



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN AKSİYOMATİK
TASARIM İLE ETKİNLEŞTİRİLMESİ
ve
BİR KALIP İMALATI UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cem KAYGULUOĞLU

BURSA 2015



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN AKSİYOMATİK
TASARIM İLE ETKİNLEŞTİRİLMESİ
ve
BİR KALIP İMALATI UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

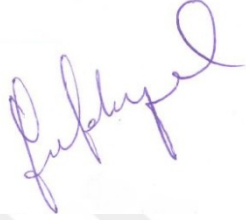
Cem KAYGULUOĞLU

**Danışman:
Yrd.Doç. Dr. Gül GÖKAY EMEL**

BURSA 2015

T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İşletme Anabilim Dalı'nda 701114031 numaralı Cem KAYGULUOĞLU'nun hazırladığı "Kalite Fonksiyonu Göçeriminin Aksiyomatik Tasarım ile Etkinleştirilmesi ve Bir Kalıp İmalatı Uygulaması" konulu Yüksek Lisans Tezi ile ilgili tez savunma sınavı, 29/05/2015 günü 10.00-12.00 saatleri arasında yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **BAŞARILI** olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.



Üye (Tez Danışmanı ve
Sınav Komisyonu Başkanı)

Yar.Doç. Dr. Gül Emel
Uludağ Üniversitesi



Üye

Prof. Dr. Ayşe Anafarta
Akdeniz Üniversitesi



Üye

Yar.Doç. Dr. Aysun Kapucugil İkiz
Dokuz Eylül Üniversitesi

29/05/2015

ÖZET

Yazar Adı ve Soyadı : Cem KAYGULUOĞLU
Üniversite : Uludağ Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı : İşletme
Bilim Dalı : Sayısal Yöntemler
Tezin Niteliği : Yüksek Lisans Tezi
Sayfa Sayısı : xiii + 119
Mezuniyet Tarihi : 29 / 05 / 2015
Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Gül GÖKAY EMEL

KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN AKSİYOMATİK TASARIM İLE ETKİNLEŞTİRİLMESİ VE BİR KALIP İMALATI UYGULAMASI

Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG), müşteri gereksinimlerine odaklı yeni ürünler tasarlamayı veya mevcut ürünleri geliştirmeyi amaçlayan disiplinler arası takım çalışması gerektiren bir kalite yöntemidir. Aksiyomatik Tasarım (AT) ise tasarım faaliyetlerini iyileştirmek için geliştirilen bir sistematik ve bilimsel tasarım yöntemidir.

Bu çalışmanın amacı; AT ilkelerinden yararlanarak KFG'nin etkinliğini artırmaktır. KFG çalışmalarında, problemin yapısı gereği sonuç üzerinde olumsuz etkileri olan korelasyonlar ortaya çıkabilmektedir. Bu da, KFG yönteminin başarımını etkilemektedir. Bu çalışma ile; söz konusu korelasyonların AT ilkeleri - KFG süreci bütünleştirmesinden yararlanarak giderilebilmesi,giderilemeyip kalan korelasyonlarında sonuç üzerindeki etkilerinin görülebilmesi ve böylece de KFG'nin daha etkin bir yöntem haline getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada toplanan nitel veriyi nicel parametrelere dönüştürmede Bulanık Mantık ve müşteri isteklerinin önceliklendirilmesinde de Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) algoritması kullanılarak KFG sürecinin etkinliği artırılmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada oluşturulan yeni KFG metodolojisi, müşteri gereksinimlerinin korelasyon etkilerinden arındırılmasının ardından, önceliklerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilişki matrisi ve çatı matrisindeki bazı korelasyonların giderilmesinin mühendislik karakteristiklerinin öncelik sırasının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler:Kalite Fonksiyonu Göçerimi,Aksiyomatik Tasarım,Bulanık Mantık, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

ABSTRACT

Name and Surname : Cem KAYGULUOĞLU
University : UludağUniversity
Institution : Social Science Institution
Field : Business Administration
Branch : Quantitative Methods
Degree Awarded : Master
Page Number : xiii +119
Degree Date : 29 / 05 / 2015
Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Gül GÖKAY EMEL

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT BY AXIOMATIC DESIGN AND A CASE STUDY FOR TOOL MAKING

Quality Function Deployment (QFD) is a quality technique that requires interdisciplinary team work that aims to design new and developed products. It provides focusing on the customer needs. Axiomatic Design (AD) is a structured and rational design method created to improve design activities.

This study intends to improve the efficiency of QFD by adopting AD principles which will be used to decrease the correlation effects and reflect the effect of existing ones on results. Additionally, fuzzy logic is used to convert qualitative information into quantitative parameters and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) methodology used to define the relative weight of customer requirements.

This hybrid approach is applied on a tool maker company to define the priority of customer needs refined from the correlation effects. Achieved indications shows the strong effect of relation matrix and roof matrix correlations on the final priority of engineering characteristics.

Key words: Quality Function Deployment, Axiomatic Design, Fuzzy Logic, Fuzzy Analytic Hierarchy Process

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Kalite Fonksiyonu Göçerimi (KFG) yazınında gelinen son aşamaları ve yazında öneri olarak bulunan fakat gerçek hayatta uygulaması olmayan bir metodolojinin geliştirilmesini; Kalite Fonksiyonu Göçerimi ile Aksiyomatik Tasarım'ın bütünleştirilmesini içermektedir.

Araştırmacılar, 1980'lerden beri KFG uygulamaları üzerine çalışarak bu alanda çok geniş bir yazın oluşturmuş ve çok farklı yöntemleri KFG ile bütünleştirmiş veya bütünleştirmeyi önermişlerdir. Bulanık Mantık, Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Programlama, Regresyon, Grup Karar Verme ve Çok Kriterli Karar Verme gibi pek çok yöntem, KFG'yi geliştirmek ve gerçek uygulama başarımını arttırmak için yöntemle bütünleştirilmiştir.

Son dönemlerde yapılan çalışmaların bir bölümü, KFG içerisindeki korelasyonlara ve bunların etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Basit matematik modellerin yanı sıra; Kaba Küme Yaklaşımı, Bulanık Çıkarım Sistemleri, Aksiyomatik Tasarım gibi gelişmiş yöntemler kullanılarak korelasyonların olumsuz etkileri giderilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise; temelleri atılmış fakat tam olarak bütünleşmesi yapılmamış bir alan olan Kalite Fonksiyonu Göçerimi-Aksiyomatik Tasarım bütünleşmesi üzerinde çalışılarak yazına katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmaların her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkıları ile ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam Yrd.Doç. Dr. Gül GÖKAY EMEL'e, çalışmalarımda beni motive eden eşim Aytül KAYGULUOĞLU'na, yüksek lisans süreci boyunca maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen PAYE MAKİNA genel müdürü Sayın Yetkin BİBER'e teşekkür ederim.

Cem KAYGULUOĞLU
BURSA-2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
TABLolar.....	xii
ŞEKİLLER.....	xiii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ

1.1. KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN TARİHÇESİ	3
1.2. KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ VE SAĞLADIĞI FAYDALAR.....	4
1.3.KALİTE EVİNİN OLUŞTURULMASI VE YORUMLANMASI.....	6
1.3.1. Planlama Aşaması	6
1.3.1.1. Müşterilerin belirlenmesi.....	7
1.3.1.2. KFG takımının kurulması.....	7
1.3.1.3. Ürüne karar verilmesi.....	8
1.3.1.4.KFG uygulama çizelgesinin hazırlanması.....	8
1.3.2. Müşterinin Sesi'nin Toplanması.....	8
1.3.2.1. Müşteri ihtiyaçlarının tanımlanması.....	9
1.3.2.2. Müşteri ihtiyaçlarının yapılandırılması.....	9
1.3.2.3. Müşteri ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi.....	10
1.3.3. Kalite Evinin Oluşturulması.....	10
1.3.3.1.Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi.....	11
1.3.3.2. Mühendislik karakteristiklerinin belirlenmesi.....	11
1.3.3.3. İlişki matrisinin oluşturulması.....	13
1.3.3.4. Planlama matrisleri.....	14
1.3.3.5.Çatı matrisinin oluşturulması.....	16
1.4. KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ SÜRECİ.....	17

1.5.BULANIK KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ.....	19
---	----

İKİNCİ BÖLÜM

AKSİYOMATİK TASARIM

2.1.TASARIM VE TASARIMCI.....	20
2.2.AKSİYOMATİK TASARIM VE HEDEFLERİ.....	21
2.3.AKSİYOMATİK TASARIM YAPISI.....	22
2.3.1.Bilgi Alanı Kavramı.....	22
2.3.2.Tanımlar.....	22
2.3.3.Fonksiyonel Gereksinimlere Karşı Müşteri İhtiyaçları ve Haritalandırma.....	23
2.3.4.Fonksiyonel İhtiyaçlar.....	24
2.3.5.Aksiyomlar.....	24
2.3.5.1.Bağımsızlık Aksiyomu.....	24
2.3.5.2.Bilgi Aksiyomu.....	26
2.4.AKSİYOMLARLA TASARIM SONUÇLARI.....	28

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

3.1. BULANIK MANTIĞA GİRİŞ.....	31
3.2.BULANIK MANTIĞIN GELİŞİMİ.....	33
3.3. BULANIK KÜMELER	34
3.3.1. Genel Özellikleri.....	34
3.3.2. Temel Kavramlar.....	37
3.3.3. Klasik ve Bulanık Küme Notasyon, İşlem ve Özellikleri.....	40
3.4. BULANIK SAYILAR ve İŞLEMLER.....	43
3.5. BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ.....	45
3.5.1. Bulanıklaştırma Aşaması.....	46
3.5.2.Çıkarım Aşaması.....	52
3.5.3. Durulaştırma.....	52
3.5.4. Model Önerileri.....	56

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

4.1.Analitik Hiyerarşi Prosesi.....	59
4.2.Analitik Hiyerarşi Prosesi Aşamaları.....	60
4.2.1.Karar Probleminin Tanımlanması.....	60
4.2.2.Hiyerarşik Yapının Kurulması.....	60
4.2.3.İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması.....	61
4.2.4. Kriter ve Alternatiflerin Görelî Önem Değerlerinin Belirlenmesi.....	63
4.2.5.Tutarlılığın Kontrol Edilmesi.....	63
4.2.6.Alternatiflerle İlgili Sıralamanın Belirlenmesi.....	64
4.2.7.Duyarlılık Analizinin Yapılması.....	65
4.3.BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ	66
4.3.1.Genişletilmiş Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Algoritması.....	66
4.3.2.Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde Kullanılan Ölçekler.....	68
4.3.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde Tutarlılık.....	69

BEŞİNCİ BÖLÜM

KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN AKSİYOMATİK TASARIM İLE ETKİNLEŞTİRİLMESİ

5.1.KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ ve FARKLI METODOLOJİLERİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ.....	70
5.2.ÖNERİLEN METODOLOJİ.....	72
5.2.1. KFG Takımının Oluşturulması.....	72
5.2.2. Müşterilerin Belirlenmesi Ve Müşterinin Sesinin Toplanması.....	73
5.2.3. Müşteri Gereksinimlerinin Belirlenmesi.....	76
5.2.4. Mühendislik Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	76
5.2.5. İlişki Matrisinin Oluşturulması.....	76
5.2.6.İlişki Matrisinin AT Bağımsızlık Aksiyomuna Göre Doğrulanması.....	77
5.2.7.Müşteri İsteklerinin Bağıl Önem Derecelerinin Tespit Edilmesi.....	80
5.2.8.Kalite Evi Çatı Matrisinin Oluşturulması.....	81
5.2.9.Bağıl Satır Ağırlığının Hesaplanması.....	82
5.2.10.Bağıl Sütun Ağırlığının Hesaplanması.....	86
5.2.11.Korelasyon Ağırlığının Hesaplanması.....	87

5.2.12.Final Ağırlığının Hesaplanması Ve Sıralamanın Yapılması.....	92
---	----

ALTINCI BÖLÜM
KALIP İMALATI UYGULAMASI

6.1. KALIP İMALATI İLİŞKİ MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI.....	93
6.2. İLİŞKİ MATRİSİNİN BAĞIMSIZLIĞININ SAĞLANMASI.....	100
6.3. ÇATI KORELASYONLARINDAN BAĞIMSIZ SÜTUN AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI.....	103
6.4.ÇATI MATRİSİ KORELASYON AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI VE SIRALAMANIN ELDE EDİLMESİ.	111
SONUÇ.....	113
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR

Kısaltma	
KFG	Kalite Fonksiyonu Göçerimi
BKFG	Bulanık Kalite Fonksiyonu Göçerimi
KE	Kalite Evi
AT	Aksiyomatik Tasarım
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BM	Bulanık Mantık
OICA	Motorlu Araç Üreticileri Uluslararası Organizasyonu
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
CR	Müşteri Gereksinimleri
EC	Mühendislik Karakteristikleri
ÇKKV, MCDM	Çok Kriterli Karar Verme
SOQ	Tavsiye Edilen Sipariş Miktarı
CA	Müşteri İstekleri
FR	Fonksiyonel Gereksinimler
DP	Tasarım Parametreleri
PV	Süreç Değişkenleri
SPM	Dakikadaki Vuruş Sayısı
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli İmalat
CNC	Bilgisayar Destekli Numerik Kontrol
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik
HRC	Rokvel Sertliği
I	Bilgi içeriği
BAT	Bulanık Aksiyomatik Tasarım
DSM	Tasarım Yapı Matrisleri

TABLolar

Tablo No	İçerik	Sayfa
Tablo 1.1	İlişki Dereceleri Ölçeği	13
Tablo 4.1	AHP İkili Karşılaştırma Ölçütü	62
Tablo 4.2	AHP Rastgele İndeks Sayıları	64
Tablo 4.3	BAHP İkili Karşılaştırma Ölçütü	68
Tablo 5.1	Önerilen Metodolojinin Kalite Evi	75
Tablo 6.1	1 Numaralı Uzmanın EC-CR İlişkilerine Dair Sözel Değerlendirmesi	99
Tablo 6.2	Bulanık Ortalanmış EC-CR İlişki Matrisi	101
Tablo 6.3	Orijinal EC-CR İlişki Matrisinin (\tilde{C}) Bağımlılık Katsayısı	101
Tablo 6.4	Düzenlenmiş EC-CR İlişki Matrisinin (\tilde{C}) Bağımlılık Katsayısı	104
Tablo 6.5	1 Numaralı Uzmanın Yeni İlişki Matrisinde EC-CR İlişkilerine Dair Sözel Değerlendirmesi	102
Tablo 6.6	Müşteri İstekleri Düzenlenmiş EC-CR İlişki Matrisinin (\tilde{C}) Bağımlılık Katsayısı	104
Tablo 6.7	1 Numaralı Müşterinin Sözel Değerlendirmeleri	103
Tablo 6.8	Müşteri İsteklerinin Bağlı Önem Dereceleri	106
Tablo 6.9	Ortalanmış İkili Karşılaştırma Matrisi	105
Tablo 6.10	1 Numaralı Müşterinin Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisi Ve Tutarlılık Katsayısı	105
Tablo 6.11	1 Numaralı Uzmanın Mühendislik Karakteristikleri İle İlgili Sözel Değerlendirmesi	107
Tablo 6.12	Ortalanmış Bulanık Mühendislik Karakteristiği İlişki Matrisi	107
Tablo 6.13	Ortalanmış İyileştirme Oranı ve Satış Üstünlüğü Değerleri	108
Tablo 6.14	Mühendislik Karakteristiklerinin Mutlak ve Bağlı Önem Dereceleri	109
Tablo 6.15	Korelasyon Değerlendirmesi Sonrası Mühendislik Karakteristiklerinin Mutlak ve Bağlı Önem Dereceleri	110
Tablo 6.16	Mühendislik Karakteristiklerinin Final Ağırlıkları	112

ŞEKİLLER

Şekil No	İçerik	Sayfa
Şekil1.1	Kalite Evi	12
Şekil1.2	KFG Sürecinin Dört Aşaması	18
Şekil2.1	Aksiyomlarla Tasarımda Bilgi Alanları	22
Şekil 2.2	Tasarımın Hiyerarşik Olarak İndirgenmesi	24
Şekil2.3	Tasarım Matrisi Çeşitleri	26
Şekil2.4	Tasarım Aralığı, Sistem Aralığı, Ortak Aralık ve FR'nin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	29
Şekil3.1	Klasik ve Bulanık Mantık	32
Şekil3.2	Bulanık Üyelik Fonksiyonu	35
Şekil3.3	Bulanık Olmayan Üyelik Fonksiyonu	35
Şekil 3.4	Bulanık Değerlendirme Örneği	36
Şekil 3.5	Bulanık Üyelik Fonksiyonu Örneği	36
Şekil 3.6	Kesme Kümesi	38
Şekil 3.7	Normal Bulanık Kümeler	39
Şekil 3.8	Normal Olmayan Bulanık Kümeler	39
Şekil 3.9	İçbükey ve Dışbükey Bulanık Kümeler	40
Şekil 3.10	Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi	45
Şekil 3.11	Üyelik Fonksiyonunun Kısımları	47
Şekil 3.12	Üçgen Üyelik Fonksiyonu	48
Şekil 3.13	Yamuk Üyelik Fonksiyonu	48
Şekil 3.14	Gaussian Üyelik Fonksiyonu	49
Şekil 3.15	Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu	50
Şekil 3.16	Artan S Üyelik Fonksiyonu	50
Şekil 3.17	Azalan S Üyelik Fonksiyonu	51
Şekil 3.18	Pi Üyelik Fonksiyonu	52
Şekil 3.19	En Büyüklük İlkesi Çizgisel Gösterimi	54
Şekil 3.20	Sentroid İlkesi Çizgisel Gösterimi	54
Şekil 3.21	Ortalama En Büyük Üyelik Çizgisel Gösterimi	55
Şekil 3.22	Ağırlıklı Ortalama Çizgisel Gösterimi	55
Şekil 3.23	En Büyüklerin En Küçüğü Çizgisel Gösterimi	56
Şekil 3.24	En Büyüklerin Büyüğü Çizgisel Gösterimi	56
Şekil 4.1	AHP Modeli İçin Hiyerarşi Yapısı	61
Şekil 5.1	Önerilen Metodolojinin Şematik Gösterimi	74
Şekil 5.2	Müşteri İlişkilerine Bağlı Olarak Müşterinin Sesini Toplama Yöntemleri	73
Şekil 5.3	Çalışmada Kullanılan Dilsel Değişkenlerin Üyelik Fonksiyonları	77
Şekil 6.1	Mühendislik Karakteristiklerinin Çatı Korelasyonları Dikkate Alınmadan Yapılmış Olan Sıralaması	110
Şekil 6.2	Sıralamadaki Değişiklikler ve Final Sıralama	111

GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen iletişim teknolojileri sayesinde müşteri beklentilerinin sürekli değiştiği gözlenmektedir. Bu tip dinamik rekabet ortamlarında ancak müşteri istek ve gereksinimlerini doğru algılayarak, bunları ürün ve ürünün üretildiği süreçlere doğru aktarabilen işletmeler başarıyı yakalayabilmektedir. İşletmelerde var olan her bir sürecin temel varlık nedeni müşteri beklentilerinin karşılanmasıdır. İyi bir tasarım için müşteri beklentilerini doğru algılamak ve bu beklentiler doğrultusunda ürün ve hizmet bileşenlerinin değişkenlerini, maliyetlerini ve güvenilirliklerini belirlemek kritik noktalardır. İşletmeler kaynaklarını müşteri açısından önemsiz bir ürün bileşeni için değil müşteri veya ürün için kritik olan alanlarda harcamak isterler. Kalite Fonksiyonu Göçerimi, müşteri beklentilerini, ürün veya hizmet, süreç, parça, işlem, kontrol, maliyet ve güvenilirlik alt bileşenlerine doğru aktarabilmede etkinliğini göstermiş sistematik bir yaklaşımdır. Kalite Fonksiyon Göçerimi, esas olarak müşteri isteklerini ölçülebilen, başarımlı bileşenlerine dönüştürüp optimize edilmiş bir süreç elde edilmesine yardımcı olan müşteri odaklı ve takım çalışması gerektiren bir kalite yöntemidir.

KFG, ilk olarak 1972 yılında Japonya'da Mitsubishi Heavy Industries'te uygulanmış olan yaygın bir Toplam Kalite Yönetimi (TKY) uygulamasıdır. KFG, Toyota ve tedarikçileri tarafından araç imalatı uygulamalarında geliştirilmiştir. Toyota, bu uygulama sayesinde 1977-1984 yılları arasında hazırlık ve tekrar işleme maliyetlerinde %60'a varan iyileştirme sağlamıştır. KFG, müşteri gereksinimlerini, mühendislik karakteristiklerine göre derecelendiren müşteri odaklı bir yöntemdir. Ürün planlama ve iletişim için kavramsal bir yol haritası çıkartılmasına olanak sağlar (Chen-Weng, 2006:230). Araştırmacılar, 1980'lerden beri KFG uygulamaları üzerinde çalışmaktadır. KFG'nin uygulanabilirliğini geliştirmek için Bulanık Mantık (BM), Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Programlama, Regresyon, Grup Karar Verme, Çok Kriterli Karar Verme gibi pek çok yöntem KFG ile bütünleştirilmeye çalışılmıştır (Mohammad-Mohsen, 2013:11).

