması ve bölünmesi	47
3.5.2.3 Genelleme İlkesi.....	47
3.6. Bulanık Mantığın Avantajları.....	49
3.7. Bulanık Mantığın Dezavantajları.....	50
BÖLÜM 4. TAGUCHİ DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI.....	52
4.1. Deney Tasarımı.....	53
4.2 Deney Tasarımı Aşamaları.....	54
4.3. Klasik Deney Tasarımı Yöntemleri.....	56
4.3.1. Bir kerede bir faktör.....	56
4.3.2. Deneylerin Tam Faktöriyel Tasarımı.....	56
4.3.3. Deneylerin Kısmi Faktöriyel Tasarımı.....	59
4.4. Taguchi Yöntemi.....	60
4.4.1. Kalite mühendisliği.....	65
4.4.2. Çevrim içi kalite kontrol.....	66
4.4.3. Çevrim dışı kalite kontrol.....	68
4.4.3.1. Sistem Tasarımı.....	68
4.4.3.2. Parametre Tasarımı.....	69
4.4.3.3. Tolerans Tasarımı.....	75

4.4.4. Ortogonal Diziler.....	76
4.4.5. Serbestlik Derecesi.....	78
4.4.6. Analiz Yöntemi.....	79
4.4.6.1. Sütun Farkları Metodu.....	79
4.4.7. Kalite Karakteristikleri.....	81
4.4.7.1. Ölçüm Yeteneklerine Göre Kalite Karakteristikleri.....	81
4.4.8. Faktörlerin Sınıflandırılması.....	82
4.4.8.1. Kontrol Faktörleri.....	83
4.4.8.2. Gürültü Faktörleri.....	83
4.4.8.3. Sinyal / Gürültü (S/G) Oranı.....	84
4.4.8.3.1. Küçük Olan İyidir.....	85
4.4.8.3.2. Nominal en iyisidir.....	86
4.4.8.3.3. Büyük Olan İyidir.....	87
4.5. Taguchi Yönteminde Çok Yanıtlı Problemler.....	87
4.6. Önerilen Eniyileme Prosedürü.....	89
BÖLÜM 5. TAGUCHI METODU VE BULANIK MANTIK KULLANILARAK ÇOK YANITLI PROSES GELİŞTİRME UYGULAMASI.....	94
5.1. İşletmenin Tanıtımı.....	94
5.2. Yöntemin Uygulanması.....	95
5.2.1. Problemin Tanımı.....	95
5.2.2. Performans Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	96
5.2.3. Faktörlerin ve Seviyelerinin Belirlenmesi.....	96
5.2.4. Problem için uygun ortogonal dizinin seçimi.....	97
5.2.5. Faktörlerin belirlenen ortogonal diziye atanması.....	97
5.2.6. En iyileme prosedürünün uygulanması.....	98
5.2.7. Sonuçların yorumlanması.....	107
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	110
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	117

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

ÇYPG	Çok Yanıtlı Performans Göstergesi
DT	Deney Tasarımı Tekniği
EB	En Büyük
EK	En Küçük
MRPI	Multi Response Performance Index (ÇYPG)
R	Reel Sayılar Kümesi
S/G	Sinyal Gürültü
TA	Tabu Araması
TB	Tavlama Benzetimi
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
US	Uzman Sistemler
YSA	Yapay Sinir Ağları
YZ	Yapay Zeka

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Standart TA Algoritması	15
Şekil 3.1.a) Klasik küme	23
Şekil 3.1.b) Bulanık küme	23
Şekil 3.2. A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu	23
Şekil 3.3.a) Bulanık sıcaklık kümesi	25
Şekil 3.3.b) Klasik sıcaklık kümesi	25
Şekil 3.4. Bulanık kümelerde temel işlemler	26
Şekil 3.5. A bulanık kümesi ve tümeleri arası ilişkiler	27-28
Şekil 3.6. Üyelik fonksiyonu şekilleri	29
Şekil 3.7. Tipik bir bulanık kümenin, çekirdek, destek ve sınırları	29
Şekil 3.8.a) Normal bulanık küme	30
Şekil 3.8.b) Normal olmayan bulanık küme	30
Şekil 3.9.a) Normal dışbükey bulanık küme	30
Şekil 3.9.b) Normal dışbükey olmayan bulanık küme	30
Şekil 3.10. Bulanık küme tabanlı bir kontrol sisteminin genel yapısı	31
Şekil 3.11. Keskin (soldaki) ve keskin olmayan (sağdaki) giriş büyüklüğünde bulanıklaştırma	32
Şekil 3.12. Bulanık kireç miktarı kümesi	33
Şekil 3.13. Bulanık ağırlık kümesi	33
Şekil 3.14. Yumuşatıcı miktarı bulanık kümesi	34
Şekil 3.15. $x = a$ ve $y = b$ giriş keskin değeri için çıkartım olayı	35
Şekil 3.16. Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası metodu	38
Şekil 3.17. Merkez Yöntemi	39
Şekil 3.18. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi	39
Şekil 3.19. En yüksek noktaların ortalaması	39
Şekil 3.20. Toplamların Ortalaması Yöntemi	40
Şekil 3.21. Geniş alan merkezi yöntemi	40
Şekil 3.22. İlk yükselti(ve son yükselti) metodu	41
Şekil 3.23. x ve y için kavramsal ifadelerin tanımı	44
Şekil 3.24. Silindrisel olarak genişletmenin EK bağlantısı ile R ilişkisinin oluşturulması	44

Şekil 3.25. Bulanık sayı kesim seviyeleri	46
Şekil 4.1. Deney tasarımı bakış açısı	53
Şekil 4.2. Kalite Mühendisliği ve Bileşenleri	66
Şekil 4.3. Parametre Tasarımı Akış Diyagramı	70
Şekil 4.4. Fonksiyonel Değişimlerin Sebepleri	85
Şekil 4.5. Kayıp fonksiyonu ile gürültü arasındaki ilişki	86
Şekil 4.6. Taguchi Yönteminde Çok Yanıtlı Problemler İçin Önerilen En İyileme Prosedürü.....	93
Şekil 5.1. Üretim Süreci	95
Şekil 5.2. Bulanık Model	100
Şekil 5.3.a) Bulanık çekme mukavemeti giriş kümesi	100
Şekil 5.3.b) Bulanık iletkenlik giriş kümesi	101
Şekil 5.3.c) Bulanık uzama giriş kümesi	101
Şekil 5.4. Bulanık çıkış kümesi ÇYPG	101
Şekil 5.5. Bulanık kural tabanı MATLAB programı görüntüsü	103
Şekil 5.6. İletkenlik ve çekmemuk ile MRPI arasındaki ilişki yüzeyi	104
Şekil 5.7. Faktör ve seviye değerleri	106

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Geleneksel programlama ile YZ'nin karşılaştırılması	10
Tablo 3.1. Örnek Kural Tabanı	34
Tablo 3.3. T ve S normları	36
Tablo 3.4. Alternatif bulanık çıkartım yöntemleri	37
Tablo 4.1. Yedi Faktörlü Tam Faktöriyel Deney Tasarım Matrisi	58
Tablo 4.2. İki Seviyeli İki Faktör Deney Tasarım Matrisi	59
Tablo 4.3. Teklif Edilen Deney Tasarımları	77
Tablo 5.1. Deney için belirlenen faktör seviyeleri	97
Tablo 5.2. L_8 ortogonal dizi	97
Tablo 5.3. Atanmış L_8 ortogonal dizi	98
Tablo 5.4.a) Deneylerden elde edilen çekme mukavemeti yanıt değerleri	98
Tablo 5.4.b) Deneylerden elde edilen iletkenlik yanıt değerleri	99
Tablo 5.4.c) Deneylerden elde edilen iletkenlik yanıt değerleri	99
Tablo 5.4.c) Kalite kayıpları	99
Tablo 5.5. Kural Tabanı	102
Tablo 5.6. Bulanık çıkartım sonucunda elde edilen MRPI değerleri	104
Tablo 5.7. Faktörlerin Çok Yanıtlı Performans Göstergesi üzerindeki ana etkileri	105
Tablo 5.8. ÇYPG yöntemiyle belirlenen en iyi faktör seviyeleri	106
Tablo 5.9. Doğrulama deneyi sonuçları	107
Tablo 5.10. a) Çekme mukavemeti değerlerindeki değişim	107
Tablo 5.10. b) İletkenlik değerlerindeki değişim	107
Tablo 5.10. c) Uzama değerlerindeki değişim	108

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sokaktan geçen insanlara ya da aile fertlerine bilimle ilgili gelecekte neler olabileceğine dair bir soru sorulsa alınabilecek cevaplar çok çeşitli olacaktır. Kimileri uçan arabalardan, kimileri bir yerden bir yere ışınlanmaktan, kimi akıllı robotlardan bahsedecektir. Sınırları oldukça geniş olmasına karşın insan hayal gücü ancak çevresinden, okuduklarından, dinlediklerinden, izlediği filmlerden beslenmektedir.

Bundan yüz yıl önce insanlara televizyondan, cep telefonlarından ya da bilgisayarlardan ve bunların hayatımızda kaplayacağı alandan bahsedilseydi 'hayalci' ya da 'deli' olarak kabul edilmek doğal bir sonuç olurdu. Ancak günümüzde yukarıda sayılanlardan çok daha fazlası hayatımızın içerisinde ve giderek daha yaygınlaşarak vazgeçilmez hale dönüşmektedirler.

İnsan hayal gücünün ürünlerinden biri olan akıllıca davranan robotlar, makineler ya da sistemlerin hayatımızda olması şu an uzakmış gibi görünse de şimdiden hayatın bazı alanlarına girmiştir ve girmeye devam edecektir.

Akıllı sistemler yaratma yolunda atılan rasyonel adımlardan biri, insanı ya da başka bir akıllı varlığı doğrudan taklit eden değil de günlük hayatta, sanayide ya da sağlık alanında insanın doğru karar verebilmesine yardımcı olacak ya da yol gösterecek yöntemlerin üzerine yoğunlaşılmasıdır. Böylece akıllıca çözümlerin faydaları daha çabuk bir şekilde ortaya çıkacaktır.

Zekayı taklit ederek doğru çözümler elde etmek amacıyla yapılmış çalışmalara genel olarak Yapay Zeka denmektedir. Akıllıca çözümler elde etmek yolunda bir çok yöntem vardır. Bu yöntemler çeşitli şekillerde bir çok alanda kullanılmışlardır.

Bu yöntemler arasında en yaygın uygulama alanı bulmuş olanlardan biri Bulanık Mantık'tır. Bulanık mantık insanın belirli türdeki belirlirsizlikleri kullanarak rasyonel karar alabilme becerisinin taklit edilerek bilimde analitik yöntemlerle modellenmesi çok zor problemlerin çözümlenmesinde kullanılmaktadır.

Bulanık mantık kullanımı giderek daha da yaygınlaşmaktadır. Bir çok alanda fark edilir faydalar elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Bulanık mantığın kullanım alanı bulabileceği alanlardan biri de kalitedir.

Günümüzde artan rekabet, maliyetleri düşürme, kaliteyi artırma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Kaliteyi arttırmaya yönelik bir çok yöntem bulunmaktadır. Kaliteye etki eden faktörlerin sayısının çok olduğu ve incelenmesi için istatistiksel çalışmaların yapılması gerektiği durumlar için işletmeler 1950'lerden bu yana Taguchi yöntemini kullanmaktadırlar. Ancak incelenen süreçlerin çok yanıtı olduğu durumlarda, sonuca etki eden en iyi faktör kombinasyonunun belirlenmesinde zorluk çekilmektedir.

Bu çalışmanın amacı en çok kullanılan yapay zeka yöntemlerinden biri olan bulanık mantığın çok yanıtı kalite problemlerinin en iyilenmesinde bir araç olarak kullanımı ve elde edilen sonuçların ortaya koyulmasıdır. Bu amaçla yapay zeka, bulanık mantık, taguchi deney tasarımı konuları anlatılmış ve konu ile ilgili bir uygulama yapılmıştır.

İkinci bölümde, insan hayalgücünü harekete geçiren yapay zeka kavramına değinilmektedir. Yapay zekanın tanımı, tarihçesi, bileşenleri hakkında bilgi verilerek genel bir çerçeve çizilmiş ve en çok kullanılan yapay zeka yöntemleri özetle anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise bulanık mantık kavramı, tarihçesi, temelleri anlatılmış, bulanık mantığın geleneksel mantık ve geleneksel küme kavramları ile karşılaştırması yapılmış, bulanık mantık kontrol sistemleri ve bulanık matematiğin temel özellikleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde deney tasarımı konusu, klasik deney tasarımı yöntemleri, taguchi yöntemi genel hatlarıyla anlatılmış; çok yanıtlı problemlere değinilerek, çözümlenmeleri için önerilen yaklaşım aşamalarıyla anlatılmıştır.

Beşinci bölümde kablo üretimi yapan bir işletmede, alışımlı bir aliminyum telin ekstrüzyon ile çekilmesi ve ısıtılma tutulmasını içeren süreç üzerinde önerilen yöntem kullanılarak yapılan uygulama hakkında bilgi verilmiştir.



BÖLÜM 2. YAPAY ZEKA

Hayatımızın en gizemli belki de en değerli kavramı olan zekayı tarif etmek gerçekten zordur. Herkes zekanın farkındadır ama açık ve net olarak bir tarifini yapamayabilir. Bazen tanımlar birbirine benzese de çoğu zaman farklılıklar gösterebilir.

Zeka kavramı sözlükte, “İnsanın düşünme, akıl yürütme, objektif gerçekleri algılama, yargılama ve sonuç çıkarma yeteneklerinin tamamı” olarak tanımlanmıştır[1].

Zeka ile ilgili olarak pek çok yayında, birbirinden farklı bir çok farklı tanım yapılmış olmasına rağmen, bizce bu tanımların hepsinde ortak olan nokta; zekanın, koşulların göz önüne alınarak bir veya daha çok amaca yönelik bir sonuç elde edilmesini sağlamasıdır.

Bilgisayarların daha önceleri insanlar tarafından zorlukla ve uzun zamanda gerçekleştirilen çok büyük sayıların çarpılması gibi işlemleri saniyelerin altında gerçekleştirmesi ya da çok büyük miktarda veriyi kolaylıkla saklayabilmesi gibi olumlu yanlarının yanında, insanoğlunun yanlış yapabilme, unutma, yavaş çalışma v.s olumsuz yanları, bilgisayarların hayatımızda daha çok yer almasına neden oldu. Ancak bilgisayarların, insanlar tarafından kolaylıkla gerçekleştirilebilen algılama, akıl yürütme, konuşma, kendini yenileme gibi zekamızı kullanarak yaptığımız bir çok işlevi yerine getirmesi için yeni yaklaşım ve çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada zekanın bilgisayarlarca taklit edilebilmesini amaçlayan Yapay Zeka (YZ) kavramı ortaya çıkmıştır.

Yapay zeka ilk duyulduğunda insanlarda farklı çağrışımlar oluşturmaktadır. Kimilerine göre yapay zeka kavramı, insanoğlunun yerini alan elektro mekanik bir robotu çağrıştırmaktadır. Ancak, insanoğlu ile makineler arasında kesin farklılıklar

mevcuttur. Bilgisayarlar, insanoğlunun yaratıcılık, duygu ve mizacının benzeşimini aktarabilme becerisine sahip değildirler. Bununla birlikte, bilgisayarların belirli insan

davranışlarını yapan makinelere yön vermeleri ve belirli bir uzmanlık alanı ile ilgili beşeri düşünme sürecinin benzeşimini yapan sistemlerde beyin işlevini yerine getirmeleri mümkündür [2].

YZ, insan veya hayvan tarafından sergilenen, zekice olduğu düşünülen davranışların benzerlerini yapmak amacıyla geliştirilen bilgisayar programlarıdır.

YZ bilgisayar programları havaalanında uçuşları planlama, fabrikaları kontrol etme, yerleri temizleme ve posta dağıtımı gibi çok değişik alanlarda kullanılmaktadır[3].

Aristo, Leibnitz, Babbage, Hollerith gibi bilim adamlarının yüzyıllar öncesinden yaptığı çalışmalar YZ'ya kaynak teşkil eder. Ama bilgisayarların ortaya çıkıp hızla gelişmesi 1950'lerde olduğu için YZ'nın da başlangıcı 1950'ler olarak kabul edilmektedir.

1950'lerden itibaren bilim adamlarının yoğun ilgisini çeken YZ, 1980'lerde ticari olarak uygulama alanı bulmuş ve 1990'larda ise YZ'nın ne olup ne olmadığı daha iyi anlaşılmıştır.

2.1. Yapay Zekanın Tanımı ve İçeriği

Yapay zeka, zeki davranışlarla ilgilenir. Zeka; gerçekler, öneriler ve bunlar arasındaki ilişkileri anlayabilme yeteneğidir.

YZ, zekanın bazı özelliklerini gösteren bilgisayar sistemlerinin oluşturulması ve çalışmasıyla ilgili bir bilim dalıdır. Bu sistem yeni kavram ve işleri öğrenmekte, etrafımızdaki dünya ile ilgili faydalı sonuçlar çıkarıp muhakeme edebilmekte, doğal dilleri anlayabilmekte veya görülebilir bir tabloyu sezebilmekte; kısacası insan

zekasına benzer davranışlar gösterip, bu özellikleri sayesinde daha farklı ve olağanüstü özelliklerde performans gösterebilmektedir [4].

YZ, insanların birbirlerinde zekice olarak kabul ettikleri davranışlara sahip bilgisayarların yapılmasıyla ilgili bir bilgisayar bilimleri alt alanıdır [5].

Bu tanımlarda geçen “zeki davranış” sözü sadece problem çözme, satranç oynama ve teorem ispatları gibi yüksek oranda zeka gerektiren davranışlarla kısıtlı olmayıp, cisimleri tanıma ve basit bazı yazıları anlayabilme gibi yüksek zeka gerektirmeyecek davranışları da kapsamaktadır [6]. Tüm insanlarda var olan görme, işitme, hissetme gibi insan için çok basit olan fakat makineler ve programlar yoluyla gerçekleştirilmesi çok zor olan işlemler de yapay zekanın ilgi alanı içindedir.

Yakın zamana kadar YZ, araştırmacılar tarafından bilgisayar biliminde günümüzde olduğu gibi çok geniş bir yelpazeye konulmamıştı. Araştırmaların derinleşmesi ve çok geniş uygulama alanları bulması YZ'nin önemli bir bilim dalı haline gelmesine neden oldu. YZ alanındaki gelişmelerin bu konuma gelmesinde aşağıdaki faktörlerin etkisi büyüktür [4].

- Finansal getirisi olan ürünlerin gösterdiği başarı,
- Japonya'nın YZ alanında yaptığı ciddi reklamlar ve teşvikler,
- Bir çok alanda kullanışlı ürünler geliştirmeye imkan sağlayan Prolog, Lisp vb. YZ programlama dillerinin geliştirilmesi,
- Günümüzde ortaya çıkan karmaşık ve kompleks problemlerde yeni ve etkin YZ metodlarının, klasik yöntem ve çözümlerden daha iyi sonuç vermesi.

2.2. Yapay Zekanın Tarihçesi

YZ'ya kaynak teşkil eden çalışmalar yüzyıllar öncesinden başlar. Aristo, Leibnitz, Babbage, Hollerith gibi bilim adamları bu çerçevede değerlendirilmektedir. Ama bilgisayarların ortaya çıkıp hızla gelişmesi 1950'lerde olduğu için YZ'nin da başlangıcı 1950'ler olarak kabul edilmektedir.

1950'de Alan Turing bir makinenin zeki olup olmadığına karar verme olanağı tanıyan Turing testini ortaya koymuştur. Bu testte bilgisayarın insan gibi zeki çözüm üretip üretemeyeceği test edilmiştir.

1956 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Dartmouth şehrinde düzenlenen bir konferansta, John McCarthy, Marvin Misky, Claude Shannon, Ailen Newel ve Herbert Simon zeka ile donatılmış bilgisayar programlarını gerçekleştirme olasılığını araştırmayı önermişlerdir [4].

İnsan uzmanlığından yararlanmak amacıyla tasarlanan uzman sistem denilen çeşitli prototip bilgisayar programları yapılmıştır. 1956 yılında Shortliffe tıbbi teşhis ve tedavide kullanmak üzere MYCIN sistemini tasarlamıştır.

1950'lerin sonunda Frank Rosenblatt tarafından geliştirilen Perceptron, Yapay Sinir Ağları konusunda yapılan ilk önemli çalışmalardan birisidir [7].

1950'li yıllarda YZ'nin tahmin edildiğinden daha kompleks ve geniş bir alan olduğu anlaşılmıştır. Bu dönemin sonunda görsel ve lisana dayalı algılamanın, algılayanın bilgisi, modelleri ve beklentilerine dayandığı öğrenilmiştir. Problem çözme yöntemlerinde bilgi eksikliğinin imkanları sınırladığı saptanmıştır [5].

Bu dönemde ilk YZ programları olan mantık teoremleri uygulayıcısı, satranç oyun programı ortaya çıkmıştır. 1958 yılında John McCarty YZ'nin kılavuz dili olan LISP'i geliştirmiştir. Yapay zeka (Artificial Intelligence) terimini ilk kez Marvin Minsky tarafından 1961 yılında kullanmıştır [8].

1965 yılında Lotfi A. Zadeh (1965) bulanık mantığı (Fuzzy Logic) geliştirmiştir. İlk önceleri sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkan bulanık mantık, sonraki yıllarda bilgisayar bilimleri, kontrol, meteoroloji, tıp, sosyal bilimler, psikoloji, yönetim bilimleri gibi pek çok farklı alanda uygulanmıştır [9].

1966 yılında Veizenbaum, ELIZA adı verilen bir doğal dil anlama programı geliştirmiştir. Program anahtar kelimelere göre çalıştırılmış ve mevcut cevaplar kullanılmıştır. Sonraki yıllarda çalışmalar, genel amaçlı zeki programlara

yönelmiştir. Bu da daha geniş kullanılabilen bilgisayar kaynaklarını gerektirmiştir. Çünkü programlar ya belleği dolduruyor ya da çok yavaş çalışıyorlardı [5].

1972 yılında Philippe Roussel ve Alain Colmeraure, Prolog dilini geliştirmiştir. Prolog, LISP'e benzemektedir. Bununla beraber veri tabanı kurulmasında Prolog oldukça basit bir yazılım gerektirmektedir.

Bu dönemde tıp, elektronik, finansman ve kimya gibi konularla ilgili çalışmalar başlamıştır. Lisan işleme, konuşulan dili anlama, görme ve algılama gibi konularda uzman programlar geliştirilmiştir [4].

1975 yılında Holland tarafından Genetik Algoritmalar geliştirilmiştir. Genetik Algoritmalar, stokastik bir arama yöntemidir. Başlangıçta doğrusal olmayan eniyileme problemlerine uygulanan Genetik Algoritmalar, sonraları gezgin satıcı, karesel atama, yerleşim, çizelgeleme, tasarım gibi eniyileme problemlerine de başarıyla uygulanmıştır [10].

1970'li yıllarda ortaya çıkan geniş hafızalı ve hızlı bilgisayarlar da yapılan YZ çalışmaları için yetersiz kalmıştır. Dolayısıyla bu dönemde önceki YZ yaklaşımları, verimsizlikten dolayı etkinliklerini yitirmiştir.

YZ alanındaki çalışmalar 1980'li yıllarda uzman sistemlere olan talebin artmasıyla farklı bir boyuta girmiştir. Tıbbi teşhis, kimyasal ve biyolojik sentez, mineral ve petrol araştırma, devre analizi, karar verme, taktik planlama, finansal uygulamalar gibi alanlarda çok sayıda uzman sistem tasarlanmıştır. Bu gelişmeler YZ'nin ticari anlamda kullanılmasını da beraberinde getirmiştir. Büyük şirketler kendi YZ gruplarını kurarken faaliyet alanı YZ olan şirketler de kurulmuştur.

1980'li yılların başında YZ'ye büyük bir ilgi vardı. O zamanlardaki genel kanı bilgisayar bilimindeki ve mühendislikteki çözilemeyen tüm problemlerin YZ tarafından çözülebileceğiydi. Çok sayıda iyi yetişmiş bilgisayar bilimcisi ve felsefeci YZ alanında çalışmaya başlamıştır.

1980'li yılların sonuna doğru ise YZ hakkında büyük bir hayal kırıklığı yaşanmıştır. Başlangıçtaki heyecan, ardında bu disiplin hakkında bir çok soru bırakarak kaybolmuştur. YZ'nin gerçekten bilimsel bir disiplin olup olmadığı tartışılmaya başlanmıştır.

1980'lerin sonunda YZ'den beklentilerin azalmasına rağmen bilgisayar bilimcileri YZ'nin gerçek değerini anlamışlardır. YZ'nin sadece bilgisayar sistemleri uygulamalarındaki yeni bir kümeler seti olduğu ve sanıldığı gibi tüm çözümsüz problemlere çözüm olmaktan oldukça uzak olduğu kabul edilmiştir. Bu sistemin, kural tabanlı sistemler ve nesne tabanlı programlama gibi avantajlarının anlaşılması ve sadece eldeki problemle ilgili ihtiyaçlara uyan durumlarda YZ'nin uygulanması çok önemlidir [5].

2.3. Yapay Zeka Programlarındaki Genel Özellikler

YZ programlarında sık sık kullanılan bazı yapısal özellikler aşağıda verilmiştir. Bu teknikler kendi başlarına oldukça basit olmalarına rağmen bir arada kullanıldıklarında birbirlerini kuvvetlendirirler ve bir sinerji ortaya çıkarmaktadırlar. Bu özellikler aşağıda verilmektedir:

- Veri tabanları (Data Structures)
- Arama (Search)
- Bulgusal (Heuristic)
- Otomatik çıkarım (Automatic Reasoning)
- Doğal dil (Natural Language)

Tablo 1.1'de YZ ile geleneksel programların bir karşılaştırılması gösterilmektedir [11].

Tablo 1.1. Geleneksel programlama ile YZ'nin karşılaştırılması

Yapay Zeka	Geleneksel Bilgisayar Programlama
Gözlemlenemez çözüm adımları	Gözlemlenebilir çözüm adımları
Öncelikle sembolik işleme	Öncelikle sayısal işleme
Genelde alan bilgisinden ayrı kontrol yapısı	Bilgi ve kontrol iç içe
Düzeltilme, güncelleştirme ve genişletme kolay	Düzeltilmeler oldukça zor
Bazı doğru olmayan çözümler ile sıkça karşılaşılabilir	Doğru çözümlere ulaşmak gereklidir
Kabul edilebilir, tatminkar çözümler genellikle kabul edilebilir	Genellikle en iyi çözüm arzu edilir

2.4. Yapay Zeka Teknikleri

Yapay zeka araştırmacılarının baştan beri ulaşmak istediği ideal, insan gibi düşünen ve davranan sistemler yaratmaktır. Fakat buna ulaşmanın güçlüğü anlaşılınca çalışmanın yönü rasyonel düşünen ve davranan sistemlerin tasarlanmasına çevrilmiştir [12].

Genel olarak yapay zeka teknikleri incelendiğinde insan zekası ve beyninin çalışması yanında rasyonel davranma yolunda ilham verebilecek diğer canlılar, süreçler ya da insan vücudundaki diğer sistemlerin çalışmaları taklit edilerek veya farklı formata dönüştürülerek problemlere uygun çözümler bulunmaya çalışılmıştır.

Yapay zeka teknikleri; yapay sinir ağları, bulanık mantık, sezgisel algoritmalar (genetik algoritmalar, tabu arama, karınca algoritması, ısıt işlemler, bağışıklık sistemi gibi) ve uzman sistemler olarak gruplandırılırlar. Bulanık mantık hakkında, gelecek bölümde detaylı açıklama yapılacağı için bu bölümde ayrıntılı bilgi verilmeyecektir.

2.4.1. Genetik algoritmalar

Genetik algoritmalar Holland tarafından 1975 yılında ortaya çıkarılmışlardır. Temel olarak canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadır. Gerçek yaşamda bir populasyon içerisinde çevrenin ve ortamın gerektirdiklerine daha iyi cevap verebilen bireyler bir sonraki nesle genlerini aktarabilmekte, yetersiz olanların büyük bir kısmı elimine olmaktadır. Bu şekilde bir sonraki nesil daha gelişmiş olmaktadır. Nesiller ilerledikçe en iyi gen kombinasyonunun ortaya çıkması mümkün hale gelmektedir.

Genetik algoritmalarda potansiyel çözümler ile ilgili bilgiler, genleri temsil eden diziler (string) şeklinde sayılar ile ifade edilirler. Optimizasyonun başlangıcında, çoğunlukla rasgele olarak, bir sayı üretme jeneratörü tarafından bir grup çözüm üretilir. Bu başlangıç yoğunluğu her kuşakta, doğal seçme ve tekrar üreme işlemleri vasıtası ile sırasıyla geliştirilir. Son kuşağın en uygun bireyi problem için optimum ya da optimuma çok yakın bir çözümü oluşturmaktadır.

Başlangıç yoğunluğunun üretilmesini takiben, her çözümün uygunluğu veya iyiliği, seçilen bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Seçme, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler, iyi çözümlerden yeni çözümler elde etmek için kullanılırlar. Bu iyileştirme işlemi, önceden belirlenen bir jenerasyon sayısına veya tatmin edici bir sonuca ulaşıncaya kadar devam ettirilir.

Temel olarak probleme özel tanımlana uygunluk fonksiyonuna dayanarak en uygun dizi sıralamasını bulmak için çeşitli yolları deneyen genetik algoritmalar, olası çözümlerin dizi olarak formüle edilebildiği kombinasyonel problemlerin çözümünde kullanılırlar.

Probabilistik karakterleri ve çoklu mümkün çözümleri araştırma gibi önemli özelliklere sahip olmaları, ve amaç fonksiyonunun gradiyentinin bilinmesine ihtiyaç duymamaları en önemli üstünlüklerindedir [12].

2.4.2. Bulanık mantık

1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık, belirsizliklerle çalışmayı mümkün kılan bir yaklaşım olarak öne sürülmektedir. İnsan düşünme tarzına yakın olması ve çeşitli yöntemlerle birlikte rasyonel çözümlere olanak sağlaması nedeniyle yapay zeka yöntemleri arasında sayılan bu yöntemle ilgili ayrıntı bilgileri bir sonraki bölümde yer almaktadır.

2.4.3. Yapay sinir ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA) üzerine yapılan ilk çalışmalar daha öncelere dayansa da 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından yayınlanan “Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap” konulu makale ile başlamıştır.

İnsan beyni bilinen en gizemli ve karmaşık hesaplayıcıdır. YSA, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturulmaya çalışılan yaklaşımlardır. İstisnasız tüm YSA yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. Beynin işleyiş kuralları bir çok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Pek çok araştırmacı beyin fonksiyonlarını taklit edebilen YSA modelleri üzerinde çalışmıştır. YSA, öğrenme özelliği bu yaklaşımın cazibesini arttırmıştır.

YSA, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. YSA'lar, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlarda üretebilirler.

YSA mühendislik alanında; imalat sanayinde, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımında, bilgi yönetiminde, tıp alanında; tıbbi görüntü işlemede, tıbbi tanı koymada, organ morfolojilerinin belirlenmesinde, biomedikal uygulamalarda (ses geliştirme uygulamalarında, biomedikal ürün yönetiminde, protez tasarımında), tarımsal alanda; toplam ürün rekoltesinin tahmininde,

hayvancılık alanında; hayvan davranış modellerinin oluşturulmasında, askeri alanda; uzay ve havacılık sanayinde, yüzey modellemede kullanılmıştır.

2.4.4. Uzman sistemler

Uzman sistem alanındaki öncü proje DENDRAL'dir. Bu proje 1965'te E.Feigenbaum ve meslektaşları tarafından Birleşik Devletler Stanford Üniversitesinde, organik bir bileşiğin yapısının bulunması için, yardımcı olmak üzere başlatılmıştır. Günümüzde hemen her alanda US'ler kullanılmaktadır. Yabancı para değerlerinin takibi ve tahmini, yatırım danışmanlığı, kredi yönetimi ve müşteri değerlendirme, faiz karşılığında ödünç para alma işlemlerini onaylama, sigorta risklerini değerlendirme ve yatırım fırsatlarını değerlendirme gibi alanlarda US kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Uzman Sistemler (US), ancak bir uzman insanın çözebileceği karmaşık problemlerin bilgisayar ile çözümüne olanak sağlamaktadır. Belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır. İyi tasarlanmış sistemler belirli problemlerin çözümünde uzman insanların düşünme işlemlerini taklit ederler. Burada uzman sistem tabiri kullanılmasının sebebi, sistemin bir veya daha fazla uzmanın bilgilerine sahip olarak onun veya onların yerini almaya yönelmesinden dolayıdır. Amaç bir insan uzman gibi veya ondan daha iyi bir uzman sistem geliştirebilmektir. Böyle bir sisteme sahip olmak kişiyi uzman yapmaz, fakat bir uzmanın yapacağı işin bir kısmını veya tamamını yapmasını sağlar [2].

US'ler temel olarak, kullanıcıyla sistemin ilişkisini sağlayan bir kullanıcı arabirimi, kuralların bulunduğu kural tabanı ve dışardan gelen verileri kural tabanına göre yorumlayarak sonucun bulunmasını sağlayan çıkarım ünitesinden oluşur.

US'lerin kullanılmasıyla, maliyet ve işleyiş hataları azaltılabilir, verimlilik artışı sağlanabilir, kalite artışı ve iyileştirilmesi gerçekleştirilebilir, esneklik ve daha ucuz sistem kurulumu gerçekleştirilebilir ve tehlikeli çevrelerde iş veya işlemler yapılabilir. Bu sayede güvenilirlik artırılır, cevap verme süresi azaltılır, tam ve kesin

olmayan bilgi ile çalışılabilir, sınırlı da olsa bazı problemlerin çözümü kolaylaştırılabilir.

Bu üstünlüklerinin yanında US'lerin gerçekleştirilmesinde bazı problemler vardır. Bu güçlükler;

- İnsanlardan sisteme uygulanabilecek bilgi almak zordur ve alınan bilgiler her zaman okunabilir uygunlukta olmayabilir,
- US'lerin çalışma alanları sınırlı olabilir,
- Sistemi oluşturacak ve kuracak uzmanların azlığı ve yüksek ücret talepleri sistemin maliyetini yükseltebilir,
- Farklı uzman bilgilerinde çelişkiler ile karşılaşılabilir.

US'ler, modern bilgi sistemleri olmalarına karşın, ancak karar verme kurallarının çok açık ve bilginin güvenilir olduğu problemlerde başarı ile uygulanabilmektedirler. Son yıllarda problemlerin çözümünde bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yöntemlerle birlikte kullanılmaktadırlar.

2.4.5. Tabu arama

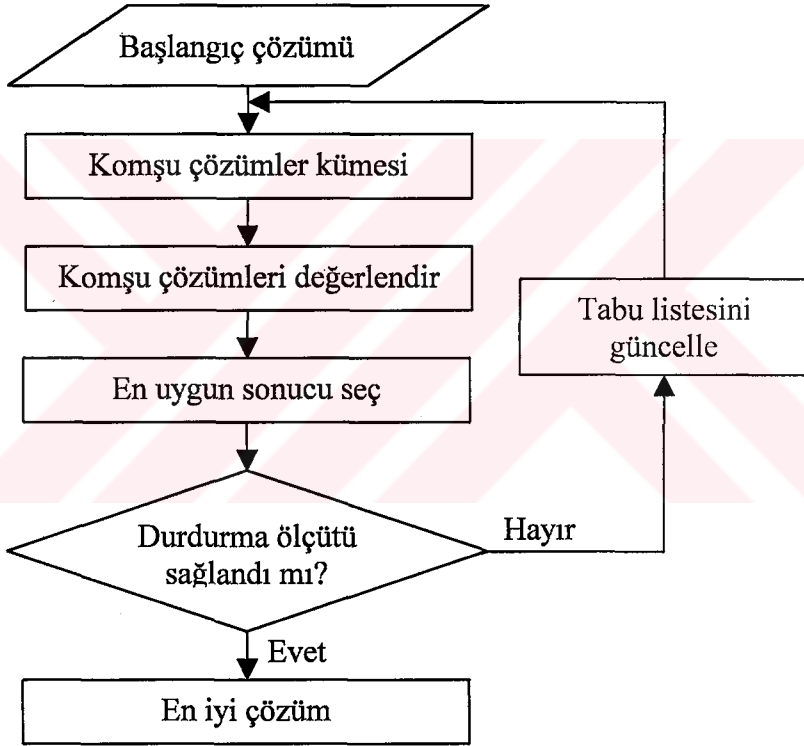
Hafıza esaslı bir arama stratejisi olan Tabu Araması (TA), önceki aşamalarda elde edilen bilgi gelecek aşamalardaki yönelimleri belirlemek için kullanılmaktadır. Tabu aramanın arkasındaki düşünce ilk olarak Glover tarafından geliştirilmiştir [13].

TA, zor kombinasyonel optimizasyon problemlerindeki yerel optimalite sorununu çözebilecek zekice bir optimizasyon tekniği olarak öne sürülmüştür [14].

Bu yaklaşımda bütün olasılıkları denemek çok fazla zaman alacağından dolayı zekice bir yaklaşımla, en az hesaplama ile en iyi çözüme ulaşmak için TA algoritması geliştirilmiştir. Arama uzayındaki denenmiş çözümlerin listesinin bellekte tutulmasından dolayı arama sınırlandırılmış ve yerel optimumdan kurtulma bu sayede gerçekleştirilmiştir. Diğer bir tanımla, TA yerel optimuma düşme problemini

aşmak için bir bellek fonksiyonu kullanıp, küresel optimumu hızlı bir şekilde aramada bir veya daha çok yerel arama prosedürünü hiyerarşik olarak yönlendiren zeki bir yaklaşımdır [12].

Arama komşuluk mekanizmasına dayanmaktadır. Her bir iterasyonda verilen çözümün komşuluğunda amaç fonksiyonunda en iyi ilerlemeyi verecek aramalar yapılır. Mevcut çözümden daha kötü çözüm veren aramalar tabu listesine kaydedilir. İterasyon limitine ulaşıldığında ya da başka bir komşuluk bulunmadığında çözüm sonlandırılır. Standart TA algoritmasına ait akış şeması aşağıda görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1. Standart TA Algoritması[14].

2.4.6. Tavlama benzetimi

Kirkpatrick tarafından 1983 yılında geliştirilmiş olan Tavlama Benzetimi (TB), metallerin ısıtılma işlemi ile bir optimizasyon probleminin çözümü arasındaki benzerlikleri temel almaktadır [12].

Bu fiziksel proseste amaç, bir metalin kristal yapısı enküçük enerji durumuna ulaşacak şekilde, metali dikkatlice soğutarak moleküller arası kuvvetli bağlara sahip katı yoğunluk elde etmektir. Eğer soğutma ani bir biçimde yapılırsa optimal sertlik özelliklerine sahip olmayan malzeme ortaya çıkmaktadır. Aşamalı ve dikkatli soğutma daha düşük enerjiyle dayanıklı malzeme vermektedir. Bu soğutma prosesi aşamalarda ısıyı adım adım azaltarak gerçekleşmektedir. Isı metalin katılaştığı noktaya ulaştığında işlemler tamamlanmaktadır [13].

2.4.7. Karınca algoritması

Bu algoritma, matematiksel olarak karınca koloni davranışlarının modellenmesine dayalı bir yaklaşımdır. İlk çalışma, Dorigo ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılmıştır. Bu araştırmacılar geliştirdikleri sisteme karınca sistemi, ortaya çıkan algoritmaya ise karınca algoritması ismini vermişlerdir. Bu yaklaşım gerçek karınca davranışlarından biraz farklı yapıdadır. Doğal karıncalar kör olduğu halde, yapay karıncalar belirli bir hafızaya sahiptirler ve tamamen kör değillerdir. Bu yaklaşımda haberleşmenin nasıl sağlandığı en temel ve önemli husustur. Karıncalar arasındaki en kısa yolu keşfetmek için aralarında haberleşmeyi sağlayan temel maddenin feromon (pheromone) olduğu bilinmektedir. Karıncalar hareketleri esnasında takip ettikleri yollara belirli bir miktarda feromon maddesi bırakırlar. Hareket etmek için hangi yönü seçmeleri gerektiği daha önceki karıncalar tarafından bırakılmış feromon miktarına bağlıdır. Dorigo ve arkadaşları, zor problemlerin çözümünde yerel olarak çok sayıda etkileşen bireylerin davranışlarını simüle eden, üç yeni karınca algoritması sunmuşlar ve bu algoritmaları gezgin satıcı problemine uygulayarak test etmişlerdir.

Karınca kolonilerinin davranışlarını en iyi simüle eden yaklaşım olarak görülen TACO algoritmasında her bir çözüm ikili bit dizileriyle temsil edilen parametre vektörü olarak düşünülebilir. Karıncalar bit değerlerine göre karar vermeye çalışırlar ve bunun için sadece feromon bilgisini kullanırlar. Dizideki tüm bitlerin değerlerine karar verildikten sonra problem için çözüm üretilmiş demektir. Bu çözüm problem için değerlendirilir ve bu çözüme ilişkin değer fonksiyonu (cost function) kullanılarak sayısal bir değer hesaplanır ve bu değere göre, çözümü üreten yapay

karıncanın geçmiş olduğu yola bırakılan yapay feromon miktarı hesaplanır. Karıncanın geçmiş olduğu bitler arasındaki bağlantılara bu yapay feromon eklenir. Yön tayin ederken sadece koku miktarına bağımlılığı gidermek için değişik stratejiler geliştirilmiş ve farklı problemlere uygulanmıştır [12].

2.4.8. Bağışıklık sistemi algoritması

İnsanlarda bağışıklık (immün) sistemi zararlı olan organizmaları vücuttan uzaklaştırmakla görevlidir. Bu sistem, vücudumuzun yaklaşık iki trilyon hücresini koruyan, antibadi ve sitokinler üreten hareketli askerleridir. Virüs, bakteri ve tümör hücreleri veya transplante edilmiş hücreler gibi yabancı ya da vücuda ait olmayan hücrelerle koordineli bir biçimde hızlıca çok yönlü bir атаға geçmektedir. Bağışıklığı genler kontrol eder. Genler antibadi ve sitokinlerin hücre yüzeyini spesifik olarak kodlamakta, aynı zamanda, sitokinleri tutan hücre yüzey proteinlerini kodlamaktadırlar. Genler bağışıklığı kontrol ettiğinden, oluşan değişiklikler immünolojik fonksiyonları engelleyebilmektedir. İmmünitede oluşan bozukluk, otoimmün hastalıklara, allerjiye ve kansere neden olabilmektedir. Genlerin immünitede büyük rol oynamasından dolayı, teknoloji ile birlikte, hastalıkların tedavisi amacıyla immün sistem güçlendirilmeye çalışılmaktadır. Vücudumuzun mikroplan tanıyabilme ve ani olarak onları tahrip etmeleri doğal bağışıklık sistemi olarak bilinir. Bu yaklaşımda amaç, lenfosit aktiviteleri, doğal antikor üretimi, önbağışıklık dağarcık seleksiyonu, tolerans, hafıza ve bağışıklık sisteminin gelişimine benzer yaklaşımlar geliştirmektir [12].

2.5. Yapay Zekanın İlgilendiği ve Kullanıldığı Alanlar

YZ, bilgisayar ile çözümlenmesine karar verilen ancak matematiksel fonksiyonlar olarak belirlenemeyen veya çalışma alanının kısıtları tanımlanamayan problemlerin çözülmesi ile ilgilenmektedir. Bu tür problemlere bilgisayar, insan davranışlarını taklit ederek çözüm bulmaya çalışmaktadır.

YZ'nın ilgilendiği başlıca alanlar şunlardır:

- Bilgisayarın görmesi (Computer Vision): Robot çalışmalarında kaydedilen çalışmalar sonucu ilgi, bu makinelerin karşılarına çıkan veya buldukları ortamda cisimleri fark edip onları tanımlayabilmelerinin üzerine yoğunlaşmıştır.
- Konuşma sesinin retilmesi (Speech Production)
- Ses tanıma (Voice Recognition): Makinelerin harici sesleri tanımlayabilmesi.
- İnsan dilinden anlama ve tercüme yapabilme (Language Understanding and Translation)
- Düşünme, sonuç çıkarma ve problem zme (Thinking, Reasoning and Problem Solving): Bu konu yapay zekanın en geniş alanıdır. Bu alana giren konulardan bazıları matematik teorem ispatlama, zeka oyunları, öğrenen makineler, uzman sistemlerdir.
- Arama (Searching)
- Doğal dili işleme (Natural Language Processing)
- Desen karşılaştırma ve tanıma (Patern Matching and Recognition)
- ğrenme (Learning)
- Mantık (Logic)
- Belirsizlik ve bulanık mantık (Uncertainty and Fuzzy Logic) [4].

BÖLÜM 3. BULANIK MANTIK

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilmeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış olmasından dolayı belirsizlikler her zaman bulunur [15].

Yüzyılımız içinde bilim ve matematik dalındaki değişmeler, belirsizlik kavramına bakış açısını değiştirmiştir. Geleneksel görüşe göre, belirsizlik bilim içinde istenmeyen bir durumdur ve bütün imkânlar kullanılarak yok edilmelidir. Bu düşünce bilim adamlarını bu yönde araştırmalar yapmaya itmıştır.

1900'lü yılların başında kesinlik esasına dayanan Newton fiziğinin bir çok durumda yetersiz kalması, belirsizliğin bilimin içerisine girmesine olanak sağlamıştır. Moleküler düzeyde ki fizik çalışmalarında ortaya çıkan ve çözüm için farklı bir yaklaşım gerektiren bu ihtiyaç, birbirinden bağımsız istatistik metotlarının gelişimine yol açmıştır. Newton fiziğinde, belirsizliğe yer vermeyen matematiksel analizin rolü istatistiksel mekanikte, olasılık teorisi tarafından karşılanmıştı ve bu teori aslında belirli bir tipteki belirsizliklerin giderilmesini amaçlamaktaydı.

Klasik mantığa dayanan analitik yöntemler ile olasılık teorisine dayanan istatistiksel yöntemler birbirini tamamlar nitelikte görünmektedirler. Biri tam belirlilik kabulüyle, diğeri ise rastsallık kabulü ile kendi alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar.

Bu tamamlayıcılığa rağmen, bu metotlar sadece içinde komplekslik veya rastsallıktan birini bulunduran problemlerin çözümü için işe yararlar. Waren Weaver bu iki tür problem yapısı için organize edilmiş basitlik ve organize edilmemiş karmaşıklık kavramlarını kullanmış ve bütün sistem problemleri içerisinde bu kavramsallaştırmalara ait problemlerin çok küçük bir yer tuttuğunu ifade etmiştir.

Çoğu problem, aslında bu iki uç arasında yer almaktadır. Bu tür sistemler deterministik olamayan, zengin ilişkilere sahip, doğrusal olmayan sistemlerdir. Weaver bu tür problemleri organize edilmiş karmaşıklık olarak kavramlaştırır. Bu sistemler, yaşamda, sosyal bilimler ve çevre bilimlerinde yaygın olduğu kadar tıp ve modern teknolojinin uygulamalarında yaygınca görülürler [16].

Trafikte araç kullanma, hastalık teşhisi, endüstriyel süreçlerin kontrolü, alışveriş yapma gibi günlük hayatta ve çeşitli alanlarda görülen birçok faaliyette belirsiz veri girişleri bulunan ya da karar verme süreci klasik matematikle modellenemeyen durumlar söz konusudur. Organize edilmiş karmaşıklık sınıfına giren bu tip faaliyetlerin bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmesi çok zor iken, insanlar tarafından basit dilsel mantık süreçleri ile, kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedirler.

İnsanoğlunun mantık süreçlerinin daha etkin ve hızlı çalışmasının nedeni bulanık bir yapıya sahip olmasıdır. Biraz kısa, uzun, ılık, hafif gibi sınırları tam olarak belirli olmayan kavramlar, diğer insanlarla anlaşmak için başarılı bir şekilde kullanılmasının yanında; mantık süreçlerinin bilgisayarlara göre başarılı bir şekilde yürütmesini de sağlamaktadır.

Geleneksel mantık sisteminde yalnızca doğru(1) ve yanlış(0) bulunur. Dolayısıyla belirsiz, kesin olmayan ya da karmaşık bir problemin çözümünde bu yöntem yetersiz kalır, hatta bazen bu yöntemle çözümler olanaksız olabilir. Gerçek Dünya Dilini kullanan bulanık mantık, bir takım Dilsel Niteleyiciler yardımıyla biraz sıcak, çok uzak, hafif soğuk, yüksek, çok fazla yüksek gibi günlük yaşamımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta denetimi gerçekleştirebilir[17].

Temeli Bulanık Küme Kuramı'na dayanan bulanık mantıkta da yine geleneksel mantıkta olduğu gibi doğru (1) ve yanlış (0) değerleri vardır. Ancak bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de kullanarak, bir önermenin yalnızca doğru ya da yanlış olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar doğru ya da ne kadar yanlış olduğunu da söyler [18].

Bulanık mantık, elektrikli ev aletlerinden oto elektroniğine, gündelik kullandığımız iş makinelerinden üretim mühendisliğine, endüstriyel teknolojilerden otomasyona kadar aklımıza gelebilecek her yerde kendisine uygulama alanı bulabilmiştir.

3.1. Tarihçe

Çok değerli mantığın tarihi çok eskilere dayanır. Heraklitus ve Anaksimender gibi eski Yunan Filozofları, iki değerli mantığın kurucusu olan Aristo'dan 200 yıl evvel çok durumlu mantıksal sistemler geliştirmişlerdi [19].

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 oluşturmuştur. 1937'de ise kuantum felsefecisi Max Black yayımlanan bir makalesinde liste ya da nesnelere oluşan kümelerle "çok değerli mantığı" uygulayarak ilk bulanık küme eğrilerini çizmiştir [20].

1965 Yılında California Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh ilk defa bulanık küme kuramının temel taşı olan "yumuşak" yaklaşım ile sistem tanım ve tasarımını gerçekleştirmiştir [18].

Zadeh'in bu çalışmasında, insanların bazı sistemleri makinelerden daha iyi kontrol edebilmelerinin nedeni olarak, insanların belirsiz, yani kesinlik ifade etmeyen bir takım bilgiler kullanarak karar verebilme özelliğine sahip olmaları gösterilmektedir[21].

1966'da bulanık küme kuramının bulanık mantık üzerine uygulanması Bell Laboratuvarlarında, Dr. Peter Marinos tarafından gerçekleştirildi. 1972 yılında Londra Üniversitesinden Prof. E.H. Mamdani bulanık mantık temelli uzman sistemle bir buhar türbininin hızının ve performansının çok başarılı bir şekilde denetlenebileceğini göstermiştir. Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması 1980 yılında Danimarka'da bir çimento fabrikasında gerçekleştirilmiş, değirmen içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen

ayarları en uygun biçimde yapılmıştır. Bundan sonra bir başka çarpıcı uygulama ise Hitachi firmasının dahil olduğu konsorsiyum tarafından 1987 yılında Sendai Metrosunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede trenin istenen konumda durması 3 kat iyileşmiş, kullanılan enerji ise %10 azalmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına, benzeri bir sistemin Tokyo metrosuna da kurulması için istek gelmiştir. 1988'de ise Yamaichi Securities Firmasının geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem yine 1988 yılının Ekim ayında Kara Pazar adı verilen büyük çöküşü 18 gün önceden haber verebilmiştir. 1988 yılından beri portföyündeki hisse senetlerinin değerleri Nikkei ortalamasından sürekli olarak %20 ve genelde ise %40 fazla olmuştur. Bu kadar başarılı uygulamanın ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma zemini oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS-Thomson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsushita gibi Dünya devlerinin de bulunduğu 51 firma tarafından LIFE laboratuvarları kurulmuştur [22].

Bulanık küme teorisi, Zadeh'in yayınladığı tarihten bu yana, başta yöneylem araştırması, yönetim bilimi, kontrol teorisi, yapay zeka/akıllı sistemler, insan davranışları olmak üzere pek çok uygulama sahası bulmuştur ve uygulamalar artan bir çeşitlilikte dünya ölçeğinde yaygınlaşmaktadır [23].

3.2. Bulanık Küme Kuramı

3.2.1. Geleneksel mantık ile kısa karşılaştırma

İsminin insanlarda çağrıştırdığının aksine bulanık mantık belirsiz ifadelerle yapılan, belirsiz işlemler değildir. Gelişmiş bir olasılık hesaplama yöntemi de değildir. Aslında, modelleme aşamasında değişkenler ve kuralların esnek belirlenmesidir. Bu esneklik asla rastgelelik ya da belirsizlik içermez. Nasıl bir lastik içinde bulunduğu duruma göre şeklini değiştirirken bütünlüğünü ve yapısını koruyabilirse, bir bulanık mantık modeli de değişen koşullara değişen cevaplar verirken özündeki yapıyı muhafaza eder [24].

Geçmişte, belirsizliğin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori belirsizlik durumlarında

istatistik yöntemlerle beraber kullanılır. Bu nedenle de bütün belirsizliklerin rastgele karakterde olduğu kavramı yaygınlaşmıştır. Rastgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol alması ve gerekli öngörüler ile tahminlerin kesin doğrulukta önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi rastgele karakterde değildir. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun rastgele olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rasgele karakterde olmayan olaylar için örneğin sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde ihtimaller hesabı ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntemler kullanılamaz.[15].

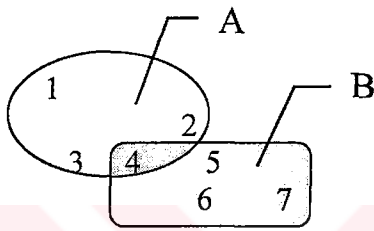
Olasılık teorisi örneğin, “Yarın hava muhtemelen çok bulutlu olacak” ifadesinde ‘muhtemelen’ sözcüğünün modellenmesinde kullanılabilir; ancak, ‘çok bulutlu’ sözcüğünün doğal belirsizliğinin modellenmesi için yeterli olmayacaktır. [25] Kişiden kişiye bile, değişmesi doğal olan bu tür dilsel belirsizliklerin modellenmesinde bulanık mantık daha uygundur.

Geleneksel mantığın temelinde olasılık hesapları kullanılmaktadır. Yani, bir olayın olabilirliği, bu mantıkla çözümlenmeye çalışılır. Sonuç ise yalnızca evet veya hayır ile sınırlıdır. Ancak bulanık mantık bundan tamamen farklıdır ve olayın olabilirliği ilgili değil de ne kadar olduğu hakkında bilgi verir. Dolayısıyla, alınan cevap evet ve hayırla birlikte bunların ara değerlerini de içerir. Batı Florida Üniversitesinden Prof. James Bezdek bu farkı şöyle bir örnekle ortaya koymaktadır: Çölde kaybolduğunuzu ve elinizde de iki şişe su bulunduğunu düşünelim. Bu şişelerden birinin üzerinde “%91 olasılıkla kirli su” ve diğerinin üzerinde de “%91 i kirli su” yazsın. Hangisini içersiniz? İlk şişedeki su %91 olasılıkla kirlidir fakat %9 gibi bir şansla da temiz olma olasılığı vardır. Yani, aslında bu su temiz de kirli de olabilir. Ancak ikinci şişenin üzerindeki etikette ise suyun %91 inin kirli olduğu, yani bu suyun çok büyük bir kısmının kirlendiği ve neredeyse içilemez durumda olduğu belirtilmektedir. Bir başka deyişle bu su, bulanık mantıkta, üyelik fonksiyonu olarak da belirtebileceğimiz gibi “kötü su” olarak adlandırılır. Şimdi elimizde bir de mini kimya seti olduğunu ve bu suları tahlil edebileceğimizi düşünelim, ilk şişedeki tahlil sonucu “saf ” olsun. Yani %9 olasılık ortaya çıkmış ve su %100 temiz bulunmuştur. İkinci şişeyi tahlil

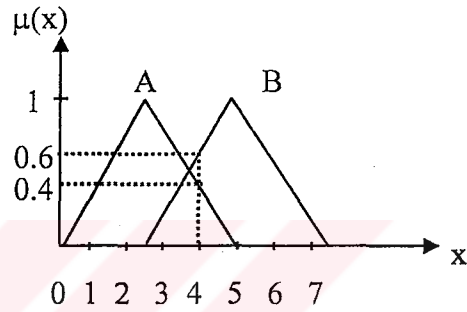
ettiğimizde ise elde edeceğimiz sonuç doğaldır ki hala %91 oranında kirli su olacaktır [17].

3.2.2. Bulanık ve geleneksel mantıkta küme kavramı

Klasik mantıkta kümeler arası ilişkiler incelendiğinde, Şekil 3.1.a'da görüldüğü gibi küme sınırlarının kesin olarak belirli olduğu görülür. Bu yaklaşımda bir eleman, bir kümeye aittir veya ait değildir, ya da her iki kümeye de eşit derecede aittir.

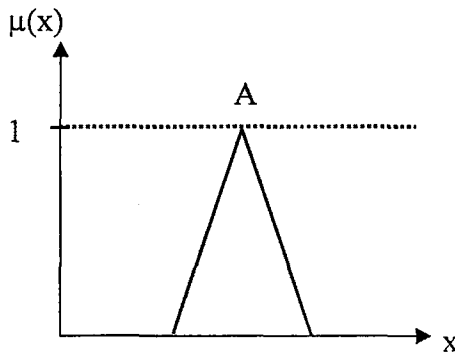


Şekil 3.1.a) Klasik küme,



Şekil 3.1.b) Bulanık küme.

Bulanık mantıkta ise küme elemanları, bir kümeye ne kadar ait olduklarını gösteren üyelik derecesi $\mu(x)$ ile birlikte tanımlanırlar. Bu durumda küme sınırları için kademeli bir geçiş söz konusu olmaktadır. Küme elemanları, farklı kümelere farklı derecelerde ait olabilmektedirler. Örneğin '4' elemanı klasik kümede her iki kümeye de eşit derecede üye iken; bulanık kümede A kümesine '0.4' seviyesinde üye, B kümesine '0.6' seviyesinde üye olabilmektedir (Şekil 3.1.b). Bulanık kümenin her elemanı, bu küme içerisinde bir üyelik değerine sahiptir ve bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılardan oluşur (Şekil 3.2). Yani, $\mu(x) \rightarrow [0,1]$ dir.



Şekil 3.2. A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu.

X evrensel kümesinde yer alan, sınırlı ve sonlu sayıdaki x elemanlarından oluşan A bulanık kümesi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$X = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.1)$$

Bulanık kümenin sürekli olması halinde ise gösterim aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

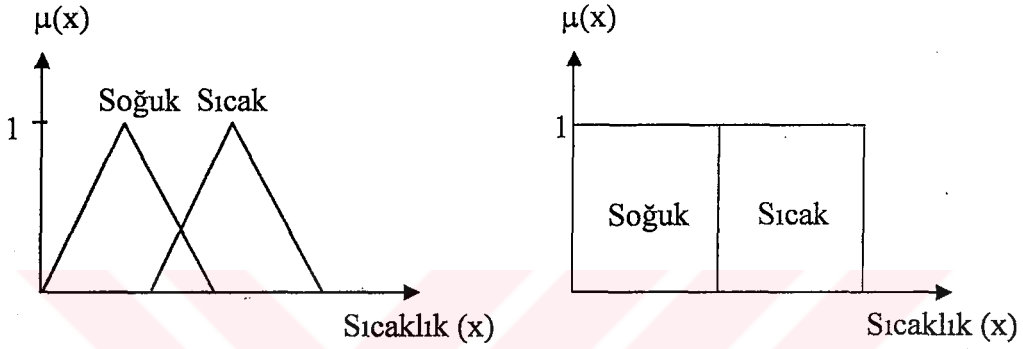
$$X = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (3.2)$$

Bu gösterimde toplama ve bölme işaretleri aritmetik anlamlarında kullanılmamışlardır. Bölme işareti, paydada bulunan x elemanının $\mu(x)$ üyelik derecesine sahip olduğu gösterir. Toplama işareti ise elemanların aynı kümede olduklarını göstermek için kullanılmaktadırlar.

Bulanık mantık, temel olarak insan düşünüş şeklini örnek almaktadır. Dolayısıyla bu mantığın küme elemanları da insan mantığına çok yakın ya da aynı olan elemanlardır. Örneğin, banyoya girdiniz ve düş alacaksınız. Normal olarak sıcaklığı istediğiniz gibi ayarlar yani, sıcak, çok sıcak, ılık, soğuk gibi dilsel niteleyicilerle de ifade edebileceğimiz bir ayarlama yapar ve düşunuzu alırsınız. İşte burada kullanılan dilsel niteleyiciler, ifade şekli ve sayısı ne olursa olsun bulanık küme elemanlarını meydana getirirler Ancak aynı olayı geleneksel mantıkla düşünürsek bu çoğumuz için bir felaket olur, banyoda ya buz gibi su (0) ile ya da kaynar su (1) ile düş alınması gerekirdi.

Burada dikkat edilmesi gereken çok önemli diğer bir nokta da geleneksel küme elemanlarının birbirine geçiş sürecinin ne kadar kesin olduğudur. Örneğin 50 °C yi sıcaklık sınırı olarak kabul edersek, geleneksel mantığa göre 49 °C yi soğuk kabul etmemiz gereklidir. 50 °C aslında pek de sıcak kabul edilecek bir ısı değildir; aynı şekilde hemen 1 °C daha az olan ısının yani 49 °C nin de soğuk ya da sıcak olarak kabul edilmesi pek de uygun düşmez.

Ancak bulanık küme elemanlarının birbirlerine geçişi yumuşaktır. Eğer bu fonksiyonu $\mu(x)$ olarak tanımlarsak, fonksiyonun alacağı değer sıfır ile bir arasında olacaktır. Yani fonksiyonun üyelik değeri $\mu(x) \rightarrow [0,1]$ dir. Dolayısıyla, sıcak ve soğuk arasındaki herhangi bir değer de tanımlanabilmektedir. Örneğin bir endüstriyel denetim sisteminde ani sıcaklık değişimleri yerine yumuşak geçişlerle denetim sağlanır ve istenilen ara değerler kullanılabilir. Böylelikle hem denetim kalitesi artırılmış hem de enerji tasarrufu sağlanmış olur [18].



Şekil 3.3.b) Bulanık sıcaklık kümesi. **Şekil 3.3.a)** Klasik sıcaklık kümesi,

Bu noktada bulanık mantıkta kullanılan bazı tanımların bilinmesi gerekmektedir. Yukarıda verilen örnekte suyun sıcaklığını belirtmek için sıcak, soğuk, ılık gibi niteleyiciler kullanılmaktadır. Bu niteleyiciler 'sıcaklık' kümesinin bulanık alt kümelerini ifade etmektedirler. Buradaki alt kümeler 'dilsel niteleyici' ; evrensel küme 'sıcaklık' ise dilsel değişken' olarak tanımlanır. Yani, bulanık mantıkta dilsel değişkenlerin alt kümelerini ifade etmek için dilsel niteleyiciler kullanılmaktadır.

3.2.3. Bulanık ve geleneksel mantıkta küme işlemleri

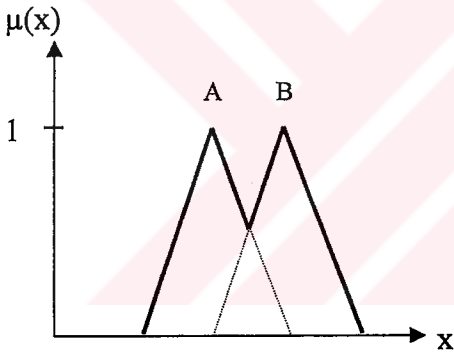
X evrensel kümesinde A ve B bulanık alt kümelerini tanımlayalım ve x yine bu kümelere ait bir eleman olsun, A ve B bulanık kümeleri arasında yapılacak küme işlemleri için bazı kuralların tanımlanması gerekmektedir.

Bulanık kümelerde birleşim işlemi yapılırken klasik kümelerde kullanılan '∪' işareti yerine veya '∨' işareti kullanılır. Veya operatörünün kullanıldığı durumlarda bulanık mantıkta yapılan işlem iki üyenin ortak olan ve olmayan bütün üyelerini alınmasıdır. Bu durumda ortak olmayan üyelerin üyelik dereceleri aynı kalırken, ortak üyeler için

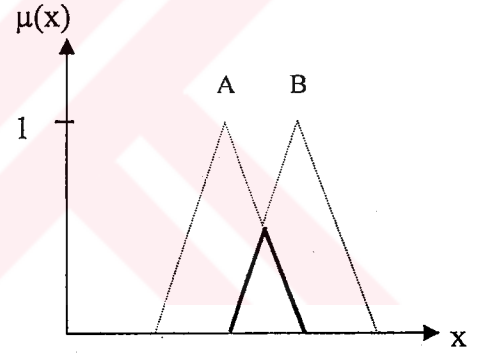
En Büyük (EB) operatörü kullanılarak üyelik derecelerinden en büyük olanı alınır. Yani yeni birleşim bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu EB operatörü kullanılarak belirlenir.

Bulanık kümelerde kesişim işlemi yapılırken klasik kümelerde kullanılan ' \cap ' işareti yerine ve ' \wedge ' işareti kullanılır. Ve işaretinin kullanıldığı durumlarda bulanık mantıkta yapılan işlem iki üyenin ortak olan bütün üyelerini alınmasıdır. Bu durumda ortak üyeler için En Küçük (EK) operatörü kullanılarak üyelik derecelerinden en küçük olanı alınır. Yani yeni kesişim bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu EK operatörü kullanılarak belirlenir.

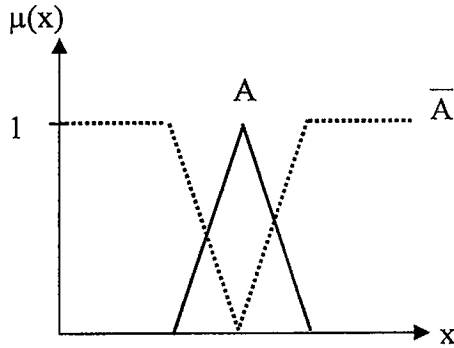
Bulanık kümenin tümleyeni ise küme elemanlarını üyelik derecelerinin birden çıkarılması ile bulunurlar. Bu ifadelerle ait grafikler Şekil 3.4' de gösterilmiştir.



(a) A ve B kümelerinin birleşimi



(b) A ve B kümelerinin kesişimi



(c) A kümesinin tümleri

Şekil 3.4. Bulanık kümelerde temel işlemler

$$\mu_{A \vee B}(x) = EK(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.3)$$

$$\mu_{A \wedge B}(x) = EB(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.4)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.5)$$

Örneğin, evrensel kümemiz $X = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ olarak alınsın. A ve B bulanık kümeleri, $A = \left\{ \frac{0.1}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0.7}{8} + \frac{0.3}{9} \right\}$ ve $B = \left\{ \frac{1}{4} + \frac{0.8}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.2}{7} \right\}$ olsun.

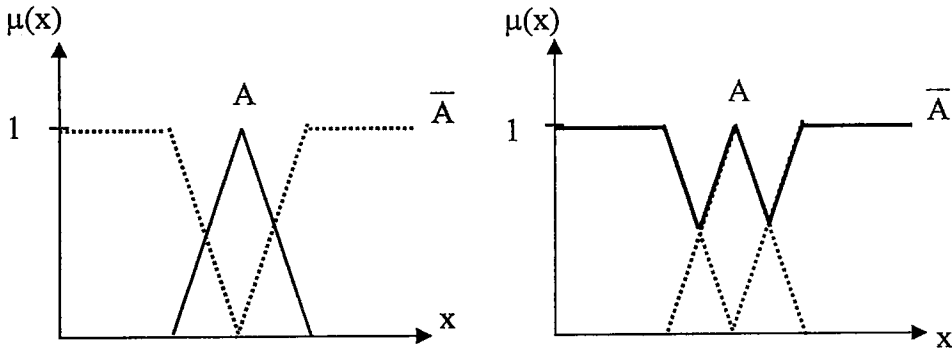
A'nın evriği
$$\bar{A} = \left\{ \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{0.9}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{0}{7} + \frac{0.3}{8} + \frac{0.7}{9} \right\}$$

B'nin evriği
$$\bar{B} = \left\{ \frac{1}{3} + \frac{0}{4} + \frac{0.2}{5} + \frac{0.6}{6} + \frac{0.8}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{9} \right\}$$

A ve B kümelerinin bileşimi,
$$A \vee B = \left\{ \frac{1}{4} + \frac{0.8}{5} + \frac{0.5}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0.7}{8} + \frac{0.3}{9} \right\}$$

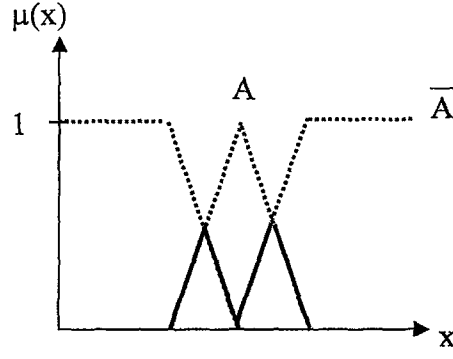
A ve B kümelerinin kesişimi,
$$A \wedge B = \left\{ \frac{0.1}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.2}{7} \right\}$$

Görüldüğü gibi bulanık kümelerdeki işlemler geleneksel kümelerdeki işlemlerle benzeşmektedir. A bulanık kümesinin evriği ile birleşimi evrensel küme değildir. Ve A bulanık kümesinin evriği ile kesişimi boş küme değildir. Matematiksel olarak, $A \vee \bar{A} \neq X$ ve $A \wedge \bar{A} \neq \emptyset$ dir. Bu işlemlere ait grafikler Şekil 3.5'de görülmektedir.