KFG uygulamalarındaki zayıf yönlerden biri, ilişki ve çatı matrislerinde ortaya çıkan korelasyonlardır. İlişki matrisi korelasyonları ile çatı matrisi korelasyonları birbirine paralel olarak ortaya çıkmaktadır (Li-Tang-Luo, 2010:42). İlişki matrisi içerisinde birden fazla mühendislik karakteristiği (EC) ile ilişkili olan müşteri gereksinimleri (CR), aynı zamanda çatı matrisinde de ilgili mühendislik karakteristikleri arasında pozitif veya negatif yönlü korelasyonlara sebep olmaktadır. M.Noel (Noel, 2011:22), Kanada'daki işletmelerin sadece

%5 ila %10'unun sürekli olarak KFG yöntemini kullandığını tespit etmiş ve bunun nedeni olarak da ilişki ve çatı matrisinde bulunan korelasyonların neden olduğu süre kayıplarına ve maliyetlere işaret etmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan yazın araştırmasında,müşteri gereksinimleri ve mühendislik karakteristikleri arasındaki korelasyon etkilerinin yönetimine odaklanmış çalışmaların az sayıda olduğu görülmüştür. Manchulenko (Manchulenko, 2001:18), bu korelasyonların giderilmesi için AT'nin kullanılabilirliğini dile getirmiştir. Goncalves-Coelho (Goncalves-Coelho,2005:233), KFG yönteminin geliştirilmesi için AT ilkelerinin kullanılmasını önermiştir. Taglia A. (Anrea-Gianni,2006:11), kesme takımlarının tersine mühendislik uygulaması için KFG ve AT'yi bir arada kullanan bir model önermiştir. Delice E. (Kılıç-Delice,2008:185), mühendislik karakteristikleri ve müşteri gereksinimleri arasındaki korelasyonların nihai derecelendirmeye dahil edilmesine olanak sağlayan bir yöntem sunmuştur. Çebi S.(Çebi-Kahraman,2011: II,27) yaptığı çalışmada Aksiyomatik tasarım ürün matrislerinin bağımlılık derecelerini tespit etmek için bir yöntem sunmuştur. Yan-Lai Li (Yan Lai-Jia Fu,2012:126), korelasyonların etkilerinin mühendislik karakteristiklerinin öncelik sıralamasında görülebilmesi için kaba küme yaklaşımını kullanmıştır. Cavallini C. (Cavallini-Citti, 2013:05), Aksiyomatik Tasarım'ın Bilgi Aksiyomu'na dayanarak negatif korelasyonların hesaba katıldığı bir yöntem geliştirmiştir.

Bu çalışmalarda, genel olarak korelasyonların sonuçlar üzerindeki etkisi gösterilmeye çalışılmış fakat korelasyonları elimine etme yönünde çalışılmamıştır. Bu çalışmaların hiçbiri korelasyonların KFG üzerindeki toplam etkisini yönetmeyi amaçlamamıştır. Sonuçta; ilgili yazında yer alan araştırmalar ve uygulamalar, AT'ın her iki aksiyomunun da KFG üzerindeki korelasyon etkilerinin giderilmesi ve yönetilmesi için iyi birer araç olabileceğini önermektedir.

Bu çalışmada ise AT'ın, KFG üzerindeki korelasyon etkilerinin giderilmesi ve yönetilmesi doğrultusunda bir metodoloji geliştirmeye odaklanılmıştır. Çalışmanın ilk dört bölümünde; sırası ile Kalite Fonksiyonu Göçerimi, Aksiyomatik Tasarım, Bulanık Mantık ve Analitik Hiyerarşi Prosesi incelenmiştir. Beşinci bölümde; Kalite Fonksiyonu Göçeriminin Aksiyomatik Tasarım ile etkinleştirilmesi için önerilen metodolojiye yer verilmiştir. Önerilen metodolojinin uygulaması, rekabetin çok yoğun olduğu küresel kalıp pazarında faaliyet gösteren bir kalıp imalatı işletmesinde yapılmış ve altıncı bölümde bu uygulamaya yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise sonuç bölümünde tartışılmıştır.

Birinci Bölüm

KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ

Bu bölümde Kalite Fonksiyonu Göçerimi'nin tarihçesi ve sağladığı faydalar belirtildikten sonra Kalite Evi'nin oluşturulması ve yorumlanmasına değinilecektir. Daha sonra KFG süreci incelenip Bulanık Kalite Fonksiyonu Göçerimi hakkında bilgi verilecektir.

1.1. KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN TARİHÇESİ

KFG 1960'ların sonunda Shigeru Mizuno ve Yoji Akao tarafından Japonya'da geliştirilmiştir. Önceleri müşteri isteklerinin belirlenmesi ve tasarım kalitesinin oluşturulması için balık kılıcı diyagramları kullanılırken, Akao(Akao, 1990:5) 1960'larda tasarım ve imalatta kalitenin güvence altına alınması için kritik noktaların belirlenmesi gerektiği görüşünü açıklamıştır. Kavram olarak 1960'lı yıllarda ortaya çıkmasına rağmen, KFG hakkındaki ilk resmi belge 1972 yılında 'Standardization and Quality Control' dergisinde yayınlanan 'New Product Development and Quality Assurance Quality Deployment System' başlıklı bildirimdir (Esin, 1998: 268).

İlk KFG uygulaması da 1972 yılında Mitsubishi Heavy Industry'nin Kobe tersanelerinde yağ tankerinin tasarımı için yapılmıştır. KFG'nin Amerika'ya ve Batı dünyasına tanıtımı 1983 yılında American Society for Quality Control'ün Akao'nun "Quality Progress" isimli makalesini yayınlaması ve Cambridge Research'ün Chicago'da bir KFG semineri vermesi için Akao'yu davet etmesi ile gerçekleşmiştir (Esin, 1998:268). Bu arada merkezi Dearborn Michigan'da bulunan Amerikan Supplier Institute (ASI) ve Methuen Massachusetts'de bulunan GOAL/QPC, KFG yöntemi hakkında genel eğitim veren ilk kuruluşlar olmuşlardır. GOAL/QPC kar amacı gütmeyen araştırma, yayınlama ve eğitim odaklı bir organizasyondur. ASI ve GOAL/QPC, KFG ile ilgili bilgilerin güncelleşmesi ile 1989 yılından sonra ilgili seminerlere sponsorluk etmeye başlamışlardır (www.goalqpc.com). 1995 yılından beri USQFD Enstitüsü ve Uluslararası KFG (ICQFD) Konseyi her yıl düzenlenen sempozyumlarda ve internet sitelerinde yapılan araştırmaları, makaleleri paylaşmaktadırlar (www.qfdi.org).

İlk KFG kitabı 1978 yılında Japonya'da ve 1994 yılında İngilizce'ye çevrilerek Amerika'da yayınlanmıştır. 1977-1984 yılları arasında Toyota'da yapılan KFG uygulaması

başarı ile sonuçlanmıştır. KFG'nin Toyota'daki başarılı uygulamaları sonucunda batı dünyasının bu yöntemle olan ilgisi artmıştır. KFG uygulaması ile Toyota'da ürün geliştirme maliyetlerinde %60 ve ürün geliştirme süresinde de %40 azalma görülmüştür. Bu yöntemin Amerika'da ilk uygulamaları 1986 yılında Ford ve Xerox firmalarında olmuştur. Beyaz eşya üreticisi olan Arçelik firması 1994 yılında KFG çalışmalarına başlamış ve ilk KFG uygulamasını bulaşık makinesi üzerinde gerçekleştirmiştir. Bulaşık makinesinin tamamı üzerinde KFG uygulanmaya çalışıldığında çok büyük matrislerle karşılaşılmış ve bunun üzerine makinenin bir bileşeni olan çatal kaşık sepeti üzerinde bir uygulama yapılmıştır (Telek-Akın, 1996:589).

1.2. KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ VE SAĞLADIĞI FAYDALAR

KFG, TKY kapsamında müşteri memnuniyetini güvence altına almaya yarayan bir kalite sistemidir. Müşteri istek ve ihtiyaçlarının doğru bir şekilde anlaşılması ile müşteri tarafından talep edilen kalite düzeyine ulaşılması, yeni değerler yaratılması ve böylece müşterilerin daha fazla memnun edilmesi için kullanılabilecek en iyi sistem olarak yorumlanmaktadır (Yenigöl, 2002:24). KFG, temel olarak müşteri ile işletmelerin aynı dili konuşmasını sağlar.

Müşteriler ve onların özellikleri, istekleri, ihtiyaç ve beklentileri zaman içinde değişmektedir. Diğer yandan, işletmeler de ürünler, çalışanlar, yönetim felsefeleri açısından devamlı olarak değişime uğramaktadır. Bu devamlı değişim, müşteri ve işletmenin algı haritalarının, düşünce yapılarının da sürekli yenilediği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla ile değişen koşullar içinde müşteri ve işletmelerin konuştuğu dil farklılaşmaktadır.

KFG'nin başlangıç noktası müşterinin sesidir. Müşterinin sesi; müşterilerin beklentilerini, isteklerini ve henüz algılamadıkları ihtiyaçlarını temsil eder. Müşteri sesinin dinlenmesi, müşterinin anlaşılması ve müşterilerin söyledikleri şeylerin teknik özelliklere dönüştürülmesi KFG sürecini biçimlendirir. Kalite Fonksiyonu Göçeriminin sağladığı faydalar şu şekilde sıralanabilir (Eymen, 2006:8);

-Müşteri ihtiyaçlarının sağlıklı olarak belirlenmesi ve artan müşteri tatmini

KFG müşterinin sesini işletmenin içine en doğru şekilde taşır. Bu sayede ürün yada hizmetin tasarımında müşterinin istek ve ihtiyaçlarına öncelik verilmiş olur. Müşterinin sesi tasarıma aktarıldıktan sonra imalat, ürünün pazara sunumu da daha kısa sürede gerçekleşir ve müşteriler ihtiyaç duydukları ürünleri daha kısa sürede elde etmiş

olurlar. Bunun yanında maliyetlerde düşüşün fiyattaki düşmeyi de beraberinde getirir. Dolayısıyla müşteriler ihtiyaç duydukları ürünlerin daha kaliteli olanlarını daha ucuza elde etmiş olurlar. Buna bağlı olarak müşteri tatmini de artar.

-Tasarım optimizasyonu

Müşterilerin daha iyi anlaşılması ve müşteri ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi sayesinde işletmenin elindeki kaynaklar öncelikle müşterileri tatmin edecek kritik alanlarda harcanır ve bu yapılırken üretilen ürünlerin tasarımı, ulaşılamaz hedeflerin seçilmesi engellendiğinden kaynakların israfı engellenmiş ve kritik müşteri ihtiyaçları ile işletme açısından ulaşılabilir hedefler arasında bir denge sağlanmış olur.

-Maliyetlerde azalma ve verimlilikte artış

Üretimde ve süreç tasarımında KFG yöntemi kullanılarak hem maliyetlerin aşağı çekilmesi hem de maksimum başarı elde edilmesi sağlanır.

-Daha kaliteli ve güvenilir ürünlerin üretilmesi

KFG karmaşık ve çok unsurlu işletme problemlerini çözmeye kullanılan ve farklı disiplinlerden insanların katkıları ile yürütülen bir süreç olduğundan sorunlara farklı perspektiflerden yaklaşımı da beraberinde getirir .Dolayısı ile bir problemin bir diğeri ile nasıl bir ilişki içinde olduğunu görmek, sorunun en önemli parçalarını ve sorunu en kolay nasıl çözülebileceğini belirlemek basit istatistiksel teknikler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu sayede daha kaliteli ve güvenilir ürünler üretilmektedir.

-Daha düşük geliştirme zamanı

KFG ürün veya hizmet geliştirme süreçlerini kısaltır ve pazara sunumlarını hızlandırır. KFG ile tasarım sonrası değişiklikler ve uygulamadaki hatalar azalmakta, bu sayede kayıp zaman azalmaktadır.

1.3. KALİTE EVİNİN OLUŞTURULMASI VE YORUMLANMASI

KFG'nin en önemli araçlarından biri Kalite Evi'dir. Temel olarak müşteri istekleri ile bunları karşılamaya yönelik olarak belirlenen kalite karakteristiklerini ilişkilendirmeye yarar. Bir işletmede, genelde KFG sistemi dört aşamada kurulmaktadır. Bu aşamalar (Akbaba, 2000: 18):

- Planlama
- Müşterinin sesinin toplanması
- Kalite Evinin oluşturulması
- Sonuçların analizi ve yorumlanması şeklindedir.

1.3.1. Planlama Aşaması

KFG uygulaması bir projedir ve hayata geçirilmeden önce uygulamanın bir planı yapılmalıdır. Bu planda proje hedefleri, zaman ve bütçe kısıtları, zaman çizelgeleri, malzeme kullanımı, çalışma ekibi gibi bir proje planı içinde düşünülmesi gereken tüm bilgiler bulunmalıdır. KFG uygulamasına başlamadan önce grup üyelerinin aşağıdaki hususlar üzerinde görüş birliğine varmaları gerekmektedir (Yenigöl, 2000: 97):

- Hangi ürün ya da ürün karakteristiğinin üzerinde çalışılacak?
- Nasıl müşterimiz gibi düşünebiliriz?
- Ürün geliştirmede hangi rakip ürünleri kullanacağız?
- Nasıl bir KFG uygulaması ürün ve süreç planımıza uygun olur?

Planlama aşaması; örgütsel desteğin sağlanması, amaçların belirlenmesi, müşteri grubuna karar verilmesi, Kalite Fonksiyon Göçerimi sisteminin uygulanacağı zaman diliminin belirlenmesi, ürün kavramına karar verilmesi, uygulayacak ekibin kurulması, sürecin tasarlanması ve gerekli malzemelerle tesisin sağlanması konularını içerir. Bir işletmedeki KFG sisteminin başarıya ulaşmasının temel şartı tüm sisteme tam bir örgütsel desteğin sağlanmasıdır. Söz konusu destek için öncelikle üst yönetim sisteme inanmalı, sistem yürütücülerinin karar alanları tam olarak belirlenmeli ve etkin bir karar süreci için

karar yetki ve sorumlulukları karar vericilere tam olarak iletilmelidir. Ayrıca sistem içinde görev alacak karar vericiler için işletmenin tüm departmanları arasında etkin bir bilgi akışı ağı kurulmalıdır. Planlama aşamasında sistemin amaçları açık olarak belirlenmeli, kesin sınırları ile tanımlanmalı ve amaçlar tutarlı gerekçelerle önceliklendirilmelidir.

1.3.1.1. Müşterilerin belirlenmesi

Müşterinin en baştan açık bir şekilde tanımlanmış olması, takımın bundan sonra yapacağı çalışmalarda fikir birliği içinde çalışmasını beraberinde getirecektir. Müşterilerin belirlenmesi süreci iki aşamadan oluşur. İlk aşamada **olası müşteriler** tanımlanır, ikinci aşamada **ana müşteri grubu** belirlenir.

Hedef müşteri grubunun belirlenmesi için öncelikle bütün olası müşterilerin bir listesi oluşturulur. Bu işi genellikle KFG planlamacıları veya pazar araştırmacıları yaparlar. Müşterilerin belirlenmesi bazen gerçekten karmaşık bir süreç olabilir ama örgütsel başarının sağlanması için önemlidir. Müşteriler genellikle üç grupta toplanabilir; **nihai müşteriler, ara müşteriler, iç müşteriler**. Nihai müşteriler ya da diğer bir deyimle son kullanıcılar bir ürün ya da hizmeti kendi özel ihtiyaçları için kullanan kesimdir. Ara müşteriler genellikle ürünün dağıtımını yapan toptancı ve perakendecilerdir. İç müşteriler ise işletmenin içinde yer alan ve bir şekilde hem ara müşterilerin hem de son kullanıcıların tedarikçisi durumunda olan kesimdir. Bu müşteri gruplarının tamamı eşit öneme sahiptir.

Bütün olası müşteri gruplarının tanımlanmasından sonra yapılması gereken şey anahtar müşteri grubuna odaklanmaktır. Ürün tasarımı bu müşteri grubunu tatmin edecek şekilde yapılacak ve bu müşteri grubuna olabildiğince fazla sayıda müşteri dahil edilmeye çalışılacaktır (Yenigöl, 2000:99).

1.3.1.2. KFG takımının kurulması

Bazı durumlarda KFG projesi sadece çok küçük grupları etkileyecek boyuttadır. Böyle durumlarda KFG takımı sadece danışmanlardan ya da birkaç yöneticiden oluşur ve geniş kapsamlı bir takım kurma çalışmasına gerek yoktur. Ancak, çoğu zaman KFG çalışması bütün bir örgütün çalışmalarını etkileyecek boyutlarda olabilir ve büyük bir takımın Kalite Evini oluşturmada çalışması gerekebilir.

İki tip KFG takımı vardır; **yeni ürün** veya **mevcut ürün geliştirme** takımı. Takımlar pazarlama, tasarım, kalite, finans ve üretim bölümlerinin üyelerinden oluşur. Mevcut ürünü

geliştirme takımları genellikle daha az sayıda üyeye sahiptir, çünkü KFG projesinin yalnızca uyarlanması söz konusudur (Akbaba, 2000: 25).

1.3.1.3. Ürüne karar verilmesi

Planlama aşamasındaki bir diğer önemli nokta ise KFG sisteminin odaklanacağı ürün ya da bir proje seçimidir. Çünkü kavramın doğru seçimi tekrarları ve zaman kayıplarını önemli ölçüde ortadan kaldıracak, sistemin belirlenmiş amaçlara tam olarak odaklanmasını sağlayacaktır.

En önemli KFG ilkelerinden biri ayrıntılı ürün tasarımının mümkün olduğunca ertelenmesidir. Böylece takım uzun süre sadece müşteri ihtiyaçlarına odaklanarak bunun için gerekli çözümleri üretmekle uğraşır ve ayrıntılı bir tasarımın getireceği kısıtlardan kurtulmuş olur. Ancak yine de KFG projesinin belli bir bakış açısının olması gereklidir. Projeye nelerin dahil edileceğine ve edilmeyeceğine karar verilmelidir (Yenigöl, 2000:99).

1.3.1.4. KFG uygulama çizelgesinin hazırlanması

KFG sisteminin uygulamadaki başarısının önemli bir şartı süreci oluşturacak faaliyetlerin ayrıntılı olarak planlanması ve her bir faaliyet adımının zamanlanmasıdır. Bu şekilde tüm sürecin kapsayacağı zaman dilimi de belirlenmiş olacak ve planlanan ve gerçekleşen faaliyetler arasındaki sapmalar etkin bir şekilde kontrol edilebilecektir.

1.3.2. Müşterinin Sesi'nin Toplanması

KFG'nin ikinci aşaması müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesidir. Bu aşama KFG terminolojisinde "**müşterinin sesi**" olarak adlandırılmaktadır. Müşterinin sesi, müşterinin ürün veya hizmet ile ilgili fikirlerinin öğrenilmesi ve bu bilgilerin süreçlerin geliştirilmesi amacı ile kullanılmasıdır. Müşterinin sesini dinlemek işletmeye ürünlerini veya hizmetlerini geliştirme olanağı tanır.

KFG'de görevli bir karar vericinin iç ya da dış müşterinin ihtiyaçlarını dikkate almadan verdiği karar ya da kararlar sonucu ortaya konan çıktı ile müşteri talebi arasında büyük olasılıkla farklılıklar meydana gelecektir. Bu durum ise işletmeyi müşteriye çıktıya uydurma ya da onu ikna etme sonucu ile karşı karşıya getirecektir. Bu nedenle, yeni bir ürünün ya da projenin geliştirilmesine başlamadan önce işletmeler müşterilerinin düşüncelerini öğrenmek zorundadırlar. Bir kez hedef pazar belirlendikten sonra işletmeler

artık müşterilerin isteklerini ve gereksinimlerini belirlemeye ve tatmin etmeye yönelik olarak faaliyetlerini sürdürmelidir.

1.3.2.1. Müşteri gereksinimlerinin tanımlanması

İlk olarak müşterilerin gereksinimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Müşteri istek ve gereksinimlerinin öğrenilmesi ve oluşabilecek farklılıklarının belirlenmesi, bu gereksinimlerin yönetimi için oldukça önemlidir. Müşteriler gereksinimlerini, ürün veya hizmetten ne gibi beklentileri olduğunu çeşitli ifadeler şeklinde ortaya koyarlar. İşletmeler müşterilerinin düşüncelerini belirlemeye ve ne istediklerini anlamaya çalışırlar. Bununla birlikte insanlara soru sormak müşteri gereksinimlerini tam anlamıyla ortaya koyamaz. Müşterilere ne istedikleri sorulduğunda çoğunlukla ikinci ve üçüncü derecedeki gereksinimlerini açığa vuracaklardır. Örneğin uçak ile seyahat eden kişilere hava yolu işletmelerinden ne istedikleri sorulduğunda gitmek istedikleri yere zamanında ulaşmak ya da daha iyi hazır yiyecekler yemek istediklerini söyleyebilirler. Ancak ilk derecede olan uçuş güvenliği hakkında hiçbir şey söylememiş olabilirler. Bu yüzden işletmeler sıklıkla ikinci ve üçüncü derecedeki gereksinimlerden birinci derecedeki gereksinimlere yönelik çalışmalıdır (Sarsılmaz, 1998:48).

Müşterinin ifade ettikleri ile mühendislik karakteristikleri farklıdır. Müşteriler gerçek istekleri yerine bu istekleri karşılayacak karakteristikleri söylediklerinde, bunun kendileri için neden önemli olduğu sorulmalıdır. KFG sisteminde müşteri ihtiyaçlarının tanımlanması için kullanılan teknikler yüz yüze görüşme, anket, kıyaslama ve prototip ürün tekniği şeklinde sıralanabilir. Prototip ürün tekniğinde örnek ürünler kontrollü olarak seçilmiş denek müşterilere kullanılır ve kullanım esnasında müşteriler izlenir.

1.3.2.2. Müşteri gereksinimlerinin yapılandırılması

Müşteri gereksinimlerinin yönetilmesi için bunların takım tarafından bir hiyerarşi içerisinde yapılandırılması gerekmektedir. Aynı zamanda stratejik ihtiyaçlar olarak da bilinen birincil ihtiyaçlar, ürün için stratejik yönü belirleyen beş ile on arasındaki en önemli ihtiyaçlardır. Sözelimi "kullanım kolaylığı" bir ürün için birincil bir ihtiyaç olabilir. Taktik ihtiyaçlar olarak da bilinen ikincil ihtiyaçlar birincil ihtiyaçların ayrıntılarıdır. Her bir birincil ihtiyaç genellikle üç ile on arasında ikincil ihtiyaçlara bölünür. Bu ihtiyaçlar ilgili birincil ihtiyacın tatmini için nelerin yapılabileceğini belirgin olarak gösterir (Sarsılmaz, 1998:63).