(a) A bulanık kümesi ve tümleri (b) A bulanık kümesi ve tümlerinin birleşimi

Şekil 3.5. A bulanık kümesi ve tümleri arası ilişkiler



(c) A bulanık kümesi ve tümlerinin kesişimi

Şekil 3.5. A bulanık kümesi ve tümüleri arası ilişkiler

Bunun dışındaki diğer küme işlem özellikleri, klasik küme işlem özellikleriyle benzeşirler:

$$A \vee B = B \vee A$$

$$A \wedge B = B \wedge A$$

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge C$$

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee C$$

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$$

$$A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$$

$$A \vee A = A \text{ ve } A \wedge A = A$$

$$A \vee \emptyset = A \text{ ve } A \wedge X = A$$

$$A \wedge \emptyset = \emptyset \text{ ve } A \vee X = X$$

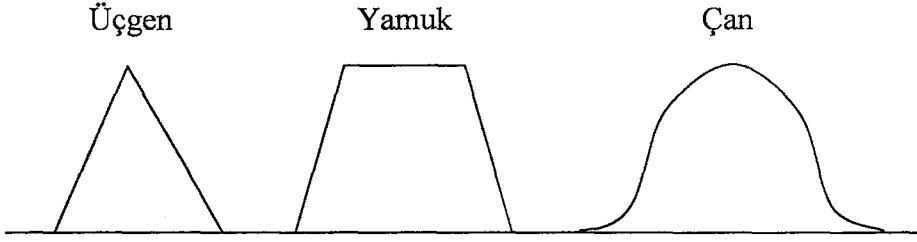
$$\overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$$

$$\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B}$$

Eğer $A \subseteq B \subseteq C$ ise $A \subseteq C$ dir.

3.2.3.1. Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık süreçlerinin başlatılabilmesi için gerekli üyelik fonksiyonları, dilsel niteleyicilerden oluşan bir anlam gurubudur. Üyelik fonksiyonları biçimsel olarak denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekilde olabilirler. Genelde aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi üçgen, yamuk veya çan şekillerindedir.

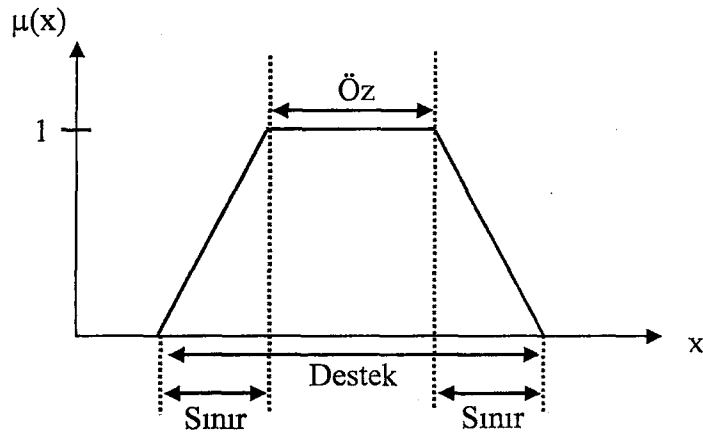


Şekil 3.6. Üyelik fonksiyonu şekilleri

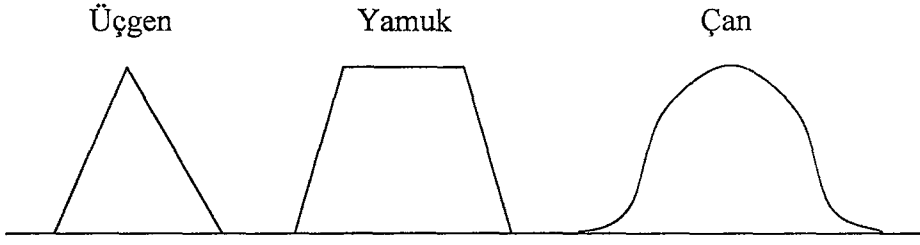
Birçok farklı bulanık mantık uygulamalarında, sistemin yapısına bağlı olarak değişik tiplerde üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ancak henüz değişkenleri temsil eden doğru bulanık üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için standart bir yöntem bulunmamaktadır. Genellikle deneme yanılma yöntemi kullanılmaktadır [26].

3.2.3.2. Üyelik fonksiyonunun özellikleri

Bulanık kümenin grafik olarak gösteriminden de kolayca görebileceğimiz gibi bazı üyelik fonksiyon tanımları bulunmaktadır. Bunlar Öz, Sınır ve Destek'tir (Şekil 3.7). Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x)=1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, öz olarak adlandırılır. Yine bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $0 < \mu_A(x) < 1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, sınır olarak adlandırılır. Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x) > 0$ olduğu bütün bölgeler ise destek bölgesidir.



Şekil 3.7. Tipik bir bulanık kümenin, çekirdek, destek ve sınırları

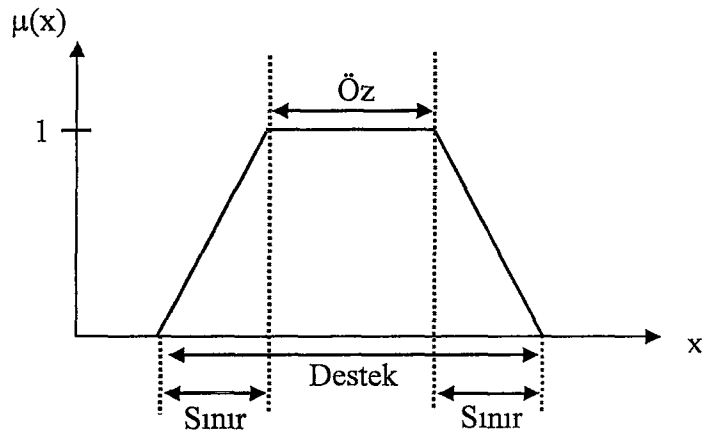


Şekil 3.6. Üyelik fonksiyonu şekilleri

Birçok farklı bulanık mantık uygulamalarında, sistemin yapısına bağlı olarak değişik tiplerde üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ancak henüz değişkenleri temsil eden doğru bulanık üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için standart bir yöntem bulunmamaktadır. Genellikle deneme yanılma yöntemi kullanılmaktadır [26].

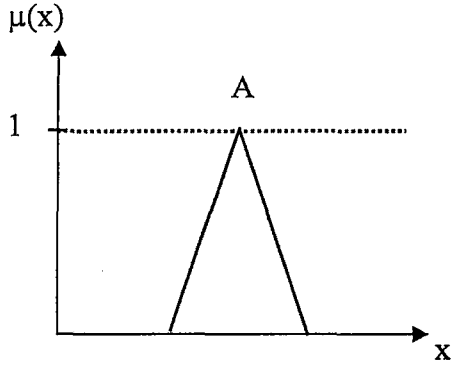
3.2.3.2. Üyelik fonksiyonunun özellikleri

Bulanık kümenin grafik olarak gösteriminden de kolayca görebileceğimiz gibi bazı üyelik fonksiyon tanımları bulunmaktadır. Bunlar Öz, Sınır ve Destek'tir (Şekil 3.7). Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x)=1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, öz olarak adlandırılır. Yine bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $0 < \mu_A(x) < 1$ olan bütün x elemanlarını kapsayan bölgesi, sınır olarak adlandırılır. Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x) > 0$ olduğu bütün bölgeler ise destek bölgesidir.

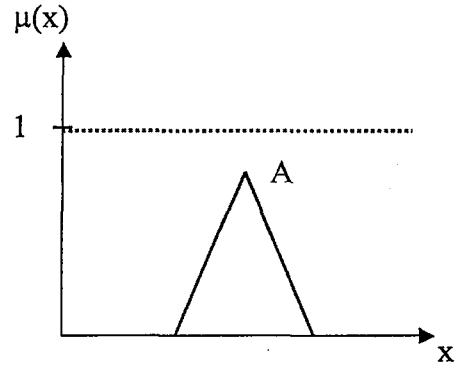


Şekil 3.7. Tipik bir bulanık kümenin, çekirdek, destek ve sınırları

Normal Bulanık Küme, üyelik değerinin en az bir elemanı için 1 değerini aldığı bulanık kümelerdir (şekil 3.8.a). Eğer bulanık kümede bir ve yalnızca bir elemanın üyelik değeri 1 ise bu eleman, kümenin Özel Tipli Elemanı olarak adlandırılır. Bunun dışındaki bulanık kümelere ise Normal Olmayan Bulanık Kümeler denir.

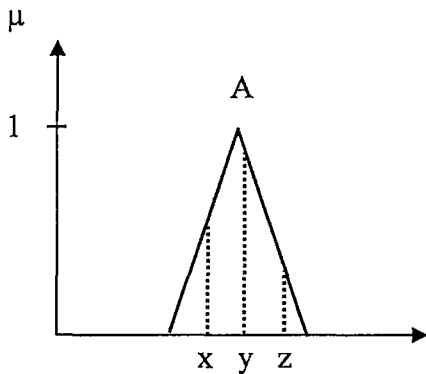


Şekil 3.8.a) Normal bulanık küme

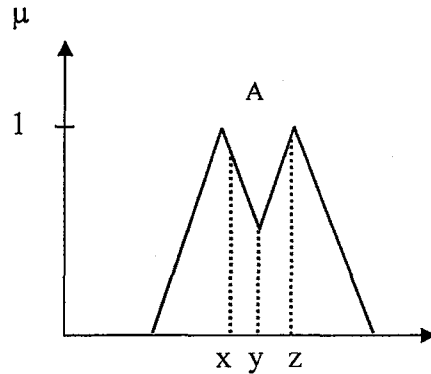


Şekil 3.8.b) Normal olmayan bulanık küme

Bulanık kümenin, üyelik fonksiyonunun üyelik değerleri monoton artan ve daha sonra monoton azalan bir durumda ise ya da belli üyelik değerlerinde 1 olduktan sonra monoton azalan ise böyle kümelere Bulanık Dışbükey Kümeler adı verilir. Başka bir deyişle x, y, z elemanları A bulanık kümesinin içinde olsun ve $x < y < z$ olmak şartı ile $\mu_A(y) > EB(\mu_A(x), \mu_A(z))$ denklemini sağlayan bulanık kümeler dışbükeydir. Bu klasik matematiksel dışbükey biçim tanımından farklıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9.a) Normal dışbükey bulanık küme

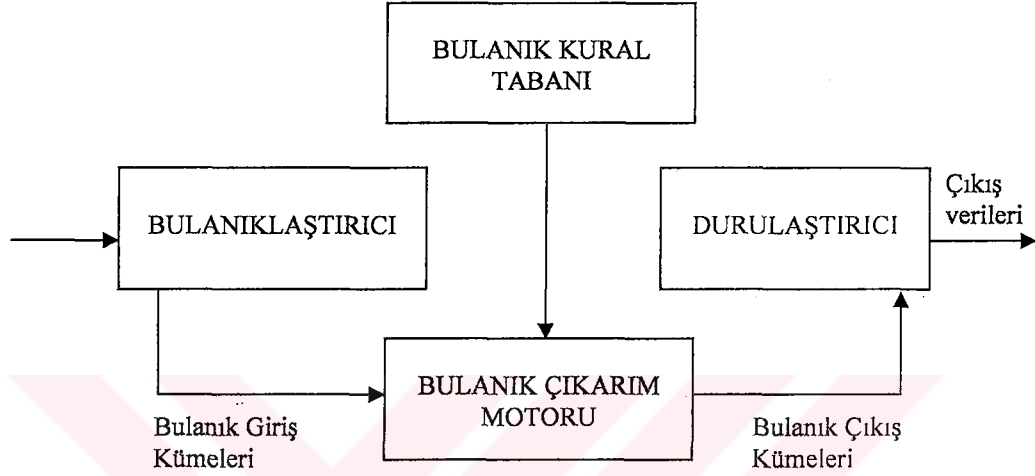


Şekil 3.9.b) Normal dışbükey olmayan bulanık küme

Bulanık sistemlerde kullanılan dilsel niteleyicilerin, hesaplamaların doğru şekilde yapılabilmesi için normal dışbükey kümelere dönüşmesi gerekir.

3.3. Bulanık Kontrol Sistemi

Bulanık küme tabanlı sistemler genel olarak, Bulanıklaştırıcı, Bulanık Kural Tabanı, Çıkarım Ünitesi, Durulaştırıcı birimlerinden oluşur. Şekil 3.10'da bu temel birimlerden oluşan bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.10. Bulanık küme tabanlı bir kontrol sisteminin genel yapısı

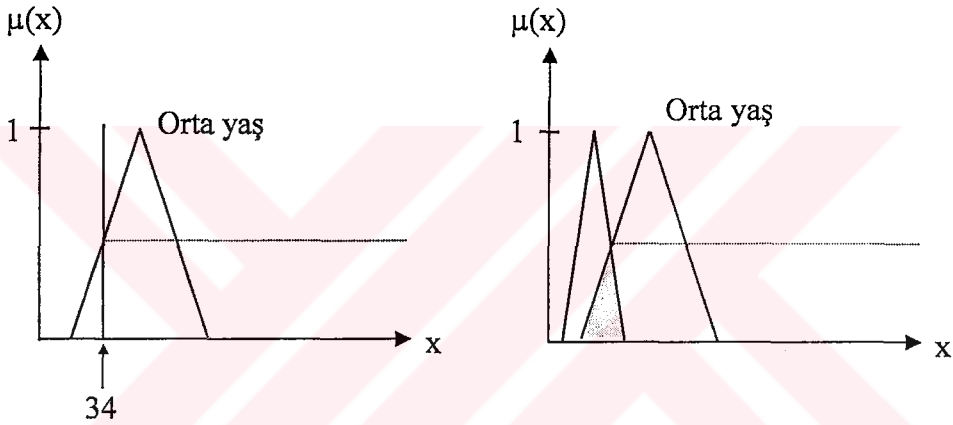
Bulanıklaştırma birimi, giriş bilgilerini önceden belirlenmiş üyelik fonksiyonlarını kullanarak uygun sözel değerlerden oluşan bulanık giriş kümelerine dönüştürür. Kural tabanı, kontrol yöntemini “Eğer-İse” (If-Then) kuralları şeklinde ifade eden, bulanık kurallar kümesinden oluşur. Çıkarım Ünitesi, bulanık giriş kümelerini kural tabanındaki bulanık kurallar ile eşleştirir ve bulanık uygulamayı gerçekleştirecek uygun bir yorumlama yaptıktan sonra bulanık çıkış kümelerini oluşturur. Durulaştırıcı, elde edilen bulanık kümeyi, sayısal çıkış verilerine çevirir. Bulanık mantık kontrol sisteminin tasarımındaki en önemli sorun, bulanık mantık kuralları ve uygun üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasıdır.

3.3.1 Bulanıklaştırma

Fiziksel giriş bilgilerinin, dilsel niteleyicilerle ifade edebileceğimiz bulanık mantık bilgileri şekline çevirme işlemine bulanıklaştırma adı verilir. Bulanıklaştırma birimine gelen veri girişlerinin destek sınırları içine girdikleri bulanık alt kümelerde

karşılık gelen üyelik dereceleri bulunur. Bu üyelik dereceleri çıkarım birimi için girdi olarak kullanılır.

Ancak bu bilgilerin tamamının mutlaka kesin bilgiler olması söz konusu değildir. Bulanıklaştırma işlemi önemli ölçüde kesin olmayan bilgiyi de içine alır ve bulanıklaştırır. Bulanıklaştırma sonucu elde edilen değişkenlere dilsel değişkenler denir ve işlemle birlikte tüm giriş değişkenlerinin değerleri, üyelik derecesi olarak buraya atanır. Örneğin, 34 yaş giriş bilgisi, dilsel niteleyici olarak “orta yaşlı” olarak ifade edilebilir. Bununla beraber yine 32-35 yaş arası bulanık kümesi, tam kesin olmayan bir bilgi olarak yine “orta yaşlı” olarak ifade edilebilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Keskin (soldaki) ve keskin olmayan (sağdaki) giriş büyüklüğünde bulanıklaştırma

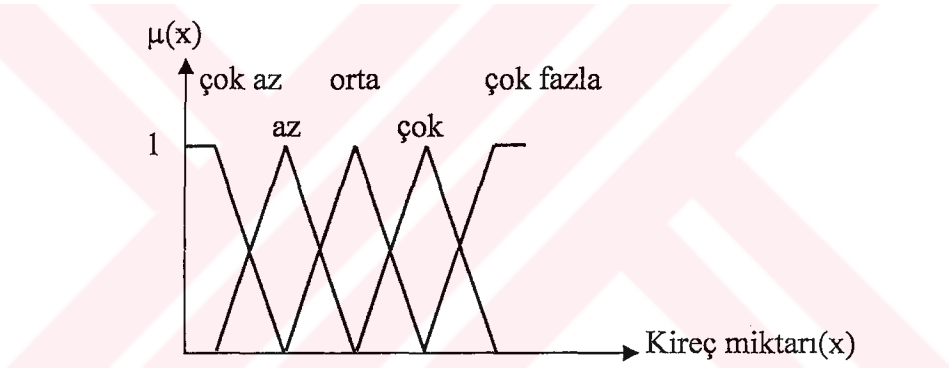
Her iki giriş veri girişi için de bulanıklaştırma yapmak mümkündür. Dolayısı ile bulanık mantık sistemleri sadece keskin veri girişleriyle değil bulanık girişlerle de çalışabilir.

3.3.2. Bulanık çıkarım

Bulanık mantıkta da geleneksel mantıkta olduğu gibi bazı mantık işlemleri yer almaktadır. Ancak bu işlemin komutları VE, VEYA, DEĞİL, EĞER, ÖYLE İSE (AND, OR, NOT ve IF, THEN) ile sınırlı çok basit ve aynı zamanda da kullanışlıdır. Bu kurallar bütününe kurallar ya da bulanık mantık denetleyicisi üzerinde kural tabanı denir.

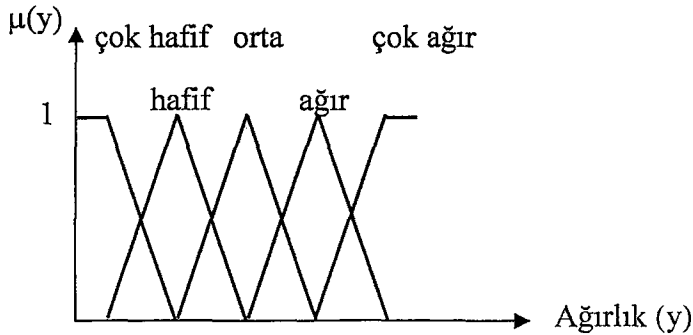
Bunu daha iyi açıklayabilmek için bir örnek ele alalım. Bulanık mantık kontrollü bir çamaşır makinesinin kullanacağı yumuşatıcı miktarını ayarlamak için nasıl çalışacağını inceleyelim. Buradaki girdilerimiz, kullanılan sudaki kireç miktarı ve yıkanan çamaşır ağırlığı; buna bağlı olarak elde edeceğimiz çıktımız ise yumuşatıcı miktarı olsun.

Bulanık kümeler genellikle üç, beş ya da yedi üyelik fonksiyonundan oluşabilirler. Örneğimize göre; çok az, az, orta, çok, çok fazla şeklinde beş üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık kireç miktarı kümesi oluşturulabilir (Şekil 3.12). Burada da görüldüğü gibi tanımlar tamamıyla insanların söylemlerine göre geliştirilmiştir ve Dilsel Niteleyiciler olarak anılırlar. Bunların fonksiyonel olarak elde edilmeleri ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemde daha önce elde edilmiş deneyimlere bağlıdır.

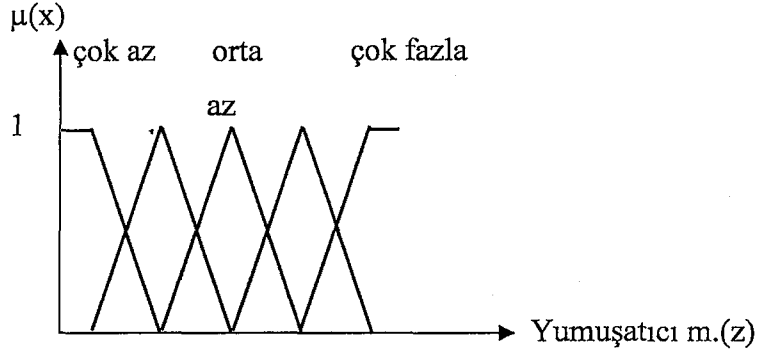


Şekil 3.12. Bulanık kireç miktarı kümesi

Aynı şekilde çamaşır ağırlığı kavramına ilişkin kümeyi, çok hafif, hafif, orta, ağır, çok ağır ve kullanılacak yumuşatıcı miktarını çok az, az, orta, çok, çok fazla dilsel niteleyicileriyle anlatmak mümkündür (Şekil 3.13 ve 3.14).



Şekil 3.13. Bulanık ağırlık kümesi



Şekil 3.14. Yumuşatıcı miktarı bulanık kümesi

Şimdi bulanık mantık ile girdilere göre çıktı değerlerini inceleyelim:

EĞER Kireç Çok_Az VE Çamaşır Hafif ÖYLE İSE Çok_Az Yumuşatıcı_kullan

EĞER Kireç Orta VE Çamaşır Ağır ÖYLE İSE Orta Yumuşatıcı_kullan

EĞER Kireç Çok_fazla VE Çamaşır Orta ÖYLE İSE Çok Yumuşatıcı_kullan

Giriş çıkış verileri arasında yukarıda görüldüğü gibi kurallar vasıtasıyla ilişki kurulacaktır. Verilen örneğe ait kural tabanı aşağıda görüldüğü gibi olacaktır.

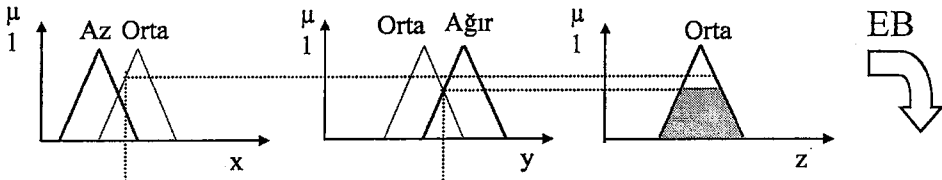
Tablo 3.1. Örnek Kural Tabanı

Yumuşatıcı Miktarı		Çamaşır Ağırlığı				
		Çok Hafif	Hafif	Orta	Ağır	Çok Ağır
Kireç Miktarı	Çok Az	Çok Az	Çok Az	Az	Az	Orta
	Az	Çok Az	Az	Az	Orta	Çok
	Orta	Az	Az	Orta	Çok	Çok
	Çok	Az	Orta	Çok	Çok	Çok Fazla
	Çok Fazla	Orta	Çok	Çok	Çok Fazla	Çok Fazla

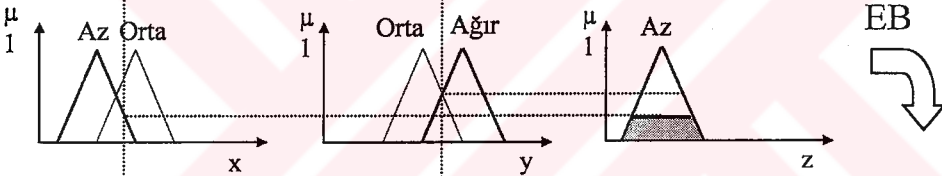
Kireci kısaca "K", çamaşır ağırlığını kısaca "A" ve yumuşatıcıyı kısaca "Y" ile gösterelim. Eğer değişkenler arasında VE kullanılmış ise buna bağlı olarak ortaya çıkacak fonksiyon En Küçük (EK) değer olacaktır. Yani, $\mu_Y(z) = EK(\mu_K(x), \mu_A(y))$ dir. Değişkenler arasında kullanılan bağlaç VEYA ise yumuşatıcı miktarı üyelik fonksiyonu, $\mu_Y(z) = EK(\mu_K(x), \mu_A(y))$ olacaktır. Fonksiyonda kullanılan DEĞİL işlemi ise, $\mu_{\bar{Y}}(z) = 1 - \mu_Y(z)$ anlamına gelmektedir. Burada μ değerleri, $0 \leq \mu \leq 1$ dir.

Örneğimize uygun olarak çamaşır makinesinin giriş bilgileri kireç için “az” ile “orta” arasında bir “a” değeri ve ağırlık için “orta” ile “ağır” arasında bir “b” değeri verilmiş olsun. Bu girdilere göre kullanılması gereken yumuşatıcı miktarı için gerekli bulanık çıkış kümesi Şekil 3.15’de olduğu gibi belirlenir ve çıkan bulanık kümeye, bir sonraki bölümde (2.3.2) incelenen durulma yöntemlerinden istenen bir tanesi uygulanarak sonuç elde edilir.

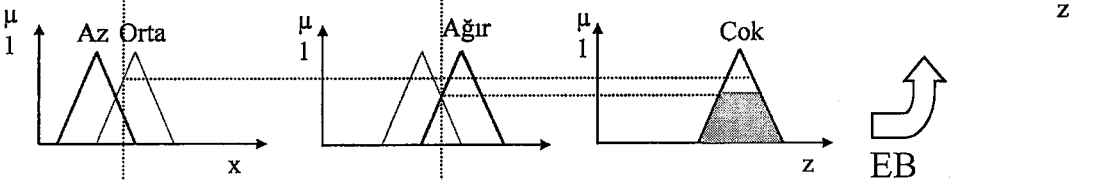
EĞER Kireç Orta VE Çamaşır Orta ÖYLE İSE Orta yumuşatıcı



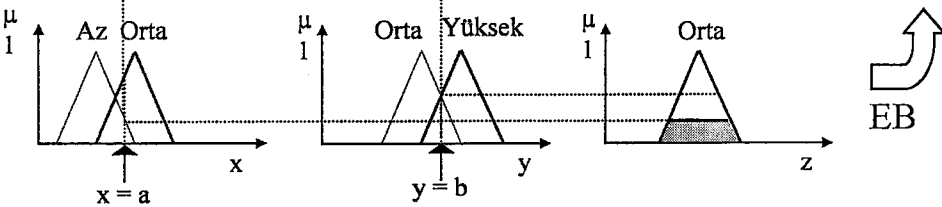
EĞER Kireç Az VE Çamaşır Orta ÖYLE İSE Az yumuşatıcı



EĞER Kireç Orta VE Çamaşır Ağır ÖYLE İSE Çok yumuşatıcı



EĞER Kireç Az VE Çamaşır Ağır ÖYLE İSE Orta yumuşatıcı



Şekil 3.15. $x = a$ ve $y = b$ giriş keskin değeri için çıkartım olayı

Keskin olmayan ifadelerin VE bağlantısı için EK operatörü, VEYA bağlantısı için EB operatörünün seçilmesi en kolay ve bulanık denetimde aynı zamanda temel bağlantıların en çok rastlanan gerçekleştirme şeklidir. Tablo 3.2.'den de görüleceği gibi her iki operatör klasik halde iki değerli mantığın keskin olan denğine \vee ve \wedge geçiş yapar.

Tablo 3.2. İki Değerli Mantıkta Mantıksal Temel Bağlantılar İçin Operatörlerin Doğruluk Tablosu [27]

\wedge	0	1	MIN	0	1
0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
\vee	0	1	MAX	0	1
0	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1

EK ve EB operatörü yanında birçok sayıda bu özelliği gösteren değişik operatör çifti vardır. Fakat bu operatörler bulanık denetimde çok fazla önem arzetmezler. İkili bulanık kümenin kesişiminin oluşmasını yada ikili keskin olmayan ifadenin VE bağlantısını gerçekleştirmek için operatörler T-norm olarak ifade edilir. Birleşim kümesi ya da VEYA bağlantısının gerçekleşmesi için operatörler S-norm veya T-conorm olarak ifade edilir.

Tablo 3.3. T ve S normları [27]s

"VE" T-norm $T(\mu_A(x), \mu_B(x))$	"VEYA" S-norm $S(\mu_A(x), \mu_B(x))$
En Küçük $EK(\mu_A(x), \mu_B(x))$	En Büyük $EB(\mu_A(x), \mu_B(x))$
Drastik(etkili) Çarpım $EK(\mu_A(x), \mu_B(x))$ Eğer $MAX(\mu_A(x), \mu_B(x))=1$ ise 0 aksi halde	Drastik(etkili) Toplam $EB(\mu_A(x), \mu_B(x))$ Eğer $EK(\mu_A(x), \mu_B(x))=0$ ise 1 aksi halde
Sınırlı Fark (Lukasiewicz-VE) $EB(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$	Sınırlı Toplam (Lukasiewicz-OR) $EK(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$
Einstein- Çarpımı $(\mu_A(x) \mu_B(x)) / (2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x)))$	Einstein-Toplamı $(\mu_A(x) + \mu_B(x)) / (1 + \mu_A(x) \mu_B(x))$
Hamacher-Çarpımı $(\mu_A(x) \mu_B(x)) / ((\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x)))$	Hamacher-Toplam $(\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2(\mu_A(x) \mu_B(x))) / (1 - \mu_A(x) \mu_B(x))$
Cebirsel-Çarpım $\mu_A(x) \mu_B(x)$	Cebirsel-Toplam $(\mu_A(x) + \mu_B(x) - (\mu_A(x) \mu_B(x)))$
Yager-Operatörü $1 - EK \left((1 - \mu_A(x))^p + (1 - \mu_B(x))^p \right)^{1/p}, p \in R_+$	Yager-Operatörü $EK \left((\mu_A(x)^p + \mu_B(x)^p)^{1/p}, 1 \right) p \in R_+$

Bu çalışmada ÖYLE İSE bağlantısının yapılmasında Mamdani-çıkartımı adı verilen çıkartım kullanılmıştır. Bu çıkartımda sonuç çıkartımın doğruluk değerinin şartından daha büyük olmamalı temel düşüncesi yatmaktadır. Şartlar güncel bir durum için, örneğin sadece 0,5 değerinde üyelik derecesini karşılarsa böylece sonuç çıkartımın üyelik fonksiyonunun derecesi en fazla 0,5 değerini göstermelidir. Buna göre kuralın $A \Rightarrow B$ üyelik fonksiyonu basitçe, her iki üyelik fonksiyonun en küçük değerinin mantıksal VE bağlantısında seçildiği gibi oluşturulur.

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x,y) = \text{EK}(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.6)$$

Keskin olmayan EĞER... İSE.... kuralının modellenmesi için bütün gerçekleştirme şekillerinden en basiti olan bu uygulama (operatör), bulanık denetimde en çok kullanılandır. Çıkartım mekanizması Mandani-çıkartımı esasına dayanıyorsa EB-EK (MAX-MIN) çıkartımından söz edilir. Buradaki EB operatörü Şekil 3.15'deki örnekte de görüldüğü gibi birden fazla kuralın bulunması durumunda, kural sonuçlarının bir araya getirilmesinde anlam kazanır.

EK operatörü yerine üyelik fonksiyonlarının cebirsel çarpımını seçmek sadece anlam bakımından değişik bir kullanımdır. Cebirsel çarpım kullanımında ise, EB-ÇARPIM (MAX-PROD) çıkartımı telaffuz edilir. Bu kullanım bu çalışmanın dışında olduğu için üzerinde durulmayacaktır.

Bulanık çıkartım için diğer bir kaç operatörlerin bazıları Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu operatörlerin bir kısmı çok özel bulanık mantık uygulamaları için ilgili olabilir.

Tablo 3.4. Alternatif bulanık çıkartım yöntemleri [27]

Bulanık-çıkartım $\mu_{A \Rightarrow B}(x,y)$	
Zadeh-çıkartım	$\text{MAX}(\text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(y)), 1 - \mu_A(x))$
Lukasiewicz-çıkartım	$\text{MIN}(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$
Kleene-Dienes-çıkartım	$\text{MAX}(1 - \mu_A(x), \mu_B(y))$
Gödel- çıkartım	1 Eğer $\mu_A(x) < \mu_B(y)$ $\mu_B(y)$ aksi halde
Sharp- çıkartım	1 eğer $\mu_A(x) < \mu_B(y)$ 0 aksi halde

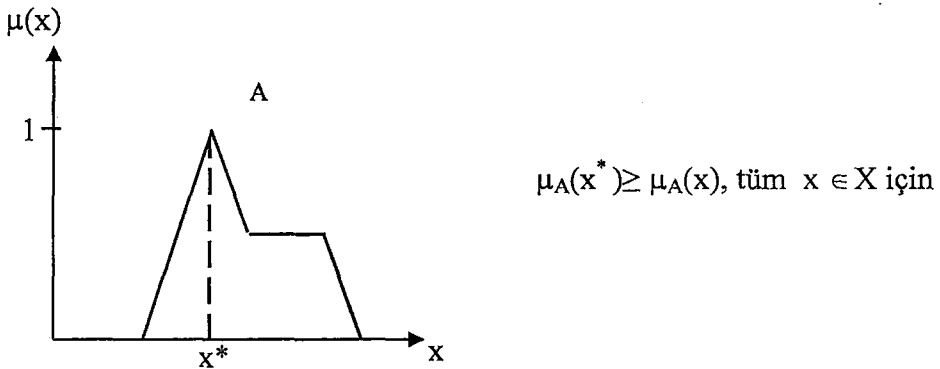
3.3.3. Durulaştırma

Bulanık küme çıkarımlarının, sistem üzerinde uygulanabilmesi için yeniden fiziksel ve kesin sayılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işleme durulaştırma adı verilir. Bunun için çeşitli durumlara göre durulaştırma yöntemleri geliştirilmiştir.

Bulanık işlemciden elde edilen mantıksal çıkarımların üyelik fonksiyonları bir ya da birden fazla olabilirler. Örneğin, bulanık çıkarımımız iki parçadan oluşsun: Bunlardan ilki bir yamuk ve adı A_1 , diğeri de bir üçgen ve adı da A_2 olsun. Buna göre elde edeceğimiz bulanık çıkarım bu kümelerin bileşkesi olacaktır: Yani, $A_1 \cup A_2 = A_3$ dır. Doğaldır ki, bulanık işlemcilerden elde edilen bulanık çıkarımlar, aslında ikiden çok daha fazladır ve üyelik fonksiyonlarının biçimleri bizim bilmediğimiz şekillerde de olabilir. Ancak bulanık çıkarım sonucu her şekilde bu kümelerin bileşkesi alınarak hesaplanacaktır.

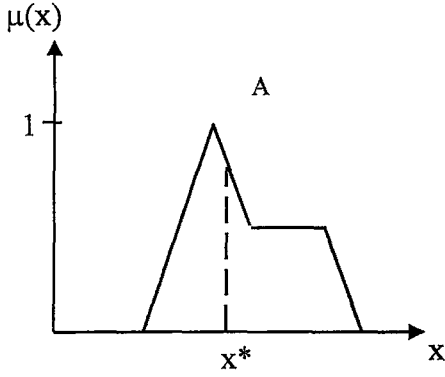
Literatürde en çok kullanılan yedi çeşit durulama yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan çok kısa olarak aşağıda söz edilmiştir.

1) Üyelik Fonksiyonunun En Yüksek Noktası: Bu yöntemden, “yükseklik yöntemi” olarak da söz edilmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası metodu

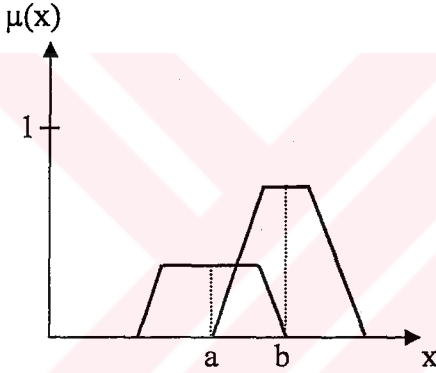
2) Merkez Yöntemi: Alan merkezi ya da ağırlık merkezi de denilen bu yöntem, durulama yöntemi olarak en çok kullanılan yöntemlerden birisidir ve ağırlık merkezi hesaplanarak yapılır (Şekil 3.17).



$$x^* = \frac{\int \mu(x)x}{\int \mu(x)dx} dx \quad (3.7)$$

Şekil 3.17. Merkez Yöntemi

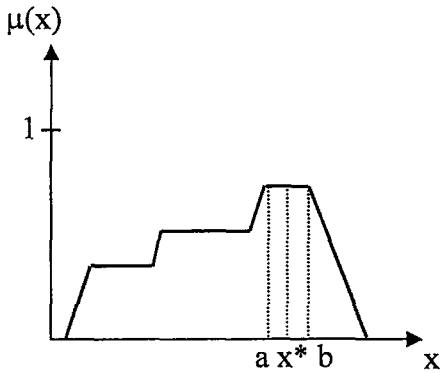
3) Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bu yöntem yalnızca simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonları için kullanılabilir ve her bir simetrik üyelik değerinin tepe noktası değeri belirlenerek, ortalamalarının alınmasıyla yapılmaktadır (Şekil 3.18).



$$x^* = \frac{\sum \mu(\bar{x})\bar{x}}{\sum \mu(\bar{x})} \quad (3.8)$$

Şekil 3.18. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

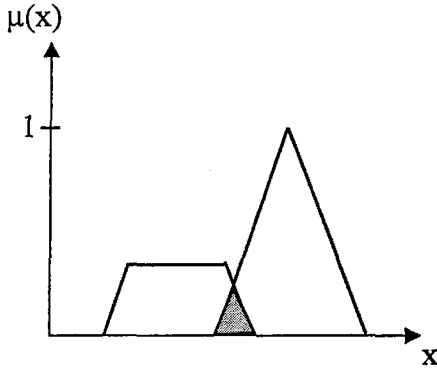
4) Üyelik Fonksiyonunun En Yüksek Noktalarının Ortalaması: Yüksek noktaların ortası da denilen bu yöntem, ilk yöntemle aşağı yukarı benzerdir ancak üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası burada tek değildir. Yani Şekil 3.19.'da da görüldüğü gibi bu bir dörtgen olabilir.



$$x^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.9)$$

Şekil 3.19. En yüksek noktaların ortalaması

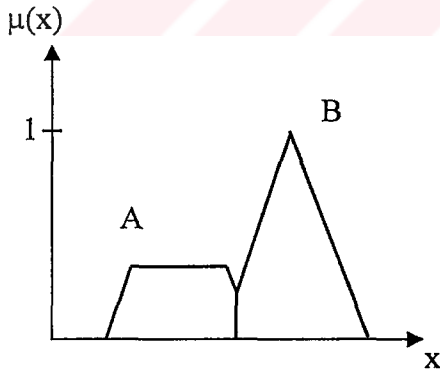
5) Toplamların Merkezi: Yukarıda söz edilen yöntemlerin çoğundan daha hızlı bir yöntemdir. Çünkü burada kümelerin bileşkeleri yerine doğrudan toplamaları alınarak durulama işlemi yapılır. Ancak, buradaki tek çekince kesişim kümelerinin iki defa hesaba katılmasıdır. Bundan sonrası ise ağırlıklı ortalama yöntemiyle aynıdır.



$$x^* = \frac{\int_x x \sum_{k=1}^n \mu(x) dx}{\int_x \sum_{k=1}^n \mu(x) dx} \quad (3.10)$$

Şekil 3.20. Toplamların Ortalaması Yöntemi

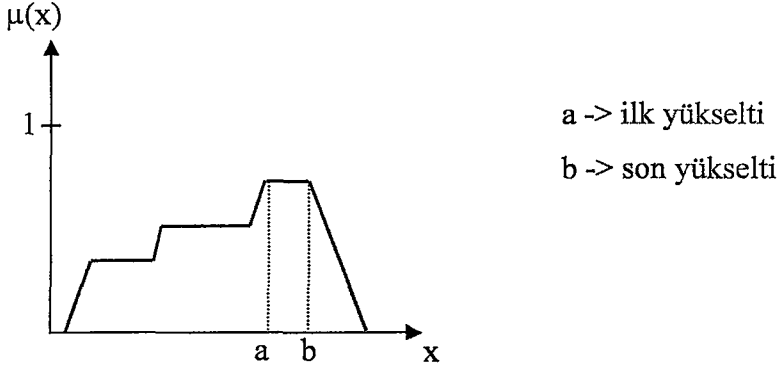
6) En Büyük Alan Merkezi: Eğer bulanık çıkarımlar en az iki tane dışbükey üyelik elemanından oluşuyor ise bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntemde dışbükey bulanık kümelerin en büyük alanlısı alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Görüldüğü gibi A ve B dışbükey bulanık kümeleri bir araya geldiklerinde içbükey bir sonuç bulanık kümesi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda en büyük alana sahip B kümesinin ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır (Şekil 3.21).



$$x^* = \frac{\int \mu(x)x}{\int \mu(x) dx} dx \quad (3.11)$$

Şekil 3.21. Geniş alan merkezi yöntemi

7) İlk (ya da son) yükselti: Bu yöntem bütün bulanık çıkışlarda uygulanabilecek bir yöntemdir. Bileşik sonuç bulanık fonksiyonunda, en yüksek üyelik değerine sahip fonksiyon yamuk şeklinde ise yamuğa ait göbek bölgesinin ilk yükseltisi (Şekilde a ile gösterilmiştir) ya da son yükseltisi (Şekilde b ile gösterilmiştir) bulanık çıkarım için kullanılabilir. Eğer en yüksek üyelik derecesine sahip fonksiyon üçgen şeklinde olursa, bu iki seçenek de aynı sonucu verecektir.



Şekil 3.22. İlk yükselti(ve son yükselti) metodu

Burada yedi ayrı çeşit durulama yönteminden söz edilmiştir. Ancak, akla “acaba bunlardan hangisi daha iyi?” ya da “hangisini kullanmalıyım?” şeklinde bir soru gelecektir. Bunun cevabı, probleme en uygun olanının seçilmesidir. Hellendorn ve Thomas tarafından, 1993 yılında uygun olanın seçilmesi için beş dayanak ortaya atılmıştır. Bu kriterler şunlardır.

1- Süreklilik Kriteri : Bir bulanık sürecin girdisindeki ufak bir değişiklik çıktıda önemli bir değişikliğe sebep olmamalıdır.

2- Tek Anlamlılık Kriteri : Durulaştırma Kriteri sonucunda tek bir z^* değeri elde edilmelidir. Yani çok anlamlılık olmamalıdır. Yukarıdaki durulaştırma yöntemlerinden en büyük alan merkezi yöntemine bakarsak, burada birden fazla aynı büyüklükteki alan için, birden çok z^* değeri bulunduğunu fark ederiz ve bu da çok anlamlılığı doğurur ve sonuçta bu durulaştırma yöntemi bu kritere aykırıdır.

3- Akla Yakın Olma Yöntemi : z^* değeri yüksek bir üyelik derecesine sahip olmalı ve destek bölgesinin ortası civarında olmalıdır. (Ağırlık merkezi ve toplamların merkezi yöntemi bunu sağlamamaktadır.)

4- Hesaplama Kolaylığı Kriteri : Burada yöntemler arasındaki sonucu elde etmenin kolaylığına bakılır. (Örneğin maximum yükseklik yönteminde hesaplamalar ağırlık merkezi yöntemine göre daha kolaydır.)

5- Ağırlık Yöntemi Kriteri : Burada kişisel yargıları incelediğimiz probleme göre göz önüne alırız.

3.4. Bulanık Karar Verme

Bulanık mantığın ortaya çıkışından beri en çok kullanıldığı alan, bulanık kontroldür. Bunun temel nedeni, bulanık kümelerin mühendisleri çok uğraştıran bu konuya oldukça kolay çözümler getirilmesine yardımcı olması ve çabucak yayılmasıdır. Ancak bulanık kümelerin dilsel belirsizliği ve benzer nitelikteki belirsizlikleri başarıyla modelleyebilmesi, karar verme problemlerindeki soyutlama sorununun çözümüne yardımcı olmakta ve birçok probleme daha gerçekçi çözümler bulunabilmesini sağlamaktadır.

Bellman ve Zadeh 1970 yılında, bulanık hedef (G), bulanık kısıtlar (C), bulanık karar(D) olmak üzere üç yeni kavram ortaya çıkarmışlar ve bu kavramların bulanık karar verme ortamındaki uygulamaları üzerinde çalışmışlardır. Bulanık karar verme aşağıdaki gibi tanımlanmıştır[28][29].

$$D = G \cap C \quad (3.12)$$

Bu problem aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır.

$$\mu(x) = EK(\mu_G(x); \mu_C(x)) \quad (3.13)$$

Burhan Türkşen'in de bir söyleşisinde [30] dediği gibi bulanık mantığın uygulama alanı bulacağı ve gelişmeye devam edeceği en önemli alanlar bulanık karar verme ile ilgilidir. Yöneylem araştırması, yönetim bilimleri, finansman modelleri, kalite kontrolün uygulanması gibi birçok alan mevcut karar sistemlerinin içine bulanık mantığın oturtulması ve daha iyi kararlar verilebilmesi için uygundur.

Bulanık mantığın Yöneylem Araştırması, Çok Amaçlı Karar Verme, Karar Analizi gibi konularda kullanımını anlatan bir çok kaynak mevcuttur.[31,32,33] Ancak bu konular oldukça geniş kapsamlı oldukları için bu çalışmanın içerisine alınmamışlardır.

3.5. Bulanık Matematik

Bulanık mantığın, kontrol sistemlerinde ya da kara verme alanlarda kullanılabilmesi için temel olarak klasik matematiğe benzeyen ancak bazı noktalarda farklılıklar gösteren işlem kurallarının uygulanması gerekmektedir.

3.5.1. Bulanık ilişki ve genişleme ilkesi

Bulanık kontrol sistemlerinde bulanık kümeler arası ilişkiler ve genişleme ilkesi temelinde işlemler yürütülmektedir. İlişkiler, farklı temel kümeler içinde tanımlanmış kümeler arasındaki bağıntılardır. Şimdiye kadar incelenen “basit” kümelerde, temel kümelerin her biri sadece tek elemanlı iken, bağıntılarda ise değer çifti yada genel anlamda değişik temel kümelerden oluşan elemanların n-temel kümeleri vardır. Buradan ilişkinin temel kümesi, aralarında bağıntı kurulan büyüklüklerin temel kümelerinin çapraz çarpımı sonucu çıkar. İlişkinin kendisi de bir kümedir. Bu küme ise temel kümelerin çapraz çarpım kümesinin bir alt kümesidir. Çapraz çarpım kümesi içindeki bu bulanık küme (alt küme), klasik küme kuramına göre bulanık-ilişki olur.

Farklı temel kümelerde tanımlanmış bulanık kümelerin birbiriyle birleştirilmesi (bağlanması) ile de bulanık ilişki oluşur. X_1, X_2, \dots, X_n farklı temel kümeler olmak üzere R ilişkisi matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$R = \{((x_1, \dots, x_n), \mu_R(x_1, \dots, x_n)) \mid (x_1, \dots, x_n) \in X_1 \times \dots \times X_n\} \quad (3.14)$$

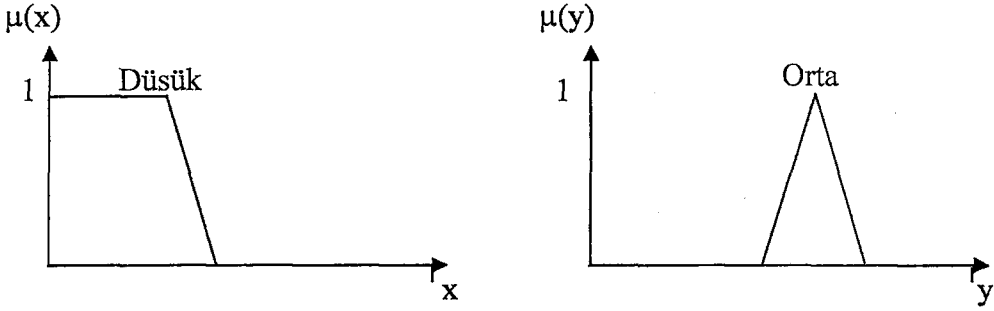
$X_1 \times \dots \times X_n$ 'in içinde n-kademeli bulanık relasyon olarak adlandırılır.

$\mu_R : X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow [0, 1]$ ifadesi ise R'nin üyelik fonksiyonunu gösterir.

Örneğin EĞER $x = \text{düşük}$ VE $y = \text{orta}$ ÖYLEYSE <herhangi birşey> şeklinde verilen bir kuralda, $x = \text{düşük}$ ve $y = \text{orta}$ bulanık alt kümeleri arasında VE operatörü kullanılarak bir bulanık ilişki elde edilmiş olur. Bu bulanık ilişkinin üyelik fonksiyonu, VE operatörü kullanıldığından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\mu_R(x, y) = EK(\mu_{\text{düşük}}(x), \mu_{\text{orta}}(y)) \quad (3.15)$$

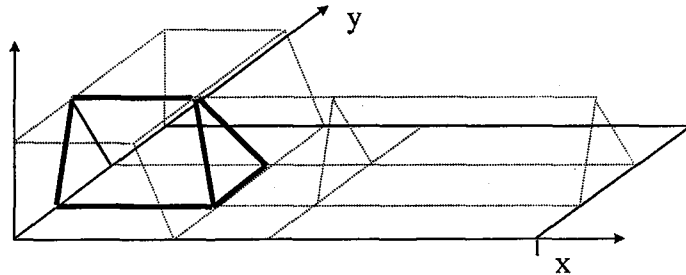
Bulanık ilişki R 'yi grafiksel göstermek için her iki birleştirilen kavramsal ifadeler şekil 3.23'de tanımlandığı gibi kabul edilir.



Şekil 3.23. x ve y için kavramsal ifadelerin tanımı [27]

Her iki ifade farklı temel kümelerde tanımlandığından, düşük devir ve orta hız ifadelerinde olduğu gibi farklı temel kümeler grafiksel olarak öyle basit birleştirilemez. Her iki bulanık küme, daha çok aynı çapraz çarpım kümesindeki bulanık ilişkiye yani $X \times Y$ aktarılmalıdır. Buradan yola çıkıldığında $\mu_{orta}(y)$ x'den bağımsız iken $\mu_{düşük}(x)$ bulanık kümesi de y'den bağımsızdır. Buna göre şekil 3.23'te gösterildiği gibi her iki bulanık küme silindrsel olarak diğer temel kümeler üzerine genişletilir. Bu prensip genişletme prensibi (yayma, extension) olarak ifade edilir. Bulanık kümeler veya birbiriyle uyumsuz temel kümelili bulanık ilişkilerin birbiriyle birleştirilmesinde genişletme prensibi kullanılır.

Her iki bulanık ilişki, şimdi daha önce olduğu gibi birleştirilebilir. Böylece her iki "ilişki dağıtımın" minimumu oluşur ve aynı zamanda şartın toplam ilişkisi R elde edilir. Bu olay Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Silindrsel olarak genişletmenin EK bağlantısı ile R ilişkisinin oluşturulması[27]

Kuralda VE yerine VEYA operatörü kullanılsaydı, son adımdaki EK operatörü yerine EB operatörü seçilirdi. Burada sadece iki kademeli ilişki için işlemler gösterilmiştir ancak genel durumlar için n-kademeli ilişkilerin işlemleri de aynı şekilde genişletilmelidir.

3.5.2. Bulanık dört işlem

A, R'de tanımlı bir bulanık küme olsun, A'nın bulanık sayı olarak adlandırılabilmesi için için, (i) Normal olması (ii) Dışbükey olması (iii) Sınırlı bir Destek Bölgesi'ne sahip olması ve α -kesim kümelerinin R'nin kapalı aralıkları olması gerekir [34].

Bulanık hesaplamalarda genellikle kullanım kolaylığı nedeniyle üçgen ve yamuk sayılar kullanılır. Üçgen bir bulanık sayı, R'de tanımlı bir üçgen bulanık kümedir; a ile c küme destek sınırları ve b en yüksek üyelikli eleman olmak üzere üçgen bulanık küme aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\tilde{U}_A(x) = \tilde{u}_A(x;a,b,c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ (c - x)/(c - b) & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.16)$$

Benzer şekilde a ile d destek sınırları ve b ile c öz sınırları olmak üzere, yamuk üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

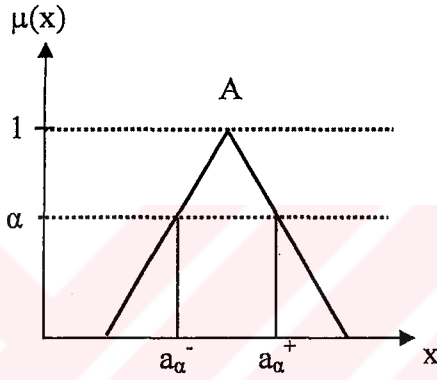
$$\tilde{U}_A(x) = \tilde{u}_A(x;a,b,c,d) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c) & \text{eğer } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.17)$$

Bulanık sayıların aritmetik işlemlerinde kutlanılmak üzere, bunların belirli bir α seviyesinden kesimleri üzerinde durulacaktır. Çünkü $\alpha = 1$ olması durumunda sayı gerçek sayıya, $\alpha = 0$ olmasında ise tam bulanık, yani aralık sayıya dönüşür. $0 < \alpha < 1$ olması durumunda aynı bulanık sayının α seviyesinde kesik bulanık alt kümesi düşünülecektir. Bir A bulanık alt kümesinin α seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesik bulanık küme 3.18 eşitliğinde görüldüğü gibi ifade edilir.

$$A_\alpha = \{x \in A \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (3.18)$$

Şekil 3.25’de bir bulanık alt kümenin, α seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_α^- ve a_α^+ gibi, bir alt bir de üst sınır küme değerleri elde edilir. Notasyon olarak, A gibi bulanık bir alt kümenin α seviyesindeki kesim sınırları cinsinden gösterilişi aşağıdaki gibidir:

$$A_\alpha = \{ a_\alpha^-, a_\alpha^+ \} \quad (3.19)$$



Şekil 3.25. Bulanık sayı kesim seviyeleri

3.5.2.1. Bulanık sayıların toplanması ve çıkarılması

Şekil 3.25’de gösterildiği gibi A ve B bulanık alt kümelerinin α seviyesinde kesimleri $A_\alpha = [a_\alpha^-, a_\alpha^+]$ ve $B_\alpha = [b_\alpha^-, b_\alpha^+]$ olsun. Bu iki bulanık alt kümenin $A + B$ toplamı α kesim seviyesi cinsinden eşitlik 3.20’de görüldüğü gibi hesap edilir.

$$(A + B)_\alpha = [a_\alpha^- + b_\alpha^-, a_\alpha^+ + b_\alpha^+] \quad (3.20)$$

Benzer olarak iki bulanık alt kümenin birbirinden çıkarılması eşitlik 3.21’de görüldüğü gibi hesap edilir.

$$(A - B)_\alpha = [EK(a_\alpha^- - b_\alpha^-, a_\alpha^+ - b_\alpha^+), EB(a_\alpha^- - b_\alpha^-, a_\alpha^+ - b_\alpha^+)] \quad (3.20)$$

Bu işlemler her α seviyesi için geçerlidir. $\alpha = 1$ ve $\alpha = 0$ olması durumunda kesim kümeleri aralık sayılarına döndürür. Bu değerlerin sonuçlarda yerine koyulması durumunda sonuç bulanık kümelerinin sınırları belirlenebilir.

3.5.2.2. Bulanık sayıların çarpılması ve bölünmesi

İki bulanık sayının çarpım ve bölüm işlemleri α kesim seviyesi cinsinden eşitlik 3.21 ve eşitlik 3.22'de görüldüğü gibi gerçekleştirilir.

$$(A \cdot B)_\alpha = [EK(a_\alpha^- \cdot b_\alpha^-, a_\alpha^- \cdot b_\alpha^+, a_\alpha^+ \cdot b_\alpha^-, a_\alpha^+ \cdot b_\alpha^+), EB(a_\alpha^- \cdot b_\alpha^-, a_\alpha^- \cdot b_\alpha^+, a_\alpha^+ \cdot b_\alpha^-, a_\alpha^+ \cdot b_\alpha^+)] \quad (3.21)$$

$$(A/B)_\alpha = [EK(a_\alpha^-/b_\alpha^-, a_\alpha^-/b_\alpha^+, a_\alpha^+/b_\alpha^-, a_\alpha^+/b_\alpha^+), EB(a_\alpha^-/b_\alpha^-, a_\alpha^-/b_\alpha^+, a_\alpha^+/b_\alpha^-, a_\alpha^+/b_\alpha^+)] \quad (3.22)$$

3.5.2.3 Genelleme ilkesi

Genelleme ilkesinin kullanılması ile A ve B gibi iki bulanık alt kümenin toplamını aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\mu_{A+B}(z) = \vee_{x+y=z} EB \{EK[\mu_A(x) + \mu_B(y)]\}, \quad (3.23)$$

Sağ taraftaki EB (En Büyük) işaretinin altındaki $x+y=z$ eşitliği A ve B bulanık kümelerinde değişkenlerden x ve y'nin toplamının, z ettiği tüm durumların bulunması demektir. EK yani en küçükleme de, iki bulanık kümede x ve y değerlerinin üyelik derecelerinden küçük olanının alınması anlamına gelir. Bunu sıcağı sıcağına uygulama ile açıklarsak okuyucu daha iyi anlayabilecektir. A ve B bulanık kümelerinin öğeleri aşağıdaki şekilde verilmiş olsun:

$$A = \{0.9/1 + 0.7/2 + 0.5/4 + 0.2/6 + 0.1/9\}$$

$$B = \{1.0/2 - 0.6/3 + 0.3/4\}$$

Bunların toplanması için önce her bir kümedeki öğeler Kartezyen çarpımdaki gibi eşleştirilerek, eşleşen elemanların toplamları alınır. Böylece, önce çarpım kümesinin öğeleri elde edilir.

Bunlar $\{(1,2), (1,3), (1,4), (2,2), (2,3), (2,4), (4,2), (4,3), (4,4), (6,2), (6,3), (6,4), (9,2), (9,3), (9,4)\}$ gibi $5 \times 3 = 15$ adet öge olarak bulunur, ikinci aşamada bu eşleşmiş değerlerin toplamı alınarak 15 birleşik ögeli küme elde edilir. Bu küme $\{3, 4, 5, 4, 5, 6, 6, 7, 8, 8, 9, 10, 11, 12, 13\}$ öğelerine sahiptir. Böylece, yukarıdaki genelleştirme işlemindeki $x+y=z$ işlemi yapılarak toplam bulanık kümesinin z öğeleri elde edilmiştir. Şimdi soru bu öğelerin tek olanına toplamdaki $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ üyelik dereceleri küçüğünün tayinidir. Mesela, en son kümede 3 öğesi 1 tane ve bunun A bulanık kümesinden $\mu_A(1) = 0.9$ üyelik dereceli 1 öğesi ve B bulanık kümesinden de $\mu_B(y) = 1.0$ üyelik dereceli 2 öğesi alındığından bu üyelik derecelerinin en küçüğü olan 0.9, toplam kümenin 3 öğesinin üyelik derecesini verir, yani $\mu_{A+B}(3) = EK[0.9, 1.0] = 0.9$ elde edilir. O halde, toplam bulanık kümenin ilk bulanık öğesi $0.9/3$ 'tür.

Diğer taraftan, toplam kümede 4 öğesi 2 tane bulunmaktadır. Bunların önceki tek öğeye benzer olarak üyelik derecelerinin hesaplanması ile birinci 4 öğesinin üyelik derecesi için $EK[0.9, 0.6] = 0.6$, diğerinin ise $EK = [0.7, 1.0] = 0.7$ elde edilir. Bu iki aynı miktardaki öğenin, yani 4 veya 4'ün olması için önceden elde edilen EK üyelik derecelerinin EB'lenmesi ile $\mu_{A+B}(Z) = EB[0.6, 0.7] = 0.7$ elde edilir. Toplam bulanık kümesinin teke indirilmiş 4 öğesinin üyelik derecesi 0.7 olduğundan, bu kümenin 4 öğesinin üyelik derecesi $\mu_{A+B}(4) = 0.7$ olarak gösterilir. Yani, 4 bulanık öğesi $0.7/4$ şeklindedir. Diğer öğelerin üyelik derecelerinin genelleştirme teoremine göre hesaplanması ile sonuç toplam bulanık küme bulunur:

$$\mu_{A+B}(z) = \{ 0.9/3 + 0.7/4 + 0.5/5 + 0.5/6 + 0.5/7 + 0.3/8 + 0.2/9 + 0.2/10 + 0.1/11 + 0.1/12 + 0.1/13 \}$$

Benzer olarak çıkarma da aşağıdaki notasyonla tanımlanarak hesaplanabilir.

$$\mu_{A-B}(z) = \bigwedge_{x-y=z} EB \{ EK[\mu_A(x), \mu_B(y)] \}, \quad (3.24)$$

3.6. Bulanık Mantığın Avantajları

Bulanık mantığın avantajı, sınıflandırılmış olan nitelikli bilginin kullanılabilir olmasında yatmaktadır. Bulanık mantıklı denetim uygulamalarının diğer yöntemlere göre avantajları şöyle sıralanabilir.

- a) Detaylı bir matematiksel model gerektirmezler,
- b) Pek çok giriş-çıkış değişkenleri eş zamanlı olarak ele alınabilir,
- c) Bulanık denetimdeki tüm kurallar eş zamanlı olarak uygulanır ve sonuçlandırılır, uyuşmayan kurallar biçimsel olarak uydurulabilir,
- d) Giriş-çıkış değişkenlerinin tüm birleşimleri için çıkış belirleme zorunluluğu yoktur. Değişkenlerin dikkatli bir seçimi kuralların sayısını önemli ölçüde indirgeyecektir.
- e) Bulanık denetleyici içerisine yerleştirilen denetim kuralları sistem girişlerinin belirli birleşimlerinde istenilen çıkış elde edilmezse diğer girişlere dokunulmadan denetim işlemini gerçekleştiren aktif kurallar yeniden düzenlenebilir. Bulanık denetleyiciye kurallar rahatlıkla eklenebilir veya istenen belirli bir özellikteki denetim kurallarının özelliği rahatlıkla sistem davranışını bozmayacak şekilde etkin hale getirilebilir.
- f) Bulanık mantık denetleyicilerle klasik mantık denetleyicileri birbirine bağlamak suretiyle denetim performansını artırmak mümkündür.
- g) Karmaşık sistemlerde istenen kalite, nitelik ve hıza göre birden fazla bulanık denetleyici kullanılabilir,
- h) Gerçek zaman uygulamalarının denetim altına alınabildiği sistemlerde yeterli zaman sağlanabiliyorsa donanımdan ziyade yazılımın verdiği esneklikten dolayı bulanık denetim kullanılmaktadır,
- i) Farklı sistemlerde bulanık denetleyici adaptasyonu kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

3.7. Bulanık Mantığın Dezavantajları

Bulanık mantık kullanımının dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a) Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulması uzmana bağlıdır. Kullanılan kural tabanı karar mekanizmasının temelinde yer alması nedeniyle uzman tecrübelerine dayanması gerekmektedir.
- b) Kullanılacak üyelik fonksiyonlarının bulunması için kullanılabilir genel bir kural bulunmamaktadır. Belirleme işlemi deneme yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmektedir.
- c) Bulanık Mantık Sistemleri kendi başlarına öğrenme yeteneğine sahi değildirler. Bu özelliği sağlamak için sinir ağları kullanımı, endüktif öğrenme gibi yöntemler kullanılmaktadır.
- d).Bulanık mantık sistemlerinde kullanılan bulanık alt kümelerin normal ve konveks olması gerekmektedir. Bu şartlara uymayan durumlar için mevcut kuralların kullanılması mümkün değildir.

BÖLÜM 4. TAGUCHİ DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI

Ürünler, müşterilerin beklenti ve gereksinimlerine göre performanslarını tanımlayan bazı özelliklere sahiptirler. Bir aracın kullandığı yakıt miktarı ya da balık tutmakta kullanılan ipin sağlamlığı gibi özellikler ürünlerin kalitesini belirlemektedir[35]. En genel şekliyle kalite, ilgilenilen karakteristiklerin hedef civarındaki değişmezliği veya kullanım amacına uygunluk olarak tanımlanabilir[36].

Müşteri beklenti ve ihtiyaçlarının karşılanma ölçütü olan kalite, yüzyılımızda hızla artan rekabet nedeniyle işletmeler için kaçınılmaz bir zorunluluk haline dönüşmüştür. Toplam kalite yönetimi, kalite geliştirme ve sürekli iyileştirme süreçleri birçok işletme ve organizasyonun temel kalite stratejilerini oluşturur. Birçok şirket ürünlerini ve proseslerini geliştirmek amacıyla Toplam Kalite Yönetimi (TKY) sistemini benimsemiş ve uygulamaya başlamıştır. TKY kuralları ve araçlarıyla bir bütün olarak, şirket çapında uygulanan bir yönetim sistemidir.

TKY, tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile, işletme organizasyonu içindeki çeşitli ünitelerin kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabalarını birleştirip koordine eden etkili sistem şeklinde tanımlanabilir[37].

TKY'nin doğru uygulanabilmesi için aşağıdaki beş temel ögenin bir araya getirilmesi gerekir:

1. Üst yönetimin liderliği,
2. Müşteri odaklılık,
3. Firma elemanlarının eğitimi,
4. Takım çalışması,
5. Sürekli geliştirme (kayzen) yaklaşımı.

Bu ögelerden ilk dördü beşincisi için gereklidir. Toplam kalitenin en önemli unsuru olan sürekli gelişimin gerçekleştirilmesi için Deming çemberi olarak tanınan “Planla, Yap, Doğrula, Karar Ver” süreci genel çerçeve olarak alınmaktadır. Bu çemberdeki değişik aşamalarda çoğu istatistiksel olmak üzere pareto grafiği, çetele tablosu, histogram ve kontrol çizelgesi gibi birçok teknik ve yöntem kullanılabilir. Deming çemberinde temel amaç mevcut şartlar yerine farklılarını deneyerek üründe gelişme sağlamaya çalışmaktır. Ancak ürün tasarımı ve üretim aşamalarında karşılaşılan pek çok durumda ürün kalitesini etkileyen çok sayıda faktörün varlığı dikkati çeker. Bu durumda istatistiksel olarak tasarlanmış deneyler gereklidir [38].

4.1. Deney Tasarımı

Deney tasarımı, incelenen ürün ya da sürece etki eden faktörleri ve elde edilen sonuçları sistematik bir yaklaşım içerisinde inceleyerek, faktörler ve sonuçlar arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak daha iyi sonuçlar elde etmek üzere yapılan çalışmalar olarak tanımlanabilir.



Şekil 4.1. Deney tasarımı bakış açısı

Deney Tasarımı Tekniği (DT) işletmelerde ürünün oluşumunda önemli bir yer almakta ve deneysel çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. DT değişimleri, değişimlerin nedenlerini araştırarak azaltmayı, müşteri memnuniyetini ve sistemin güvenilirliğini arttırmayı hedefler.

Değişim, üründe ve/veya proseste olması gereken özelliklerin veya davranışların bazen belirlenebilen, bazen de belirsiz faktörlerin etkisinde değişmesi anlamında olup, genelde istenmeyen bir olaydır.

4.2. Deney Tasarımı Aşamaları

Deney tasarımı konusu, temelde tüm tasarım uygulamalarındaki yaklaşımla eş değer olarak, problemin çözümüne yönelik aşamaları içerir. Bu aşamalar şunlardır:

1- Problemin Durumu ve Tanımlanması

Deney tasarımına başlamadan önce amaç ve ilkelerin açıkça tanımlanmış olması gereklidir. Problem sistemde ve/veya üründe ürünü kullanan müşteri veya üretici tarafından belirlenen bir hata veya eksiklik olabileceği gibi rekabet gücünü artırmak için ürün veya üretim sisteminde yapılan bir Ar-Ge faaliyeti de olabilir.

2- Faktörlerin Belirlenmesi ve Seviyelendirilmesi

Ürün geliştirme çalışmaları esnasında belirlenen özellikler üzerine en etkili faktörlerin seçilip indirgenmesinden sonraki aşama bu faktör seviyelerinin belirlenmesidir.

Seviye; deneylerdeki faktörlere verilen özel değerler olarak tanımlanır. Seviyelerin belirlenmesinde bilimsel verilerden çıkarılacak ipuçlarından faydalanılacağı gibi deneyimlerden de faydalanılabilir.

Seçilecek deneylerin tasarım yöntemine bağlı olarak faktörlerin yanı sıra faktörler arası etkileşimlerin de ortaya konması gereklidir. Faktörler arası etkileşimlerin deneylerin tasarımında kullanılması oldukça önemlidir. Etkileşim, faktörler arası ilişkiler olarak bilinir.

Deneyde etkili faktörler X ve Y olarak belirlenmiş olsun. Bu faktörler deney sonucu üzerinde her biri tek etkiye sahipken her ikisi birlikte deneyin sonucuna etki edebilir. Bu nedenle bu etkinin belirlenmesi gereklidir.