1.3.2.3. Müşteri gereksinimlerinin önceliklendirilmesi

Müşteriler gereksinimlerinin yerine getirilmesini isterler fakat bazı ihtiyaçlar diğerlerinden daha fazla önemlidir. Gereksinimlerin önceliklendirilmesi KFG takımına bir gereksinimin tatmininin, maliyeti ile müşteriye sağladığı fayda arasında denge kurmasında yardımcı olur. Söz gelimi iki gereksinimin giderilme maliyetleri aynı ise müşteri için daha fazla önem taşıyan ihtiyaç daha yüksek öncelik almaktadır .

Müşteri gereksinimleri saptandıktan sonra bunlar amaca uygun seçilmiş yöntemlerle önceliklendirilir. Müşterilerin gereksinimleri öneme göre sıralaması, müşterilerin düşüncelerinin her birine attığı nispi önemin ölçüsünü göstermektedir. Müşterilerin işletmenin ürünlerine ilişkin rekabete yönelik değerlendirmeleri, aynı işletmeye müşterilerin bu ürünleri numaralandırılmış bir ölçek üzerinde hangi sıralamada gördüğünü anlamasına yardımcı olur (Yenigöl, 2000: 105).

1.3.3. Kalite Evinin Oluşturulması

KFG'nin en önemli araçlarından biri Kalite Evi'dir. Temel olarak müşteri istekleri ile bunları karşılamaya yönelik olarak belirlenen kalite karakteristiklerini ilişkilendirmeye yarar. Kalite Evi dört farklı bilgi kullanılarak elde edilmektedir. Bu bilgiler aşağıda belirtilen sorulara alınan cevaplardan oluşmaktadır (Ross, 1988:23):

- Müşteriler için önemli olan nedir?
- Müşteriler için önemli olan faktörler nasıl sağlanır?
- Neler ile nasıllar arasında ilişki var mıdır, var ise gücüdür?
- Müşteriyi tatmin etmek için nasıllardan ne kadar kullanılmalıdır?

Bu sorulardan alınan cevaplardan oluşan bilgilere göre Kalite Evi dört bölümden oluşmaktadır; ne kısmı, nasıl kısmı, ilişkiler kısmı, ne kadar kısmı. Kalite Evi fonksiyonlar arası planlama ve iletişimi sağlayan bir tür haritadır. Değişik problemleri ve sorumlulukları olan insanlar evin çatısı altındaki bilgilerden tasarım önceliklerini kolayca belirleyebilirler. Kalite Evi Şekil1.1'de görülmektedir. Kalite Evi'nin bölümleri aşağıdaki gibidir:

-Dış duvarları: Müşteri gereksinimleri için tasarlanmıştır. Sol duvarda müşteri gereksinimlerinin bir listesi bulunur. Sağ taraftaki duvarda ise rekabet analizi vardır.

-Tavan arası ya da ikinci katı olarak gösterilen bölümü: Teknik tanımlamalardan oluşur. Ürünün uygunluğu mühendislik karakteristikleri vasıtası ile sağlanır.

-İç duvarları: Müşteri gereksinimleri ile mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkiyi gösterir.

-Çatı bölümü: Teknik tanımlamaların aralarındaki ilişkileri gösterir.

-Temeli: Öncelikli mühendislik karakteristiklerini içerir.

1.3.3.1. Müşteri gereksinimlerinin işlenmesi

Kalite Evi ürün ve ürün karakteristiklerinin tanımlanmasını sağlayan müşteri gereksinimleri ile başlamaktadır. Daha önceki aşamada elde edilen müşteri gereksinimlerinin bu aşamada oluşturulan Kalite Evi matrisinin girdisi olarak müşteri gereksinimleri kısmına yazılması gerekmektedir. Müşteri gereksinimleri matrisin NE'ler kısmında yer alır.

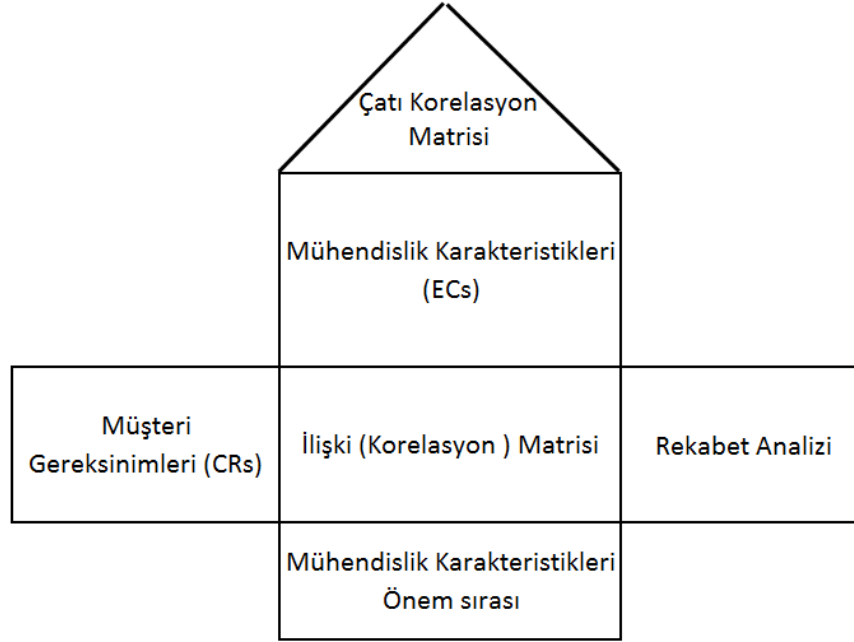
Müşteri gereksinimlerinin hiyerarşik bir yapı içerisinde ayrıştırılması, gereksinimlerin mühendislik aşamasında kullanılabilir şekilde ifade edilmesini sağlar. Örneğin; birincil müşteri gereksiniminin "güvenilirlik" olması halinde; ikincil müşteri gereksinimi sağlamlık, uzun kullanım süresi ve iyi bir bakım hizmeti olabilir.

Müşteri gereksinimlerine yine müşteriden alınan bilgilerle bir önem derecesi belirlenir. Müşteri gereksinimlerinin önemlilik düzeyi önem derecesine atanan değer düşük ve yüksekliği ile doğru orantılıdır. Önem derecesi beklentilerin önem derecesine işaret ettiği gibi, matriste ağırlık faktörü ve belirli istatistiksel sonuçları etkileyen katsayı olarak da kullanılır. Önem derecesinin belirlenmesinde çeşitli önceliklendirme yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler arasında kullanımı en yaygın olan yöntem ise Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin ikili karşılaştırma yöntemidir.

1.3.3.2. Mühendislik karakteristiklerinin belirlenmesi

KFG ekibi müşteri isteklerini belirledikten sonra matrisin teknik kısmını geliştirmeye başlayabilir. Kalite Evi'nin amacı müşteri gereksinimlerini karşılayacak ürün tasarlamak ya da mevcut tasarımları geliştirmektir. Bu amaca yönelik bir uygulamada en önemli nokta

müşteri gereksinimlerinin mühendislik aşamasında kullanılabilir mühendislik karakteristiklerine dönüştürülmesidir. Bu mühendislik karakteristikleri Kalite Evi'nin ikinci katını oluşturur.



Şekil 1.1.Kalite Evi

Kaynak: L.HAO TIEN,"Product Design and Selection Using Fuzzy QFD and Fuzzy MCDM Approaches", Applied Mathematical Modelling 35, 2011, pp 482-496.

Mühendislik karakteristikleri proje ekibi tarafından belirlenir. Bu bölümdeki tüm tanımlar müşteri gereksinimleri bölümünün maddelerinden en az biriyle ilişkili olmalıdır. Burada müşteri gereksinimlerine karşılık gelen her mühendislik karakteristiği o beklentinin karşıt ikizidir. Bu karşıt ikizler aslında müşterinin sesinin teknik terimlerle ifadesidir.

Birincil tanımlar bölümündeki öğeler birinci adımda olduğu gibi ayrıntılandırılarak ikincil tanımlar bölümü elde edilir. İkincil bölüm mühendislerin üzerinde çalışabileceği şartnameler ve üretim parametreleri listesidir. Bu aşama sistem seviyesindeki mühendislik şartnamelerinin parça seviyesindeki şartnamelere dönüştürülmesi olarak görülebilir (Yenigöl, 2000:71). Birincil bölüme oranla ayrıntılandırılmış olsa da ikincil teknik tanımlar bölümü hala üretim aşamasında kullanılacak yeterlilikte değildir. Bunun için üçüncül teknik tanımlar bölümü kullanılarak üretim için gerekli ayrıntılar hazırlanır.

Kalite Evinin bu bölümü gerçekten çok önemlidir. Çünkü mühendislerin müşteri beklentilerini tam olarak karşılayabilmeleri teknik tanımların doğru yapılmasına bağlıdır.

NASIL'lar süreçlerden, kişilerden, fonksiyonlardan, tesislerden ya da yöntemlerden oluşabilir. Ancak belirlenmeleri için bütün işletmenin bilgisine ihtiyaç vardır. Bu noktada çok disiplinli bir takım çalışmasının yürütülmesi çok önemlidir. Zira sorunların çözümü farklı fikirleri ve deneyimleri gerektirir (Yenigöl, 2000:73).

1.3.3.3. İlişki matrisinin oluşturulması

Kalite Evinin üçüncü adımı müşteri beklentileri ile teknik tanımların karşılaştırılması ve aralarındaki ilişkilerin belirlenmesidir. Müşteri gereksinimleri ve teknik tanımlamalar arasındaki ilişkiler proje ekibi tarafından öznel olarak değerlendirilmelidir (Eymen, 2006:22).

KFG takımının bundan sonraki görevi oluşturulan bu iki boyutlu matrisin içeriğini doldurmaktır. Müşteri beklentileri ile teknik tanımlar arasındaki ilişkinin derecesi harf, sembol yada sayısal değerler kullanılarak gösterilebilir. Bu ilişki dereceleri Tablo1.1'de görülmektedir. Kullanılan semboller çok çeşitlilik gösterebilmektedir.

Tablo1.1. İlişki Dereceleri Ölçeği

İlişki Derecesi	Amerikan Sistemi Puanlama	Japon Sistemi Puanlama	Sembol
Güçlü İlişki	9	5	⊗
Orta İlişki	3	3	O
Zayıf İlişki	1	1	Δ

Kaynak: E.EYMEN, Kalite Fonksiyon Göçerimi, Kalite Ofisi Yayınları, 2006, No: 11

CR ile EC'ler arasında ilişkinin olmadığı durumlarda kesişme noktalarındaki hücreler boş bırakılır. Derecelendirme sembollerinin veya harflerinin sayısal bir değere eşitlenmesi ileride yapılacak ölçümlerde ve mutlak ağırlık hesaplamaları için gereklidir. Bulanık uygulamalarda dilsel değişkenler bulanık sayılar ile ilişkilendirilmektedir. İlişki matrisi oluşturulduktan sonra yapılacak işlem boş kalan satır ve sütunların incelenmesidir. Boş bir satır ilgili CR'nin herhangi bir EC ile ilişkilendirilmediğinin göstergesidir. Bu durumda yapılması gereken matrise yeni bir EC eklemek ve karşılanamamış olan CR'yi en az bir EC ile ilişkilendirmektir. Matriste boş kalmış olan sütunlar ise ilgili EC'nin hiçbir CR'yi etkileyemediğini gösterir. Bu EC'ler dikkatli bir inceleme sonrasında hala ilişkilendirilemezler ise matristen çıkarılmalıdırlar.

EC ile CR'ler arasındaki ilişkiyi belirleme amacı, her bir EC'nin CR'yi karşılamadaki etkisini belirlemektir. Böylece EC'lerin öncelikli olarak geliştirilmesi gerekenler belirlenebilecektir.

1.3.3.4. Rekabet matrisleri

Rekabet matrisleri kuruluşun kendi ürünü ile rakip kuruluşların ürünleri arasındaki farkı görebilmesi amacıyla oluşturulur. Kalite Evi'nde rekabet ortamının değerlendirilmesi için müşteri ve EC'ler bazında rekabet matrisleri oluşturulur. Müşteri bazlı rekabet matrisi Kalite Evi'nin sağ tarafına yer alan sütunlardan oluşur. Matristeki hücreler kuruluşun kendisinin ve rakiplerinin ürünlerinin müşteri gereksinimlerini karşılama durumunu belirlemek için kullanılır. Bu hücrelere bir ve beş arası puanlar verilerek farklı ürünlerin farklı gereksinimleri karşılama dereceleri saptanır. Teknik temelli rekabet matrisi mühendislik karakteristiklerinin piyasadaki farklı ürünler üzerindeki etkilerinin gözlenmesi amacıyla oluşturulan matristir. Kalite Evi'nin giriş katını oluşturan bu bölüm ilişki matrisinin altına çizilen satırlardan meydana gelir.

Rekabet matrisleri kuruluşun kendi ürününün piyasadaki yerini görmesi açısından büyük önem taşır. Kalite Evinin farklı yerlerinde bulunmalarına rağmen her iki matris de birbirleriyle orantılıdır. Müşteri gereksinimlerini fazlası ile karşılayabilen bir ürünün mühendislik karakteristikleri bakımından da diğer ürünlere göre üstün olması gerekir. Eğer yapılan değerlendirmeler sonucunda çıkan yorum bu kuramın aksini işaret ediyorsa değerlendirmenin hatalı olduğu söylenebilir. Rekabet matrisinde önceliklendirilmiş müşteri gereksinimleri Kalite Evi'nin sağ tarafında, müşteri bazlı rekabet matrisine bitleştirilmiş sütunlarda yer alır. Bu sütunlar müşteri için önem değeri, hedef değer, ilerleme oranı, satış noktası ve mutlak ağırlık olarak sınıflandırılmıştır.

Müşteriye ürün ile ilgili sorular sorularak rakip işletmelerin ürünleri ile karşılaştırma yapmaları istenir. Böylece rakiplerin kuvvetli ve zayıf oldukları yönleri tespit edilmeye çalışılır. Müşteri araştırmayı yapan işletmeyi ve rakipleri kendi gözünde bir sıralamaya sokar. Daha sonra bu sıralama notlamaya dönüştürülerek Kalite Evi'ne aktarılır. Müşterinin verdiği önem derecesi geliştirilmesi gereken mühendislik karakteristiklerinin önceliklerinin belirlenmesinde yardımcı olur. Önem derecelerine ilişkin değerlendirmeler çok çeşitli ölçüklerin kullanımıyla yapılabilmektedir.

Rekabet matrisinde "Bugün" sütunu işletmenin ürünün her bir müşteri isteği ile ilgili olarak müşteriler tarafından nasıl algılandığını göstermektedir. "Hedef" sütunu ise

işletmenin bugünkü durumuna ve rakiplerin müşteriler tarafından nasıl algılandığına bağlı olarak işletmenin kendisini nasıl algılanmasını istediği ile ilgili olarak belirlediği bir hedeftir. Hedef belirlenirken önem derecesi sütununa bakarak müşterinin ilgili müşteri gereksinimine verdiği önemin bağıl puanına da bakmak gerekir. Eğer müşterilerin herhangi bir gereksinimlerine verdikleri önem düşükse, ilgili EC bakımından işletmeyi rakiplerine göre daha kötü olarak algılasalar dahi hedef rakiplerinkine yetişecek oranda yüksek seçilmeyebilir.

İyileştirme oranı hedef değerın müşteri rekabet matrisindeki ürün puanına oranıdır. Bu değerlendirmenin amacı ürünün şu andaki seviyesi ile hedeflenen seviyesinin arasındaki farkın görülmesi ve geri kalınmış yada eksik olan karakteristiklerin belirlenmesidir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husus hedef değerinin gerçekçi olarak tespit edilmesidir.

Satış noktası ürünün piyasadaki satış başarısının ve ürüne olan ilginin göstergesidir. Bu değer ürünün satışını etkileyebilecek müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Satış noktası 1.0, 1.2, 1.5 olarak değerlendirilir ve değişikliğin ya da iyileştirmenin satış getirisine etkisini belirler.

Burada;

-1.5: satış potansiyelini çok artırır

-1.2: satış potansiyelini artırır

-1.0: eski modelden farklı olarak herhangi bir değişiklik yok anlamına gelir.

Mutlak önem ağırlığı ve bağıl önem ağırlığı müşteri beklentileri bölümünün son sütununu oluşturur. Mutlak ağırlık değeri; önem değeri, ilerleme oranı ve satış noktası değerlerinin çarpılmasıyla hesaplanır. Mutlak önem ağırlık değeri tüm müşteri gereksinimleri için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra beklentiler arasındaki oran rahatlıkla gözlenebilir. Mutlak ağırlık değerleri ve gereksinimler arasındaki oranlar planlama aşamasında ve ürünün geliştirilmesinde dikkate alınması gereken en önemli verilerdir.

Mühendislik karakteristikleri önem sırası, mühendislik karakteristiklerinin piyasadaki farklı ürünler üzerindeki etkilerinin gözlenmesi için oluşturulan matristir. Matrisin bu kısmında mühendislik karakteristiklerinin rakiplerle kıyaslanması, kendi aralarında önceliklendirilmeleri ve hedef belirlemede veri sağlamak söz konusudur

(Savaş, 2005: 98). Teknik önem derecesi her teknik karakteristik için rekabet matrisinde hesaplanan “yüzde önem” değerleri ile ilişki puanlarının çarpımlarının toplamlarını bularak hesaplanır. Bu şekilde her sütunun teknik önem dereceleri hesaplandığında ve toplamları bulunarak normalize edildiğinde ilişki matrisi ortaya çıkar. Teknik önem dereceleri nispeten yüksek bulunan mühendislik karakteristikleri geliştirmede öncelik tanınacak mühendislik karakteristiklerdir.

1.3.3.5. Çatı matrisinin oluşturulması

Çatı matrisi müşteri gereksinimlerini karşılamak amacı ile belirlenen mühendislik karakteristikleri arasındaki olumlu ya da olumsuz etkileşimleri göstermek için kullanılır. Çatı matrisinde de tanımlar arasındaki iç ilişkilerin etki seviyelerini göstermek amacı ile sembol ve harflerden yararlanır. Bu matriste aynı zamanda teknik tanımlar arasındaki korelasyonun yönü de belirlenmiş olur. Örneğin; güçlü pozitif bir ilişki artı yöndeki mükemmele yakın bir korelasyonu işaret eder. Benzer şekilde güçlü negatif bir ilişki eksi yöndeki korelasyonu gösterecektir.

Mühendislik karakteristiklerinin hangilerinin uyuşup hangilerinin zıt düştüğü ilişkilendirme matrisi yardımı ile belirlenebilir. Birbirine zıt düşen teknik tanımlar farklı yöndeki müşteri gereksinimlerinin sonucudur ve bunlar ileride karşılanamamış müşteri gereksinimleri, mühendislik değişimleri, maliyet artışı ve düşük kalite gibi sorunlara yol açabilirler. Mühendislik ve üretim aşamalarının sınırlarını aşan öncelik uygulamaları yönetim kademesi tarafından ele alınmalıdır. Örneğin; kaliteli bir araba tasarımında dikkate alınması gereken önemli iki müşteri beklentisi olan yakıt tasarrufu ve güvenlik kavramlarını ele alalım. Bu iki beklentinin mühendislik karakteristikleri birbirine zıt olacaktır. Çünkü güvenlik için gereken ek darbe bariyerleri, hava yastığı, fren sistemi gibi özellikler arabanın ağırlığını artırır ve bu da yakıt tasarrufunu olumsuz yönde etkiler.

Kalite Evi'nin oluşturulması sırasında bütün bölümlerin oluşturulmasına bazen gerek olmayabilir. Hangi bölümün gerekli olduğuna karar vermek için KFG takımının öncelikle yapılan çalışmanın getireceği fayda ile bu çalışmayı yapmak için harcanacak zaman ve parayı karşılaştırması gereklidir. Söz gelimi bazı durumlarda sadece ilişki matrisinin oluşturulması aylar sürebilmektedir. Düşük oranda bir fayda elde etmek için yüksek maliyetli çalışmalar yapmak anlamlı değildir.

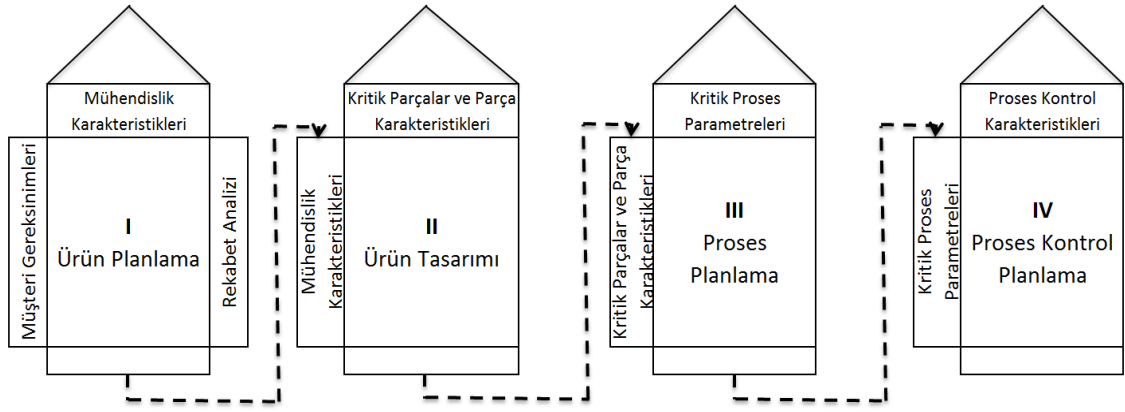
1.4.KFG SÜRECİ

Çoğu KFG uygulayıcısı, süreci Kalite Evi'nin oluşturulması aşamasında sona erdirmektedir. Ancak Kalite Evi oluşturulduktan sonra KFG çalışmasının tamamlandığı düşünülmemelidir. Zira bir tasarım faaliyetinde sadece müşteri gereksinimlerine karşılık gelen EC'lerin belirlenmesi yeterli olmamaktadır. Bu EC'lerin hangi parçalar, süreçler ve üretim planı ile gerçekleştirileceğini de belirlemek ve müşteri gereksinimlerinin tasarım, geliştirme, üretim ve hizmetteki her aşamaya aktarılmasının sağlanması gereklidir (Yenigöl, 2000: 50).