3- Sonuç Değişkenlerin Seçimi

Sonuç değişken; araştırmacının gözlemediği deneyde deneyin çıktısı olan değişkindir. Sistem veya ürünün kalite karakteristiği olarak bilinir. Bu aşamada çalışma ile incelenecek değişken belirlenir.

Sonuç değişkenlerin belirlenmesi aşamasında aynı zamanda bu değişkenlerin doğru görüntülenebileceği ölçüm yöntemlerinin de belirlenmesi gereklidir.

4- Deneylerin Tasarın Yöntemlerinin Seçimi

Deneylerin tasarın yöntemleri istatistiki ve matematiksel yaklaşımların yoğun olarak kullanıldığı yaklaşımları içerir. Bu yaklaşımların ortak amaçları faktörlerin optimizasyonu, dolayısıyla ürün ve üretim proseslerinin optimizasyonunu sağlayarak değişimleri azaltmaktır.

5- Deneylerin Yürütülmesi

Deneylerin yürütülmesinde seçilen deney tasarını yönteminde, belirlenen plan yani deney matrisi üzerinden hareket edilir. Bu matriste önceki aşamalarda seçilen faktörlerin belirlenen değişik seviyelerinin hangi sırada ve hangi kombinasyonda ele alınması gerektiği gösterilmiştir. Deneyler bu planlarda belirlenen şartlar üzerinden gerçekleştirilir ve sonuçlar kaydedilir.

7- Sonuçlar ve Tavsiyeler

Her faktör ve faktörler arası etkileşimlerin etkilerinin elde edildiği grafikler ve deneylerin analizi sonucunda elde edilmiş veriler yardımı ile hangi faktörlerin hangi seviyede ele alınması gerektiğine karar verilir. Aynı zamanda sonuçta çıkan faktör seviye kombinasyonunun doğruluğunu kontrol etmek için doğrulama deneylerinin yapılması gereklidir[39].

4.3. Klasik DeneY Tasarımı Yöntemleri

Klasik deneY tasarımlarında ele alınan parametreler kontrol edilebilen faktörlerdir. Klasik deneY tasarım yöntemleri uygulamada, kendi aralarında üçe ayrılır.

- 1- Bir kerede bir faktör (One factor at a time)
- 2- Tam faktöriyel (Full factorial)
- 3- Kısmi faktöriyel (Fractional factorial)

Klasik deneY tasarım yöntemleri arasındaki bu ayrımın sebebi, faktörler arası etkileşimlerin deneY matrisinde ele alınıp alınmaması esasına dayanır.

4.3.1. Bir kerede bir faktör

DeneYlerin tasarım yöntemleri arasında en eski ve en çok uygulananıdır. Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan tasarım, oldukça basittir. Bu yaklaşım, bilimsel çalışmalarda, adım adım her faktörün proses üzerine etkisini belirlemek için kullanılır. Bu yöntemde, her işlemde yalnızca bir faktör değiştirilip diğerleri sabit tutulur.

Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneYlerin dezavantajlarından biri maliyetin yüksekliği diğeri de faktörler arası etkileşimlerin belirlenememesidir. Bu yöntemde her denemede bir faktörün değiştirilmesi neticesinde, bu faktörün sonuca doğrudan etkisi gözlenir.

4.3.2. DeneYlerin tam faktöriyel tasarımı

İki veya daha fazla seviyeli ve iki veya daha çok sayıda faktörün tüm kombinasyonlarının ele alındığı deneY tasarım yöntemine tam faktöriyel tasarım adı verilir.

Tam faktöriyel deneYlerin tasarım yöntemlerinde, deneYlerin tekrarı için faktörlerin tüm bileşimleri gösterilir, işlem sayısı faktörlerin tümünün seviyelerinin çarpımına

eşittir. Örneğin bir televizyon üretiminde televizyon montaj süresi sonuç değişken olarak ele alınırsa; operatörün ustalığı (6 seviye), ışıklandırma (3 seviye) ve eğitim programı (4 seviye) olmak üzere etkili faktörlerdir. Bu durumda işlem sayısı $6 \times 3 \times 4 = 72$ dir. Bu durumda faktörlerin sayısı ve seviyeleri arttığında işlem sayısı artar.

Tam faktöriyel deneylerin tasarım tekniğinin, bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan tekniğe göre en büyük üstünlüğü, faktörler arası etkileşimlerin hesaplanmasına olanak vermesidir. Bunun yanı sıra; deneylerin boyutunun üstel olarak faktör sayısı ve seviyeleri ile artması, tüm bu deneylerin maliyetinin yüksek olması ve etkileşimlerin yüksek düzeyli olanlarının açıklanmasındaki zorluklar, bu yöntemin en belirgin dezavantajlarıdır.

Bu yöntemde amaç, her faktörün mümkün olan tüm seviyelerinin denenmesidir. Eğer 3 tane faktör var ve bunlar 2 seviyeli ise yapılması gereken işlem sayısı $2^3 = 8$ dir. Deneylerde belirlenmiş olan faktörlerin sayısı ve seviyelerinin artmasına bağlı olarak işlem sayısı da üstel olarak artar.

Tam faktöriyel tasarımın yedi faktörlü ve iki seviyeli bir durum için tüm kombinasyonlarını içeren deney matrisi Tablo 4.1.'de verilmektedir.

Genel olarak, p düzeyli k faktör ve q düzeyli m faktörden oluşan bir deneyde, tam faktöriyel tasarım için gerekli olan deney sayısı $p^k q^m$ dir.

Deney matrisinde de görüldüğü üzere iki seviyeli yedi faktör için yapılması gerekli deney sayısı, tüm bileşimleri ele alan tam faktöriyel deney tasarımı için, 128'dir. Bu yöntemle değerlendirilebilen faktörler arası etkileşimlerin saptanması, hem zaman hem de maliyet açısından büyük yük getirmektedir. Tam faktöriyel deney tasarımı, araştırılacak faktör sayısı ve bunların düzeyleri (seviyeleri) az sayıda ise uygulanabilirliği vardır [40].

Tablo 4.1. Yedi Faktörlü Tam Faktöriyel Deney Tasarım Matrisi

				A1				A2			
				B1		B2		B1		B2	
				C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
D1	E1	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
			G2								
	E2	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
			G2								
D2	E1	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
			G2								
	E2	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
			G2								

Tam faktöriyel deney tasarım yönteminin uygulanması için gerekli adımları sırasıyla incelemek gerekirse:

1. Ön hazırlık safhası: İncelenecek faktörlerin seçilmesi ve seviyelerinin belirlenmesi. Belirlenen seviyelerde düşük olan negatif (-) işareti ile ve yüksek olan seviye pozitif (+) işareti ile gösterilir.
2. Tam faktöriyel deney matrisinin oluşumu: Faktör sayısına bağlı olarak tüm olası etkileşimler göz önüne alınarak gerçekleştirilir.
3. İşlem sırası: Deneyler tesadüfi sıra ile gerçekleştirilir.
4. Tüm işlemler bittikten sonra tekrar deneyleri yapılır.
5. Deney matrisinin oluşumu ve deneylerin yürütülmesi aşamaları sonucunda deneyin analizi aşamasına geçilir. Deneylerin analizinde amaç tek tek faktörlerin ve etkileşimlerinin sonuç değişken üzerine katkılarını belirlemek ve en uygun faktör kombinasyonu seçmektir.

Tablo 4.2’de iki seviyeli A ve B için deney matrisi gösterilmiş olup aynı zamanda AB etkileşimi de matrise dahil edilmiştir.

Tablo 4.2 İki Seviyeli İki Faktör Deney Tasarım Matrisi

Deneme	A	B	AB
1	-	-	+
2	-	+	-
3	+	-	-
4	+	+	+

İki seviyeli iki faktör ele alınırsa (A ve B) matrisin birinci sütununa A ve ikinci Sütununa B faktörü yerleştirilir ve aralarında tek etkileşim AB olduğu için üçüncü sütunda yer alır. Daha sonra AB etkileşiminin işaretleri A ve B sütunlarındaki işaretler çarpılarak belirlenir.

4.3.3. Deneylerin kısmi faktöriyel tasarımı

Bu yöntemin oluşturulmasındaki sebep, tam faktöriyel deney tasarımındaki yüksek maliyet ve zaman faktörleridir. Bunun yanı sıra klasik tasarım teknikleri, uzman personele ihtiyaç duymaktadır. Kısmi faktöriyel deneylerde amaç işlem sayısını azaltmaktır. Faktörlerin sayısında değil etkileşimlerde azaltma yapılmaktadır. Bu da incelenen faktörlerden ödün vermeden incelenen etkileşimlerin sayısını azaltarak sağlanabilir.

Kısmi faktöriyel deney tasarımı mantığında yer alan etkileşim azaltma kavramından etkileşimleri göz ardı etmek anlaşılmalıdır. Zaten etkileşimlerin göz ardı edilmesi demek bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneylere geri dönmek anlamındadır. Kısmi faktöriyelde ilke probleme katılması durumunda çok sayıda işlem gerektiren fakat gerçekte katkısının analizlerde çok az çıkacağı tespit edilen yüksek serbestlik derecesine sahip olan etkileşimleri deney matrisine yerleştirmemektir.

Kısmi (kesirli) faktöriyel deneyler ile faktörlerin ve bazı önemli etkileşimlerin etkisi belirlenmeye çalışılır. Taguchi tekniğinde de kesirli faktöriyel dizilerden ortogonal diziler kullanılmaktadır.

4.4. Taguchi Yöntemi

Kalitenin iyileştirilmesi için kullanılan Gürbüz Mühendisliğin (Robust Engineering) temelleri Genichi Taguchi tarafından uzun yıllar boyu süren araştırmalar sonucunda ortaya koyulmuştur. Gürbüz mühendislik 1950'lerden itibaren işletmelere küresel pazarda rekabet güçlerini koruyabilmeleri için maliyet bakımından etkin yöntemler ortaya koymaktadır[41].

Kalitenin amacı "kullanıma uygun" ürünün elde edilmesidir. Kullanıma uygunluk kavramı; ürünün tasarımına ilişkin bir özellik olduğundan, üretim süresince kontrol altında tutulması gerekmektedir. Kalite ve fiyat üzerinde kontrol kurmak isteyen bir işletmenin; üretim boyunca tasarıma uygunluktan sapmaları en aza indirebilen işletme olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, bir ürüne kullanıma uygunluk niteliğini kazandırmak için bu işe tasarım aşamasından başlamak gerekmektedir. Kalite teknolojisi ve bilimindeki gelişme sürecinin önemli kilometre taşlarından biri olan Taguchi Yaklaşımı, kalite tanımına değişik bir bakış açısı getirmiştir. Kalite mühendisliği (ya da Gürbüz Mühendislik) olarak da anılan bu metod, tasarım kalitesi ve kalite-maliyet konularını analiz eder. Taguchi Yöntemi'nin açıklanmasında üzerinde durulması gereken yedi konu bulunmaktadır. Bu konular şunlardır:

1- İmal edilmiş bir ürünün kalitesi o ürünün kullanımı sırasında toplumda neden olduğu zararla orantılıdır. Taguchi' ye göre bir ürünün fabrikadan tüketiciye şevkinden sonra ortaya çıkan toplumsal kayıp, bu ürünün talebini etkileyen önemli bir faktördür. Bu kayıp ne kadar küçük olursa talep o kadar artacaktır. Burada sözü edilen toplumsal kayıp; ürünün kullanım amacına, dolayısıyla tüketici gereksinmelerine uygunsuzluğu, kendisinden beklenen performans düzeyine ulaşmaması ve kullanımı sırasında ortaya çıkan zararlı yan etkilerden kaynaklanmaktadır. İşte zayıf performansın neden olduğu bu kayıplar söz konusu ürünün kalite düzeyini belirlemektedir.

Kalitenin toplumsal yönü kapsamlı bir konudur. Buna göre kalite kontrolünün esas hedefi, toplumsal kaybı en aza indirmektir. Kalite kontrol fonksiyonunun görevi ise toplumsal net kazançlar sağlayacak yeni teknikleri bulmak ve uygulamaktır. Etkili bir kalite kontrol programının toplumsal kapsamda sağlayacağı kazanç, programın maliyetinden daha fazla olacaktır ve burada sözü edilen kazançtan tüm toplum yararlanacaktır. Toplumsal kayıp kavramı bize kalite geliştirme programına yapılacak yatırımlar için yeni bir buluş geliştirme fırsatı vermektedir. Kalite geliştirme projelerine yapılan yatırımlar, tüketicilerin kazançlarında meydana gelen artışlar bu yatırımların maliyetinden yüksek olduğu sürece yararlı olarak kabul edilir. Bunu bir örnek üzerinde inceleyelim: Bir fabrikanın üretmiş olduğu ürünler tüketicisinin elinde iken birim ürün başına 1000 TL'lik bir kayba neden olsun. Tüketicinin bu 1000 TL'kk kayıptan kurtulması için üretici firmanın birim ürün başına yapması gereken yatırımın 200 TL olsun. Bu durumda toplam toplumsal kazanç 800 TL (1000 TL - 200 TL) dır. Birim ürün başına 200 TL'lik önleme yatırımının yapılmaması halinde bunun üreticiye maliyeti ise; tüketicinin güveninin azalması ve pazar payının düşmesi ile ortaya çıkabilecek olan milyarlarca liralık kayıp olacaktır. Kalite geliştirme yatırımlarının değerlendirilmesinde uzun dönemdeki etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

2- Rekabetçi bir ekonomide işletmelerin yaşamını sürdürebilmesi için kalite geliştirme ve maliyet azaltma çalışmalarının sürekli olması gerekmektedir. Çalışmaları sonucunda, gereken oranda kar elde edemeyen işletme varlığını sürdüremeyecektir. Tüketicilerin ürünlere ilişkin gerçek bilgiler elde etme ve ürünler arasında serbest seçim yapabilme olanağının bulunduğu piyasalarda, satış fiyatının oluşumunda rakip firmaların benzer ürünlerinin satış fiyatı ile piyasanın koşulları da etkili olmaktadır. Bu nedenle bir işletmenin karını belirleyen en önemli faktörler işletmenin pazar payı ile imalat sürecidir.

Bir işletmenin pazar payını artırabilmesinin en emin yolu pazara uygun fiyatlı, kaliteli ürünler sunabilmesidir. Bu nedenle işletmenin rekabetçi stratejileri, üretim maliyetlerini aşağı çekerken, ürün kalitesini de yükseltme ilkesine göre oluşturulmaktadır. Bu firmalar aynı zamanda ürünlerinin kalitesinin hiçbir zaman yeteri kadar iyi, üretim maliyetlerinin yeteri kadar düşük olmadığını düşünen

firmalardır. Çünkü günümüzde pazar koşullarının dinamizmi içinde tüketicilerin beklentileri sürekli olarak değişmektedir. Serbest rekabet ortamında işletmelerin, kalite geliştirme ve maliyet minimizasyonu çalışmalarının bu nedenle sürekli olması gerekir.

3- Sürekli bir kalite geliştirme programı, ürün performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının sürekli olarak azaltılması çalışmalarını içermelidir. Bir ürünün kalite karakteristikleri belirlenerek ölçülmediği sürece, kaliteyi iyileştirmek mümkün değildir. Sürekli bir kalite iyileştirme programı ise söz konusu kalite karakteristiklerinin, ideal değerlerine ilişkin bilgiye de bağlıdır. Kalite karakteristikleri değişkenlik gösterebilen büyüklüklerdir. Bu değişkenlik aynı üretim sürecinden aynı anda alınan benzer ürünler arasında olabileceği gibi bu süreçten farklı zamanda alınan ürünlerde zamana bağlı bir değişme şeklinde de ortaya çıkabilir.

Bir ürünün kalite iyileştirme sürecinde bütün kalite karakteristiklerine ilişkin ayrı ayrı iyileştirme çalışması yapılması pratik bir yaklaşım değildir. Yapılması gereken, ürünün birincil kalite karakteristiklerinin iyileştirilmesidir. Burada performans karakteristiğinden anlaşılması gereken, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli ve belirleyici olan özelliklerdir. Örneğin bir radyo alıcısı için sesin niteliği, bir TV alıcısı için görüntünün yoğunluğu performans karakteristiği için örnekler olarak verilebilir. Performans karakteristiğinin ideal değerine “hedef değer” adı verilmektedir. Performans karakteristiğinin bu hedef değerden sapmasına da “performans sapması” denilmektedir. Bu sapma küçüldükçe ürünün kalitesi artacaktır.

Ürün performans karakteristiği ölçümlerinin anlamlı ve kullanılabilir olması için bu ölçümlerin “sürekli ölçüle” yapılması gerekir. Ancak bu sayede kalitedeki küçük değişikliklerin tespit edilebilmesi olanaklıdır. Bir otomobilin sürekli ölçekte ölçülmesi gereken performans karakteristiklerine örnek olarak; egzoz gazındaki karbon monoksit oranı, belirli bir hız ve fren pedalına belirli bir basma basıncı için otomobilin frenleme mesafesi, hızın saatte 0 km’den 55 km’ye çıkması için geçen süre ve motorun çalışırken çıkardığı gürültü miktarını verebiliriz.

Bir ürünün sürekli performans karakteristiklerine ilişkin tüm hedef spesifikasyonlarının ve beraberinde toleranslarının ne olduğunun ifade edilmesi gerekir. Endüstriyel uygulamalarda tolerans değerleri ve sınırları için tanımlanan alan ile hedef değer tanımlanması uygulaması yaygındır. Bu uygulama bir yanlışlığa da neden olmaktadır. Bir ürünün kalitesi alt ve üst tolerans değerleri ile belirtilen spesifikasyon limitleri içerisinde aynıdır ve performans değeri bu limitlerin dışına çıktığında ürünün kalitesinde ani bir bozulma meydana gelmiş gözükmemektedir. Doğal olarak bu durumun doğruluğu kabul edilemez. Ancak hedef değer olarak ürünün performans karakteristiğinin en ideal hali yerine yukarıdaki gibi belirli spesifikasyon limitleri arasında kalan bir aralığın alınması, bu tür yanlışlıkların yapılmasına neden olmaktadır.

Buradan şu sonuca varılabilir: Aynı tasarıma göre üretilmiş olan iki üründe belirli bir performans karakteristiğine göre yapılan ölçüm değerlerinin spesifikasyon limitleri arasında ve birbirinden farklı olması; bu iki ürünün her bilinin neden olduğu toplumsal kaybın farklı olması demektir. Yani salt spesifikasyon limitleri arasında kalmak kalitenin zayıf bir ölçüsüdür.

4- Bir ürünün performansındaki sapmanın neden olduğu tüketici kaybı, söz konusu performans karakteristiğinin, hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır. Kayıp fonksiyonu kavramını somut hale dönüştürmek için, formülasyonunu incelememiz uygun olacaktır.

L : Maliyet Katsayısı

Y : Ölçülen kalite karakteristiğinin değeri

m : Hedef değer.

$L(Y)$ Ürünün kullanım ömrü içinde Y'nin m'den sapmasının neden olduğu kaybın parasal değeri (Kayıp Fonksiyonu) olarak alırsak, kayıp fonksiyonu;

$$L(Y) = (Y-m)^2 \quad (4.1)$$

şeklinde ikinci dereceden bir denklemlerle ifade edilebilir.

5- Bir ürünün kalitesi ve üretim maliyeti, ürünün ve bu ürünün üretildiği prosesin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir. Ürün geliştirme sürecinin, hepsi birbirini izleyen üç aşaması vardır. Bunlar; ürün tasarımı, süreç tasarımı ve imalattır. Bu aşamalar, birinin çıktısı, diğerinin girdisi olan birçok basamaktan oluşmaktadır. Bu nedenle maliyet ve nihai kalitenin belirlenmesinde bu basamakların ayrı ayrı etkisi vardır. Modern teknoloji ürünlerinin artan kompleksliği ürün ve süreç tasarımının önemini daha da artırmıştır. Ürün kullanımı sırasında ki çevresel etkiler, insan faktörü, bozulmalar ve imalat kusurları da ürünün işlevsel performansı üzerine etkili olabilmektedir. Performansı olumsuz etkileyen bu faktörler, daha güçlü bir tasarımı kaçınılmaz hale getirmişlerdir. Ürünün performansında çevresel koşullardaki değişimler nedeni ile meydana gelebilecek sapmalar karşısında gerekli önlemler, ancak ürün tasarımı sırasında, tasarımın özelliği olarak alınabilmektedir.

Bir ürünün imalat maliyeti ile imalat kusurları için imalat sürecinin tasarımı büyük ölçüde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle süreç kontrolleri imalat kusurlarını azaltacaktır, ancak süreç kontrolü pahalı bir işlemdir. Önemli olan, imalat kusurları ile imalat süreci üzerinde kontrol gereksinmesini birlikte azaltabilmektir. Bu da ancak maliyetleri aşağı çekecek bir süreç tasarımı geliştirmekle mümkündür.

6- Bir ürün ya da sürecin performansında meydana gelecek sapma, bu ürün ya da sürece ilişkin parametrelerin performans karakteristiği üzerindeki dolaylı etkilerin ortadan kaldırılması ile azaltılabilir

Toplam Kalite sürecini tasarım ve üretim etkinlikleri bakımından iki kısma ayırabiliriz. Bunlar; Off-Line (Çevrim Dışı) Kalite Kontrol Metotları ve On-Line (Çevrim İçi) Kalite Kontrol Metotlarıdır. Çevrim dışı kalite kontrol, ürün tasarım sürecindeki teknik destek çalışmalarını, çevrim içi kalite kontrol ise imalat sürecindeki kalite ve maliyet kontrolüne ilişkin teknik çalışmaları içermektedir. Kalite kontrolünün etkili olabilmesi için ürün kalitesinin izlenmesi ve değerlendirmesinden çok, Çevrim Dışı Kalite Kontrol Metotları olarak adlandırılan ürün ve süreç tasarımı çalışmalarına ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Ürün performansının hedef seviyede olabilmesi için tüm parametrelerin ideal değerde olması gerekmektedir. Ürün ve sürece ilişkin ideal değerlere uygunluğu sağlama çalışmaları sürekli kalite iyileştirmenin itici gücünü oluşturmaktadır.

Taguchi, ürün ve sürece ilişkin nominal değerlerle toleransların üç aşamada belirlenebileceğini ifade etmektedir. Bu aşamalar şunlardır:

- Sistem Tasarımı
- Parametre Tasarımı
- Tolerans Tasarımı

7- İstatistiksel deney tasarımı, ürün ve süreçteki sapmaları en aza indirecek olan parametrelerin belirlenmesinde kullanılabilir. Taguchi, ürün ve sürece ilişkin performans karakteristiklerini etkileyen değişkenleri iki grup altında toplamıştır.

- Kontrol Edilebilen Faktörler (Tasarım Parametreleri, Kontrol Faktörleri)
- Kontrol Edilemeyen Faktörler (Gürültü Faktörleri)

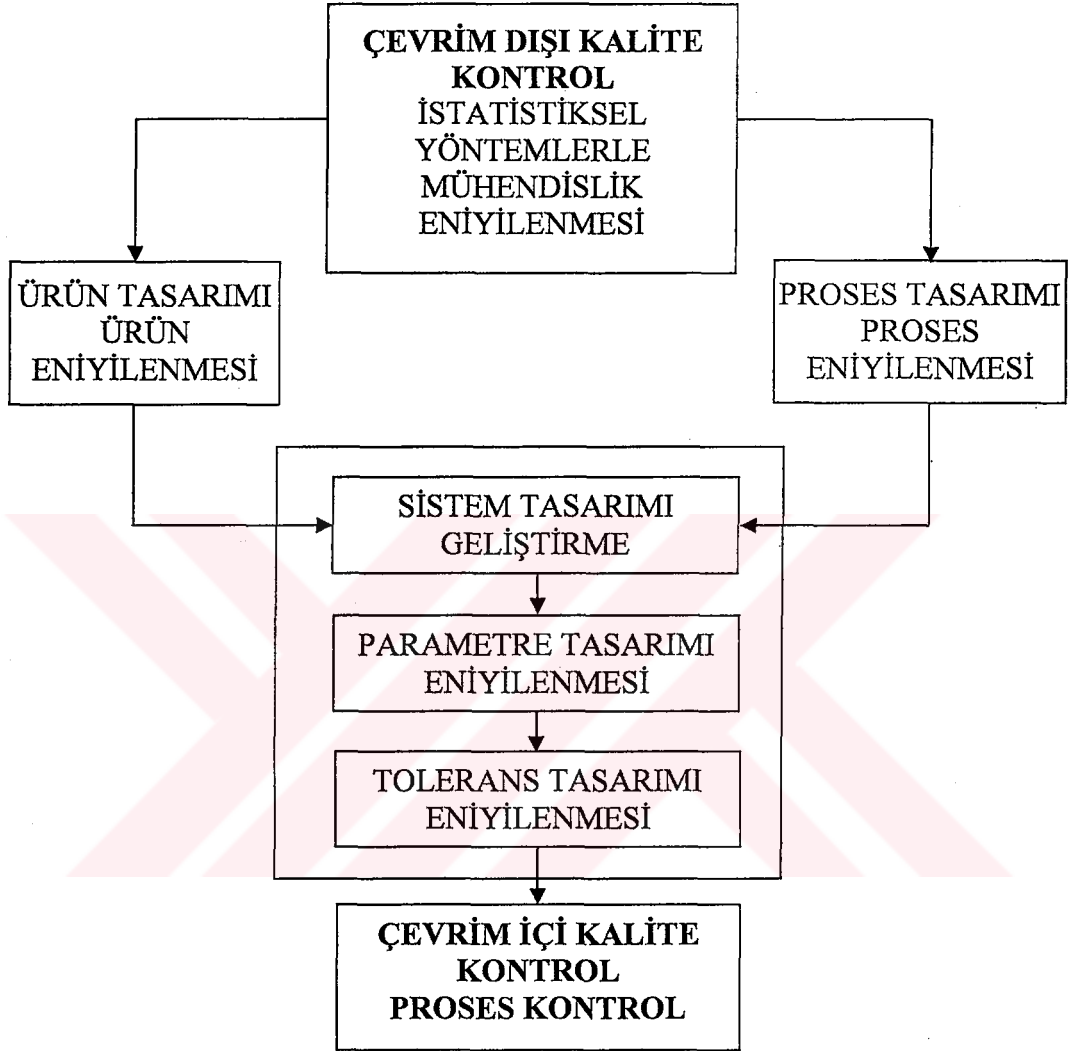
Deneysel tasarımın hedefi; kontrol edilemeyen faktörlerden (gürültü faktörleri), en az etkilenen kontrol edilen faktörler (tasarım parametreleri) kombinasyonunu oluşturmaktır.

4.4.1. Kalite mühendisliği

Taguchi yaklaşımı sadece hedef değerlere ulaşmak için yapılan deneylerle ilgili değildir. Gerçekte Taguchi yöntemi kalite ile geniş anlamda ilgili olduğu gibi kalite teknikleri ve araçları da ilgilidir. Taguchi'nin kalite felsefesi "Kalite Mühendisliği" olarak da anılmaktadır. Şekil 3.2' de Kalite Mühendisliği bileşenleri gösterilmektedir.

Kalite mühendisliği ürün araştırma geliştirme, proses tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetinin her fazında oluşturulmuş kalite kontrol faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu faaliyetler devamlı gelişmeleri, yani hızlandırılmış buluşları, hızlı problem

çözümlerini, mali verimliliği ve kalite kazançlarının devamını sağlayacak tüm amaçları destekleyici olması nedeniyle iki kategoride incelenir.



Şekil 4.2. Kalite Mühendisliği ve Bileşenleri

4.4.2. Çevrim içi kalite kontrol

Çevrim içi kalite kontrol faaliyetleri ürünün üretim sürecini içerir. Bu faaliyetler üretimi görüntülemekte, kalitenin nereye gittiğini ölçmekte, potansiyel problemlerin belirtilerini tespit etmekte ve doğrultucu hareket içermektedirler.

Üretim çevrimi boyunca, mamul kalitesini kontrol etmenin birçok yöntemi vardır. Üretim boyunca mamullerin kontrol edilmesi, yapılan işlerin belirlenmesi, üretim prosesinin ayarlanması ve geliştirilmesi ile otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması, bu yöntemlerden sadece birkaçıdır. Aynı zamanda bu metotlar çevrimiçi kalite kontrolün bir kısmını teşkil eder.

Mamul üretimi boyunca, değişkenliğe sebep olan. ürün kalitesini etkileyen bu kaynakları genel olarak şu şekilde tanımlayabiliriz.

- Malzemeden (ham ve yardımcı malzeme) ve satın alınan ekipmandan kaynaklanan değişkenlikler,
- İş akışından, kullanılan aletlerden, makine arızalarından vb. kaynaklananlar,
- Yöneticilerden kaynaklananlar,
- İşçilikten kaynaklanan değişkenlikler.

Çevrim içi kalite kontrolde, tüm bu değişkenlikleri azaltmak ve üretim karakteristiklerini amaç değerinde veya yakın bir aralıkta tutmak için üç ayrı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

1- Prosesin Belirlenmesi ve Ayarlanması: Bu aynı zamanda proses kontrolü olarak da bilinmektedir. Proses için düzenli bir aralık belirlenir, aralık normal ise üretim normal seyrinde devam edecektir,

2- Tahmin ve Düzeltme: Bu yöntem de sayısal karakteristiklerin düzenli aralıklarla ölçü kontrolünden geçirilmesi ve karakteristiklerinin ortalama değerlerinin tahmin edilmesi ile üretim prosesi ayarlanmadan, üretimin sürekliliği sağlanmış olur. Eğer tahmin edilen değer, amaç değerinden farklı ise, düzeltme faktörleri yardımı ile değişkenlik azaltılmaya çalışılır. Bu metod geri beslemeli kontrol yöntemi olarak isimlendirilir. Bu durum çoğunlukla sistem tasarımı ile ilgilidir.

3- Ölçme ve Faaliyet: Bu yöntem aynı zamanda muayene olarak isimlendirilir. Üretilen her bir mamulün ölçüsü spesifikasyonların dışında ise yeniden üretilir veya düzeltilir. Bu metod sadece mamulle ilgili 1. ve 2. metotlar ise prosesle ilgilidir. Bu

metodda, muayeneden geçen mamul grupları ile muayeneden geçemeyen mamul grupları tespit edildiği gibi, üretim ile ilgili doğru faaliyetlerde belirlenir.

4.4.3. Çevrim dışı kalite kontrol

Çevrim dışı kalite kontrol müşteri istek ve ihtiyaçlarının doğru olarak tanımlanmasıyla başlayan ve bu ihtiyaç ve isteklere göre ürün tasarımının yapılması, bu tasarımın ekonomik olarak üretimi ve bu üretime uygun açık yazılmış spesifikasyon, standart ve prosedürlerin hazırlanmasına kadar uzanan geniş bir çalışma alanını kapsar. Çevrim dışı kalite kontrol müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayan, imal edilebilir yeni ürün geliştirerek veya varolan ürünü modifiye ederek, ürün tasarımı safhasını gerçekleştirir. Proses ve ürün tasarımı aşamasında gerçekleştirilen spesifikasyonlara uygun imalat prosesi geliştirmek, amaç edinilmiştir.

Taguchi çevrim dışı kalite kontrol de ürün ve proses tasarımı aşamalarından her biri için üç adım geliştirmiştir. Bu üç adımın Sistem Tasarımı, Parametre Tasarımı ve Tolerans Tasarımı'dır.

Taguchi kalite anlayışı çerçevesinde tanımladığı kalite mühendisliği kapsamında hedef değere yaklaşmak için önce kalite karakteristiklerinin belirlenmesi gereklidir. Performans karakteristiklerinin hedef değere ulaşması, etkili olan faktörlerin tasarımının en uygun şekilde yapılması ile orantılıdır.

4.4.3.1. Sistem tasarımı

Sistem Tasarımı, Taguchi Metodunun üç adımından ilkinin oluşturulmasıdır. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının, yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Kalite tasarımının ürüne ve sürece yönelik olmak üzere iki yönü vardır. Bir karakteristiğin istenen seviyede müşteri tatmini sağlaması için ürünün ve prosesin güçlü bir tasarımdan geçmesi gerekir. Taguchi Metoduna göre bu tasarımı sağlayıcı çalışmaların ilkinin sistem tasarımı oluşturur.

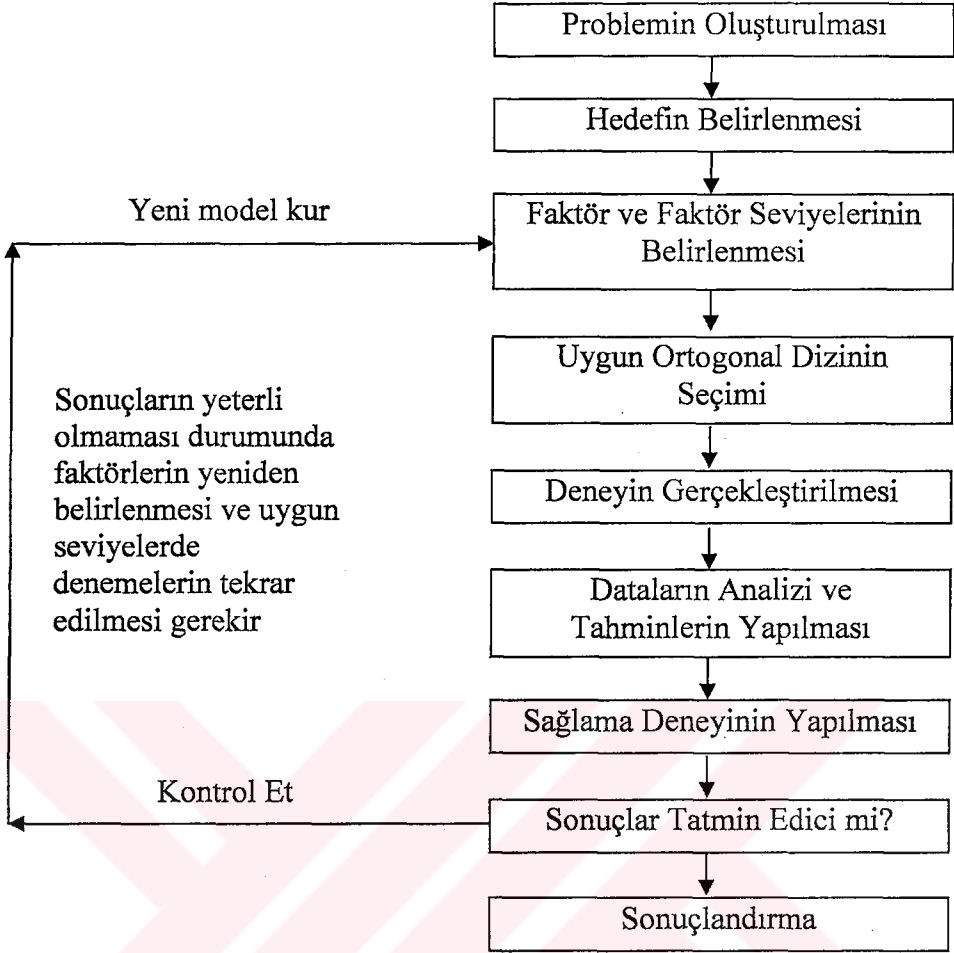
Bir ürünün tasarımında yapılacak sistem tasarımı faaliyetleri temel prototip tasarımının geliştirilmesinden ibarettir. Geliştirme işlemleri tam sağlayacak olan hedef değerden minimum sapma ile yapılmalıdır. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir. Ayrıca bu konuda malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların spesifikasyonlarının iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir. Örneğin daha hassas bir tezgah gerekiyorsa bununla ilgili değerlendirmeler ve kararın verilmesi bu aşamada gerçekleştirilir.

Herhangi bir ürün için sistem tasarımı, süreç için de gerçekleştirilir. Süreç ürünü etkileyebilecek faktörlere karşı minimum duyarlı hale getirilir. Burada amaç ürünü en ideal kalitede ve mümkün olduğunca minimum maliyetle belirlenen tolerans limitleri içerisinde, üretilebilecek bir üretim sistemini tasarlamaktır.

Sistem tasarımı yeni ürün ve proses gelişiminin evrensel safhasıdır. Kavramlar önceki deneyimleri, bilimsel temelleri, mühendislik bilgileri yeni gelişmeleri ve bunların her üçünün uygun kombinasyonlarını temel almaktadır. Sistem tasarımı arkasındaki strateji; yeni fikirler almak ve çalışır hale getirmektir.

4.4.3.2. Parametre tasarımı

Parametre tasarımı proses ve ürünün iyileştirilmesi çalışmalarının ikinci adımındır. Taguchi Metodunda en fazla uygulama parametre tasarımı aşamasında görülür. Belirlenen bir kalite karakteristiğinin beklenen tatmini sağlayabilmesi için yapılan çalışmalar, genellikle büyük maliyetler almaktadır. Halbuki parametre tasarımı aşamasında yapılan geliştirme çalışmaları, minimum maliyetlerle hedefi yakalamayı başarmaktadır. Taguchi, parametre tasarımı istatistiksel deney tasarımı metodlarına göre gerçekleştirmiş ve elde edilen verileri de Varyans Analizi ile incelemiştir. Bu bakımdan metod bütün tartışmalara rağmen, istatistiksel bir metoddur. Taguchi'nin parametre tasarımı metodu aşağıdaki akış diyagramıyla açıklanmıştır.



Şekil 4.3. Parametre Tasarımı Akış Diyagramı[40].

Parametre tasarımının aşamalarını da maddelerle izah edelim.

1- Problemin Oluşturulması

Kalite geliştirme sürecinde kısa zamanla uygulaması sınırlandırılan iyileştirmeler sonuç vermez. Rekabet şartlarıyla savaşta, kalitenin sürekliliğin sağlanması kaçınılmazdır. Gerek hizmet ve gerekse imalat sektöründe problemin yokluğunu kabul etmek, gelişmelere kapılan kapatmak demektir, işletmenin güçlü olabilmesi için; daima birtakım problemlerin olabileceğini kabul etmesi, mevcut problemlere çözümler üretmesi ve her problemin elimine edilmesinden sonra yenileşme oluşturup kalite sürecindeki zorlu yola devam etmesi gerekmektedir.

Bir probleme çözüm getirmek, potansiyel olarak düşünmenin ötesinde, somut olarak problemin ele alınmasıyla mümkündür. Bir problemin çözümünün gerçekleştirilebilmesi için, öncelikle o problemin neleri kastettiğine bakmak gerekir. Problem ismini kazanmışsa; çözümlenmeye aday demektir. Sonraki aşama olan hedef tespitine geçilmelidir.

2- Hedefin Belirlenmesi

Potansiyel bir problemin çözüm bekler hale getirilmesi; etrafı çizilmiş, soyutluktan kurtarılmış ve hedefi belirlenmiş olması demektir. Hedef belirleme çalışmalarına daha önce belirlenmiş ölçülerle başlanır, eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha hassaslaştırılır. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar; itibar kaybı, maliyetlerin yükselmesi, müşteri tatminsizliği vs. olabilir. Bunlar arasından maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek gayet zordur, etkileri uzun dönemde ortaya çıkar. Taguchi'nin üzerinde özellikle durduğu kayıplar da esasen uzun dönemde etkilerini göstermesi beklenen ölçülemeyen kayıplardır. Zorlu rekabet şartlarında itibarda ve dolayısıyla müşteride meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde önemli maliyet kayıpları haline dönüşür. Dolayısıyla hedefin bu tür kayıpları önleyebilecek hassasiyette olmasına ve de müşteri tatminini azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekmektedir.

3- Faktör ve Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi

Hedefi belirlenmiş bir problemin çözümünün ilk aşamasıdır. Önce meydana gelen hedeften sapmaların kaynakları araştırılır. Bu kaynaklara faktörler adını veriyoruz. Faktörler sonuç değişkenleri üzerinde belli etkilere sahip olan herhangi bir etken olabilir. Bu bakımdan prosesin dikkatlice incelenmesi gerekir.

Faktörler genellikle iki türdür. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen faktörler olarak anılır. Kontrol edilebilen faktörlere Kontrol Faktörleri, diğerlerine de Gürültü Faktörleri veya Bozucu Faktörler denilmektedir. Faktör

seçiminde kontrol ve gürültü faktörleri birbirlerinden ayrılırlar. Faktör belirleme işlemleri kalite araçlarından yararlanılarak yapılır.

Faktörlerin yanında birde faktörler arasında olması beklenen karşılıklı etkileşimler de belirlenir. Örneğin sıcaklığın bir faktör ve nemin bir faktör olduğu durumlarda, sıcaklık ve nemin etkileşimi de ayrı bir faktör olarak ele alınmalıdır. Bu aşamadan sonra belirlenen faktör ve etkileşimlerin seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Seviyelerin belirlenmesinde bir faktörün söz konusu karakteristik üzerine kaç türlü etkiye yapabileceğine bakılacaktır. Bir faktörün deneye dahil edilebilmesi için en az iki faktörlü olması gerekir. Birden fazla kademesi olmayan faktörün alternatif seviyesi yok demektir ve serbestlik derecesi de 0'dır. Alternatif sunamayan bir faktör ancak gürültü faktörü olarak tanımlanır. Bununla beraber faktör kademelerinin fazla yüksek olmamasına özen gösterilir. Taguchi kademeleri çok önemli bir zorunluluk olmadıkça 2 veya en fazla 3 seviyeli olarak belirlemeyi önermektedir. Fazla seviyeli faktörler mevcutsa özel birtakım işlemlerle 2'li veya 3'lü faktörler haline getirilirler. Bu işlemleri yapmanın sebebi kolaylıkla sonuca gitmek ve imkanları geniş olan 2 kademeli deneysel tasarım tekniğinden en verimli şekilde yararlanabilmektir. Seviyeler belirlendikten sonra, deneyde faktör şartlarını belirleyen Ortogonal Diziyi belirlemeye geçilir.

4- Ortogonal Diziler (Orthogonal Arrays)

Bu aşamada hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağı belirlenir. Ortogonal diziler deneysel tasarımın bir parçası olmakla beraber, biraz farklı bir yapıya sahiptirler. Normal iki kademeli bir deneysel tasarım kurulacaksa Tam (Full) faktöriyel tasarımın gereği 2^k adet denemenin gerçekleştirilmesi beklenir. Fakat Taguchi uzun çalışmalar sonucu standart deneme planları geliştirmiş ve bu planların vereceği sonuçla, 2^k denemenin sonuçları arasında bir fark olmayacağını iddia etmiştir. Bu iddiasında haklı olduğunu pratikte göstermiştir. Söz konusu standart deneme planlarının esası, eşzamanlı olarak birkaç faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında oldukça fazla bir azalma meydana getirilmesidir. Örneğin yedi faktörün tesbit edildiği bir deney için $2^7 = 128$ adet denemeyi gerçekleştirmek gerekir. Taguchi ise bu deney için 8 denemeyi yeterli görmektedir.

5- Deneyin Yapılması (Verilerin Toplanması)

Deney, ortogonal dizinin ön gördüğü denemelerden oluşur. Bu denemelerin her biri, faktörlerin değişik şartlarına göre ayarlanmıştır. Hangi şartın karakteristik üzerinde nasıl bir etki yaptığı Ortogonal dizi sayesinde belirlenir. Her deneme sonucunda elimize, bir takım veriler geçmiş olur. Bu verilerin niteliği ve niceliği hakkında deneyi yapmadan önce, bir takım kararlar verilir. Bunların önemli olanlarını şöyle sıralamak mümkündür:

- 1- Etkin bir ölçüm sistemi
- 2- Denemelerde yapılması gereken tekrar sayıları.
- 3- Denemelerin bir rastgele sıralanması

Ölçüm sistemi, verilerin toplanması için çok önemlidir. Zira faktör etkilerinin ölçümü için mecburen bir ölçü sistemi gerekmektedir. Bir deney yapılmadan önce elde edilmesi beklenen numunelerin ölçülüp veri haline getirilmesi için, ölçümün sistematik ve mümkün olduğunca kolay olması beklenir. Ayrıca deneylerden iyi sonuç alınabilmesi için, ölçüm aletlerinin hassas olması sağlanmalıdır. Zira ifade ettiğimiz gibi ölçüm sisteminin mümkün olduğunca basit, kolay ve kısa zamanda sonuç vermesi istenir.

Deney boyunca faktör şartları değiştirildikçe, ya da denemeler gerçekleştirilirken hatanın minimize edilmesi için, denemelerin tekrar edilmesi gerekir. Tek deneme söz konusu olursa, hata payının yüksek olması mümkün olduğu gibi, bilinmeyen faktörlerin etkilerinin de ölçülmesine fırsat verilmemiş olur. Ancak deneme maliyeti yüksekse o zaman tek değer veya mümkünse iki değerle yetinmek gerekeceği için, denemeleri titizlikle yapmak önem kazanır. Normal şartlarda tekrar sayısı 5 ve 10 arasında değişirse deneyin tatmin ediciliği yüksek olur.

Denemelerin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de bir rastgelelikle belirlenmesi gerekmektedir. Bir deneyi dizinin öngördüğü numara sırasına göre yapmak bazı bilinmeyen faktörlerin denemeyi etkilemesine sebep olabilir. Bu tür bilinmesi çok zor veya imkansız olan ya da henüz bilinmeyen faktör etkilerine fırsat

vermemek için rastgele bir sıra oluşturmak faydalı olmaktadır. Ancak, bazı faktörlerin kademelerini sık sık değiştirmek, ortaya aşırı maliyet çıkarabilir. Bu durumda faktör şartlarının durumuna uygun bir sıralama yapılabilir.

Rassallaştırma için rastgele sayılar tablosu veya sayıların yazılıp atıldığı bir yığından çekme metodu kullanılabilir. Rastgele sıra sağlandıktan sonra sıra denemelerin yapılmasına gelir.

Deneyin yapılması, faktör şartlarının sağlanması ile başlar. Faktörler her denemeye tek bir kademelerindeki değerleri ile katılırlar. Her deneme faktörlerin değişik kombinasyonlarının denenmesidir. Örneğin 7 faktörlü deneyde 6.deneme, faktörlerin $A_2, B_1, C_2, D_2, E_1, F_2, G_1$ kombinasyonundan oluşmaktadır. Bir deneyde etkileşim varsa daha önce belirtildiği üzere bir faktör gibi işleme sokulur. Ancak etkileşimin kademeleri, ana faktörlerin kademeleri değiştirildikçe değişir. Bizzat müdahale ile değiştirmek, ana faktörlerden bağımsız olarak mümkün değildir. Deney esnasında sadece ana faktörlerin kademelerine müdahale etmek mümkün olmaktadır.

6- Verilerin Analizi ve Yorumlanması

Elde ettiğimiz gözlem değerleri, belirlediğimiz hedefe ulaşabilmemiz için tercih edeceğimiz faktör kombinasyonunu tesbit etmemizi sağlayacaktır. Bunun için faktörlerin hangilerinin etkin olduğunu tesbit etmemiz gerekecektir. Faktörlerin etkinlikleri de sahip olduğumuz verilerin çeşitli metodlarla analiz edilmesi ile tesbit edilebilir. Analizin yapıldığı metodları şöyle sıralayabiliriz.

- Varyans Analizi
- Sütun Farkları Metodu
- Gözleme Metodu
- Ranking Metodu
- Grafik Metodu

7- Doğrulama Deneyinin Yapılması ve Sonuçlandırma

Tahmini değerler güven aralıklarıyla belirlendikten sonra işlemlerin sağlaması olarak optimal şartlarda bir deney gerçekleştirilir. Deneyden elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapmaları, hata oranları bulunur. Gözlenen değerler daha önceki çalışmalar neticesinde elde edilen tahmini değerlere yakınsa (sağlama deneyi için öngörülen güven aralığının içinde ise) deney gerçeğe yaklaşmış demektir. Bu durumda bulunan değerleri bu çalışmanın en iyi değerleri olarak kabul eder ve deneyi sonlandırırız. Gözlenen değerler, öngörülen değerlerden uzaksa o zaman modelde bir başarısızlık, bir hata söz konusudur. Geri besleme tekniği ile önceki adımlara dönerek, modelin kuruluşundan itibaren tekrar ele alınır ve yeni modelin kuruluş aşamalarına başlanır. Yapılacak alışmalar, öncelikle hatanın tesbitine yönelik olmalıdır. Başarısızlığın nedenleri: hedef fonksiyonun yanlış seçimi, yanlış faktörlerin seçimi, karakteristiğin yapısına uygun olmayan S/G oranının seçilmiş olması, ortogonal dizinin seçiminde hata yapılmış olması vb aşamalardan biri veya birkaçıdır.

Sonuç safhasına kadar gelindiğinde, yapılan çalışma başarılı olmuş demektir. Çalışma neticesinde elde edilen değerlere göre değişiklikler yapılması ve bu çalışma verilerinin üretime katılması gerekmektedir. Bu çalışmada istenilen seviyeye ulaşılamadıysa, tolerans tasarımıdan yararlanılır. Tolerans aralığı daraltılarak, kaliteyi geliştirme çalışmalarına başlanır.

4.4.3.3 Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı amacı parametre tasarımı belirlenen nominal değerler civarında değişkenlerin, kabul edilebilir aralıklarda belirlenmesidir. Bu aşamaya her problemin çözümünden sonra başvurulabileceği gibi, parametre tasarımı güçlendirmek için de kullanılması öngörülmektedir. Toleransın kullanımı, yararın yanısıra zarar boyutunu da çalışma koşullarına yansıtılabilmektedir. Hatta Taguchi toleransların etken kullanımı konusunda “şayet toleranslarla çalışırsanız, montajınızda sapmalar birikip ciddi bir başarısızlık ortaya çıkabileceği halde, onu toleranslar içinde diye kabul etmiş olacaksınız.” demekte ve konunun önemi vurgulamaktadır. Tolerans kavramım iki boyutta inceleyelim.

1- Parametrelerin analizinde elde edilen optimal değerlerin iyileştirilmesi, ekonomik kayıpların azaltılması ve maliyetlerin dengelenmesi tolerans tasarımı çalışması ile gerçekleştirilebilir.

2- Hedef değerden sapmaları azaltsak da sonucu tek bir noktaya bağlamak oldukça zor bir ihtimaldir. Bu nedenle ekonomik dengeyi sağlamak maksadıyla tolerans tasarımı safhasını gerçekleştirmek gerekmektedir.

İncelenen maddelerden ilki Taguchi felsefesine uymaktadır ve çalışmalarımızda da tercih ettiğimiz düşünce bu doğrultudadır. Bu nedenle dar toleranslar seçilmesi öngörülmektedir. Zira sapmalar arasındaki fark büyüdükçe ürün spesifik değerden sapar, bu da işletmenin kayba uğramasına neden olur. Uzun dönemde müşteri boyutundaki kayıplar genellikle geniş toleranslarla çalışma sonucunda doğar.

Tolerans tasarımı kalite geliştirme sürecinin bir adımı olmasının yanı sıra kalite değerlendirme faaliyetidir. Bazı yayınlar kalite çalışmalarını çerçevesini iki parça halinde sunarlar. Bunlar:

- 1- Kaliteyi nasıl geliştirelim ?
- 2- Kaliteyi nasıl değerleyelim ?

Sorulardan ilki sistem ve parametre tasarımı ile ikincisi ise tolerans tasarımı ile yanıtlanabilmektedir. Bu çalışmada kalite geliştirmek üzere parametre tasarımı üzerine yoğunlaşıldığından tolerans tasarımı konusunun ayrıntılarına girilmemektedir.

4.4. Ortogonal Diziler

Ortogonal dizi kavramı, İngiltere’de Sir Ronald Fisher tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu konudaki ilk çalışmalar deneylerdeki hataları kontrol etmek için kullanılmıştır. Taguchi, ortogonal dizilerle sadece ortalama sonuçlar üzerine faktörlerin etkisini ölçmekle kalmamış, aynı zamanda ortalama sonuçlardan değişimi de incelemiştir.

Ortogonallik, denge olarak tanımlanırsa; deneysel matriste ortogonal matrisin anlamı istatistiki olarak bağımsızlıktır. Aşağıdaki şekilde klasik tasarım ve Taguchi tasarımı aralarındaki fark daha iyi görülmektedir.

Tablo 4.3' te 2 deneme planı görülmektedir. Buna göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi göstermektedir. İlk faktör sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu yolla bütün faktörler teker teker denenmektedir. Sonuçta 128 deneme gerçekleşmiş olmaktadır. Halbuki Taguchi tasarımına göre ilk denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden dördü değiştirilmektedir. Daha sonraki denemeler için de 4'ü 2. seviyede, 3'ü 1 seviyede olmak üzere her seferinde değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme yeterli bilgi vermektedir.

Tablo 4.3. Teklif Edilen Deney Tasarımları

Deneme No	Faktör No							Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	1	1	1	1	1	2	4	1	2	2	2	2	1	1
5	1	1	1	1	1	2	1	5	2	1	2	1	2	1	2
6	1	1	1	1	1	2	2	6	2	1	2	2	1	2	1
.	.	.	.	.	.	.	.	7	2	2	1	1	2	2	1
128	2	2	2	2	2	2	2	8	2	2	1	2	1	1	2

a) 2^k tasarımı

b) Taguchi Tasarımı

Bu dizilere, ortogonal dizi denmesinin sebebi, her faktörde eşit miktarda farklı kademelerin bulunmasıdır. Bunun testini yapmak istediğimizde 1'lere (-1), 2'lere de (1) değerlerini vererek her faktöre ait sütunu toplarsak sonucun 0 olduğunu görürüz. Bu da eşit miktarda farklı kademelerin bulunduğuna eşittir. Örnek olarak L8 dizideki 6. Faktörü ele alalım. Toplam = (-1) + (1) + (1) + (-1) + (-1) + (1) + (1) + (-1) = 0

Bu işlem herhangi bir ortogonal dizinin herhangi bir sütunu için de aynı sonucu verecektir. Ortogonal diziler 2 kademeli, 3 kademeli ve, 2 ve 3 kademeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel

tasarım metodunun temel taşlarını oluşturmaktadır. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{12} , ve L_{32} iken 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} , L_{27} dizileridir. Her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı dizilerden bazıları L_{18} , L_{36} ve L_{54} dizileridir. Burada ortogonal dizi latin kareden türetildiği için L latin kareyi, bitişiğindeki rakamsa dizinin öngördüğü deneme sayısını gösterir.

Genel gösterimi $L_A(B^C)$ şeklinde olup; A deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonunu, B her kolondaki seviyelerin sayısını, C ise ortogonal dizideki kolonların sayısını göstermektedir.

Dizilerin seçimi kademe sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Kademe sayısı dizileri sınıflandırmada belirleyicidir. Bu bakımdan 2 kademeli bir faktör grubuna 3 kademeli bir diziyi önermek yanlış olur. Bir sonraki aşama serbestlik derecesinin bulunmasıdır.

İki seviyeden beş seviyeye kadar değişen seviyelerde ortogonal diziler bulunmaktadır. Yapılan tasarımın parametrelerine ve amaca göre, genellikle iki veya üç seviyeli diziler kullanılabilir. Zaman zaman iki ve üç seviyenin birlikte kullanıldığı diziler de tercih edilmektedir.

4.4.5. Serbestlik derecesi

Bir dizinin serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir.

v_A : A faktörünün serbestlik derecesi

v_{AxB} : A ile B interaksyonu(etkileşimi) serbestlik derecesi

k_A : A faktörünün kademe sayısı

$$v_A = k_A - 1 \quad v_{AxB} = v_A \times v_B \quad (4.2)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam veri sayısından bir çıkarmakla bulunur.

v_T : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N : Dizinin toplam veri sayısı

$$v_T = N - 1 \quad (4.3)$$

Serbestlik derecesi belli faktörler grubunun ortogonal dizi seçimi kolaylıkla yapılabilir. Serbestlik derecesinin uygun düştüğü, deneme sayısına sahip olan dizi seçilir. Serbestlik derecesi maksimum; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Eşit olursa bir üst düzeyin seçilmesi gerekmektedir. Bu sayı iki dizi sayısı arasındaki bir sayıya denk geliyorsa bir üstteki dizi tercih edilmelidir. Seçilen dizinin sütunlarına faktörler atanır.

4.4.6. Analiz yöntemi

Bu bölümde daha kolay, anlaşılır olması ve etkin sonuçlar vermesi nedeniyle sütun farkları yöntemine değinilecektir.

4.4.6.1. Sütun farkları metodu

Basitleştirilmiş varyans analizidir. Bu yöntemde seçilen ortogonal diziye ait cevap değişkenleri tablosu öncelikle oluşturulur. Tablodaki sütun sayıları faktörlerin kademelerinin sayıları ile belirlenir.

Örneğin L_8 kullanılacaksa $7 \times 2 = 14$ tane sütun açmak gerekmektedir. Tablo çizildikten sonra her bir faktöre ait sütunlara numara verilir.(2'li ise 1,2; 3'lü ise 1,2,3) Sonra her sütunun, hangi denemede açık, hangi denemede kapalı olacağını ifade etmek için. kapalı olması gereken yerler taranır. Böylece tablo oluşmuş olur. Bir denemeye ait değer satır boyunca tüm açık kutucuklara yazılır. Yazım bittikten sonra kolonlar teker teker toplanarak toplam bölümüne, ortalamaları alınarak da ortalama bölümüne kaydedilir. Bu işlemden sonra, her bir faktöre ait kolonların farkları alınır. Farklar büyüklük sırasına göre dizilir. Varyans analizindeki gibi burada da en büyük fark değeri, etkin olan faktörü gösterir. Bu değerler daha sonra bir grafik üzerinde gösterilir[38].

Sonuç değişkenleri tablosunda elde edilen değerlerin grafik üzerinde gösterimi ise aşağıdaki algoritmaya göre yapılır.

- 1- Tablo sonucunda en büyük ve en küçük değerleri belirle,
- 2- Bütün bu ortalamaları içerecek biçimde bir dikey skala iz,
- 3- Bu dikey skalanın tüm değerler ortalamasına denk olan noktasından yatay bir eksen iz,
- 4- Her bir faktör için yüksek ve düşük seviye değerlerinin noktasını grafikte işaretle (seviye numaraları noktanın yukarıda veya aşağıda olmasını etkilemez, byklği önemlidir)
- 5- Her bir faktöre ait noktaları doğru bir çizgi ile birleştir.

Grafik tekniğinde etkin faktörlerin seviyeleri arasındaki çizgi büyük olur. Eğer problem maksimum hedefli ise büyük değeri veren seviye, eğer minimum ise küçük değeri veren seviye tercih edilmelidir.

Bu tekniğin sonucunda birde Normal Dağılım grafik kağıdı kullanılarak etkinlik belirlenir.

- 1- Tahmini faktör etkilerini küçükten büyüğe doğru sırala,
- 2- (E_i, P_i) noktalarını normal dağılım kağıdında işaretle

m : Tahmini etken sayısı

E_i : i . tahmini faktör değerinin en küçük değeri

$$P_i = \frac{100(1-0.5)}{m} \quad (4.4)$$

E_i değeri yatayda , P_i değeri ise dikey ekseninde yer alır. 2 seviyeli deneylerde skala 7 veya 15 üzerinde alınabilir. Skala daima kağıdın yanında yer alır.

- 3- Doğru bir çizgiyi noktaların yoğunluk kazandığı bölgeden geçirin. Çok büyük E_i 'lerle çok küçük E_i 'leri ihmal ediniz. Diğer noktalar gerçek etkiye sahiptirler.

4.4.7. Kalite karakteristikleri

Müşteri istek ve ihtiyaçları temel alındığında; kalite kavramı ile maliyet kavramını birarada almak gerekmektedir. Bu amaçla her ürün için tasarımdan imalata kadar belirlenmiş en iyi kalite karakteristiklerine ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Kalite karakteristikleri, deneylerde sonuç değişken veya performans karakteristiği olarak isimlendirilirler. İstenilen sonucun seviyesine göre S/G oranının ve kayıp fonksiyonunun hesaplanmasında söz sahibidirler.

Her ürün için belirli kalite karakteristikleri mevcuttur. Tüm kalite karakteristikleri eşit olarak önem taşımadıklarından, kalite karakteristiklerinin tümünü geliştirmek gerekli değildir. Ürün kalite karakteristikleri içinden seçilen performans karakteristikleri müşteri ihtiyaçlarını yeteri derecede karşıladıklarından birincil derecede önemlidirler. Televizyondaki görüntünün niteliği, performans karakteristiklerine örnektir. Gerek tasarım ve imalat aşamalarında değişik işlemler esnasında ve kullanım ömrü süresince ürünün performans karakteristiklerinin ideali olan hedef değere yakın performans göstermesi istenmektedir. Hedef değer civarındaki değişim azaldıkça kalite yükselmektedir.

Üretilmiş ürünün kalitesi ve maliyeti, ürünün mühendislik tasarımı ve imalat prosesi tarafından kontrol edilir. Ürün geliştirmenin ürün tasarımı, proses tasarımı ve imalat aşamalarından oluştuğu kabul edilmektedir. Bir adımın çıktısının, diğer adımın girdisi olacağı düşünülürse, tüm adımlar ve aşamalar arasındaki geçişler ürün kalite ve maliyetini etkilerler. Bu amaçla ürün tasarımı yapılmadan önce üründen beklenen kalite karakteristikleri belirlenmeli ve malzeme seçimi iyi yapılmalıdır.

4.4.7.1. Ölçüm yeteneklerine göre kalite karakteristikleri

1- Ölçülebilir Karakteristikler: Sürekli skalada ölçülebilir karakteristiklerdir. Boyut, ağırlık örnek olarak verilebilir. Ölçülebilir kalite karakteristikleri çerçevesinde bu sınıflandırma nominal en iyi, küçük değer iyidir ve büyük değer iyidir karakteristiklerine ayrılır.

- a- Büyük Olan İyidir
- b- Küçük Olan İyidir
- c- Nominal En İyisidir

2- Sembolik Karakteristikler: Sürekli skalada ölçülemezler. Sembol verilerinin en önemlileri Git/Gitme veya Geçer/Geçmez olanıdır. Döküm ürünlerinin sevkiyattan önce incelenmesi sonucunda sevk edilmesi (Git) ve hurdaya ayrılan veya tamire gönderilmesi (Gitme) örnek olarak alınabilir. Hurda oranı ve kazanç kalite ölçümünde yaygın olarak kullanılır. Sembolik karakteristikler diğerlerinden daha fazla tercih edilirler. Çünkü bu tür veriler daha basit ve anlaşılırdır.

Sembolik karakteristiklerin en önemli dezavantajı, ölçülebilir karakteristiklerden alınan aynı düzeydeki bilginin elde edilebilmesi için daha büyük bir örnek kitlesine gerek olmasıdır. Sembolik karakteristiklerin sonuca katkısı da problem yaratabilir. Her bir faktörün etkisi 1 ise iki faktörün birlikte etkisi yine 1 olabilir. Diğer bir dezavantaj ise sembolik veri temelinde deney faktörlerinin her bir deneysel çalışma için aynı sonuçları üretmesidir. Bu yanlış bir yaklaşım olup her bir deneysel çalışmanın farklı sonuçlar vermesi gerekmektedir. 3-Dinamik Karakteristikler: Dinamik karakteristikler biraz daha karmaşık yapıya sahiptirler. Bu araç anlaşılabilir bir konu üzerinde proses bilgisini kolaylaştırmak için güçlü ve etkilidir. Dinamik karakteristikler çalışılan prosesin fonksiyonel gösterimidir. Bu anlayışta proses sistem olarak düşünülüp, girdi ve çıktının sistemin enerji transferi olduğu varsayılmalıdır.

Dinamik karakteristikler prosesin bileşenleri arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur. Giriş ve çıkış değerlerinin belirlenmesi özellikle sistem açısından çıkış değerinin bilinmesi ve aralarındaki lineer ilişkinin varlığı girişte ayarlama yaparak çıkış değeri elde etme şansını verir.

4.4.8. Faktörlerin sınıflandırılması

Deneylerde prosesi veya ürün kalite karakteristiklerini etkileyen ve kontrol edilebilen parametrelere faktör adı verilir. Taguchi tarafından proses ve ürün performansına

etkiyen iki tür faktör tanımlanmıştır. Bunlara Taguchi sistem girdileri de denilmektedir.

- Kontrol Faktörleri (Kontrol Edilebilen Faktörler, Tasarım\Parametreleri)
- Gürültü Faktörleri (Kontrol Edilemeyen Faktörler)

4.4.8.1. Kontrol faktörleri

Kontrol Faktörleri, imalat ve Tasarım proseslerinde kararlılık için en iyi şartların seçiminde kullanılır. Bağ mukavemetini geliştirmek için, bağlayıcı malzeme tipi veya malzemenin kaplamasının tabaka sayısı kontrol faktörlerine örnektir.

Kontrol faktörleri imalatçı tarafından belirlenen ve müşteri tarafından direkt olarak değiştirilemeyen faktörlerdir. Kontrol faktörleri kontrol edilebilen faktörlerdir ve iki temel gruba ayrılır [42].

1- Belirtici Faktörler (Değişken Kontrol Faktörleri): Sonucu doğrudan etkileyen faktörlerdir. Ürün çeşitliliği ve boyut değişikliği örnek olarak verilebilir. S/G oranının yüksek değerleri ürün kullanım şartları tarafından ürün fonksiyonlarının kolayca etkilenmeyeceğini gösterir. Bu durumda belirtici faktörler gürültü faktörleri gibi davranırlar.

2- Sinyal Faktörleri (Hedef Kontrol Faktörleri): Bu faktörler sonucun sadece ortalamasını etkilerler. Sinyal faktörü giriş sinyal değerlendirilmesinde kullanılırlar ve S ile gösterilirler. Dinamik karakteristikler için çıkışın gereksinimlerini gerçekleştirmekte kullanılan sinyal karakteristikleri aktif sinyal faktörleri olarak isimlendirilir.

4.4.8.2. Gürültü faktörleri

Değişime sebep olan tüm faktörlere gürültü faktörleri denilir, iç gürültü faktörleri bileşenlerin hedef değerden sapmasına veya kullanım esnasında bozulmasına sebep olur. Dış gürültü faktörleri ürünün kullandığı çevre şartlarını içerir.

Dış gürültü faktörleri doğrudan imalatçının kontrolünde olmayıp kullanımla ve müşterinin kullanım ortamı ile ilgilidir. İç gürültü faktörleri imalat ve operasyon esnasında kalite karakteristiklerinde ve ölçülen sistemin performansındaki değişime sebep olan ve kontrol edilmesi pahalı veya imkansız olan faktörlerdir

4.4.8.3. Sinyal /Gürültü (S/G) oranı

Taguchi metodunda iki önemli amaç vardır.

- 1- Ürün karakteristik değerini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak
- 2- Minimum sapmayı sağlamak

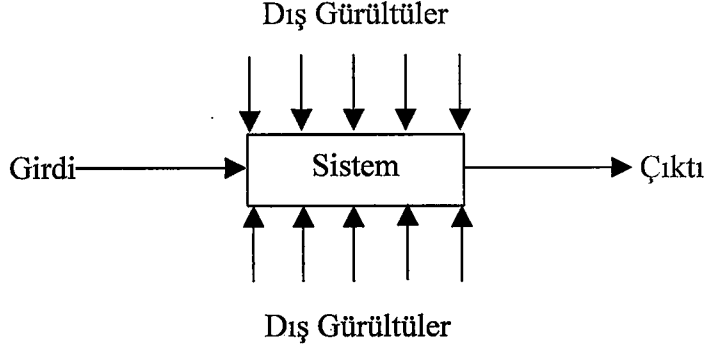
Maddelerden ilkinin Taguchi şimdiye kadar açıklanan metodlarla gerçekleştirmişti. İkinci madde ise bir değişim ölçüsü gerektirmektedir. Veri noktaları arasındaki farklılığı minimize etmek için S/G oranı Taguchi tarafından geliştirilmiştir.

Taguchi tekniğinde S/G oranı incelenen sistemde faktörlerin sonuç değişken olarak belirlenmiş kalite karakteristiğinin öngörülen büyüklüğü (en küçük iyidir, en büyük iyidir ve nominal en iyisidir) hedef alınarak hesaplanmış orandır. S/G, S/G (Signal to Noise) diye de anılmaktadır.

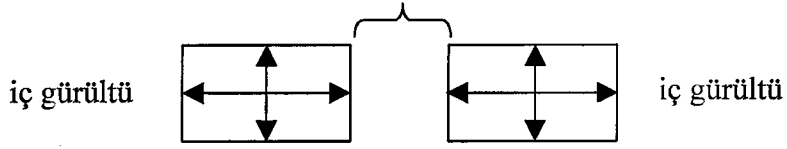
Taguchi kırktan fazla S/G oranı önermiştir. Bunlardan üçü kalite karakteristikleri statik olduğu zaman kullanılmaktadır.

- 1- Küçük olan iyidir.
- 2- Büyük olan iyidir.
- 3- Nominal en iyisidir.

Taguchi gürültü faktörlerinin azaltılmasına dikkat çekmiştir. Ona göre bu durum ürün performansında değişime sebep olmaktadır. Çıkış karakteristiklerinin sapsması veya fonksiyonel değişimlerin sebepleri üç sınıfta ele alınan gürültü faktörlerinden kaynaklanmaktadır.



a) Gürültü Faktörlerinin Etkisi



b) Ürünler Arası Gürültü

Şekil 4.4. Fonksiyonel Değişimlerin Sebepleri

Taguchi kayıp fonksiyonu kalite mühendisliği kapsamında yer alan tolerans tasarımında kullanıldığı gibi parametre tasarım safhasında S/G oranına bağlı olarak kaliteyi güçlendirmek amacıyla da kullanılır. S/G oranı kalitenin güçlendirilmesi için bir göstergedir. Bu anlamda kayıp fonksiyonu ile S/G oranının bileşenleri arasındaki ilişki Şekil 4.5’de görülmektedir.