Şekil 1.2'de görülen KFG süreci birbirini izleyen dört aşamadan meydana gelir. Süreçte müşterinin sesi, ürünlerin mühendislik karakteristikleri, parça gereksinimleri, üretim faaliyetleri ve kalite kontrol planları ile ilgili olarak dört matris kümesi bulunur.

Ürün planlama matrisi Kalite Evi'dir. Kalite Evi müşteri gereksinim ve beklentilerini EC'lere dönüştürmeyi amaçlayan aşamadır. Müşterinin sesinin ürün tasarımında yer aldığı ve de ürün özelliklerinde etkili olması nedeni ile bu aşama çok önemlidir. İlk matristeki bulgulara bağlı olarak diğer üç matris geliştirilir. Bu aşamada müşteri gereksinimlerinin doğru olarak belirlenmesi tüm sürecin başarısını olumlu yönde etkileyecektir. Burada yapılan bir hata bu aşamayı izleyen diğer tüm aşamaların da yanlış yönde ilerlemesine yol açacaktır. Çünkü bu aşamada belirlenen mühendislik karakteristikleri diğer tüm aşamalara taşınmakta ve o aşamalarda girdi olarak kullanılmaktadır.

Ürün tasarımı matrisinin oluşturulmasındaki amaç belirlenen mühendislik karakteristiklerini gerçekleştirmek için hangi parçaların kullanılacağına karar vermektir. Dolayısıyla KFG takımı ilk matrisi oluştururken yaptığı gibi mühendislik karakteristiklerini karşılamak için gerekli parçaları belirlemek üzere çalışmalarına devam eder. Bu aşamaya tasarım ya da parça göçerimi adı verilir. Parça göçeriminde ilk aşama bir ağaç diyagramı oluşturarak tasarlanan ürünün alt sistemlerine ayrılması ve her alt sistemin de kendisini oluşturan parçalara ayrılmasıdır. Bu noktada her parçanın önemli karakteristikleri belirlenir. Belirlenen parça karakteristikleri ve ölçüm değerleri ikinci aşama matrisine işlenir (Eymen, 2006: 25).



Şekil 1.2.KFG Sürecinin Dört Aşaması

Kaynak: M.NOEL, Applying Axiomatic Design Principles To The House Of Quality, Thesis, 2001, National Library of Canada, Acquisitions and Bibliographic Services, pp. 22-25.

Parça karakteristikleri parça göçerimi matrisinin sütunlarına yerleştirildikten sonra KFG takımı her bir parçanın mühendislik karakteristikleri üzerindeki etkisini belirler yani ilişki matrisi oluşturur. Böylece Kalite Evinde olduğu gibi sütunların öncelikleri belirlenir ve hangi parçaların müşteri memnuniyetini sağlamakta öncelikli oldukları belirlenmiş olur. Öncelikli parçalar yada parça karakteristikleri bir sonraki matris olan imalat planlama matrisine aktarılacaklardır (Yenigöl, 2000:55).

Süreç planlama matrisinde üretim aşaması boyunca kullanılacak özgün süreçler tanımlanır. Bundan önceki iki aşamaya bağlı olarak belirlenen ürün parçalarının özelliklerine göre süreç planlama aşamasında üretim için süreç parametreleri belirlenir (Güleş-Bülbül,2004:40). Böylece oluşturulan süreç parametreleri artık sütunlarda yer almaktadır. Süreç parametrelerinin parça karakteristikleri üzerindeki etkileri ilişki matrisi üzerinde gösterilir ve her biri için bir sütun puanı elde edilir.Yüksek puana sahip süreç parametreleri müşteri isteklerini karşılamada öneme sahip parametrelerdir.

Süreç kontrol planlama matrisi ise bir matristen çok, üretim aşamalarının planlamasında kullanılan bir kontrol listesi şeklindedir. Bu kontrol listesi makine ayarları, kontrol yöntemleri, örneklem boyutu ve sıklığı, kontrol belgeleri, operatör eğitimleri, önleyici bakım faaliyetleri başlıklarını içermelidir (Güleş-Bülbül,2004:41). Bu ve benzeri başlıklar sütunlara, önemli süreç parametreleri de satırlara yazılarak üretim planlama tarafından bir tablo oluşturulur. Bu tablonun her hücrelerinde yorumlar hedef değerler ya da o hücreye uygun bilgiler bulunur. Böylece üretim planlamanın müşteri sesine bağlantısı sağlanmış olur .

1.5. BULANIK KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ

KFG'de matrislerin oluşturulmasında ilişkinin derecesi harf, sembol ya da sayısal değerler kullanılarak gösterilebilir. Derecelendirme sembollerinin veya harflerinin sayısal bir değere eşitlenmesi, ileride yapılacak ölçümlerde ve mutlak ağırlık hesaplamaları için gereklidir. Bu ilişkilendirmelerde genel olarak üç veya beş kademeli bir tanımlama kullanılır. Fakat bu tanımlamada kullanılan kademelendirme ne kadar sınırlı seçenek sunar ise karar vericilerin yargılarının KFG matrislerine yansıtılmasında o derecede sapma yaşanır.

Dilsel değişkenlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi ve bu sayıların Kalite Evinde ilgili bölümlerde kullanılması Bulanık KFG sürecinde klasik KFG'ye göre daha fazla karar seçeneğinin sözel olarak sunulmasına ve bu sayede KFG çıktılarının daha gerçekçi olmasına olanak sağlamaktadır. Bulanık sayılar insan düşüncesindeki belirsizliğin KFG'ye daha doğru olarak yansıtılabilmesini sağlar. Bulanık bir sayının üyelik fonksiyonuna bağlı olarak karar vericilere daha geniş bir sözel ölçek sunulabilmekte ve bu şekilde karar vericilerin yargıları daha doğru olarak matrislere yansıtılabilmektedir (Hao, 2011:485).

Bulanık Mantık yaklaşımı bulanık küme kuramı üzerine kurulmuş bir yaklaşımdır. Bulanık Mantık tam olmayan bilgiyi ve uzman sistemlerdeki yaklaşık yargılamayı elde etmek için kullanılmaktadır. Esas olarak insan düşünme ve algılarındaki belirsizliklerle ilgilenmekte ve bu belirsizliği sayısallaştırmaya çalışmaktadır. Bulanık Mantık temelleri ve uygulaması ileriki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre aynı karar vericiler üzerinde yapılan uygulamalarda klasik bir KFG sürecinin çıktıları ile Bulanık Kalite Fonksiyonu Göçerimi (BKFG) sürecinin çıktıları farklılık gösterebilmektedir (Mohammad-Mohsen, 2013:11). Bu farklılığın sebebi bulanık sayıların insan düşüncesini sayısal değerlere dönüştürmede daha başarılı olmasıdır. Belirsizliğin daha çok olduğu konularda BKFG uygulanması işletmelere daha gerçekçi sonuçlara varılması yolunda fayda sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı günümüz KFG uygulamalarında Bulanık Mantık yaklaşımı bir gereklilik halini almıştır.

İkinci Bölüm

AKSİYOMATİK TASARIM

Bu bölümde Aksiyomatik Tasarım'ın temelini oluşturan tasarım ve tasarımcı kavramları açıklandıktan sonra hedefleri ve yapısı incelenecektir. Daha sonra da Aksiyomatik Tasarım yaklaşımının özeti niteliğinde olan ***Aksiyomlarla Tasarım Sonuçları'*** na değinilecektir.

2.1.TASARIM VE TASARIMCI

Tasarım, konulara ve alanlara bağlı olarak çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. Örneğin; makine mühendisleri sık sık ürün tasarımlar ve tasarım denildiğinde genel olarak ürün tasarımını işaretlerler, işletme yöneticileri ise örgütsel hedeflere ulaşmak için örgütlerini tasarımlar ve tasarımı yine genellikle örgüt tasarımı şeklinde tanımlarlar. Bu faaliyetlerin her biri için tasarım hedeflerine ulaşmak için gereken bilgi ve içerikler kendine özgü olmasına rağmen hepsi tasarım faaliyetleridir. Her bir alanın farklı verilerden yararlanmasına ve farklı tasarım uygulamaları yapmasına rağmen birçok tasarım karakteristiği ortaktır. Tasarım faaliyetlerinde ortak olan ve tasarımcının yapması gerekenler şunlardır (Suh, 2001:5);

- Müşteri ihtiyaçlarını bilmek ve anlamak
- İhtiyaçları karşılamak için çözülmesi gereken problemleri tanımlamak
- Sentez yolu ile çözümü kavramsallaştırmak
- Önerilen çözümü optimize etmek için analiz yapmak
- Müşteri ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını görmek için tasarım çözümlerinin sonuçlarını karşılaştırmak

Tasarım “neye ulaşmak istiyoruz?” ile “nasıl ulaşabiliriz?” arasındaki karşılıklı etkileşimdir. Bu yüzden özenli bir tasarım “neye ulaşmak istiyoruz?” sorusunun açıkça ifade edilmesi ile başlamalı ve “nasıl ulaşabiliriz?” sorusunun açıkça tanımlanması ile sonlanmalıdır. "Neye ulaşmak istiyoruz?" sorusunun cevabı olan müşteri istekleri (CA) önce elde edilmeli, daha sonra bunlardan hareketle “nasıl ulaşabiliriz?” sorusunu açıklayan tasarım parametreleri (DP) şekillendirilmelidir (Çebi-Kahraman, 2011:28).

Çoğu zaman tasarımcılar için “neye ulaşmak istiyoruz?” sorusunun kesin tanımını bulmak zor bir görevdir. Birçok tasarımcı bile bile kesin tasarım hedeflerinden ayrılır. Genel olarak, tasarımcılar müşterinin neyi isteyip neyi istemediğini değil, tasarım hedefleri ile hayallerindeki karşılaştırarak başarılarını ölçerler. Yapmak istedikleri ile en iyi zaman ayırma sürecini bir noktada birleştirene kadar ve çözümü tasarlayana kadar tasarımı geliştirmeye ve yinelemeye çok zaman harcarlar (Hong-Park, 2009:74).

2.2. AKSIYOMATİK TASARIM VE HEDEFLERİ

Aksiyomatik Tasarımın nihai amacı, tasarımcı tarafından mantıksal ve akılcı düşünce süreçleri ve araçları üzerinde kuramsal bir temel oluşturarak tasarım faaliyetlerini geliştirmek ve tasarımı bilimsel bir temel üzerine oturtmaktır. Aksiyomatik Tasarım; tasarımcıları daha yaratıcı yapmak, rastgele araştırma süreçlerini azaltmak, hatalı deneme sayısını en aza indirmek, önerilen tasarımlar arasından en iyisini seçmek ve tasarım sahasını bilimsel bir temel üzerine oturtmak amacını güder (Suh, 2001:5).

AT yaratıcılığı artırır ve müşteri istekleri ile kısıtları tespit ederek tasarım parametrelerini kesin formüllerle ifade etmeyi sağlar. AT, var olabilecek tasarım seçeneklerinden en uygun olanını seçmek için sistematik bir yaklaşım ortaya koyar. Sistematik çalışma sonucu daha az kaynak harcanarak tasarım sonucunda ortaya çıkabilecek hatalı veya eksik durumlar sürecin başından itibaren en aza indirilerek en uygun tasarım elde edilmiş veya en uygun tasarıma yaklaşılmış olunur (Marabaoğlu-Korkmaz, 2008:35).

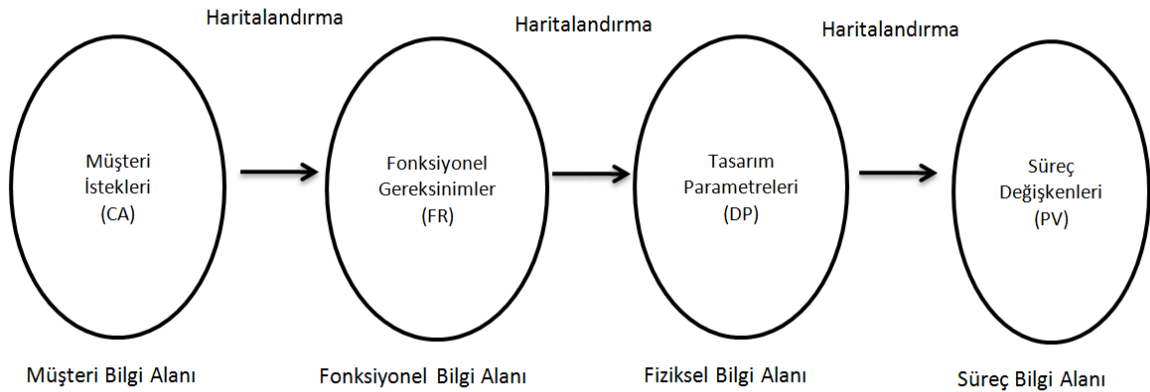
Endüstriyel rekabet, endüstriyel işletmelerin tasarımda güçlü yeteneklere sahip olmalarını gerektirir. Bu işletmeler, yeni ürün girişi için gerekli zamanı kısaltmak, imalat maliyetlerini düşürmek, ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini artırmak, en etkili fonksiyonel gereksinimleri karşılayabilmek için baskı altındadırlar. Bu fonksiyonel gereksinimler üzerindeki en güçlü etki ise kalite ve tasarım çözümlerine dayalıdır (Hong-Park, 2009:76).

2.3. AKSIYOMATİK TASARIM YAPISI

Bu bölümde; Aksiyomatik Tasarımın temel yaklaşımını oluşturan bilgi alanı kavramına, kullanılan tanımlara ve fonksiyonel gereksinimlerin belirlenmesi ile haritalandırma kavramlarına değinilecektir. Aksiyomatik Tasarıma adını veren Bağımsızlık ve Bilgi Aksiyomu'da bu bölümde incelenecektir.

2.3.1. Bilgi Alanı Kavramı

AT yaklaşımına göre bütün tasarımlar Şekil2.1'de görüldüğü gibi dört farklı bilgi alanından meydana gelmektedir. Bunlar *müşteri bilgi alanı*, *fonksiyonel bilgi alanı*, *fiziksel bilgi alanı* ve *süreç bilgi alanı* olarak tanımlanmakta ve bu alanlar kendi içinde ve birbirleri arasındaki bilgilerin sürekli işlenmesini sağlamaktadır. Diğer bilgi alanlarına göre sol tarafta kalanlar "ne", sağ tarafta kalanlar ise "nasıl" sorularının yanıtlarıdır.



Şekil 2.1 Aksiyomlarla Tasarımda Bilgi Alanları

Kaynak:N.P.SUH, Axiomatic Design: Advances and Applications, Oxford University Press, New York, USA, 2001.

AT'nin bilgi alanları kavramı, dört aşamalı KFG modelinin matrisleri ile benzerlik göstermektedir. AT bilgi alanlarının girdi ve çıktıları, KFG'nin ilk üç matrisi ile örtüşmektedir.

2.3.2. Tanımlar

Aksiyomatik Tasarımın daha iyi anlaşılabilmesi için bazı tanımlar aşağıda verilmiştir (Suh, 2001:14):

-Aksiyom, ispatı veya istisnası olmayan apaçık ve asıl gerçektir. Bir aksiyom kanunlardan veya doğanın ilkelerinden çıkarılamaz

-Kuram, ispatlanmamış fakat kabul edilen aksiyomlarla kanıtlanabilen ve böylece bir kural veya özellik olarak belirlenen öneridir

-Fonksiyonel gereksinimler (FR), fonksiyonel bilgi alanında tespit edilen müşteri isteklerine karşılık gelen bağımsız ihtiyaçların en küçük kümesidir.

-Tasarım parametreleri (DP), fiziksel bilgi alanında belirlenen FR'leri karşılayan tasarımı tanımlayan fiziksel değişkenlerdir

-Süreç değişkenleri(PV), süreç bilgi alanında belirlenen DP'lerin ortaya çıkardığı süreci tanımlayan verilerdir.

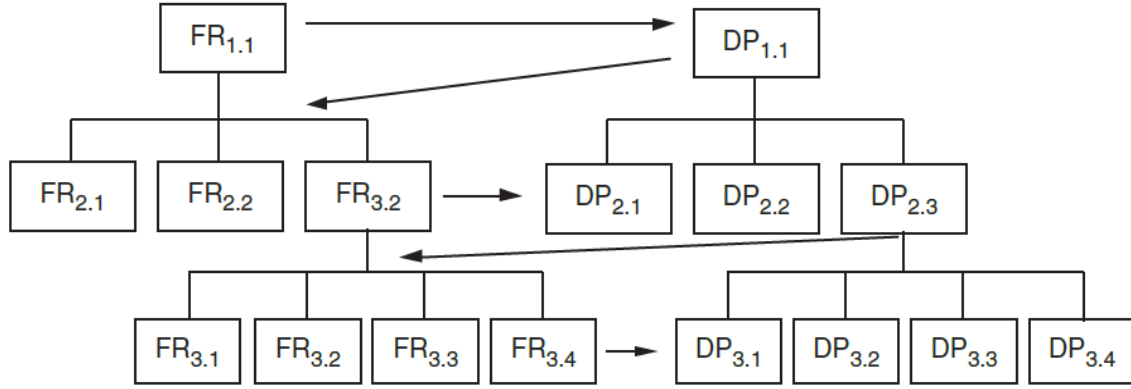
2.3.3. Fonksiyonel Gereksinimlere Karşı Müşteri İhtiyaçları ve Haritalandırma

Fonksiyonel bilgi alanında, tasarım çözümü için karşılanması gereken ve birbirlerinden bağımsız olan FR'lerin kümesi tanımlanır. Tasarım, “neye ulaşmak istiyoruz?” sorusunu ortaya koyan fonksiyonel bilgi alanı ile “nasıl ulaşabiliriz?” sorusunu soran ve DP'lerden oluşan fiziksel bilgi alanı arasındaki ilişkilerin planlanması sürecinden oluşacaktır. Tasarım parametreleri ise süreç bilgi alanındaki süreç değişkenleri ile ilişkilendirilecektir. Burada “ne” sorusu ile “nasıl” sorusuna geçişler “haritalandırma” olarak tanımlanmaktadır.

Müşteri bilgi alanı ve fonksiyonel bilgi alanı arasında yapılan haritalandırma “*Kavram Tasarımı*”; fonksiyonel bilgi alanı ile fiziksel bilgi alanı arasında yapılan haritalandırma “*Ürün Tasarımı*” ve fiziksel bilgi alanı ile süreç bilgi alanı arasındaki haritalandırma ise “*Süreç Tasarımı*” olarak adlandırılır. Tasarım süresi boyunca üst seviyeden alt seviyelere daha fazla ayrıntı ile ilerleme olayına ise “*Tasarım Hiyerarşisi*” adı verilir. Tasarımın amacına göre her bir bilgi alanında birer hiyerarşi mevcuttur (Yaşar-Durmuşoğlu-Dinçmen, 2005:2115).

Bu hiyerarşik indirgeme veya zikzak ayrıştırma olarak adlandırılır. Bu ayrıştırma tasarım nesnesi anlaşılabilir ve uygulanabilir olana veya daha fazla indirgenmenin mümkün olmayacağı seviyeye kadar devam eder. Kuramsal olarak, bu işlem tasarım nesnesinde kullanılacak malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilinceye kadar devam edebilir. İşlemin çıktısı Şekil 2.2'de görülen ağaç yapısı şeklindedir.

Zikzak ayrıştırma sonucunda tasarım nesnesinin hiyerarşik yapısı ortaya çıkar ve tasarım kontrol edilebilir bir süreç haline dönüşür. Bu hiyerarşik yapının oluşturulması sonrasında tasarım elemanları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaran bir tasarım matrisi oluşturulabilir.



Şekil 2.2. Tasarımın Hiyerarşik Olarak İndirgenmesi

Kaynak:E.A.YASAR, M.B.DURMUŞOĞLU, M. DİNÇMEN, "Design of a Knowledge Management System Based on Axiomatic Design Principles", 35. International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2005, pp. 2115-2130.

2.3.4. Fonksiyonel İhtiyaçlar

Bir ürün veya süreç için belirlenen istekler FR kümesine indirgenir. FR'ler tamamen tasarım amacını belirleyen CA'lar için oluşturulan en az sayıdaki bağımsız ihtiyaçlar kümesidir. Buna göre her bir FR diğer FR'den bağımsızdır. FR'ler tasarım vasıtası ile neyin başarılmak istendiğini belirtirken, DP'ler FR'lerin nasıl başarılabileceğini belirtmektedir (Noel, 2001:18).

2.3.5. Aksiyomlar

AT yaklaşımına göre tasarımlar iki aksiyom tarafından yönlendirilir. İlk aksiyom olan "*Bağımsızlık Aksiyomu*" fonksiyonel ve fiziksel değişkenler arasındaki ilişki ile ilgilidir. İkinci aksiyom olan "*Bilgi Aksiyomu*" ise tasarımın karmaşıklığı ile ilgilidir.

2.3.5.1. Bağımsızlık Aksiyomu

Bağımsızlık Aksiyomu, tasarım süreci boyunca fonksiyonel bilgi alanındaki FR'lerden fiziksel bilgi alanındaki DP'lere zikzak esnasında izlenecek yol olarak

tanımlanabilir. Bu şekilde tasarım matematiksel olarak ifade edilebilmektedir. Bu ifadede fonksiyonel ihtiyaçlar "FR" isimli "m" bileşenli bir vektör olarak gösterilebilirken, fiziksel bilgi alanındaki tasarım parametreleri de, "n" bileşenli bir "DP" vektörü olarak gösterilebilmektedir .

Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki matematiksel olarak Eşitlik2.1'deki gibi belirtilmiştir (Suh, 2001: 16).

$$[FR] = [A][DP] \quad (2.1)$$

Burada;

[FR] :Fonksiyonel gereksinimler vektörü,

[DP]: Tasarım parametreleri vektörü

[A] : Tasarım matrisidir.

Tasarım matrisi elemanları Eşitlik2.2'de görülmektedir.

$$A_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}, i=1, \dots, n, j=1, \dots, m \quad (2.2)$$

Matrisin her A_{ij} elemanı, FR vektörünün bir bileşenini DP vektörünün bir bileşeni ile ilişkilendirir.Tasarım matrisi [A], Eşitlik 2.3 şeklinde ifade edilir.

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{2n} \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

[A] matrisinin yapısı tasarımın bağımsızlık aksiyomu yönünden çeşidini belirler. "Bağlı Tasarım", "Ayrılmış Tasarım" ve "Ayrık Tasarım" olmak üzere üç çeşit tasarım bulunmaktadır. [A] matrisinin elemanlarının sadece matrisin ana köşegeninde olduğu durum ayrık tasarımdır. Ayrık tasarım Bağımsızlık Aksiyomu açısından ideal tasarımdır ve

bu tür bir tasarımı elde etmek çok zordur. Fakat her tasarım konusu için bu tür bir tasarım mevcuttur, önemli olan bunların ortaya çıkarılmasıdır. Ancak, ortam koşullarından veya kısıtlamalardan dolayı bu tür tasarımların oluşturulması mümkün olmayabilir.

Ayrık tasarımın elde edilemediği durumlarda ayrılmış tasarımın bulunmasına çalışılmalıdır. Ayrılmış tasarım köşegen haricinde de elemanları bulunan fakat bu elemanların hepsinin köşegenin altında bulunduğu tasarımdır. Elemanların köşegenin altında bulunması herhangi bir tasarım çalışmasında fiziksel alanda yapılan bir uygulamanın bir önceki alanda yapılmış olan uygulamaları etkilemediği sadece daha sonra yapılacak olan alanlarda etki yarattığı tasarımlardır.

Bağlı tasarım; köşegen haricinde pek çok elemanı bulunan tasarımdır. Bu elemanlar köşegenin altında ve üstünde olabilir. Tasarım bağlı kalırsa, herhangi bir tasarım aşamasında fiziksel alanda yapılan bir uygulama, önceki aşamalarda yapılmış olan uygulamaları etkiler. Böylece karmaşık bir yapı oluşturur. Bu karmaşıklık tekrarlı işlere ve etkin olmaktan uzak, maliyet ve süre kayıplarının yaşandığı bir uygulamaya yol açar. Eğer tasarım bağlı tasarım ise AT'ye göre tasarım kabul edilemezdir ve tasarım çalışmaz. Bu durumda tasarım süreci farklı tasarım parametreleri ile yeniden ele alınmalıdır (Haik-Wasiloff, 2004: 655). Tasarım çeşitleri Şekil 2.3'de görülmektedir.

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{bmatrix}$$

Ayrık Tasarım

Ayrılmış Tasarım

Bağlı Tasarım

Şekil 2.3. Tasarım Matrisi Çeşitleri

Kaynak: B.EL.HAIK, J.WASİLOFF, "Axiomatic Design Quality Engineering: A Transmission Planetary Case Study", Proceedings of ICAD2004 The Third International Conference on Axiomatic Design, Seoul, June 21-24, 2004, pp. 655-675.

2.3.5.2. Bilgi Aksiyomu

Önceden tasarlanmış FR kümesi tarafından ortaya konulmuş görev ve sınırlar içerisinde, farklı tasarımcılar çeşitli tasarımlarla sonuçlanacak projeler oluşturabilir. Bunu mümkün kılan genel anlamda Bağımsızlık Aksiyomu'dur. Diğer bir ifade ile FR kümesinin gereksinimlerini karşılayacak pek çok tasarım vardır denebilir. Bu tasarımlar içerisinde bir tanesi diğerlerine baskın, diğerlerinden daha uygundur.

Bilgi Aksiyomu,kabul edilebilir tasarımlar içerisinde en iyisini seçme hususunda tasarım isteklerini nicel ölçümlere dönüştürmesini sağlar (Suh, 2001:39). Bilgi Aksiyomu'na göre en yüksek tasarım olasılığı (P_i) olan tasarım en iyi tasarımdır. Bilgi içeriği en az olan, en az bilgiye ihtiyaç duyan, en basit tasarım en iyi tasarımdır şeklinde özetlenebilir. Bilgi içeriği (I), verilen bir FR'yi sağlama olasılığı ile tanımlanır ve Eşitlik 2.4 ile hesaplanır.

$$I_i = \log_2 \frac{1}{P_i} = -\log_2 P_i \quad (2.4)$$

Aynı anda birçok fonksiyonel ihtiyacın sağlanması gerektiğinde bilgi içeriklerini birbirlerine ekleyebilmek için logaritmik fonksiyon tercih edilmiştir. Hem iki tabanında logaritma hem de doğal logaritma kullanılabilir. Logaritmanın kullanımı 0-1 aralığında olan olasılığın işleme dahil edilmesi ile $\infty-0$ aralığında bilgi içeriği elde edilmesine olanak sağlar (Miguel-Carnevali-Calarge, 2007:127).

Genel bir olayı anlatan bir (m) grubunun FR'sine ilişkin bütün bilgi içeriği (I_{sys}) Eşitlik2.5'deki şekilde hesaplanır.

$$I_{sys} = -\log_2 P_{(m)} \quad (2.5)$$

Burada;

$P_{(m)}$; m gurubunun FR'sini karşılayan olasılıkların toplamıdır.

Bir ayrık tasarımda olduğu gibi, bütün FR'ler istatistiksel olarak bağımsızsa, $P_{(m)}$ Eşitlik2.6'daki şekilde hesaplanır.

$$P_{(m)} = \prod_{i=1}^m P_i \quad (2.6)$$

n tane FR olduğundan toplam bilgi içeriği tüm bu olasılıkların toplamıdır. Tüm olasılıklar toplamı bire eşit olduğunda bilgi içeriği sıfırdır ve tersine bir ya da daha fazla olasılık sıfıra eşit olduğunda gerekli bilgi sonsuzdur.

Başarı olasılığının düşük, FR'yi karşılamak için sunulması gereken bilginin yüksek seviyede olması halinde tasarım karmaşık olarak adlandırılır. Bu durumda; bir ürün için FR'nin tolerans eşiğinin yüksek olması ve yüksek hassasiyet gerektirmesi hali ile karşılaşılar. Aynı durum çok sayıda parçanın varlığında da ortaya çıkar. Çünkü çok sayıda parça karmaşıklığı doğurur ve tasarım aralığı dışında tasarımların oluşmasına zemin hazırlar. Bu şekilde karmaşıklığın nicel karşılığı bilgi içeriğini oluşturur. Zira karmaşık sistemlerin işlerliği için daha fazla bilgi gerekebilir. Fiziksel olarak büyük olan bir sistem karmaşık olmak zorunda değildir. Çünkü istenen veri yoğunluğu düşük olabilir. Karşıt olarak, küçük sistemler bilgi ihtiyacının çok olduğu durumlarda karmaşık olabilir. Bu nedenle, karmaşık olma durumu FR'nin belirlediği tasarım sınırlarına yakından bağlıdır. Tasarım aralığının dar olması FR'nin karşılanmasını zorlaştırır (Suh, 2001: 45). Gerçekte başarı olasılığı belirlenen aralıktaki ürün aileleri için sistem yeteneğini ve FR'leri karşılamak için tasarımcı tarafından belirlenen tasarım aralığının kesişimi ile düzenlenir (Miguel-Carnevalli-Calarge, 2007:132).

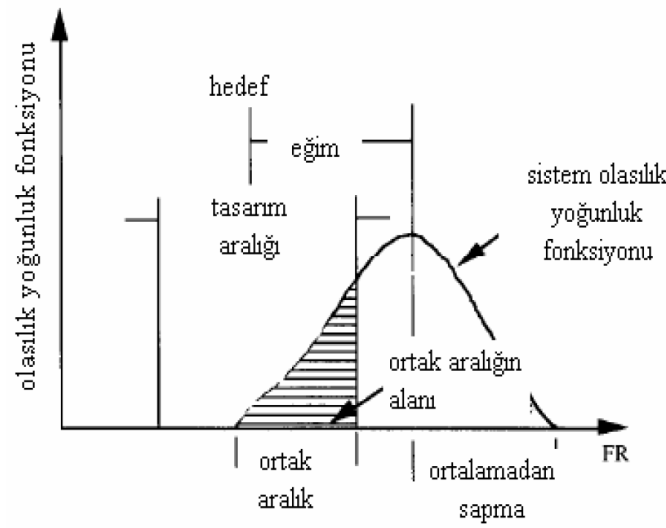
Olasılığın düşük olması fonksiyonel ihtiyaçları karşılamak için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Şekil 2.4'te bir FR'nin sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu, tasarımcının belirlediği tasarım aralığı ve sistemin gerçekleştirdiği sistem aralığının kesiştiği bölgenin kabul edilebilir çözümün bulunduğu alan olduğu görülmektedir. Sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu düzgün dağılım olduğu durumda FR'nin gerçekleşme olasılığı, ortak aralığın sistem aralığına bölünmesi ile hesaplanır.

2.4. AKSIYOMLARLA TASARIM SONUÇLARI

Tasarım sonuçları, iki temel aksiyomdan türetilmiş olup tasarım kuralları olarak isimlendirilebilir. Bu sonuçlar özel tasarım kararlarının verilmesinde yararlı olabilir çünkü aksiyomların kendisinden daha basit bir şekilde uygulanabilir. Tasarım sonuçları yedi farklı başlık altında analiz edilebilir (Marabaoğlu-Korkmaz, 2008:75);

-Bağlı tasarımın ayrılmış tasarıma dönüştürülmesi

Fonksiyonel bağımsızlığı ayrılmış tasarım ile sağlamak, tasarımın FR'leri bağımsız değil ise mümkündür.



Şekil 2.4. Tasarım ve Sistem Aralığı, Ortak Aralık, FR'nin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Kaynak: U., MARABAOĞLU, M., KORKMAZ, Aksiyomatik Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 2008, 65 s.

-FR'lerin en aza indirgenmesi

Her süreçte en az sayıda adımı kullanarak, FR'lerin sayıları ve kısıtları en aza indirilmelidir.

-Fiziksel parçaların birleştirilmesi

Sunulan çözümden FR'ler bağımsız olarak karşılanırsa tasarım özellikleri tek bir fiziksel parçada birleştirilmelidir.

-Standardizasyonun kullanımı

Kısıtlar ile FR'ler uyum sağlayabilir ise standart ve değiştirilebilir parçalar kullanılmalıdır.

-Simetrinin kullanımı

Simetrik şekiller ve düzenlemeler FR'ler ve kısıtlarla uyumlu ise tercih edilmelidir.

-En geniş tolerans

Belirlenmiş FR'lerdeki mümkün olabilecek en geniş toleransa karar verilmelidir. Maliyetleri azaltmak için parçalarda mümkün olabilecek en geniş toleranslar kullanılmalıdır.

-Daha az bilgi ile ayrık tasarım

FR'lerin karşılanabildiği durumlar içinde, daha az bilginin gerektiği ayrık tasarımlar araştırılıp bağlı tasarıma göre bu tasarımlar tercih edilmelidir.



Üçüncü Bölüm

BULANIK MANTIK

Bu bölümde metodolojimiz içerisinde sözel değerlendirmeler yapılmasına olanak tanıyan Bulanık Mantık'a yer verilecektir. Bulanık Mantık'ın gelişimi incelendikten sonra bulanık sayılar, bulanık kümeler ve bulanık çıkarım sistemlerine değinilecektir.

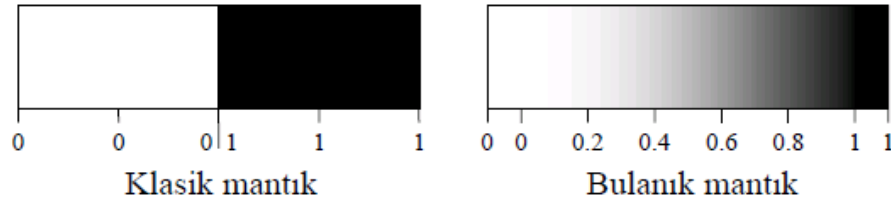
3.1. BULANIK MANTIĞA GİRİŞ

İnsanın elde ettiği bilginin türü ne olursa olsun insan var olan bilgilerden yeni bilgiler elde etmede mantığını kullanmaktadır. Bilim adamları yaptıkları çalışmalarda ve incelemelerde kuramlar kurmakta ve bu kuramları da deneyler vasıtası ile doğrulamaya çalışmaktadırlar. Bilim akılla gerçeklik arasında mutlaka birebir uygunluk olduğunu kabul etmekte, aklın nasıl çalıştığı ise Aristo tarafından konulan ilkeler ile ortaya konulmaktadır. Aristo mantığında kesin bilgi anlayışı sorgulanmasına karşın iki bin yıldır bilimin üzerine inşa edildiği bu mantık sistemine karşı alternatif mantık sistemleri de geliştirilmiştir (Şentürk, 2006:26). Söz konusu olan mantık sistemleri, belirsizliği ortaya koymakta ve bilimde belirsizlikten kaçınmanın mümkün olmadığını iddia eden alternatif bir bakış açısı getirmektedir. Alternatif bakış açısına göre de belirsizlik sadece kaçınılması mümkün olmayan bir durum değil, aynı zamanda büyük bir fayda alanı açan ve üzerinde çalışılması gereken önemli bir durumdur (Baykal-Beyan, 2004:12).

Günlük yaşantıda karşı karşıya kalınan problemlerin bir çoğu çeşitli sebeplerden dolayı modellenememekte yada kesin bir durumu ifade edememektedir. İşte bu tip problemlerin incelenmesinde ve çözümlenmesinde Bulanık Mantık yaklaşımı kullanılabilir. kullanılabilmektedir.

Bilimde bakış açısının değişmesi 19.yüzyılda fizikçilerin moleküler düzeydeki fizik çalışmalarında başlamış ve moleküler düzeydeki fizik çalışmalarına farklı bir yaklaşım getirilmiştir. Bu çalışmalar, birbirinden bağımsız istatistik yöntemlerin de gelişimine yol açmış ve Newton fiziğinde belirsizliğe yer vermeyen matematiksel analizin rolü Olasılık Kuramı ile karşılanarak belirli tipteki belirsizliklerin giderilmesi amaçlanmıştır (Görgülü, 2007:18). 19. yüzyılda bilime yeni bir bakış açısı getirilmesi ile belirsizlik kavramı ve bununla birlikte BM kavramı hızla gelişmiştir. Zadeh 1965 yılında yayınladığı "Fuzzy Sets" başlıklı makalesinde bulanık kümeyi $[0-1]$ aralığında değişen üyelik derecelerine sahip nesnel kümesi olarak tanımlamıştır (Zadeh, 1965:338). Buna göre bir elemanın bulanık

kümedeki üyelik derecesinin bir mutlak değer olmadığı ve $[0-1]$ arasında bir aralık değeri olduğu ifade edilmektedir. Bilinen Klasik Küme Kuramına göre ise bir elemanın alabileceği üyelik dereceleri sıfır ve birdir. Yani bir eleman kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bulanık kümeler siyah ve beyaz arasındaki tüm gri tonları kabul ederken Klasik Küme Kuramı için siyah ve beyaz vardır, aradaki tonlar yoktur.



Şekil 3.1. Klasik ve Bulanık Mantık

Kaynak:N.,BAYKAL,T.,BEYAN, Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitapevi, Ankara,2004, 413 s.

BM yaklaşımı, Bulanık Küme Kuramı üzerine kurulmuş bir yaklaşımdır. BM, tam olmayan bilgiyi ve uzman sistemlerdeki yaklaşık yargılamayı elde etmek için kullanılmaktadır. Esas olarak, insan düşünme ve algılarındaki belirsizliklerle ilgilenmekte ve bu belirsizliği sayısallaştırmaya çalışmaktadır. İnsanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar mekanizmalarının modellenmesi olarak tanımlanabilmektedir (Görgülü, 2007:38).

Bulanık Mantık, sıcak ve soğuk gibi kesin ifadelerin arasında kalan “az soğuk” veya “soğuğa yakın” gibi belirsizlikleri matematiksel olarak ifade etmede kullanılan bir kuramdır. Uzman kişi ilgili dilsel değişkenin az, çok, pek az, pek çok gibi günlük hayatta sıkça kullanılan dilsel değerlerini kullanarak bir sistemin denetimini sağlayabilmektedir. Böylece bir sistemi bulunduğu durumdan istenilen duruma ulaştırmak için sezgi ve deneyimlerine bağlı olarak bir denetim gerçekleştirilebilmektedir (Zadeh, 1965:282).

Bulanık Mantık, bu tür mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur ve matematiğin gerçek dünyaya aktarılması olarak da ifade edilebilmektedir. Bulanık Mantık'ın temeli sözel ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Sözel ifadeler ise matematiksel bir temele dayandırılmaktadır. Bu matematiksel temel de Bulanık Küme Kuramı olarak ifade edilmektedir.

Bulanık Mantık'ın uygulama alanları kontrol sistemlerinin de ötesine uzanmaktadır. Geliştirilen son teoremler bulanık mantığın ilke olarak ister mühendislik, ister fizik, ister biyoloji ya da ekonomi olsun, her türlü konuda sürekli sistemleri modellemek üzere kullanılabileceğini göstermektedir. Çoğu alanda Bulanık Mantık modellerinin klasik mantık modellerinden daha yararlı ya da kesin sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bulanık Mantık'ın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle doğrusal olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur (Görgülü, 2007:18).

3.2. BULANIK MANTIĞIN GELİŞİMİ

Bulanık Mantık kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. Bulanık Küme Kuramı hakkındaki ilk bilgilerin Zadeh tarafından yazına mal edilmesine karşın aslında Bulanık Mantığı oluşturacak ilk temel düşünceyi Plato oluşturmuş daha sonra 1900'lerde Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz, 1930'larda kuantum filozofu Marx Black bu düşünceyi desteklemiştir. Lukasiewicz ilk kez Aristo'nun iki değerli mantığına sistematik bir alternatif geliştirerek çok değerli ya da Bulanık Mantık küme sistemlerini geliştirirken, Black ise bulanık küme üyelik fonksiyonlarından bahseden ilk kişi olmuştur (Ayyıldız, 2003:23).

Black tarafından,1930'lu yıllarda bulanık küme ve belirsizliği açıklayıcı kavramlar ortaya atılmış olsa da 1965 yılında Zadeh tarafından yayımlanan makale ile modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesine yer verilmiştir. Zadeh bu makalede belirsizliği $[0,0,1,0]$ aralığında ifade ederek bunu "Bulanık Kümeler" adlı çalışması ile ortaya koymuştur. Söz konusu makale, iki değerli küme kuramına karşı çok değerli küme kuramını ortaya koymuş ve bulanık kelimesini teknik terimlere dahil etmiştir (Zadeh, 1965:345).

Temeli Zadeh tarafından atılan Bulanık Mantık kavramı bir çok uygulama alanına sahiptir. 1970'lerde doğuda ve özellikle de Japonya'da Bulanık Mantık sistemlerine önem verilmiş, teknolojik cihaz yapımı ve işleyişinde kullanılmıştır. Bulanık Mantık elektrikli ev aletlerinden oto elektriğine, gündelik kullandığımız iş makinelerinden üretim mühendisliğine, endüstriyel teknolojilerden otomasyona kadar bir çok alanda uygulama alanına sahiptir. Ayrıca çeşitli beyaz eşya, tren, asansör, trafik kontrolü ve otomotiv

endüstrisinde kullanılabilir. Söz konusu kuramın, endüstriyel uygulaması ise ilk kez çimento endüstrisinde gerçekleşmiştir (Şen, 2004:32).

Bulanık Mantık sisteminin bir çimento fabrikasında uygulanması ile birlikte bulanık kavramlar dünyanın bir çok yerinde kullanılmaya başlanmıştır. Kronolojik sırada sonraki önemli bir uygulama da 1987 yılında Japonya'da gerçekleşmiş, Sendai metro sisteminde çalışan trenlerin otomatik olarak denetimi için Bulanık Mantık kullanılmıştır. 1987'den sonraki yıllarda da elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler gibi konularda Bulanık Mantık uygulamaları yapılarak günümüze kadar bu çalışmalar taşınmıştır (Şen, 2004:32).

3.3. BULANIK KÜMELER

Bulanık Mantık yaklaşımı bulanık küme kuramı üzerine kurulmuş bir yaklaşımdır. Bu bölümde bulanık kümelerin özellikleri, yapılan işlemler klasik kümeler ile karşılaştırılarak incelenmektedir.

3.3.1. Genel Özellikleri

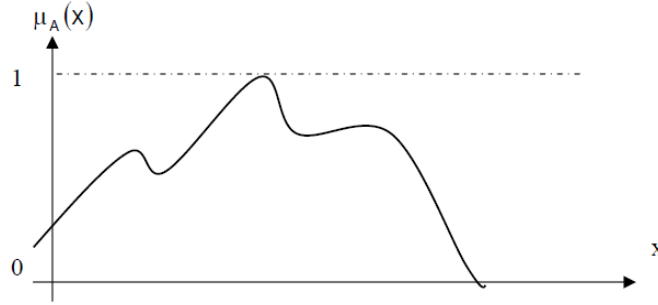
Bulanık küme, üyelerinin bir kümeye bazı derecelere bağlı olduğu bir kümedir. Bunun tersine bulanık olmayan bir kümede küme elemanları ya tam üyelerdir ya da üye değildirler. Bulanık kümelere ise üyelerden üye olmayanlara geçiş kesin bir çizgi ile değil de dereceli olmaktadır. Küme elemanlarının her biri kümeye derece ile dahil olmaktadır. Söz konusu fonksiyon "üyelik fonksiyonu" adı verilen üyelik derecesi ile ifade edilir. Üyelik fonksiyonu kullanımı ile uzun, sıcak, yaklaşık gibi sözel ifadeler bulanık kümeler olarak tanımlanabilir.

Klasik Küme Kuramında üyeler kesin olarak belirlidir ancak Bulanık Küme Kuramına geçildiğinde üyelerin kümeye ait olma dereceleri önem kazanmaktadır. Bulanık bir küme Eşitlik 3.1'deki gibi gösterilir.

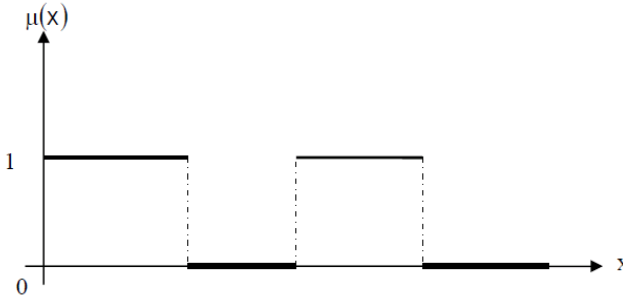
$$\forall x \in E : \mu_A(x) \in [0,1] \quad (3.1)$$

Herhangi bir bulanık küme grafiksel olarak Şekil 3.2'deki gibi gösterilebilir. Burada dikkat edilirse kümeye ait elemanların üyelik derecelerinin sıfır ile bir arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Şekil 3.2 ve 3.3'de açıkça görüldüğü gibi bulanık ve bulanık

olmayan kümeler arasındaki temel farklılık üyelik fonksiyonlarının yapısından kaynaklanmaktadır. Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları sıfır ve bir değerlerini alırken, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları $[0,1]$ değerlerini almaktadır.



Şekil 3.2.Bulanık Üyelik Fonksiyonu



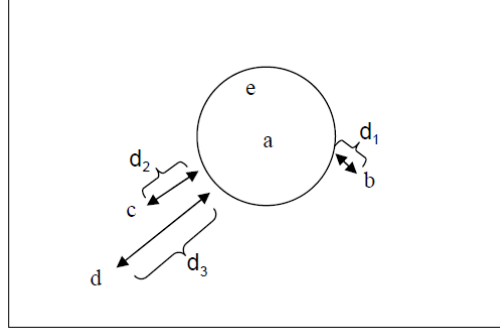
Şekil 3.3.Bulanık Olmayan Üyelik Fonksiyonu

Kaynak: H.TÜRE, Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama, Gazi üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006, 25-47 s.

Örnek olarak bir hedef ve bu hedefe atış yapan atıcılar bulunmakta ve bu atıcıların hedefi daima vurdukları varsayılmaktadır. Eğer bu olay, Klasik Küme Kuramına göre incelenirse hedefin merkezinde bulunan daireyi vuran atıcılar “iyi”, dairenin dışını vuran atıcılar ise “kötü” olarak değerlendirilecektir. Hedefe yapılan atışlar Şekil3.4'de verilmektedir.

Atışlar yapıldıktan sonra hedef incelendiğinde Klasik Küme Kuramına göre, a ve e atıcıları dışındaki tüm atıcılar “kötü” atıcı olarak sınıflandırılacaktır. Bu da b atıcısı ile d atıcısı arasındaki farkın göz ardı edilmesine neden olacaktır. Çünkü klasik küme kuramına göre bu iki atıcıda “kötü” atıcılar kümesinin birer elemanıdır ve aralarındaki fark göz ardı

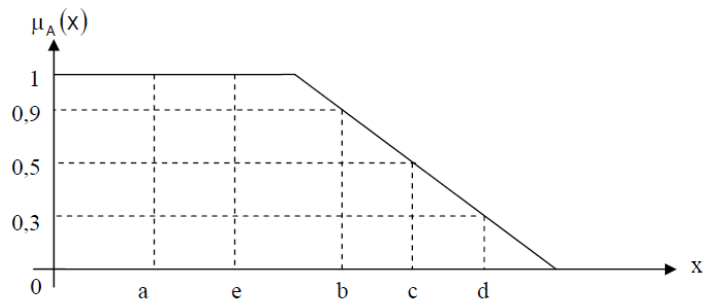
edilmektedir. Sonuç olarak $d_3 > d_1$ olması bir önem taşımamaktadır. Ancak bu sonuç bize b atıcısının d atıcısından daha iyi bir atış yaptığını gerçeğini yansıtmamaktadır (Türe, 2006:24).



Şekil 3.4.Bulanık Değerlendirme Örneği

Kaynak: TÜRE H., Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006, 25 s.

Aynı problem bir de Bulanık Küme Kuramı ile ele alınırsa sonuçların daha adil bir şekilde değerlendirildiği görülecektir. Bu şekilde atıcıların yaptıkları atışların hedefin merkezindeki daireye olan uzaklıkları da göz önüne alınmış olacaktır. Bu sayede b, c ve d atıcıları arasındaki fark ortaya çıkmış olacaktır. Çünkü b, c'den, c'de d'den daha iyi atıcılardır. d_1 , d_2 ve d_3 uzaklıklarının 3, 4 ve 5 cm olduğunu varsayarsak üyelik fonksiyonunun grafiği aşağıdaki gibi bu uzaklıklara bağlı olacaktır. Hedefe yakın olan atışa sahip atıcının üyelik fonksiyonu uzak olanınkine oranla daha büyük olacaktır (Türe, 2006:25).



Şekil 3.5.Bulanık Üyelik Fonksiyonu Örneği

Şekil 3.5'den a ve e atıcılarının hedefi vurdukları için üyelik derecelerinin bire eşit oldukları, b atıcısının c'den, c'nin de d'den daha iyi bir atış yaptıkları için üyelik derecelerinin sırasıyla 0.9, 0.5 ve 0.3 oldukları görülmektedir. Eğer daha kötü atış yapan

kişilerinde oyuna girmesi durumunda bu kişilere ait üyelik değerlerinin de sıfıra doğru azalacağı görülmektedir.

3.3.2 Temel Kavramlar

Bu kesimde bulanık küme işlemlerinde kullanılan eşitlik, kapsama, destek kümesi, yükseklik ve normallik, α -kesimi, dış büyüklük ve iç büyüklük gibi bazı temel kavramlar tanımsal ve çizgisel olarak verilmektedir.

-Eşitlik Kavramı

Bulanık kümelerde eşitlik kavramından bahsedebilmek için bu kümelerin aynı evrensel kümenin (U) üyeleri olması gerekmektedir. A ve B gibi iki bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonları evrensel kümede yer alan her bir eleman için aynı üyelik derecesini alıyorsa Eşitlik 3.2'deki gibi bu iki kümenin birbirlerine eşit oldukları söylenebilir.

$$\tilde{A} = \tilde{B} \leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x), \forall x \in U \quad (3.2)$$

-Kapsama

Eğer A ve B gibi iki bulanık kümenin üyelik fonksiyonları arasında Eşitlik 3.3 şeklinde bir ilişki var ise A kümesi B kümesinin alt kümesidir denir.

$$\tilde{A} \subset \tilde{B} \leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x), \forall x \in U \quad (3.3)$$

-Destek Kümesi

Bulanık kümelerin üyelik derecesi bire eşit elemanlara öz eleman denmektedir. Ayrıca bir alt kümenin tüm elemanlarını içeren aralığa destek denmektedir ve üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların toplandığı kümeye destek kümesi denmektedir. E evrensel küme olmak üzere Eşitlik 3.4'deki biçiminde gösterilmektedir.

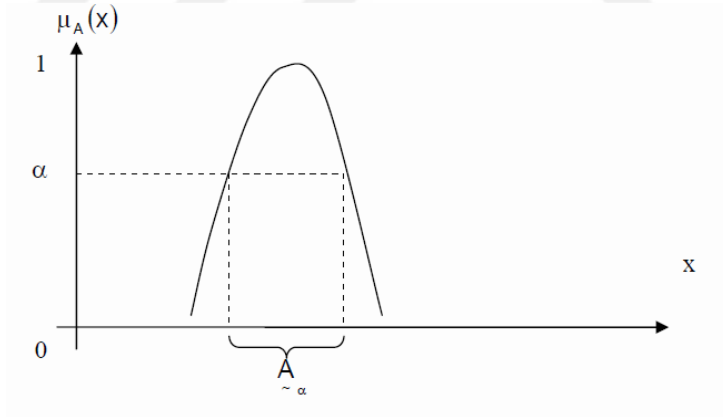
$$\text{destek}_{\tilde{A}} = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0 \text{ ve } x \in E\} \quad (3.4)$$

- α - Kesim Kavramı

α -kesim kümesi verilen herhangi bir α değerine eşit veya daha büyük olan üyelik fonksiyonlarına ait elemanların oluşturduğu bir kümedir. Her farklı α seviyesi için yeni bir küme oluşturulacaktır. α , $[0,1]$ aralığında değerler almaktadır. α 'nın aldığı değerler arttıkça kümenin eleman sayısı azalacaktır. α -kesim kümesi matematiksel olarak Eşitlik 3.5'deki gibi gösterilmektedir.

$$A_{\tilde{\alpha}} = \{x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (3.5)$$

Eşitlikteki α kesme kümesi zayıf α kesme kümesidir. \geq yerine $>$ kullanılması durumunda güçlü α -kesme kümesi elde edilecektir. Şekil 3.6'da herhangi bir bulanık A kümesine ilişkin α -kesme kümesi verilmiştir.



Şekil 3.6. Kesme Kümesi

Kaynak: BAYKAL N., BEYAN T., Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitapevi, Ankara. 2004.

-Yükseklik ve Normallik Kavramları

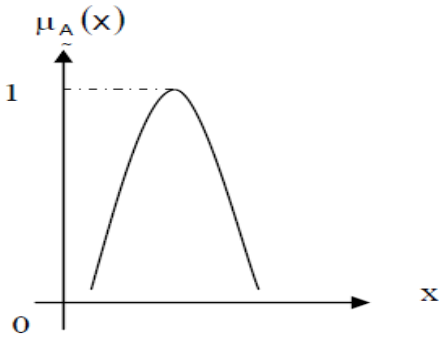
Üyelik fonksiyonlarının normal ve dışbükey olmaları gerekmektedir. Eğer bir bulanık kümede bulunan elemanlardan en az birinin üyelik derecesi bir ise bu kümeye normal bulanık küme denmektedir. Normallik matematiksel olarak Eşitlik 3.6'daki gibi gösterilmektedir.

$$\forall x \in E : \sup_x \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \quad (3.6)$$

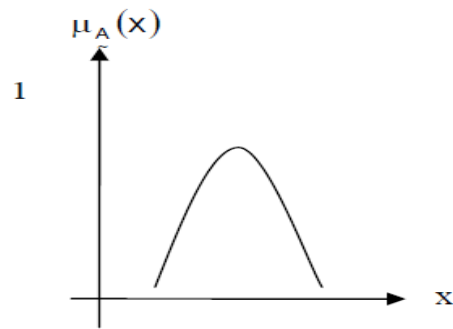
Kümenin yüksekliğinin gösterimi ise Eşitlik 3.7'deki gibidir.

$$\text{yükseklik}(\tilde{A}) = \sup \left[\mu_{\tilde{A}}(x) \right] \quad (3.7)$$

Şekil 3.7 ve 3.8'de normal ve normal olmayan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarına ilişkin grafikler verilmiştir. Soldaki grafik normal olan bulanık kümeye, sağdaki ise normal olmayan bulanık bir kümeye aittir. Normal olmayan bir küme bütün elemanların en büyük üyelik derecesine sahip elemana bölünmesi ile normalleştirilir. Bu ise kümenin dışbükey olması koşuluna bağlıdır.



Şekil 3.7. Normal Bulanık Kümeler



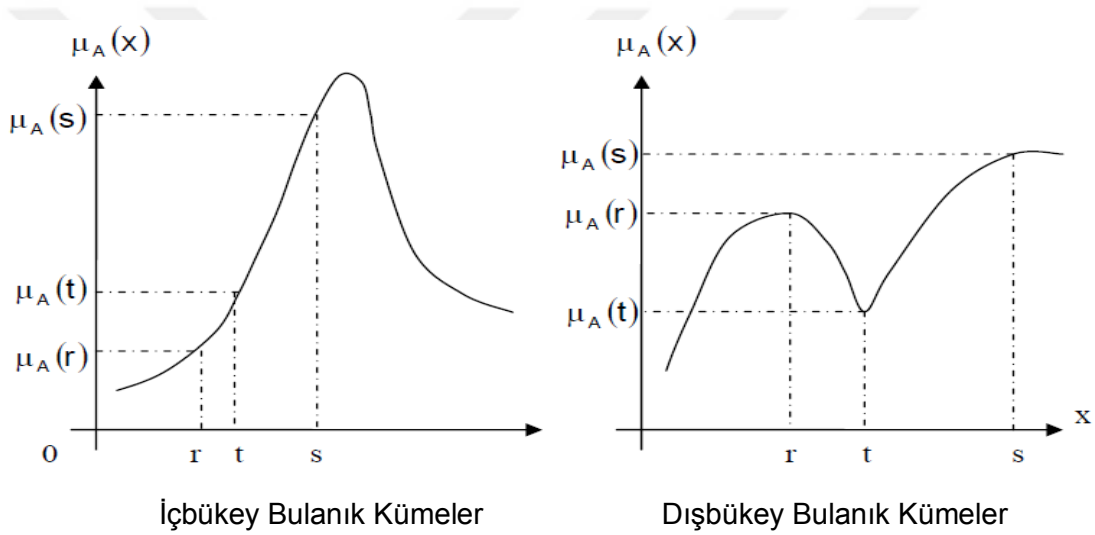
Şekil3.8. Normal Olmayan Bulanık Kümeler

-Dışbükeylik ve içbükeylik

Dışbükeylik ve içbükeylik kavramları Klasik Küme Kuramında taşıdığı özellikleri bulanık küme kuramında da taşımaktadır. Üyelik fonksiyonlarına göre dışbükeylik kavramı Eşitlik 3.8'dekişekilde ifade edilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(t) \geq \min [\mu_{\tilde{A}}(r), \mu_{\tilde{A}}(s)] \quad (3.8)$$

Şekil 3.9'da içbükey ve dışbükey iki kümeye ilişkin grafikler verilmiştir.



Şekil 3.9.İçbükey ve Dışbükey Bulanık Kümeler

Kaynak: BAYKAL N., BEYAN T.,Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitapevi, Ankara. 2004.

3.3.3. Klasik ve Bulanık Küme Notasyon, İşlem ve Özellikleri

Klasik küme ve bulanık kümlere ait notasyonlar, işlemler ve özellikler aşağıda verilmiştir.

Klasik kümelere farklı olarak bulanık kümelere, kümenin kısmi üyesi olan bir nesne tümleyeninin de kısmi üyesi olmaktadır. Klasik küme kuramında bir nesne bir kümenin elemanı ise doğal olarak tümleyeninin elemanı değildir. Bu notasyon Eşitlik 3.9'da görülmektedir.

$$\sim A \cup \sim \bar{A} \neq U \text{ ve } \sim A \cup \bar{A} \neq \emptyset \quad (3.9)$$

Klasik Küme Notasyonları:

$x \in X \Rightarrow x$, X uzay kümesine ait bir elemandır.

$x \in A \Rightarrow x$, A kümesine ait bir elemandır.

$x \notin A \Rightarrow x$, A kümesine ait bir eleman değildir.

$A \subset B \Rightarrow B$ kümesi A kümesinin tümünü içerir. Eğer $x \in A$ ise $x \in B$ 'dir.

$A \subseteq B \Rightarrow A$ kümesi B kümesine denktir.

$A = B \Rightarrow A \subseteq B$ ve $B \subseteq A$ 'dir.

$A = \emptyset \Rightarrow A$ kümesinin hiç bir elemanı yoktur. A kümesi boş kümedir.

$X = \{a, b, c\}$ ise X kardinali P(x) kümesi olur . P(x) kümesi X kümesinin tüm alt kümeleridir.

$$P(x) = \left\{ \emptyset, \{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, \{a, b, c\} \right\}$$

Bulanık Küme Notasyonları:

$x \in X \Rightarrow x$, X uzay kümesine ait bir elemandır.

$x \in \bar{A} \Rightarrow x$, \bar{A} kümesine ait bir elemandır.

$x \notin \bar{A} \Rightarrow x$, \bar{A} kümesine ait bir eleman değildir.

$\bar{A} \subset \bar{B} \Rightarrow \bar{B}$ kümesi \bar{A} kümesinin tümünü içerir. Eğer $x \in \bar{A}$ ise $x \in \bar{B}$ 'dir.

$\bar{A} \subseteq \bar{B} \Rightarrow \bar{A}$ kümesi \bar{B} kümesine denktir.

$\bar{A} = \bar{B} \Rightarrow \bar{A} \subseteq \bar{B}$ ve $\bar{B} \subseteq \bar{A}$ 'dir.

$\bar{A} = \emptyset \Rightarrow \bar{A}$ kümesinin hiç bir elemanı yoktur. \bar{A} kümesi boş kümedir.

Klasik Küme İşlemleri:

Birleşim: $A \cup B = \{x | x \in A \text{ veya } x \in B\}$, A veya B kümesine ait olan elemanların kümesi.

Kesişim: $A \cap B = \{x | x \in A \text{ ve } x \in B\}$, hem A hem B kümesine ait olan elemanların kümesi.

Tümleyen: $\bar{A} = \{x | x \notin A \text{ ve } x \in X\}$, X uzay kümesinde A kümesinin dışında kalan elemanların kümesi.

Fark: $A/B = \{x | x \in A \text{ ve } x \notin B\}$, A kümesinin B kümesinden farkı.

Bulanık Küme İşlemleri:

Birleşim: $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x)$, \tilde{A} ve \tilde{B} gibi iki bulanık alt kümenin birleşimi durumunda ortak olmayan elemanların tümü ve ortak elemanlardan ise üyelik derecesi en büyük olan alınır.

Kesişim: $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x)$, \tilde{A} ve \tilde{B} gibi iki bulanık alt kümenin kesişimi durumunda, sadece \tilde{A} ve \tilde{B} 'nin ortak elemanlarından üyelik derecesi en küçük olan alınır.

Tümleyen: $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

$$\tilde{A} \subseteq X \Rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_X(x)$$

Klasik Küme Özellikleri:

Değişme özelliği:

$$A \cup B = B \cup A \text{ ve } A \cap B = B \cap A$$

Birleşme özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \text{ ve } A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$$

Dağılım özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \text{ ve } A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

Tek Kuvvet özelliği:

$$A \cup A = A \text{ ve } A \cap A = A$$

Ayrıca:

$$A \cup \emptyset = A, A \cup X = X, A \cap X = A, A \cap \emptyset = \emptyset$$

Bulanık Küme Özellikleri:

Değişme özelliği:

$$A \cup B = B \cup A \text{ ve } A \cap B = B \cap A$$

Birleşme özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \text{ ve } A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$$

Dağılım özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \text{ ve } A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

Tek Kuvvet özelliği:

$$A \cup A = A \text{ ve } A \cap A = A$$

Ayrıca:

$$A \cup \emptyset = A, A \cup X = X, A \cap X = A, A \cap \emptyset = \emptyset$$

3.4. BULANIK SAYILAR ve İŞLEMLER

Bulanık kuramda sayılar da bulanık olabilmektedir. Gerçek doğru üzerindeki bulanık A sayısı $\mu_A: R \rightarrow [0,1]$ aitlik fonksiyonu ile karakterize edilen bir sayı topluluğudur.

Bir bulanık sayı sadece alt ve üst sınır değerleri ile belirlenir (Şen, 2004: 47). Bulanık sayılarla yapılan aritmetik işlemler aşağıda sırası ile verilmiştir.

-Toplama İşlemi

A ve B bulanık sayılarının toplamı alınırken her iki kümenin minimum noktalarının toplamı toplam kümesinin minimum noktasını, maksimum noktalarının toplamı da maksimum noktasını oluşturmaktadır. Üyelik derecesi bir olan noktaların toplamı da

toplam kümesinin merkezini oluşturmaktadır. Bulanık sayılarda toplama işlemi Eşitlik 3.10'da görülmektedir.

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [(a_1 + b_1), (a_2 + b_2)] \quad (3.10)$$

-Çıkarma İşlemi

A ve B bulanık sayılarının farkları alınırken, A bulanık kümesinin en küçük elemanı B kümesinin en büyük elemanından çıkartılıp toplam kümesinin en küçük elemanı elde edilir. A kümesinin en büyük elemanından B kümesinin en küçük elemanı çıkartılarak fark kümesinin en büyük elemanı elde edilir. Üyelik dereceleri bire eşit olan merkez noktalarının farkı da toplam bulanık kümesinin merkezini oluşturmaktadır. Bulanık sayılarda çıkarma işlemi Eşitlik 3.11'de görülmektedir.

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [(a_1 - b_1), (a_2 - b_2)] \quad (3.11)$$

-Çarpma İşlemi

A ve B bulanık sayılarının kartezyen çarpımı sonucunda elde edilen değerlerin en küçüğü çarpımın alt sınırını, en büyüğü de üst sınırını oluşturmaktadır. Bulanık sayılarda çarpma işlemi Eşitlik 3.12'de görülmektedir.

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = [a_1, a_2] \times [b_1, b_2] \quad (3.12)$$

$$= [\text{Min}[(a_1 \times b_1), (a_1 \times b_2), (a_2 \times b_1), (a_2 \times b_2)], \text{Max}[(a_1 \times b_1), (a_1 \times b_2), (a_2 \times b_1), (a_2 \times b_2)]] \quad (3.12)$$

-Bölme İşlemi

Çarpma işlemine benzer olarak A ve B bulanık sayılarının bölme işlemi yapılır. Çarpma işleminden farklı olarak bölen sayıların sıfırdan farklı bir sayı olması gerekmektedir. Bulanık sayılarda bölme işlemi Eşitlik 3.13'de görülmektedir.