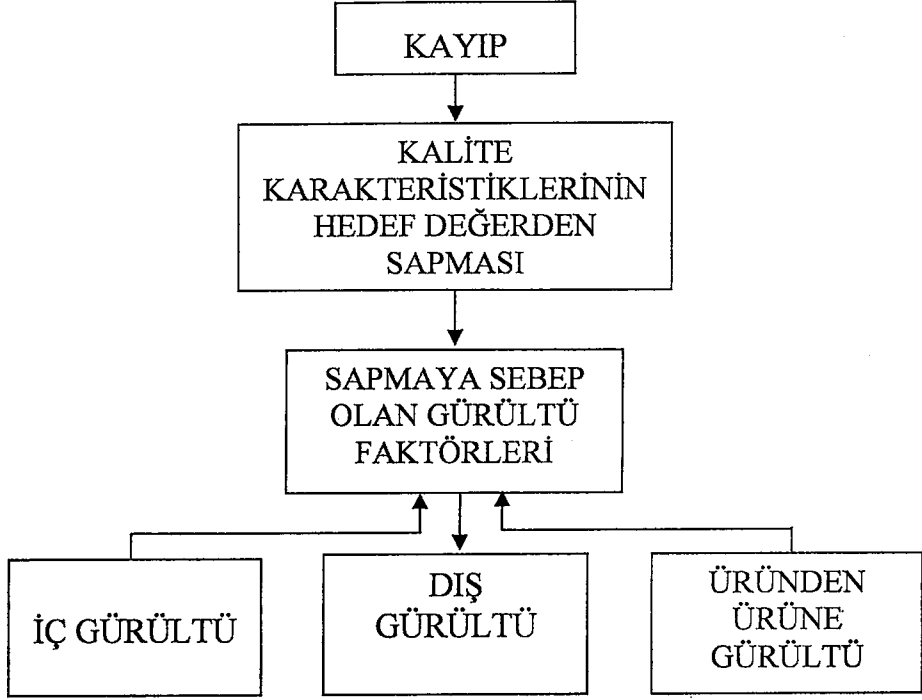
4.4.8.3.1. Küçük olan iyidir

Ölçüm değeri küçüldükçe iyileşmenin arttığı karakteristik tipidir. LB ile gösterilir. Bu karakteristikte hedef değer sıfırdır ve negatif tolerans da yoktur. Eğer sapma varsa pozitif yöndedir. Bu karakteristiğin hesaplama formülü ;

n : Bir denemedeki test sayısı

y_i : Gözlem Değeri

$$S/G_{LB} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.5)$$



*İşlem Koşullarındaki Değişim
*Bozunma
*İnsan Hataları

*Bozunma

*İmalat Hataları

Şekil 4.5. Kayıp fonksiyonu ile gürültü arasındaki ilişki[40]

4.4.8.3.2. Nominal en iyisidir

Nominal değere ne kadar yaklaşırsa iyileşme o kadar gerçekleşir. NB ile gösterilir. İdeal değer nominal değer olduğu durumdur. Sapma sağda veya solda gerçekleşebilir. Varyans analizi kullanılarak S/G oranı şöyle hesaplanır:

\bar{y} : Veri grubunun ortalaması

s : Veri grubunun standart sapması

$$S/G_{NB} = -10 \log \left(\frac{s_i}{\bar{y}_i} \right)^2 \quad (4.6)$$

4.4.8.3.3. Büyük olan iyidir

Ölçüm değeri büyüdükçe iyileşmenin arttığı karakteristik tipidir. HB ile gösterilir. İyileşme için üst sınır yoktur. Ne kadar artış olursa, aynı oranda iyileşme olur. Bu karakteristiğin hesaplanması için gerekli formül aşağıda verilmiştir.

$$S/G_{NB} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.7)$$

S/G oranı varyans analizine ya da sütun farkları metoduna tabi tutulur. Yapılan işlem sonucunda etkin faktörler belirlenir. Çoğunlukla ortalamayı optimize eden faktörler değişkenliği de minimize ederler.

4.5. Taguchi Yönteminde Çok Yanıtlı Problemler

Bu noktaya kadar anlatılan yöntemler tek kalite karakteristiğini en iyilemek üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak gerçek yaşamda bir üründen bir çok farklı kalite karakteristiğine eş zamanlı olarak cevap vermesi istenir. Müşteriler, aldıkları ürünün sağlam olduğu gibi, aynı zamanda esnek, parlak v.b olmasını bekleyebilirler.

Taguchi yöntemlerini kullanan pek çok mühendis, üretim prosesi eniyilemesinde çoklu kalite karakteristikleriyle ilgilendikleri zaman mühendislik yargısını kullanmışlardır. Bu yaklaşım subjektiftir ve bu yüzden karar verme prosesinde daima bir belirsizlik getirmektedir [43].

Çok yanıtlı problemde görev, eş zamanlı olarak bir kaç yanıtı en iyileyen tasarım değişkenlerine ait değerler kümesini bulmaktır. Bütün karakteristikleri en iyileyen tek bir çözüm genellikle bulunamaz. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörler tarafından etkilendiği durumlarda tüm yanıtlar için uygun bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Bunun için yanıt değerleri hedeflere olabildiğince yaklaştırılırken varyansların minimize edilmesine çalışılır. Bu durumda bile problem kolay bir hale dönüşmemektedir.

Çok yanıtli bir problemde en önemli amaç, tüm yanıtların hedeflerini karşılamak ve tüm yanıtların değışebilirliğini eşzamanlı olarak enküçük değere indirmektir. Yanıtların korelasyon özelliği nedeni ile bu genellikle olanaklı değildir.[44]

Tek yanıtı en iyilemek için geliştirilen tekniklerin hemen hepsinde en iyi çözüm bulunulabilir. Ancak ayrı ayrı istenen yanıtları en iyileyen çözümler, çoklu yanıtlar göz önüne alındığında genellikle örtüşmemektedirler. Bir yanıtı en iyileyen faktör kombinasyonu diğer yanıt için hedeften sapmanın artmasına neden olabilmektedir. Elde edilen çözümler farklı yanıtlar için zıtlaşan kombinasyonlar ortaya koyabilmektedirler. Bu durumda çoklu yanıtlar için bulunan son çözümde ayrı ayrı elde edilen çözümlerden sapmayı minimize edecek şekilde farklılaştırma yoluna gidilebilir.

Bu problemin çözümü için değışik yaklaşımlar kullanılabilir. Çok yanıtli problemlere bir yaklaşım da tüm yanıtları tek bir fonksiyon oluşturmak için matematiksel olarak birleştirmektir. Birleştirici amaç yaklaşımları kalite alanında birden çok yanıtı eş zamanlı olarak en iyilemek için kullanılır. Başlangıçta deneysel bir tasarımdan yanıtlar yaratılarak bireysel yanıtlar modellenir. Sonra matematiksel bir transformasyona tabi tutularak bir araya getirilir. Bu da tüm yanıtların tek bir fonksiyonda birleştirilmesi için normalleştirme aracı olarak kullanılır. Nihai olarak girdi faktörlerinin seviyelerini değıştirerek en iyi nesnel fonksiyon ve dolayısıyla en iyi girdi faktör ayarları sağlanmaya çalışılabilir. Ancak bu yöntemde kullanılan katsayıların belirlenmesinin nispeten subjektiftir ve değışik katsayıların farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir.

Çoklu kalite karakteristiklerinin uygun bir şekilde bir araya getirilmesi, olası parametre kombinasyonlarının doğru bir şekilde değerlendirilerek, sıralanabilmesi için gereklidir. Bu çalışmada kalite karakteristiklerini birlikte analiz edebilmek için, bir araya getirme aracı olarak bulanık mantık denetim sistemine dayanan farklı bir yaklaşım sunulmuştur.

4.6. Önerilen Eniyileme Prosedürü

Önerilen en iyileme prosedürü, temel olarak Taguchi'nin yöntemine dayanmaktadır. Ancak, çoklu kalite karakteristiklerinin bir araya getirilmesinde günümüzde bir çok alanda başarılı uygulamaları yapılmış olan bulanık mantık kullanılmaktadır. Çok yanıtlı prosesleri en iyi şekilde kullanmak için Taguchi Yöntemi ile birlikte bulanık mantığın kullanılması şu düşünceleri içerir :

- Çoklu durumlarda nitelik ve kayıp fonksiyonları, her bir yanıt için daima farklıdır. Bu nedenle, her bir yanıt için kayıp, doğrudan karşılaştırılmaz ve toplanamaz.
- Çoklu durumlarda ölçü birimleri, her bir yanıt için farklıdır. Dolayısıyla, her bir yanıtın her biriminin neden olduğu kayıp farklı olabilir.
- Çoklu durumlarda önem, her bir yanıt için farklı olabilir.

Yukarıda bahsedilen üç durum için, bir eniyileme prosedürü bu bölümde önerilmektedir. Çok yanıtlı performans (ÇYPG) göstergesini belirlemek için Taguchi'nin S/G oranlarının uygulanması ile bütün yanıtların kalite kayıplarının hesaplanması yoluyla etkin bir yöntem ortaya koyulmuştur. Sonra geleneksel Taguchi Yöntemi , ÇYPG kullanılarak uygulanabilir.

Önerilen eniyileme prosedürü dört aşama içerir:

- Aşama I: Sinyal Gürültü (S/G) Oranlarını Hesaplamak

Bu aşamada, her bir yanıt için kalite kaybı hesaplanır. Taguchi' ye göre aşağıdaki üç formül kullanılır[45]:

$$S/G_{ij} = -10 \log \left(\frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \right) , \text{ daha küçük daha iyi yanıtı için,} \quad (4.8)$$

$$S/G_{ij} = -10 \log \left(\frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \right) , \text{ daha büyük daha iyi yanıtı için,} \quad (4.9)$$

$$S/G_{ij} = -10 \log \left(\frac{s_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2 , \text{ nominal en iyi yanıtı için,} \quad (4.10)$$

Burada, S/G_{ij} = j. denemede i. yanıtı ait sinyal gürültü oranı
 y_{ijk} = k. tekrar ve j. denemede i. yanıt için gözlenen veri
 n_i = i. yanıtın tekrar sayısı

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk} , \quad s_{ij}^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 \quad (4.11), (4.12)$$

- Aşama II: Çok Yanıtlı Performans (ÇYPG) Göstergesini Belirle

ÇYPG, iki ve daha fazla sayıda yanıtı bir araya getirmek amacıyla bulanık mantık kullanılarak oluşturulmuş bir göstergedir. Oluşturma işlemi, bulanık mantık denetim yapısına dayanmaktadır. Yapılan işlemler temel olarak aşağıdaki sırada gerçekleşmektedir:

- 1- Her karakteristiğe S/G oranları için gerçekleşme aralıklarına göre giriş bulanık evrensel küme ve alt kümeler belirlenir.
- 2- Karakteristikleri bir araya getirmek için giriş bulanık alt kümelerle, tek çıkış değerini (ÇYPG) ilişkilendiren kural tabanı oluşturulur. ÇYPG için bulanık evrensel küme aralığı [0,1] olarak seçilir.
- 3- Her bir kalite karakteristiklerine ait S/G oranları, kendileri için hazırlanan bulanık kümeler kullanılarak bulanıklaştırılır.
- 4- Bulanıklaştırma sonucunda elde edilen bulanık giriş kümeleri kural tabanı işletilerek bulanık çıkış kümelerine dönüştürülür.
- 5- Çıkış bulanık kümeleri durulaştırma işlemine tabi tutularak, ÇYPG değerleri elde edilir.

- Aşama III: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirle.

Taguchi, en küçük en iyi ve en büyük en iyi durumları için beklenen kalite kaybının dolaysız en küçüklenmesini önermektedir. Nominal en iyi durumu için Taguchi, iki aşamalı, yani sinyal-gürültü oranını maksimize etmek ve sonra ortalamayı hedef değere ayarlayan bir eniyileme prosedürü önermektedir. Bu kavramlara dayandırılan çok yanıtlı problemlerde en iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek için kullanılan prosedür aşağıda açıklanmaktadır:

Adım 1: Faktör etkilerini hesapla

- 1- ÇYPG değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele
- 2- Nominal en iyi durum için ortalama yanıt değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele

Adım 2: En iyi kontrol faktörlerini ve bunların seviyelerini belirle.

- 1- ÇYPG üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörünü bul
- 2- Her bir kontrol faktörü için ÇYPG üzerinde en yüksek değere sahip olan en iyi seviyeyi belirle

Adım 3: En iyi ayarlama faktörlerini belirle: Eğer çok yanıtlı problemlerde nominal en iyi karakteristiği varsa, uygun ayarlama faktörleri tanımlanmalıdır. Dört durum vardır:

- 1- En küçük en iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu
- 2- En büyük en iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu
- 3- En küçük en iyi, en büyük en iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu
- 4- Hepsinin nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilemesi durumu.

Aşağıdaki iki gereksinimi karşılayan bir faktör, 1, 2 ve 3. durumlar için bir ayarlama faktör olarak seçilebilir. Birincisi, nominal en iyi karakteristikler için, ÇYPG'de anlamlı etkiye sahip olmayan, fakat onun yerine ortalama yanıt üzerinde anlamlı etkiye sahip olan herhangi bir faktör, ayarlama faktörü için aday olarak seçilebilir.

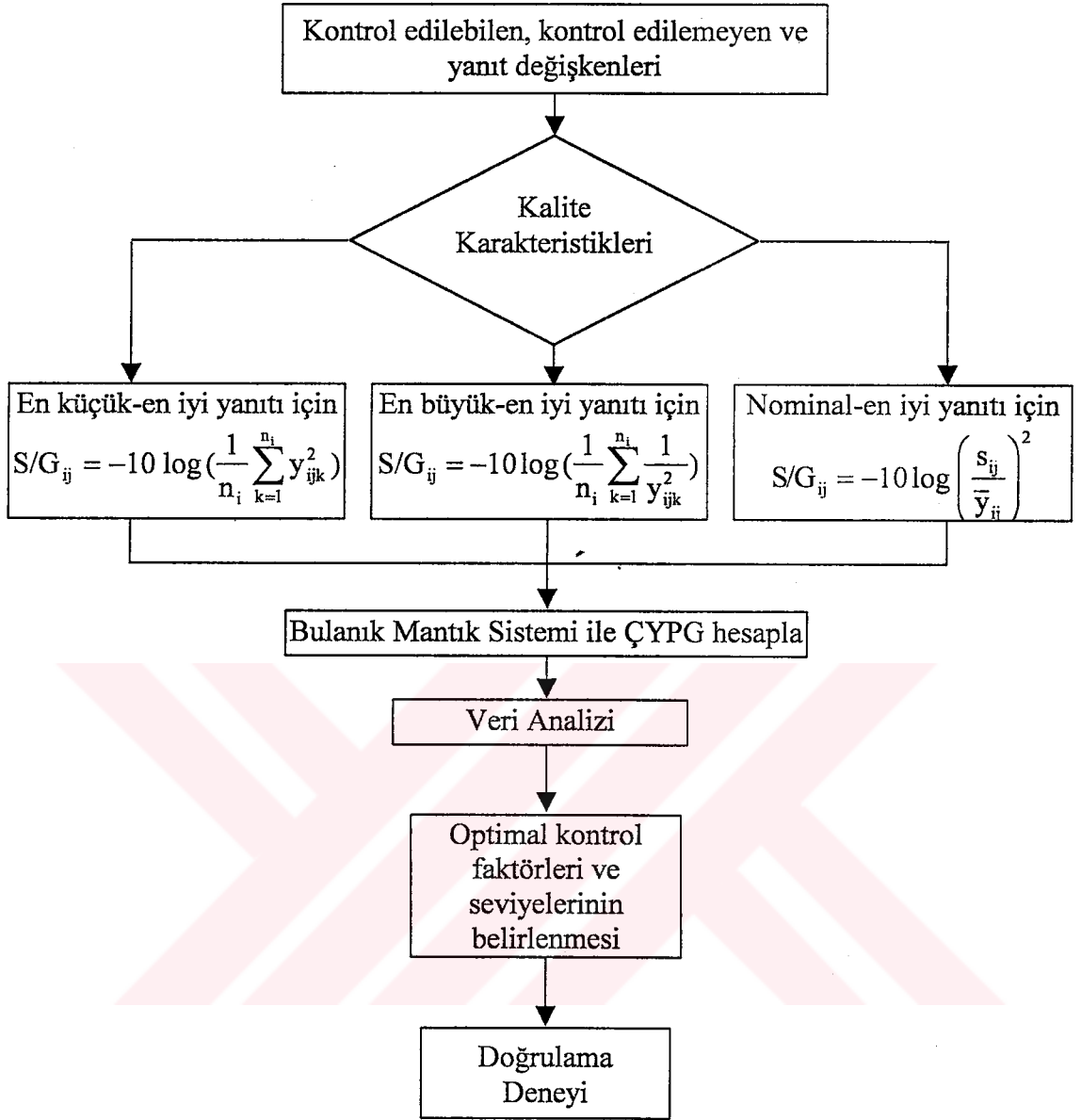
İkincisi, ayarlama faktörü, ortalamayı hedef değere getirmek için kullanıldığı zaman, kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, en küçük en iyi ve en büyük en iyi durumlarının amacını eşzamanlı olarak karşılamalıdır. ÇYPG' de anlamlı etkiye sahip olmayan, onun (aday faktörün) kalite karakteristiği için ortalama yanıt üzerinde etkiye sahip olan ve diğer kalite karakteristikleri için ortalama yanıt üzerinde bir etkiye sahip olmayan herhangi bir faktör 4. durum için ayarlama faktörü olarak seçilebilir.

Çok yanıtı bir problemde en iyi ayarlama faktörlerini belirlemek için ana noktaları yukarıda verildi. Bu ana noktalardan en iyilenecek çok yönlü karakteristikler olduğu zaman, en iyi ayarlama faktörlerini belirleme işleminin daha çok karışık hale geldiği sonucunu çıkarabiliriz. Bazen, uygun ayarlama faktörleri seçmek için gerekli ödünleşimler yapılmalıdır.

- Aşama IV. Doğrulama deneyinin yapılması

Burada önerilen eniyileme prosedüründe doğrulama deneyi için ÇYPG değeri olan temel sınırlama, kullanılarak hesaplanamaz. Bununla birlikte, gözlenen ÇYPG ile tahmin edilen değer karşılaştırılması o kadar önemli değildir. Doğrulama deneyi, deneyle elde edilen en iyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve tahmin edilen S/G oranları birbirlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan modelin iyi bir tahmin olduğuna karar verebiliriz. Sonuç olarak, önerilen optimum durum, proses için benimsenebilir. Eğer yanıtlardan biri için öngörülen ve gözlenen S/G oranları birbirlerine yakın değilse, model yetersizdir ve belki de etkileşimler önemlidir diye kuşkulunuz. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir.

Önerilen prosedür sürekli ve kesikli veri tiplerine eşzamanlı olarak değinebilir. Taguchi yönteminde çok yanıtı problemler için önerilen eniyileme prosedürü Şekil 4.6' da açıklanmaktadır.



Şekil 4.6. Taguchi Yönteminde Çok Yanıtlı Problemler İçin Önerilen En İyi İyileme Prosedürü

BÖLÜM 5. TAGUCHI METODU VE BULANIK MANTIK KULLANILARAK ÇOK YANITLI PROSES GELİŞTİRME UYGULAMASI

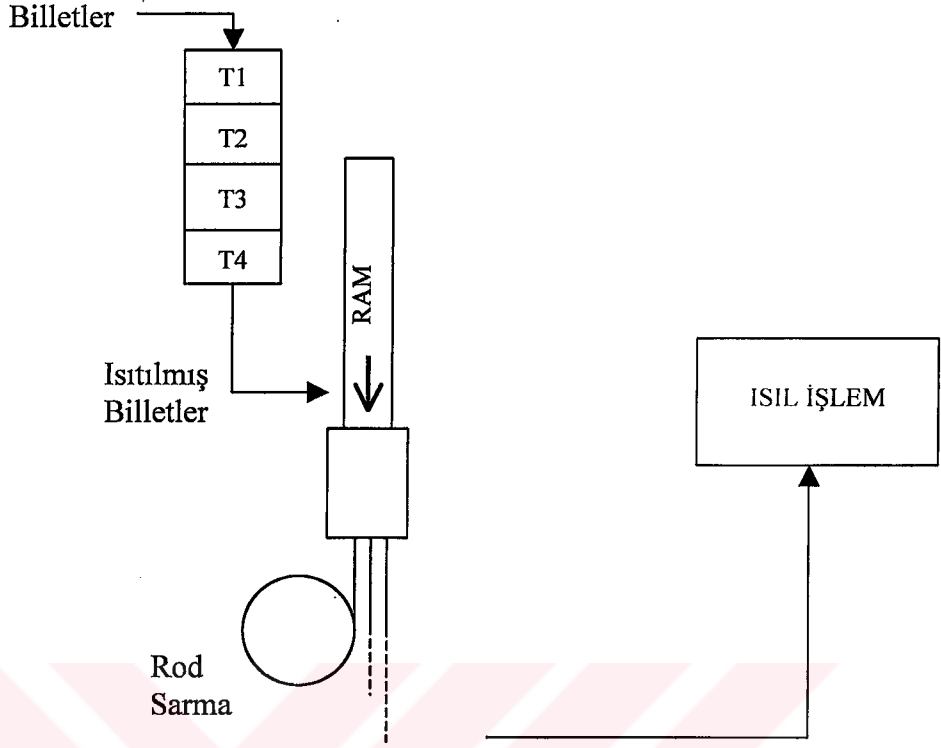
5.1. İşletmenin Tanıtımı

TÜRKKABLO A.O. Genel Yönetim ve Üretim tesisleri İzmit (KOCAELİ) Derince’de olup elektrifikasyon ve telekomünikasyon kabloları üretimi ve satışı konularında 1963 yılından beri faaliyet göstermektedir.

TÜRKKABLO A.O. elektrifikasyon alanında kullanılan iletim ve dağıtım hava hatları için çelik özlü, bakır iletkenli ve tam alüminyum iletkenli kablolar üretmektedir. Ayrıca telekomünikasyon alanına yönelik plastik yalıtımlı telefon kabloları ve fiber optik kablo üretimi de mevcuttur.

İşletmede ALDREY olarak adlandırılan alaşım oranı yüksek alüminyum telin ekstrüzyonla çekildiği ve daha sonra ısıl işleme tutularak homojenize edildiği süreç incelenerek, çıkış kalite karakteristikleri olan çekme muavemeti, iletkenlik ve uzama miktarı için istenen değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Üretim süreci temel elemanlarıyla Şekil 5.1’de görüldüğü gibidir. Üretim aşamaları şu şekildedir:

- 1- Tedarikçi firmadan gelen billetler ısıtılmak üzere yüklenir,
- 2- Billetler dört farklı evrede, giderek artan bir sıcaklıkta ısıtılır,
- 3- Bir önceki billet preslenmesinin ardından presin dışında kalan metal kısım kesilir,
- 4- RAM hareketiyle sıkıştırılan billet için ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilir,
- 5- Çıkan teller bobinlere sarılır,
- 6- Teller ısıl işleme tabi tutulur.



Şekil 5.1. Üretim Süreci

5.2. Yöntemin Uygulanması

5.2.1. Problemin tanımı

İşletmede incelenen proste daha önce bir ekstrüzyon işleminde aynı anda iki tel çekilebilmekteydi. İşletme üretim miktarını arttırmak için aynı anda üç tel çekebilmek için üretim sürecinde gerekli fiziksel değişikliği yapmıştır. Ancak, üretim sisteminde yapılan bu değişiklik üretim parametrelerinin de değiştirilmesi gereğini beraberinde getirmiştir.

İşletme yeni süreci eski süreçle karşılaştırarak, bazı üretim parametreleri belirlemiştir. Ancak, incelenen kalite karakteristikleri göz önüne alınarak, sürecin geliştirilmesi gereği ortaya koyulmuştur.

Ayrıca bahsedilen alaşımli tellerin üretim süreci sonucunda müşterilerin istediği dayanım ve iletkenlik seviyesinde olmaması durumunda tekrar ısıl işlem yapılması gerekebilmektedir. Bu durum hem üretim süresinin hem de maliyetlerin artmasına neden olmaktadır.

5.2.2. Performans karakteristiklerinin belirlenmesi

İşletme yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda, incelen üretim süreci sonucunda elde edilen tel için, müşterilerinin beklentilerinin ve kalite standartlarının göz önüne alınması sonucunda, üç önemli kalite karakteristiği olduğuna karar verilmiştir.

İncelenen karakteristiklerden ilki çekme mukavemetidir. Çekme mukavemeti, nominal en iyi tipinde bir yanıttır. Çekme mukavemeti için hedef değer 33 N/mm^2 'dir. Gözlemlenen diğer karakteristikler, iletkenlik ve (%) uzama miktarı'dır. Her iki yanıt da en büyük en iyi tipinde yanıtlardır.

5.2.3. Faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi

İncelen üretim sürecinde etkili olan ve kontrol edebileceğimiz 7 faktör mevcuttur. Bunlardan ilk dördü ekstrüzyon aşamasında diğer ikisi ısıl işlem aşamasındadır.

Ekstrüzyon aşamasındakiler: billetin ekstrüzyon için ısıtıldığı ilk dört sıcaklık evresi T1, T2, T3, T4 ve ısıtılan billetin ekstrüzyon presinde sıkıştırılması görevini yerine getiren ana pistonun (RAM) hızı'dır. Isıl işlemle ilgili olanlar ise, ısıl işlem süresi ve sıcaklığıdır.

İşletme yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenen faktörler için birinci ve ikinci seviye faktör seviyeleri Tablo 5.1'de görüldüğü gibidir. Tabloda yer alan birinci seviye işletmede mevcut bulunan üretim parametreleri kombinasyonunu göstermektedir. İkinci seviye ise alternatif faktör seviyelerini göstermektedir.

Tablo 5.1. Deney için belirlenen faktör seviyeleri

Faktörler	T1(A)	T2(B)	T3(C)	T4(D)	Ram Hızı(E)	Isıl İşlem Sıcakl. (F)	Isıl İşlem Süresi(G)
Birim	⁰ C	⁰ C	⁰ C	⁰ C	m/dak	⁰ C	saat
1.Seviye	300	340	430	490	12	160	6
2.Seviye	350	360	450	510	15	175	5

5.2.4. Problem için uygun ortogonal dizinin seçimi

Belirlenen probleme uygun ortogonal dizi seçiminde, öncelikle faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunluk sağlıyorsa o tercih edilir. 7 faktörümüzün seviyeleri 2 olduğundan faktörlerin serbestlik dereceleri ($v_i = k_i - 1 = 2 - 1 = 1$) toplamı 7' dir. Dolayısıyla L_8 ' e uygundur. L_8 ortogonal dizisi aşağıda görüldüğü gibidir.

Tablo 5.2. L_8 ortogonal dizi

Deneysel No \ Kolon	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

5.2.5. Faktörlerin belirlenen ortogonal diziyeye atanması

L_8 için belirlenen ortogonal diziyeye faktörler sırasıyla atanır. 1. sütuna A, 2. sütuna B,.....,7. sütuna G faktörü atanır. Herhangi bir etkileşimin olduğu düşünülmediğinden dolayı burası basitçe geçilmiştir. Atama durumunda ortogonal dizi Tablo 5.3'te görüldüğü şekle dönüşür.

Tablo 5.3. Atanmış L_8 ortogonal dizi

Deney No \ Kolon	A	B	C	D	E	F	G
1	300	340	430	490	12	160	1
2	300	340	430	510	15	175	2
3	300	360	450	490	12	175	2
4	300	360	450	510	15	160	1
5	350	340	450	490	15	160	2
6	350	340	450	510	12	175	1
7	350	360	430	490	15	175	1
8	350	360	430	510	12	60	2

5.2.6. En iyileme prosedürünün uygulanması

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler (TOP. : Satır Toplamı, ORT: Satır Ortalaması, SS: Satır Standart Sapması, R: Satır Aralığı olmak üzere) 5.4. a,b,c'de görülmektedir.

Tablo 5.4.a) Deneylerden elde edilen çekme mukavemeti yanıt değerleri

Deney No	ÇEKME MUKAVEMETİ (N/mm ²)					TOP.	ORT.	SS	R
	1	2	3	4	5				
1	31.30	30.40	32.12	30.16	30.83	154.80	30.96	0.779	1.9608
2	32.20	31.70	31.17	30.49	31.37	156.94	31.39	0.633	1.7064
3	31.40	31.50	30.16	29.48	30.29	152.83	30.57	0.865	2.0206
4	30.90	30.10	30.49	32.12	30.49	154.10	30.82	0.778	2.0163
5	31.30	30.80	31.17	31.17	29.75	154.19	30.84	0.636	1.5502
6	31.50	30.10	29.48	31.44	30.29	152.81	30.56	0.882	2.0206
7	31.80	30.40	32.12	31.78	30.70	156.79	31.36	0.759	1.7163
8	30.90	30.10	30.16	30.16	30.43	151.74	30.35	0.334	0.8

Tablo 5.4.b) Deneylerden elde edilen iletkenlik yanıt değerleri

Deney No	İLETKENLİK (IACS)					TOP.	ORT.	SS	R
	1	2	3	4	5				
1	54.5	54.7	52.5	53.5	53.5	268.700	53.740	0.888	2.200
2	53.5	52.7	53.7	52.7	54.1	266.700	53.340	0.623	1.400
3	53.3	53.5	55.4	54.2	53.1	269.500	53.900	0.935	2.300
4	54.5	56.0	53.0	53.0	54.5	271.000	54.200	1.255	3.000
5	53.7	54.4	53.5	55.4	55.9	272.900	54.580	1.047	2.400
6	54.0	55.0	54.9	52.5	52.6	269.000	53.800	1.206	2.500
7	53.5	54.0	54.2	53.7	53.5	268.900	53.780	0.311	0.700
8	54.5	52.5	53.1	52.9	53.6	266.600	53.320	0.769	2.000

Tablo 5.4.c) Deneylerden elde edilen iletkenlik yanıt değerleri

Deney No	UZAMA (%)					TOP.	ORT.	SS	R
	1	2	3	4	5				
1	5.40	5.20	4.40	4.80	4.80	24.600	4.920	0.390	1.000
2	5.60	4.40	5.20	5.20	5.10	25.500	5.100	0.436	1.200
3	5.20	4.80	4.80	4.80	5.60	25.200	5.040	0.358	0.800
4	5.20	4.80	4.40	4.40	5.10	23.900	4.780	0.377	0.800
5	4.80	4.40	5.20	4.80	5.40	24.600	4.920	0.390	1.000
6	4.80	4.40	5.20	4.40	4.90	23.700	4.740	0.344	0.800
7	4.40	5.20	4.80	4.80	5.20	24.400	4.880	0.335	0.800
8	4.40	4.80	4.40	5.20	5.30	24.100	4.820	0.427	0.900

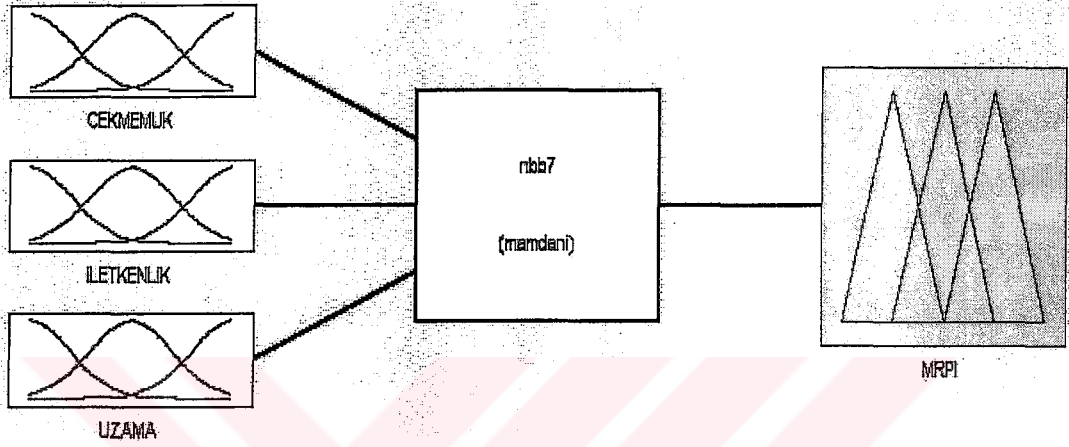
Aşama I: Sinyal Gürültü (S/G) Oranlarını Hesaplamak. Deney verilerine göre Bölüm 4'te anlatıldığı Şekilde hesap edilen S/G oranları Tablo 5.5'te görüldüğü gibidir.

Tablo 5.5. Kalite kayıpları

Çekme Mukavemeti	İletkenlik	Uzama
S/G_{1j}	SG_{2j}	SG_{3j}
31,981	34,603	13,773
33,902	34,540	14,068
30,964	34,629	13,999
31,962	34,674	13,523
33,710	34,737	13,773
30,796	34,610	13,461
32,326	34,612	13,718
39,166	34,536	13,579

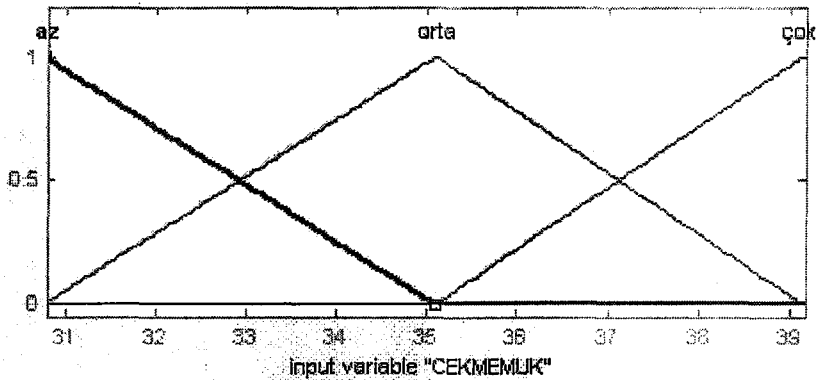
Aşama II: Çok Yanıtlı Performans (ÇYPG) Göstergesini Belirle

Çok yanıtlı performans göstergesini hesaplamak için Şekil 5.2’de görülen bulanık mantık modeli kurulmuştur. Bu model yardımıyla üç karakteristiğe ait değerler tek bir göstergede toplanmıştır.