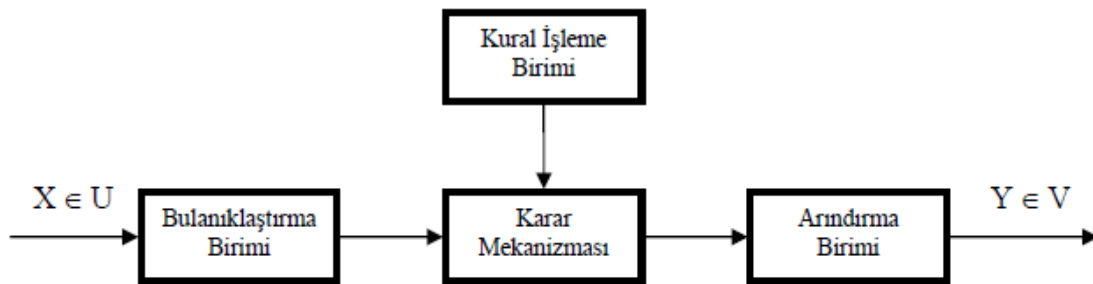
$$\tilde{A} / \tilde{B} = [a_1, a_2] / [b_1, b_2]$$

$$=[\text{Min}[(a_1/b_1),(a_1/b_2),(a_2/b_1),(a_2/b_2)],\text{Max}[(a_1/b_1),(a_1/b_2),(a_2/b_1),(a_2/b_2)]] \quad (3.13)$$

3.5. BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ

Bulanık Mantık çıkarım sistemleri insanların ortaya koyduğu sözel bilgileri sayısal hale getirmede ve bilgilerin bilgisayarlar veya algoritmalar tarafından algılanarak hesaplanmasında kullanılan sistemlerdir. Bir bulanık sistem; Bulanık Kural Tabanlı Sistem, Bulanık Mantık Kontrol Algoritması, Bulanık Model şeklinde farklı ifadelerle de anlatılabilmektedir. Bulanık Mantık Kontrol Algoritmaları kontrol sistemini ayarlamak için dilsel kuralları kullanan bir kontrol tekniği olarak ifade edilebilmektedir. Söz konusu algoritmalar matematiksel karmaşıklık ve belirsizlik içeren bir süreci çözümlenmede kullanılabilmektedir. Bulanık bir süreç; *bulanıklaştırma birimi*, *kural işleme birimi* ve *karar mekanizması* ve *arındırma birimi* olmak üzere dört ayrı birimden oluşmaktadır. Bulanık Mantık Kontrol Algoritması, başka bir ifade ile bulanık bir sürecin işleyişi Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.

Burada X sistem giriş bilgisi olup Y'de sistem çıkış bilgisi olmaktadır. U ve V ise sistem giriş ve çıkış tanım uzaylarıdır. Bu akış düzeninin ilk birimi olan *bulanıklaştırma birimi*, bulanık işlem sisteminin ilk birimi olarak devreye girmekte ve bu birime gelen bilgiler ölçek değişikliğine uğrayarak bulanıklaştırılmaktadır. Buraya gelen bilgilerin her birine bir üyelik değeri atanarak bilgiler dilsel bir yapıya dönüştürülmekte buradan da kural işleme birimine gönderilmektedir.



Şekil 3.10.Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

Kaynak:E. ÖZTÜRK,H. KONAR, A. DİLAVER, Bulanık Mantık ve Jeofizik Uygulamalardaki Yeri, Harita Mühendisliği Dergisi, No: 87, Ankara, 2000, 28-42 s.

Sistemin ikinci birimi olan *kural işleme birimi* ise fiziksel veya sezgisel verilerden hareketle sistem uzmanının bilgisi ile yapılan bir kural tabanından oluşmaktadır. Buraya gelen bilgiler “EĞER,O ZAMAN,VE, VEYA” gibi kural işleme bilgileri ile birleştirilmektedir. Bu önermeler, incelenen olayın yapısına göre sayısal değerlerle de kurulabilmektedir. Daha sonra kural işleme birimindeki bilgiler karar mekanizmasına gönderilip, uygun karar önermeleri ile elde edilen sonuçlar arındırma birimine gönderilmektedir.

Sistemin son birimi olan *arındırma birimi* ise, bulanık haldeki bilgileri bir ölçek değişikliğine uğratarak gerçel sayılara dönüştürmektedir (Öztürk-Konar, 2000:28).

3.5.1. Bulanıklaştırma Aşaması

Bulanıklaştırmanın iki anlamı vardır. Bunlardan birincisi *kesin bir değer*in üyelik derecesi ile ifade edilen bulanık bir değere dönüştürülmesidir. İkincisi ise sayısal bir girdi değerinin uygun üyelik fonksiyonu kullanılarak belli bir üyelik derecesi ile sözel bir değişkene dönüştürülmesi işlemidir. Üyelik fonksiyonu bir nesnenin bulanık kümeye aitlik derecesini gösteren üyelik değerinin hesaplanmasını sağlayan bir fonksiyondur (Öztürk-Konar, 2000:30). Üyelik fonksiyonları bir bulanık kümenin içerdiği tüm bilgileri açıkladığından, bu fonksiyonların çeşitli görünümünü ve kısımlarını açıklamakta yarar vardır.

Bir üyelik fonksiyonu beş kısımdan oluşur. Bunlar; *üyelik fonksiyonunun çekirdeği, desteği, sınırları, dönüm noktası ve yüksekliği*dir. Bulanık kümenin tam üyeliğe sahip elemanlarının oluşturduğu topluluğa üyelik fonksiyonunun çekirdeği denir ve Eşitlik 3.14'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(X) = 1 \quad (3.14)$$

Üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların oluşturduğu topluluk üyelik fonksiyonunun desteği olarak adlandırılır ve Eşitlik 3.15'deki gibi gösterilir.

$$DESTEK_A(X) = \{x \in E | \mu_A(X) > 1\} \quad (3.15)$$

Bir üyelik fonksiyonunun sınırları [0,1] arasında üyelik derecelerine sahip elemanların oluşturdukları bölgedir. Genelde tüm üyelik fonksiyonlarında biri çekirdeğin

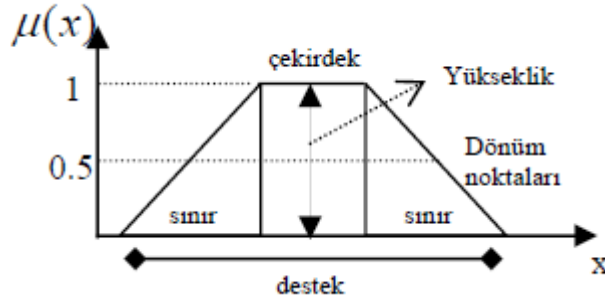
sağında ve biri de solunda olmak üzere iki sınır bölgesi vardır. Bulanık kümelerde 0.5 üyelik derecesine sahip elemanların oluşturdukları bölge üyelik fonksiyonunun dönüm noktası olarak tanımlanır. Bir bulanık kümenin yüksekliği üyelik derecesi en yüksek olan elemana karşılık gelir.

Elemanlardan en az birine ait üyelik derecesi bir ise bu bulanık küme normal bulanık küme olarak tanımlanır. Normal olmayan bulanık küme, kümede bulunan tüm elemanların üyelik derecelerinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi ile normal hale dönüştürülebilir (Görgülü, 2007: 27).

Bulanıklaştırma aşamasında çok sayıda üyelik fonksiyonu olmakla birlikte pratikte en yaygın olarak kullanılanlar (Baykal-Beyan, 2004: 220):

- Üçgen
- Yamuk
- Gaussian fonksiyonlarıdır.

Bunların yanında pratikte fazla kullanılmayan Sigmoidal, S ve Pi üyelik fonksiyonları da vardır.



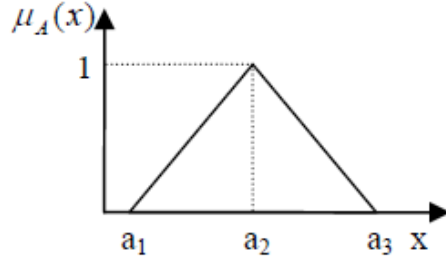
Şekil 3.11. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları

Kaynak:N.BAYKAL, T.BEYAN,Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitapevi, Ankara, 2004, s. 413.

-Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu a_1 , a_2 ve a_3 olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. a_2 parametresi bu üyelik fonksiyonunun çekirdeğini oluştururken a_1 ve a_3 parametreleri arasında kalan değerlerde desteğini oluşturmaktadır. Diğer bir deyiş ile çekirdekteki eleman sayısı bir olan üyelik fonksiyonlarıdır. Üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bir elemanın üyelik derecesinin hesaplanması, (x) elemanın değerine göre yapılır. Fonksiyon,Eşitlik 3.16'daki gibi tanımlanır ve Şekil 3.12'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x, a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ ve } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

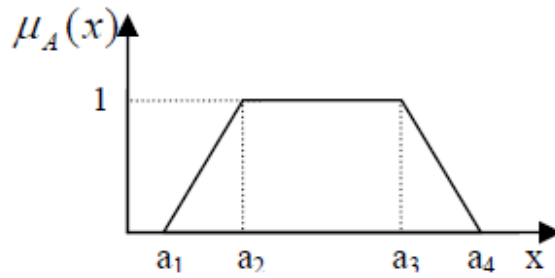


Şekil 3.12. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

-Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu a_1, a_2, a_3 ve a_4 olmak üzere dört parametre ile tanımlanır. Aslında üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur. Bu fonksiyonda a_1-a_2 ve a_3-a_4 arasında kalan değerler fonksiyonun sınırlarını oluşturmaktadır. Fonksiyonun çekirdeği ise a_2-a_3 parametreleri arasında kalan noktalardır. Fonksiyon, Eşitlik 3.17'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.13'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x, a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 \text{ ise } (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ ve } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (3.17)$$

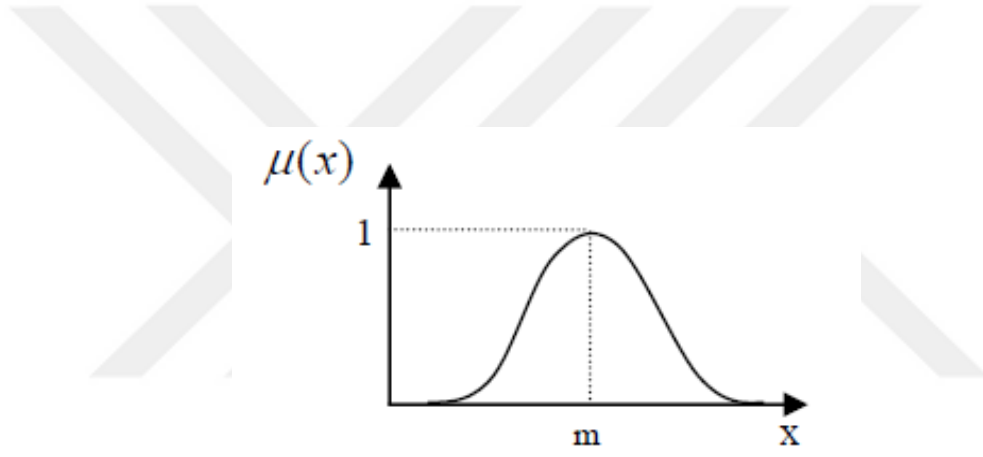


Şekil 3.13. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

-Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu m ve σ parametreleri ile gösterilir. Bu fonksiyonda m fonksiyona ait olan dağılışı, σ 'da dağılışın şeklini belirler. Eğer, σ küçük olursa üyelik fonksiyonunun göstermiş olduğu dağılış daha sivri olur. Gaussian üyelik fonksiyonunun çekirdeği m 'dir. Çekirdeğin sağında ve solunda kalan elemanların oluşturduğu bölge ise fonksiyonun sınırlarını oluşturmaktadır. Fonksiyon, Eşitlik 3.18'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.14'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x, m, \sigma) = \exp \left\{ \frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (3.18)$$

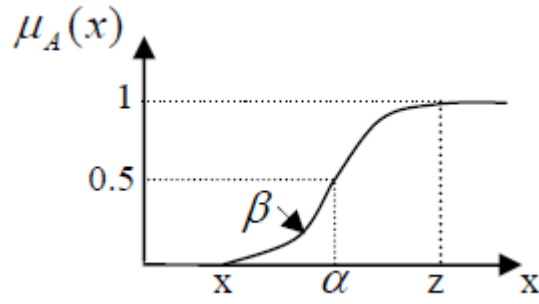


Şekil 3.14. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

-Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

Sigmoidal üyelik fonksiyonları β ve α olmak üzere iki parametre ile gösterilir. Bu üyelik fonksiyonunda β ; eğrinin eğimini göstermektedir. α parametresi ise eğrinin dönüm noktası olup üyelik derecesi daima 0.5'e eşittir. Sigmoidal üyelik fonksiyonunun çekirdeği z , x ile z arasında kalan elemanların oluşturduğu bölgede sınırlarıdır. Fonksiyon, Eşitlik 3.19'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.15'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x, \beta, \alpha) = \frac{1}{1 + \sigma^{-\beta(x-\alpha)}} \quad (3.19)$$

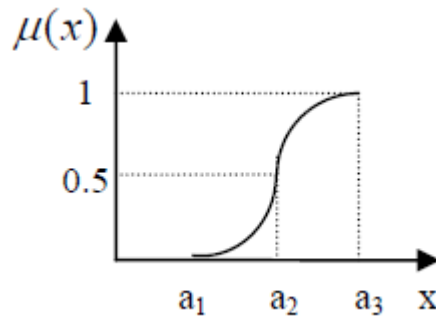


Şekil 3.15. Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

-S Üyelik Fonksiyonu

S üyelik fonksiyonu a_1 , a_2 ve a_3 parametreleri ile tanımlanan bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun adı, şeklinin S harfine benzemesinden kaynaklanmaktadır. Eğer fonksiyon artış eğiliminde ise Eşitlik 3.20'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.16'daki gibi gösterilir.

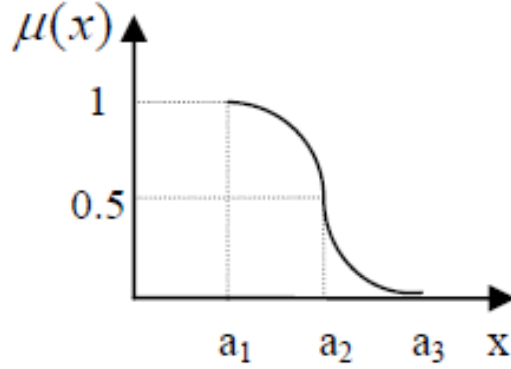
$$\mu_A(x, a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} -\infty < x < a_1 & \text{ise } 0 \\ a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } 2 [(x - a_1)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_2 < x \leq a_3 & \text{ise } 1 - 2 [(x - a_2)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_3 < x < +\infty & \text{ise } 1 \end{cases} \quad (3.20)$$



Şekil 3.16. Artan S Üyelik Fonksiyonu

Fonksiyon azalış eğiliminde ise a_2 parametresi fonksiyonun dönüm noktasıdır ve x eksenindeki yeri daima a_1 ile a_2 parametrelerinin tam ortasıdır. Eğer fonksiyon azalış eğiliminde ise Eşitlik 3.21'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.17'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x, a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} -\infty < x < a_1 & \text{ise } 1 \\ a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise } 1 - 2 [(x - a_1)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_2 < x \leq a_3 & \text{ise } 2 [(x - a_2)/(a_3 - a_1)]^2 \\ a_3 < x < +\infty & \text{ise } 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

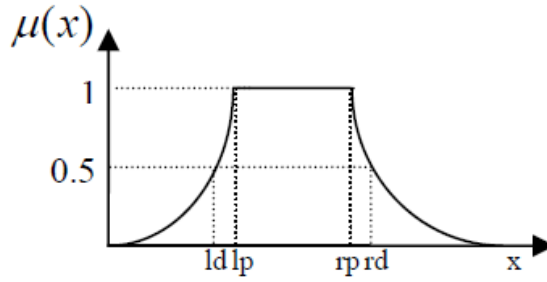


Şekil 3.17. Azalan S Üyelik Fonksiyonu

-Pi (Π) Üyelik Fonksiyonu

Pi üyelik fonksiyonu dört parametre ile tanımlanmaktadır. Fonksiyonun ismi şeklinin pi simgesine benzemesinden kaynaklanmaktadır. S fonksiyonundan farklı olarak fonksiyon değeri iki taraflı "0" değerine doğru asimptotik olarak azalır. lp ve rp parametreleri arasında kalan değerler fonksiyonun çekirdeğini oluştururken ld ve rd noktaları dönüm noktalarıdır. Fonksiyon, Eşitlik 3.22'deki gibi tanımlanır ve Şekil 3.18'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x, lw, lp, rp, rw) = \begin{cases} x < lp & \text{ise } lw/(lp + lw - x) \\ lp \leq x \leq rp & \text{ise } 1 \\ x > rp & \text{ise } rw/(x - rp + rw) \end{cases} \quad (3.22)$$



Şekil 3.18. Pi Üyelik Fonksiyonu

3.5.2. Çıkarım Aşaması

Genel olarak çıkarım, var olan bilgileri kullanarak yeni bilgileri elde etme süreci olarak tanımlanır (Baykal-Beyan, 2004:235). Çıkarım aşamasında girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiler konunun uzmanından alınan bilgiler doğrultusunda EĞER-O ZAMAN mantıksal ifadeleri kullanılarak açıklanır. EĞER-O ZAMAN mantıksal ifadesi veya kuralları iki kısımdan oluşur. EĞER ile O ZAMAN'ı kapsayan kısma öncül, O ZAMAN'dan sonraki kısma da sonuç kısmı denir. İki veya daha fazla mantıksal ifade VE-VEYA mantıksal bağlantı işlemcileri kullanılarak birleştirilebilir. Çıkarım aşamasında, her mantıksal ifade sonunda bir sonuç, bu sonuçların birleştirilmesi ile de en son sonuç değerine veya sonuç kümesine ulaşılır.

VE ve VEYA mantıksal bağlantı işlemcileri her kural için w_i ile gösterilen eşik değerini belirlemede etkilidirler. Eşik değeri çıkarım aşamasında kullanılan çıkarım yöntemine göre farklı şekillerde hesaplanır ve kullanılır. Kural VE mantıksal bağlantı işlemcisi ile oluşturuldu ise eşik değeri en küçük üyelik derecesine eşit olur. VEYA mantıksal bağlantı işlemcisi ile oluşturuldu ise en büyük üyelik derecesine eşit olur. EĞER-O ZAMAN kurallarının öncül kısmında verilen şart sağlanamadığında eşik değeri sıfıra eşit olur ve sonuç aşamasında boş küme elde edilir.

Mamdani, Larsen, Takagi-Sugeno-Kang ve Tsukamoto çıkarım yöntemleri gibi farklı çıkarım yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerin çalışma ilkeleri genellikle birbirlerine benzemektedir. Aralarındaki temel farklılıklar EĞER-O ZAMAN kurallarının sonuç kısmı ile birleşim aşamasındadır (Baykal-Beyan, 2004:242).

3.5.3. Durulaştırma

Bulanık model oluşturmanın son aşaması durulaştırma'dır. Bu aşamaya çıkarım

aşamasında sonuç değerleri bulanık bir küme olarak elde edilen Mamdani ve Larsen çıkarım yöntemleri kullanılır ise ihtiyaç duyulur. Sonuç değerini kesin değer olarak veren TSK ve Tsukamoto çıkarım yöntemleri kullanıldığında durulaştırma aşamasına gerek yoktur. Durulaştırma bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir. Pratik uygulamalarda, çoğu zaman kesin sayılara gerek duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilebilmesi için kullanılan çok sayıda durulaştırma yöntemi vardır. Bunlardan en çok kullanılanları en büyük üyelik ilkesi, sentroid yöntemi, ortalama en büyük üyelik, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyüklerin en küçüğü ve en büyüklerin en büyüğü yöntemleridir.

-En Büyük Üyelik İlkesi

Bu yöntemin diğer bir adı yükseklik yöntemidir. Yöntemin kullanılabilmesi için çıkarım aşamasında elde edilen bulanık birleşim kümesinin tepe noktasının olması gerekir. Durulaştırılmış değer, bulanık birleşim kümesinde en yüksek üyelik derecesine sahip değere eşittir. Durulaştırma yönteminin aritmetik notasyon ile gösterimi ifade 3.23'deki gibidir (Şen, 2001: 124). Bu yöntemin çizgisel gösterimi Şekil 3.19'da görülmektedir.

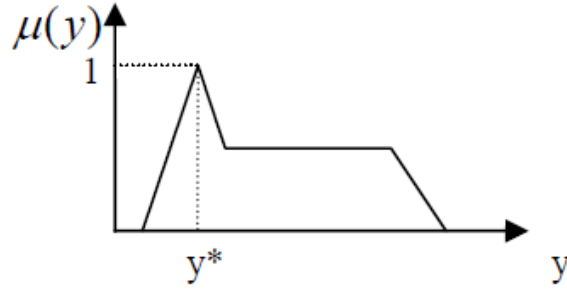
$$\mu_B(y^*) \geq \mu_B(y_i) \quad \forall y \in B \quad (3.23)$$

Burada;

B: Mamdani ve Larsen çıkarım yöntemlerinde birleştirme aşamasında elde edilen bulanık birleşim kümesi

y_i : Bulanık birleşim kümesinin i'inci ögesi

y^* : Durulaştırılmış değer olup, bu küme içerisinde en büyük üyelik derecesine sahip olan elemandır.