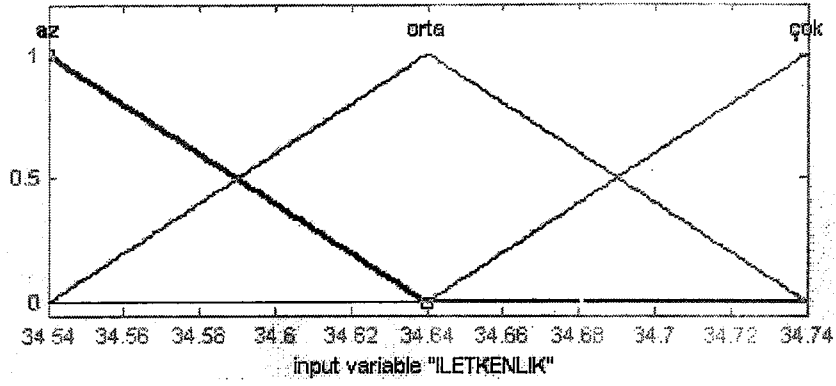


Şekil 5.2. Bulanık Model

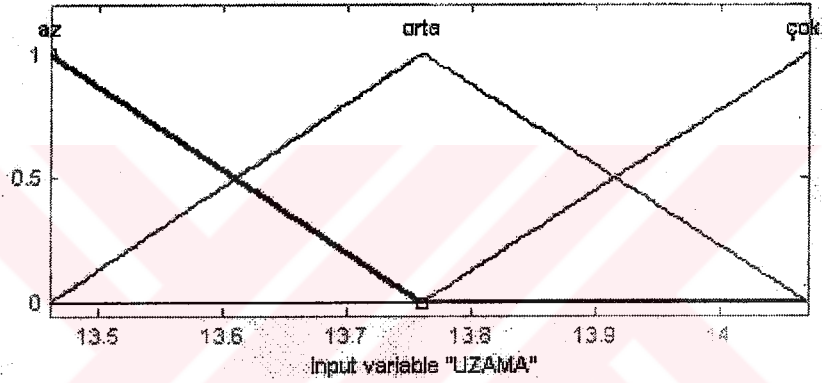
Şekil 5.3.a,b,c’de görüldüğü gibi çekme mukavemeti, iletkenlik ve uzama karakteristikleri için birer giriş bulanık kümesi tanımlanmıştır. Bulanık kümeler için kalite kayıplarından yararlanarak elde edilen sinyal gürültü oranı aralıkları kullanılmıştır. aralıklar iki eşit parçaya bölünecek şekilde üçer üçgen alt küme yerleştirilmiştir.



Şekil 5.3.a) Bulanık çekme mukavemeti giriş kümesi

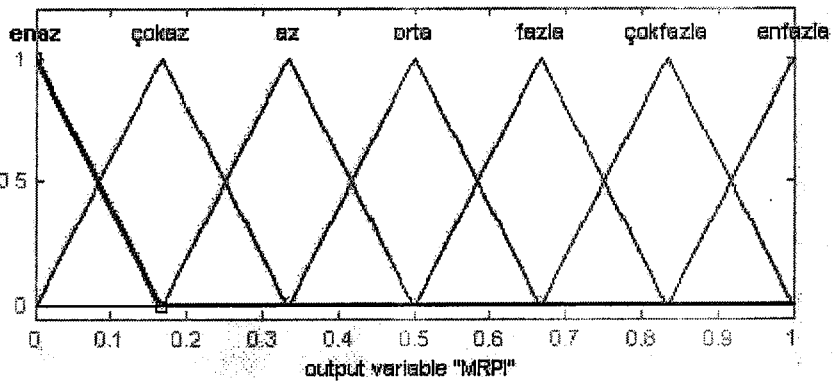


Şekil 5.3.b) Bulanık iletkenlik giriş kümesi



Şekil 5.3.c) Bulanık uzama giriş kümesi

Çıkış kümesi $[0,1]$ aralığında 7 adet üçgen alt küme ile oluşturulmuştur.(Şekil 5.4)



Şekil 5.4. Bulanık Çıkış kümesi ÇYPG (MRPI)

Giriş bulanık alt kümeleri ile çıkış bulanık kümeleri arasındaki ilişkiyi sağlayan kural tabanı Tablo 5.5’de görüldüğü gibidir.

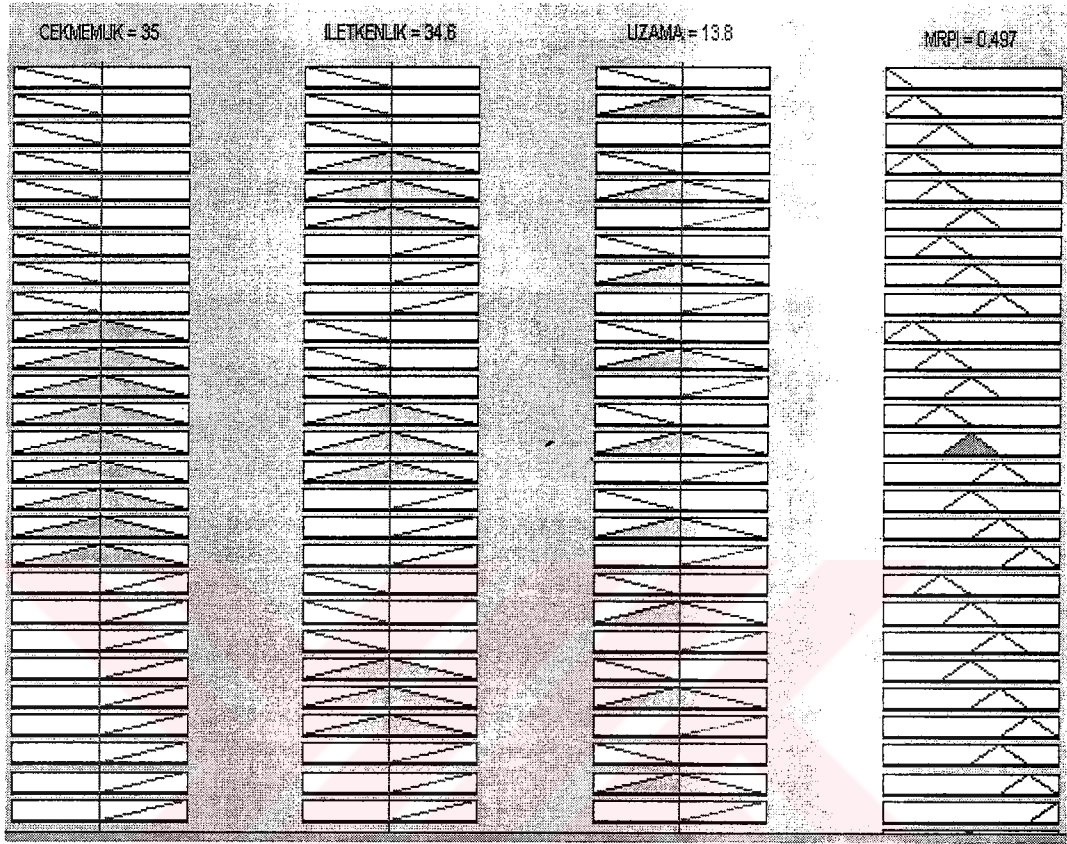
Tablo 5.5. Kural Tabanı

MRPI (ÇYPG)		UZAMA az	UZAMA orta	UZAMA çok
ÇEKMEMUK az	İLETKENLİK az	en az	çok az	az
	İLETKENLİK orta	çok az	az	orta
	İLETKENLİK çok	az	orta	fazla
ÇEKMEMUK orta	İLETKENLİK az	çok az	az	orta
	İLETKENLİK orta	az	orta	fazla
	İLETKENLİK çok	orta	fazla	çok fazla
ÇEKMEMUK çok	İLETKENLİK az	az	orta	fazla
	İLETKENLİK orta	orta	fazla	çok fazla
	İLETKENLİK çok	fazla	çok fazla	en fazla

“ÇEKMEMUK orta VE İLETKENLİK çok VE UZAMA Çok İSE ÇYPG fazla” örneğinde görüldüğüne benzer şekilde Tablo 5.5.’te 27 adet kural yer almaktadır. Kural tabanı EB-EK (MIN-MAX) çıkartım ilkesine göre çalıştırılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Yani tek bir kural içerisinde EK kuralı çalıştırılarak kümelerin üyelik derecelerinin en küçük değeri alınırken, kurallar arasında EB kuralı çalıştırılarak çakışan alt kümelerde en büyük üyelik dereceli olanlar alınarak kümelerin birleşimiyle sonuç bulanık kümesi elde edilmiştir. Bulanık çıkartım işleminin ayrıntılarına 3. bölümde değinilmiştir.(Bkz. Şekil 3.15)

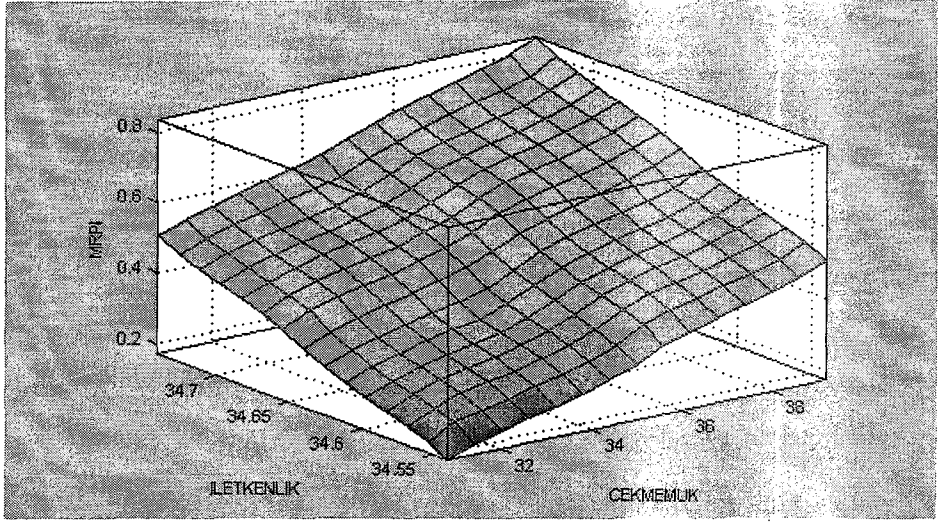
Bulanık değişkenlerin tanımlanması, kural tabanının oluşturulması, bulanık çıkartımın yapılması ve elde edilen sonuç kümelerinin keskin değerlere dönüştürülmesi işleminde MATLAB programındaki Fuzzy Logic Toolbox (Bulanık

Mantık Ünitesi) kullanılmıştır. Yukarıda anlatılan kural tabanı ve çıkartım işlemi ile ilgili program ara yüzü Şekil 5.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 5.5. Bulanık kural tabanı MATLAB programı görüntüsü

İşletme yetkilileri ile yapılan görüşmelerde, kalite standartları açısından her üç kalite karakteristiğinin de sağlanması gerektiğinde eşit önemde olduğu sonucuna varılmıştır. Kural tabanı hazırlanırken giriş karakteristiklerine ait bulanık alt kümeler eşit önemde kabul edilmiş, çıkış kümesi üzerindeki etkileri mümkün olduğunca eşit olmasına ve giriş kümesinde meydana gelecek küçük değişikliklerin sonuç üzerinde büyük değişiklikler ortaya çıkarmamasına çalışılmıştır. Giriş değerlerine karşılık çıkış değerlerinin alacağı değerleri gösteren yüzeyler bahsedilen program kullanılarak izlenebilmektedir. İletkenlik ve çekme mukavemeti giriş değerleri ile MRPI değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren yüzey Şekil 5.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 5.6. İletkenlik ve çekmemuk ile MRPI arasındaki ilişki yüzeyi

Çekme mukavemeti, iletkenlik ve uzama girdilerine karşılık elde edilen ÇYPG (MRPI) bulanık çıkış kümesi ağırlık merkezi durulama yöntemi kullanılarak keskin değerlere dönüştürülmüştür. Her bir deney kombinasyonu için elde edilen MRPI keskin değerleri Tablo 5.6’da görülmektedir.

Tablo 5.6. Bulanık çıkartım sonucunda elde edilen MRPI değerleri

Deney No	MRPI
1	0,333
2	0,446
3	0,435
4	0,344
5	0,609
6	0,161
7	0,341
8	0,403

Aşama III: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirle. En iyi faktör/ seviye kombinasyonu belirlenirken dördüncü bölümde açıklanan sütun farkları yöntemi kullanılmıştır. Hesaplanan etkiler tablo 5.7’de görülmektedir.

Tablo 5.7. Faktörlerin Çok Yanıtlı Performans Göstergesi üzerindeki ana etkileri

a) ÇYPG’de Ana Etkiler

FAKTÖRLER	SEVİYELER		Maks-Min
	S1	S2	
T1	0,390	0,379	0,011
T2	0,387	0,381	0,006
T3	0,381	0,387	0,006
T4	0,430	0,339	0,091
RAM HIZI	0,333	0,435	0,102
ISIL İŞL. SIC.	0,422	0,346	0,077
ISIL İŞLEM Z.	0,295	0,473	0,179

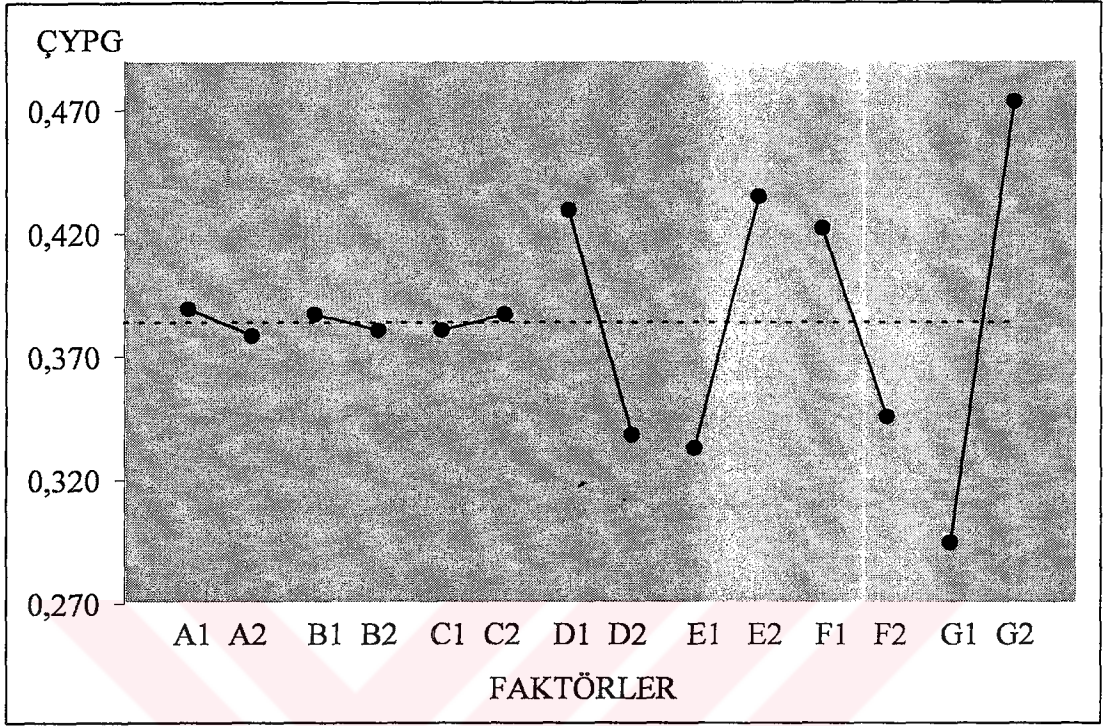
b) ÇYPG’de Ana Etkiler(sıralı)

FAKTÖRLER	SEVİYELER		Maks-Min
	S1	S2	
ISIL İŞLEM Z.	0,295	0,473	0,179
RAM HIZI	0,333	0,435	0,102
T4	0,430	0,339	0,091
ISIL İŞL. SIC.	0,422	0,346	0,077
T1	0,390	0,379	0,011
T2	0,387	0,381	0,006
T3	0,381	0,387	0,006

Faktör seviyelerine göre hesaplanan en büyük ile en küçük değerler arasındaki farklara göre (Maks–Min) sıralandığında faktörlerin önem dereceleri ortaya çıkmaktadır. Burada faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir sıralama yapıldığında faktörler G(Isıl İşlem Zamanı), E(RAM Hızı), D(T4), F(Isıl İşlem Sıcaklığı), A(T1), B(T2), C(T3) şeklinde sıralanırlar (Tablo 5.7.b). Buradan G, E, D ve F faktörlerinin yanıt üzerinde daha büyük bir etkiye sahip oldukları görülmektedir. Bu faktörlerin seviyeleri değiştiğinde yanıtta önemli değişiklikler olmaktadır (Şekil 5.7) Örneğin Isıl İşlem Zamanı faktörünün birinci seviyeden ikinci seviyeye değişmesi durumunda ÇYPG değerinde 0.179 br değişim meydana gelmektedir. B değer sonucun hedefler yönünde olumlu değişeceğini göstermektedir.

Bu noktada şunu belirtmek gerekir ki, ÇYPG değerlerin S/G oranlarından eş yönlü bir çıkartımla elde edildiklerinden ve S/G oranının daha büyük olması her zaman

daha iyi olduğundan; ÇYPG değerlerindeki artış daima yanıt hedeflerine yaklaşma anlamına gelmektedir.



Şekil 5.7. Faktör ve seviye değerleri

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi önemli etkiye sahip olmayan A, B, C, faktörleri seviye değişiminde ortalama ÇYPG değeri 0.384'ün etrafında çok küçük değişiklikler göstermektedir. D, E, F ve G faktörleri ise seviye değişimi durumunda ÇYPG değerinde büyük değişikliklere neden olmaktadır. Şekil 5.7 ve Tablo 5.7'ye bakıldığında faktörler için en uygun seviye kombinasyonunun, en yüksek ÇYPG değerlerini öneren A1, B1, C2, D1, E2, F1, G2 olduğu görülmektedir. Bu durumda incelenen süreç için bulunan en iyi ayarlar Tablo 5.8'de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.8. ÇYPG yöntemiyle belirlenen en iyi faktör seviyeleri

Faktörler	T1(A)	T2(B)	T3(C)	T4(D)	Ram Hızı(E)	Isıl İşlem Sıcakl. (F)	Isıl İşlem Süresi(G)
Seviye	1	1	2	1	2	1	2
Değer	300 ⁰ C	340 ⁰ C	450 ⁰ C	490 ⁰ C	15 m/dak	160 ⁰ C	5 saat

Aşama IV: Doğrulama deneyinin yapılması

Belirlenen faktör seviye kombinasyonu için 5 adet deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.9. Doğrulama deneyi sonuçları

	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Toplam	Ortalama	Std. Sap.	R
Çekme M.	32,5	32,3	32	32,6	32,4	161,8	32,36	0,230	0,6
İletkenlik	54,3	55,2	54,6	53,7	53,9	271,7	54,34	0,594	1,5
Uzama	5,1	5,4	5,9	5,6	5,5	27,5	5,5	0,292	0,8

5.2.7. Sonuçların yorumlanması

Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen istatistiksel veriler ile işletmenin deney öncesinde kullanmış olduğu kombinasyonun üretimi sonucunda elde edilen veriler arasında yanıtlar bazında değişimin karşılaştırması Tablo 5.10.a,b,c'de görülebilmektedir.

Tablo 5.10. a) Çekme mukavemeti değerlerindeki değişim

	Ortalama	Std. Sapma	R
İlk Durum	30,96	0,78	1,96
Son Durum	32,36	0,230	0,6
Değişim	0,05	-0,70	-0,69

Tablo 5.10. b) İletkenlik değerlerindeki değişim

	Ortalama	Std. Sapma	R
İlk Durum	53,74	0,89	2,20
Son Durum	54,34	0,594	1,5
Değişim	0,01	-0,33	-0,32

Tablo 5.10. c) Uzama değerlerindeki değişim

	Ortalama	Std. Sapma	R
İlk Durum	4,92	0,390	1,00
Son Durum	5,50	0,292	0,8
Değişim	0,12	-0,25	-0,20

Tablo 5.10.a'da görülebildiği gibi ortalama değerde %5'lik bir artış meydana gelmiş 30.96 ortalamadan 32.36 ortalamaya çıkılarak ve hedef değer olan 33'e oldukça yaklaşılmıştır. Örneklem varyansı ise 0.78'den 0.23'e %70'lik bir azalma göstermiştir. Aynı şekilde aralık değeri de % 69' luk bir azalma göstermiştir.

Tablo 5.10.b'de görülebildiği gibi ortalama değerde %1'lik bir artış meydana gelmiş 53.74 ortalamadan 54.34 ortalamaya çıkılarak mümkün olduğunca artması istenen iletkenlik değerinde önemli olmasa da bir gelişme sağlanmıştır. Örneklem varyansı ise 0.89'dan 0.594'e %33'lük bir azalma göstermiştir. Aynı şekilde aralık değeri de % 32' lik bir azalma göstermiştir.

Tablo 5.10.c'de görülebildiği gibi ortalama değerde %12'lik bir artış meydana gelmiş 4.92 ortalamadan 5.5 ortalamaya çıkılarak mümkün olduğunca artması istenen iletkenlik değerinde önemli bir gelişme sağlanmıştır. Örneklem varyansı ise 0.39'dan 0.292'ye %25'lik bir azalma göstermiştir. Aynı şekilde aralık değeri de %20' lik bir azalma göstermiştir.

Yukarıda da görüldüğü gibi tüm karakteristiklerinde eş zamanlı olarak iyileşme sağlanmıştır. Faktör kombinasyonundaki değişim, yanıtların ortalama değerinin istenen hedeflere yönelmesini sağlarken, varyansı da azaltarak kalite güvenilirliğini arttırmaktadır.

Bu noktada incelenmesi gereken diğer nokta ise kalitede meydana gelen gelişmenin maliyet ve üretim hızı gibi işletmenin diğer faktörlerinde olumsuz bir etkiye neden olup olmadığıdır.

Maliyet değerleri için işletmeden gizlilik nedeniyle bilgi alınamamış olmasına karşın, ısıl işlem suresinde meydana gelen azalma enerji kullanımının azalması anlamına gelmektedir. Buna karşın T3'de 430 dereceden 450 dereceye gerçekleşen artış, elde edilen maliyet azalışının yanında önemsiz kalmaktadır.

İşletme ile ilgili üzerinde durulması gereken bir diğer nokta ise RAM hızında meydana gelen değişimdir. RAM hızı, ekstrüzyon işleminin hızını belirlemektedir. Ekstrüzyon hızında 12 m/dk'dan 15 m/dk'ya meydana gelen 3 m/dk'lık artış üretim hızının %25 artışı anlamına gelmektedir.

Görüldüğü gibi yapılan çalışma maliyet, üretim hızı ve kalite açısından işletme için önemli kazançlar ortaya koymuştur.



BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz işletmeleri için rekabet edebilme, tüm faaliyetler için hayati önem taşıyan bir özelliktir. Rekabetin çeşitli araçları mevcuttur ancak, işletmeler arası rekabetin de etkisiyle günümüz tüketicisinin giderek artan beklentilerinin karşılanmasında, kalite bazı durumlarda en önemli araç haline dönüşebilmektedir. Kalitenin göreceli önemi değişse de rekabetin vazgeçilmez parçası olduğu ortadadır.

Kaliteyi geliştirmek için kullanılan bir çok yöntemin arasında deney tasarımı 1950'lerden bu yana önemini gittikçe arttırmıştır. Deney tasarımının bu katkısında Taguchi yönteminin etkisi büyüktür. Bu yöntem sayesinde deney maliyetlerinin yüksek olabileceği sanayi işletmelerinde, klasik deney tasarımının aksine daha az deney yaparak sonuçlara ulaşmak mümkündür.

Çok yanıtlu kalite karakteristiklerinin söz konusu olduğu durumlarda Taguchi yönteminin uygulanması için standartlaşmış bir yöntem mevcut değildir. Bu çalışmada çoklu yanıtların bir araya getirilerek değerlendirilmesinde bulanık mantıktan yararlanılarak oluşturulan bir yöntem sunulmuştur. İncelenen kalite karakteristikleri, bulanık denetim işleminde giriş kümeleri olarak alınarak, Çok Yanıtlı Performans Göstergesi isimli bir çıkış değerinde birleştirilmiştir. Yöntemin geri kalan kısmında kalite faktörleriyle yanıt arasındaki ilişki tek yanıtlu Taguchi yönteminde olduğu gibi incelenmiştir.

Yöntemin uygulaması İzmit'te faaliyet gösteren, telekomünikasyon ve elektrifikasyon sektörleri için kablo üreten TÜRKKABLO A.O'da yapılmıştır. İşletmede ALDREY olarak adlandırılan alaşım oranı yüksek alüminyum telin ekstrüzyonla çekildiği ve daha sonra ısıtılarak tutularak homojenize edildiği süreç incelenerek, çıkış kalite karakteristikleri olan çekme mukavemeti, iletkenlik ve uzama miktarı için istenen değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan analiz

sonucunda önerilen faktör/seviye kombinasyonu doğrulama deneyiyle denenmiş, sonuçlar irdelenmiştir.

Sürece etki eden kontrol edilebilir 7 faktör için 2'şer seviye belirlenerek, L_8 ortogonal dizisinde her bir faktör/seviye kombinasyonu için 5'er deney yapılmıştır. Elde edilen verilerden sinyal gürültü oranları hesaplanarak bulanık çıkartım için giriş verisi olarak kullanılmıştır.

Bulanık çıkartımda giriş bulanık kümeleri için 3'er alt küme, çıkış bulanık kümesi için 7 alt küme tanımlanarak; giriş-çıkış bulanık kümelerini ilişkilendiren 27 adet kural tanımlanmıştır. Kalite karakteristiklerine ait sinyal gürültü oranları için bulanıklaştırma işleminden sonra kural tabanı çalıştırılmış ve elde edilen sonuç bulanık kümeleri ağırlık merkezi yöntemiyle durulaştırılmıştır.

Bulanık çıkartım sonucunda elde edilen Çok Yanıtlı Performans Gösterge (ÇYPG) değerleri için sütun farkları yöntemiyle varyans analizi yapılarak en iyi faktör/seviye kombinasyonu hesaplanarak işletmeye önerilmiştir.

İşletmeye önerilen kombinasyon sonucu yapılan doğrulama deneyleri göstermiştir ki, ilk durumda uygulanan kombinasyona göre belirlenen bütün kalite karakteristikleri için gelişme sağlanmıştır. Son durumda, kalite yanıtlarına ait ilk durumdaki ortalamalarda %1 il %12 arasında gelişme sağlanmış olmasının yanında, varyans değerlerinde de %25 ile %70 arasında azalma sağlanmıştır.

Taguchi yöntemi klasik deney tasarımına nazaran daha az deney gerektirmesi nedeniyle sanayi işletmeleri için daha uygun bir araç olarak gözükmektedir. Bu çalışmada uygulanan 7 faktör iki seviye için klasik deney tasarımında tek deneme için $2^7 = 128$ deneye gerek duyulurken, Taguchi yöntemiyle ortogonal diziler kullanılarak 5'er deneme için 40 deney yapılarak sonuca ulaşılmıştır.

Günümüzde bir çok alanda kullanılan ve giderek yaygınlaşan bulanık mantık bu çalışma da başarılı sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmuştur. Yeni başlayanlar için zor gibi görünebilmesine karşın oldukça basit ve kullanışlı bir yapıya sahiptir. Giriş

ve çıkış değerleri arasında tutarlı analitik bir bağlantının kurulamadığı durumlarda oldukça kolay olan kural tanımlama yapısıyla, bu işlemin araştırmacı için tatmin edici bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır.

Bulanık mantıkla çalışmak isteyen araştırmacılar için, bulanık mantık sisteminin kurulması, işletilmesi, düzenlenmesi ile ilgili işlemlerin kolayca yapılmasını sağlayan paket programlar mevcuttur. Bu çalışmada bulanık çıkarım ile ilgili işlemler MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bulanık mantık ve diğer yapay zeka yöntemlerinin ülkemizde işletmelerde kullanımını henüz yeni olmakla birlikte giderek yaygınlaşacaktır. Endüstri mühendisliği çalışma alanı için yeni çözümler öneren bu yöntemlerle yapılan çalışmaların artışı önemli faydalar ortaya çıkaracaktır.



KAYNAKLAR

- 1- Türk Dil Kurumu,2000. Okul Sözlüğü. s.1114, Ankara.
- 2- <http://proje.bitek-o.org>, 2003
- 3- DEAN, T., ALLEN, J., ALOIMONOS, Y., 1995. Artificial Intelligence: Theory and Practice, The Benjamin/Cummings Publishing Company, New York.
- 4- AYDIN, A. E., 1997. Yapay Sinir Ağları ve İGDAŞ'ta Yük Tahmininde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- 5- CANBOLAT, Y.B., 2000. Atölye Kontrolde Bulanık Mantık İle Çizelgeleme. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- 6- GARNHAM, A., 1998. Artificial Intelligence. Routledge&Kagan Paul Ltd. London
- 7- FREEMAN, J. A. and SKAPURA, D. M., 1992. Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programing Techniques. Addison-Wasley Publishing Company Inc.
- 8- ÖZKUL, A.S., 1991. Yapay Zeka ve uygulamaları, İTÜ Fen Bilimleri İşletme Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi.
- 9- DÜNDAR, M. F. , 1996. Bulanık Kümeler ve Endüstri Mühendisliği Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 10- DENGİZ, B. ve ALTIPARMAK, F., 1998. Genetik Algoritmalara Genel Bir Giriş, Endüstri Mühendisliği, Cilt:9, Sayı:3, ss. 3-11.
- 11- ÖZDEMİR, A., ŞEKER, U. ve ASLAN, E., 1992, "Yapay Zeka ve Uzman Sistemler", Gazi Üniversitesi Tek. Eğitim Fak. Dergisi, 3, 3-4.
- 12- SAĞIROĞLU, Ş., BEŞDOK, E., ERLER, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları. Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık, Kayseri.
- 13- BAKIR, M. A., ALTUNKAYNAK, B., 2003. Tamsayılı Programlama. Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul
- 14- BAGIŞ, A., 2003. Determining fuzzy membership functions with tabu search-an application to control. Fuzzy Sets and Systems, 139, 209-225.

- 15- ŞEN, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Sanat Yapım Yayıncılık, İstanbul.
- 16- TİRYAKİ, C., 1998. Fuzzy Bayes Karar Verme ve Bir Üretim Problemine Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi . Marmara Üniversitesi, İstanbul
- 17- ENGELKIRAN, M., 2001. Fuzzy Çoklu Kriterlere Göre Karar Vermenin İnsan Kaynaklarına Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul
- 18- YUAN, B., KLIR, J.G., Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory And Applications, New York, 1994
- 19- HAMİTOĞULLARI, H.C., 1999. Fuzzy Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi ile Portföy Seçimi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- 20- AYKANAT, M., 2000. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Donanım, Tasarım Ve Uygulamaları. Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Ankara.
- 21- TEMURTAŞ, F., 2000. Kimyasal Sensör Dizilerinde Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Uygulamaları: Gazların Sınıflandırılması ve Gaz Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- 22- ZEYDAN, M., 1999. Bir Petrol Rafineri Ünitesinde (FCCU) Bulanık Modelleme ve Kontrol. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- 23- PAKSOY, T. ve ATAĞ, M., 2003. Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama İle Bütünleşik Üretim Planlama. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 15, No: 2, ss.457-466. Ankara
- 24- MERCAN C.A., Bilişim Enstitüsü-Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik, www.bumat.itu.edu.tr, 2004
- 25- LAI Y.J., and HWANG C.L., 1996. Fuzzy Multiple Objective Decision Making. Springer-Verlag, Great Britain.
- 26- HASHMI, K., EL BARADIE, M.A. and RYAN M., 1998, Fuzzy Logic Based Intelligent Selection of Machining Parameters. Computers & Industrial Engineering, Vol. 35, p 571-574, Great Britain.
- 27- Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Bulanık Mantık Dersi Notları. 2003.
- 28- BELLMAN R., ZADEH L.A.,1970. Decision making in a fuzzy environment. Management Science, 17 B (4), 141-164.

- 29- EL-WAHED, W.F.A.,2001. A multi-objective transportation problem under fuzziness. Fuzzy Sets and Systems,117,27-33.
- 30- Prof.Dr. İ.Burhan Türkşen ile Bulanık Mantık Üzerine Bir Söyleşi. www.bumat.itu.edu.tr, 2004.
- 31- LOOTSMA, F, A., 1997. Fuzzy Logic for Planning and Decision Making, Kluwer Academic Publishers, U.S.A
- 32- TRIANTAPHYLLOU, E., 2000. Multi-Criteria Desion Making Methods: A Comparative Study, Kluwer Academic Publishers, U.S.A.
- 33- SLOWINSKI, R., 1998. Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operations Research and Statistics. Kluwer Academic Publishers, U.S.A.
- 34- WANG, L., 1997. A Curse in Fuzzy Systems and Control. Prentice-Hall International. U.S.A.
- 35- ROSS, P. J., 1989. Taguchi Techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill Book Company, p. 1-277, Singapore
- 36- ÇELİK, C. ve BURNAK N., 1994. Kalite Geliştirmede Taguchi Yöntemlerinin Rolü ve Bir Uygulama. Endüstri Mühendisliği, Cilt:5, Sayı:5, 9-17, Ankara.
- 37- FERAH, M., 2003. Çok Yanıtlı Taguchi Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayinde Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- 38- ŞİRVANCI, M., 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı. Literatür Yayınları, s 11. İstanbul.
- 39- TAPTIK, Y., KELEŞ, Ö., 1998. Kalite Savaş Araçları. Kalder Yayınları. İstanbul
- 40- ALTINBİLEK ÜNAL, Y., 2001. Şanzıman Giriş Mili İmalatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodunun Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- 41- TAGUCHI, G., and JUGULUM, R., 2002. The Mahalanobis - Taguchi Strategy: A Pattern Technology System. John Wiley and Sons Inc., U.S.A .
- 42- KELEŞ, Ö., 1996. Matkap Uçlarının Ark Pvd ve Tin Kaplanmasıda Proses Parametrelerinin Taguchi Metodları ile Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

43- ANTONY, J., 2001. Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Loss Function. *Int.J.of Adv. Manuf. Technology*, ,17:134-138.

44- JARAYAM, J.S.R., IBRAHIM,Y., 1999. Multiple Response Robust Design and Yield Maximization. *Int. Journal of Quality and Reliability Management*, Vol.16, No.9, 826-837

45- BAYNAL, K., 2003. Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile En İyilenmesi ve Bir Uygulama. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Trabzon'da doğdu ilk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamladı. Lisans eğitimini 2001 yılında mezun olduğu Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde aldı. Eylül 2001'de Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

2001 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