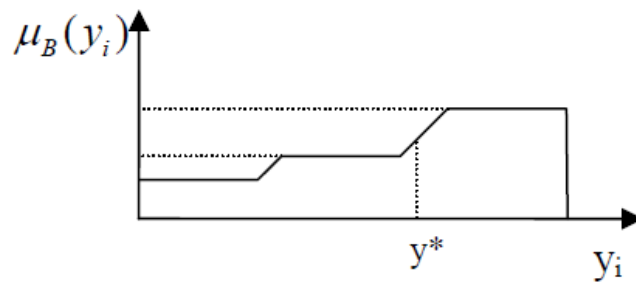
Şekil 3.19. En Büyüklük İlkesinin Çizgisel Gösterimi

-Sentroid yöntemi

Durulaştırma yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntemdir. Ağırlık merkezi yöntemi de denir. Bu yöntemde (y^*) durulaştırılmış değeri Eşitlik 3.24 yardımı ile hesaplanır.

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i)} \quad (3.24)$$

Bu durumda y^* çıkarım işleminin son aşaması olan birleştirme aşamasında elde edilen bulanık kümenin ağırlık merkezi olarak kabul edilebilir. Bu yöntemin çizgisel gösterimi Şekil 3.20'de görülmektedir.



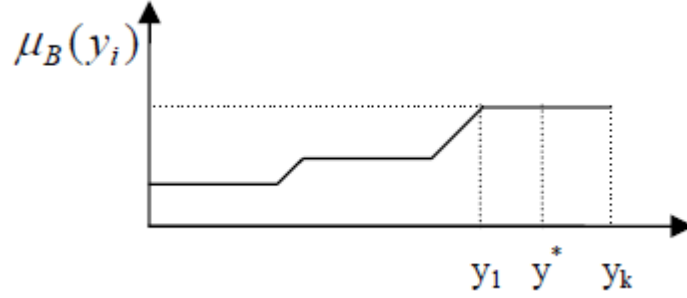
Şekil 3.20. Sentroid Yöntemi Çizgisel Gösterimi

-Ortalama En Büyük Üyelik

Bulanık birleşim kümesi içerisinde birden çok en büyük üyeliğe sahip eleman olduğunda, birinci durulaştırma yöntemi olan en büyük üyelik ilkesi yöntemi geçerliliğini kaybetmektedir. Bu sorunu çözmek için ortalama en büyük üyelik veya diğer

bir adıyla en büyüklerin ortası Eşitlik 3.25 ile durulaştırılmış değer olarak alınır. Bu yöntemin çizgisel gösterimi Şekil 3.21'de görülmektedir.

$$y^* = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_k}{k} \quad (3.25)$$

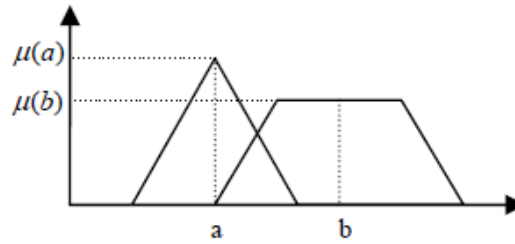


Şekil 3.21. Ortalama En Büyük Üyelik Çizgisel Gösterimi

-Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bu yöntem bulanık birleşim kümesinin simetrik bir üyelik fonksiyonu ile temsil edildiği durumlarda kullanılır. Bu durumda durulaştırılmış değer Eşitlik 3.26 yardımıyla hesaplanır ve bulanık birleşim kümesinin ağırlıklı ortalamasını ifade eder. Burada a ve b çıktı değişkeni temsil edilen üyelik fonksiyonlarının merkezini gösterir. Bu yöntemin çizgisel gösterimi Şekil 3.22'de görülmektedir.

$$y^* = \frac{a \cdot \mu_a + b \cdot \mu_B}{\mu_a + \mu_b} \quad (3.26)$$

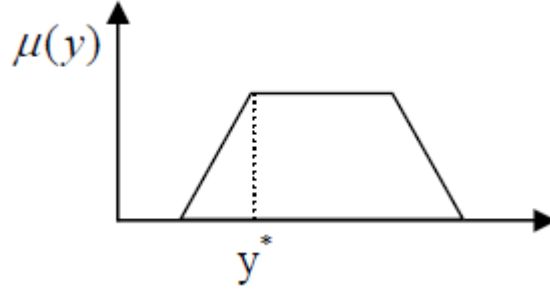


Şekil 3.22. Ağırlıklı Ortalama Yönteminin Çizgisel Gösterimi

-En Büyüklerin En Küçüğü

Bu durulaştırma yönteminde tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık birleşim kümesinde en büyük üyelik derecesine sahip küme elemanları içerisinde en küçük

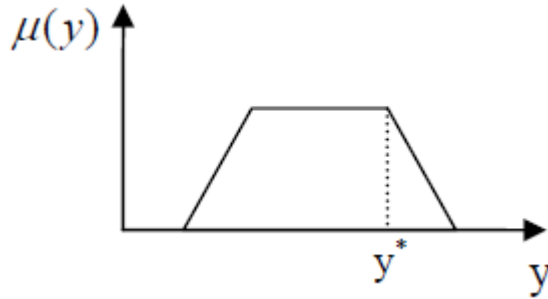
değere sahip eleman durulaştırılmış değer olarak kabul edilir. Bu yöntemin çizgisel gösterimi Şekil 3.23'de görülmektedir.



Şekil 3.23. En Büyüklerin En Küçüğü Yönteminin Çizgisel Gösterimi

-En Büyüklerin En Büyüğü

En büyüklerin en büyüğü yönteminin tam tersine en büyük üyelik derecesine sahip elemanlardan en büyük değere sahip olan eleman durulaştırılmış değer olarak kabul edilir. Bu yöntemin çizgisel gösterimi Şekil 3.24'de görülmektedir.



Şekil 3.24. En Büyüklerin Büyüğü Çizgisel Gösterimi

3.5.4. Model Önerileri

Bulanık modelleme bulanıklaştırma, çıkarım ve durulaştırma temel aşamalarından oluşan bir süreçtir. Süreç sonunda verilecek kararın doğruluğu süreci oluşturan her aşamada araştırmacının konu ile ilgili tecrübesi, uzman görüşü ve kullanılan yöntemlerin uygunluğuna bağlı olacaktır. Bulanıklaştırma aşamasında kullanılacak üyelik fonksiyonlarının şekli, x eksenindeki konumu ve sayısı belirlenir. Bulanık modellemede üyelik fonksiyonlarına ait bu özelliklerin belirlenmesi modelin başarısı açısından birinci

derecede önemlidir. Bu özelliklerin en iyi şekilde belirlenebilmesi için araştırmacıların bulanıklaştırma işleminden önce, yapacakları çalışmayı çok iyi planlamaları gerekmektedir. Bunun için daha önce yapılmış çalışmaları inceleyerek ve konunun uzmanları ile görüşerek çalışmaya başlamadan konu hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmelidir. BM kullanılarak oluşturulan model yada sistemin başarısında uzmanın vermiş olduğu bilginin doğruluğu oldukça önemlidir. Uzmanın vereceği yanlış bir bilgi tüm modelin ya da sistemin baştan oluşturulmasına neden olabilmektedir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda araştırmacı problemi net olarak açıklamalı ve çözmek için izleyeceği yolu bu aşamada belirlemelidir (Şen, 2001:160).

Planlama aşamasından sonra araştırmacılar, konu hakkında elde ettikleri bilgilere göre kullanacağı değişkenleri belirlemeli ve bu değişkenlere ait verileri toplamalıdır. Modele alınacak gereksiz bir girdi değişkeni, oluşturulacak kural sayısını çok fazla arttırmaktadır. Bu durum zaman alıcı olmasının yanında modelin ya da sistemin sağlıklı çalışmasını engelleyebilmektedir. Bulanıklaştırma aşamasında, çok karmaşık üyelik fonksiyonlarının kullanılması çıkarım yöntemlerinin sonuç kısmında karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir. Bu nedenle daha çok üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının kullanılması tavsiye edilmekte olup özellikle bu konuda yeni çalışmaya başlayanlara üçgen üyelik fonksiyonunu kullanarak başlamaları önerilmektedir. Bu fonksiyonda üyelik derecelerinin hesaplanması ve çıkarım aşamasındaki hesaplamalar oldukça kolaydır.

Bulanıklaştırma aşamasında üyelik fonksiyonlarının alt küme sayısı ve x eksenindeki konumunun belirlenmesi, şeklinin belirlenmesinden daha önemlidir. Üyelik fonksiyonlarının x eksenindeki konumunu belirleyebilmek için uzmanın vermiş olduğu bilgilerden ve verilere ait aritmetik ortalama, minimum ve maksimum gibi istatistik değerlerden yardım alınması başarıyı arttırmaktadır (Şen, 2001: 165). Bulanıklaştırma aşamasında üyelik fonksiyonlarının konumunun belirlenmesi yanında alt küme sayısının da belirlenmesi oldukça önemlidir. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken üç ile yedi arasında alt küme oluşturulmalıdır. Üçten az alt kümeye bölünmesi değişkenlerin tam tanımlanmamasına neden olmaktadır. Fazla sayıda alt kümeye bölünmesi de oluşturulacak kural sayısını arttırmaktadır (Baykal-Beyan, 2004: 78).

Üyelik fonksiyonlarının şekli, konumu ve sayısı belirlendikten sonra Mamdani, Larsen, TSK ve Tsukamoto gibi çıkarım yöntemlerinin kullanıldığı çıkarım aşamasına geçilir. Bu aşamada araştırmacı yapacağı çalışmanın amacına uygun bir çıkarım yöntemi seçer. Bu yöntemler içerisinde Mamdani ile Larsen, TSK ile de Tsukamoto benzer bir yapı

göstermektedir. Mamdani ve Larsen çıkarım yöntemleri daha çok çıktı değişkeninin bulanık bir küme ile temsil edildiği durumlarda kullanılır. TSK yönteminde sonuç çıktısı sabit bir değer yada doğrusal bir fonksiyon olduğu için modelleme ve tahmin yapma işlemlerinde kullanılır. Bu yöntemlerden Mamdani ve Larsen yöntemleri, sezgisel ve sözel girdiler söz konusu olduğunda daha etkili sonuçlar vermektedir (Şen Z., 2001:220). Mamdani yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha çok kullanım alanı bulmuştur. TSK yöntemi ise matematiksel analizler söz konusu olduğunda daha kullanışlı olup değişkenler arasında doğrusal ilişkiler söz konusu olduğunda daha iyi sonuçlar vermektedir.

Araştırmacı çıkarım aşamasında kullanacağı yöntemi belirledikten sonra bu yönteme uygun kuralları tanımlar. EĞER-O ZAMAN kuralları çalışmanın planlanması aşamasında konunun uzmanlarından veya önceki çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda oluşturulur. Kurallar daha önce açıklandığı gibi VE- VEYA mantıksal bağlantı işlemcileri kullanılarak yazılır. Çalışmada; Mamdani veya Larsen çıkarım yöntemlerinden birisi kullanılıyorsa EĞER-O ZAMAN kuralları oluşturulduktan sonra durulaştırma aşamasına geçilir. TSK ve Tsukamoto yöntemlerinden birisi kullanılıyorsa sonuç değerleri elde edilir ve bu değerler incelenir (Baykal-Beyan, 2004: 85).

Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına araştırmacının karar vermesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta durulaştırmadan sonra varılan sonuç aşamasında sonuç değerleri şüpheli, ikilemli veya çok cevaplı olmamalıdır. Sonuçlar makul ve mantıklı olmalıdır. Makul ve mantıklı bir durulaştırmada elde edilen kesin değer bulanık kümenin dayanağının ortalarına doğru düşmeli ve üyelik derecesi oldukça büyük bir değer almalıdır (Şen, 2001: 68).

Dördüncü Bölüm

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Bu bölümde ikili karşılaştırma yöntemi yardımı ile müşteri gereksinimlerinin bağlı önem derecelerinin daha doğru şekilde hesaplanmasına olanak veren Analitik Hiyerarşi Prosesi'ne yer verilecektir. Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin aşamaları ve tutarlılık analizi incelendikten sonra metodolojimiz içerisinde kullanılan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi konusuna değinilecektir.

4.1. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

L. Thomas Saaty tarafından,1965 yılında ortaya konan Analitik Hiyerarşi Prosesi ilk olarak 1971 yılında ABD Savunma Bakanlığında olasılık planlama problemlerinde kullanılmıştır. Daha sonra çeşitli alanlarda uygulanmış ve 1973 yılında Sudan ulaşım projesinde kullanılması ile tam olgunluğa ulaşmış ve kuram olarak tam olarak gelişimini 1974-1978 yıllarında tamamlamıştır (Ayyıldız, 2003:110).

AHP, çok sayıda alternatif arasında seçim ya da sıralama yaparken çok sayıda karar vericinin bulunabildiği, çok kriterli, çok amaçlı, belirlilik yada belirsizlik durumunda karar vermede kullanılır (Yılmaz, 2000: 13). İnsanlar var olduğu günden bu yana bir problemle karşılaştığında içgüdüsel olarak karar verme durumunda kalmıştır. İçgüdüsel verilen kararlarda ise soyut kavramlar hakkında da karar verilebilmektedir. Soyut kavramlar hakkında verilen kararlar ise sezgisel kararlar olmakta ve kişiden kişiye değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle, birçok yaklaşımla ele alınması zor ya da mümkün olmayan ama kararları etkileyen bu soyut kavramlar AHP yardımı ile ele alınabilmekte ve bir çözüm yaklaşımı sunulabilmektedir (Güngör-İşler, 2005:22).

AHP, somut kriterlerin yanında soyut kriterleri de ele alıp değerlendirebilen bir yaklaşımdır. Nesnel ve öznel tüm kriterleri ikili karşılaştırma yaparak ölçen ve bu kriterlerin birbirlerine göre önceliklerini bularak önem sıralarını belirleyen bir karar verme yöntemidir. Bu ikili karşılaştırmalarda iki durumdan hangisinin daha önemli ya da hangisi diğerine göre daha çok tercih edilir olduğu tespit edilir. Bunlar belirlenerek sayısal olarak değerlendirilmesi yapılır. AHP, karar verme durumunda olan karar verici için en iyi seçeneği belirlemenin yanında seçenekler arasında sıralama yapmaya da imkân verir. Bu yöntem hem nicel hem de nitel faktörleri dikkate alması, kolay kullanılabilir olması ve basit

uygulanabilir olması nedeniyle çok karmaşık problemlerde bile kolaylıkla uygulanabilmektedir.

AHP, çok değişkenli karar verme yöntemlerinden biridir. AHP'de öncelikle problem belirlenir ve probleme ait kriterler, alt kriterler ve alternatifler ortaya konur. Bu şekilde bir hiyerarşi oluşturulur. Hiyerarşi oluşturulduktan sonra ikili karşılaştırmalar yapılarak karşılaştırma matrisi elde edilir ve bu verilerden her kriterin önem derecesi belirlenir. En son olarak tüm kriterler birlikte değerlendirilerek en iyi seçenek ya da en iyi sıralama ortaya konmuş olur.

4.2. AHP YÖNTEMİNİN AŞAMALARI

Bir karar verme probleminin AHP ile çözülebilmesi için izlenmesi gereken aşamalar sırasıyla şöyledir (Rençber, 2010: 39):

- Karar probleminin tanımlanması
- Hiyerarşik yapının kurulması
- İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
- Kriter ve alternatiflerin göreceli önem değerlerinin belirlenmesi
- Tutarlılığın kontrol edilmesi
- Alternatiflerle ilgili sıralamanın belirlenmesi
- Duyarlılık analizinin yapılması

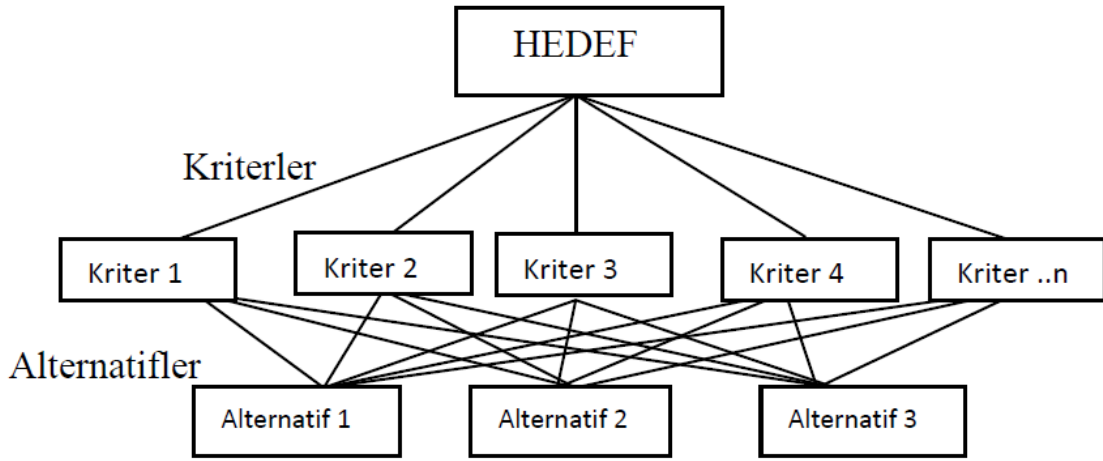
4.2.1. Karar Probleminin Tanımlanması

Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile karar vermede bir amaç belirlenir. Bu amaç birden fazla alt amacın sağlanmaya çalışıldığı genel amaçtır. Kriterler birer alt amaçtır. Karar vermede karar seçenekleri değerlendirilirken belirlenen kriterlere göre ikili karşılaştırma ile değerlendirilir (Dündar, 2008:218).

4.2.2. Hiyerarşik Yapının Kurulması

Bu aşama karar probleminin daha kolay kavranmasını ve değerlendirilmesini sağlayacak hiyerarşik bir düzende alt problemlere ayrıştırma sürecidir. Problem belirli bir

amaç, kriter, alt kriter ve alternatifler hiyerarşisine ayrıştırılır. Bu işlem karar verme sürecinin en yaratıcı ve en önemli bölümüdür. Karar probleminin bir hiyerarşi şeklinde oluşturulması AHP'nin temel ilkelerindendir. Hiyerarşik yapı, bir kademenin elemanlarının bir alt kademede olan elemanlarla ilişkisini gösterir. Bu bağlamda hiyerarşi düzenli bir ilişki ağı niteliğindedir. Bu ilişki en alt kademelere kadar devam eder ve bu sayede her eleman dolaylı veya dolaysız olarak birbiri ile ilişkilendirilmiş olur. Hiyerarşinin en üst seviyesinde üzerinde çalışılan ve analiz edilmesi amaçlanan problemin hedefi, ara seviyelerinde kriterler ve en alt seviyesinde alternatifler vardır (Karaca, 2011: 39). Karmaşık karar problemleri problemi oluşturan bileşenlerin hiyerarşik yapılarının belirlenmesi ile daha anlaşılır duruma getirilmektedir. Şekil 4.1'de bir hiyerarşik yapı örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.1. AHP Modeli İçin Hiyerarşi Yapısı

Kaynak:S. DÜNDAR,Ders Seçiminde Analitik Hiyerarşi Proses Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Isparta, 2008, s 217-226.

4.2.3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

AHP'nin bu aşamasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu ikili karşılaştırmalar bir kare matris ile gösterilir. Her karşılaştırma matriste en soldaki sütundaki bir elemanın en üst satırdaki bir elemana göre üstünlüğünü gösterir. Önem derecesi Tablo4.1'de gösterilen ölçeğe göre belirlenir (Saaty, 2008:86).

İkili karşılaştırma yönteminin bir üstünlüğü bir seferde sadece iki kriterin düşünülmesidir. n adet kriter için yöntem $n(n-1)/2$ adet karşılaştırmadan oluşur. Örneğin 10 değerlendirme kriterli bir karar problemi 45 adet ikili karşılaştırma yapmayı gerektirir.

İkili karşılaştırma yöntemine ilişkin çeşitli eleştiriler bulunmaktadır. 1-9 ölçeği ile yapılan ikili karşılaştırmalar bazı problemlerde karar vericiyi tutarsızlığa da götürebilmektedir. Örneğin Kriter A kriter B'den 5 kat ve kriter B'de kriter C'den 5 kat daha önemli olarak kabul edilirse kriter A'nın kriter C'den 25 kat daha önemli olduğu hükmüne varılabilir ki bu durum çok ta mümkün değildir (Güngör-İşler, 2005: 23).

Tablo 4.1.AHP İkili Karşılaştırma Ölçütü

Önem Değeri	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	Her iki seçenekte eşit öneme sahiptir.
3	Orta Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine orta derecede önemli kılması.
5	Yüksek Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine yüksek derecede önemli kılması.
7	Çok Yüksek Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine çok yüksek derecede önemli kılması.
9	Kesin Derece Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine kesin derecede önemli kılması.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	Uzlaşma gerektiğinde iki yargı arasındaki ara değerler.

Kaynak:İ. GÜNGÖR, D.İSLER, “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile Otomobil Seçimi”,ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, s.21-33, 2005.

İkili karşılaştırmalarda ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bir kişiye (n) tane taş verildiğini (A_1, A_2, \dots, A_n) ve bu taşların sayısal ağırlıkları da sırasıyla w_1, w_2, \dots, w_n olduğunu varsayalım. Her bir taşın diğer taşlara göre ağırlıklarının oranı ikili karşılaştırma matrisinin satırlarını oluşturur. Örneğin; A_1 taşının ağırlığının A_2 taşının ağırlığına oranı $\frac{w_1}{w_2} = a_{12}$ şeklinde gösterilirse ikili karşılaştırma matrisi Eşitlik 4.1'deki gibi oluşturulur (Karaca, 2011: 43).

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

4.2.4. Kriter ve Alternatiflerin Görelî Önem Değerlerinin Belirlenmesi

AHP'nin diğer aşaması normalleştirilmiş matrislerin oluşturulmasıdır. Normalleştirilmiş matris her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir. Normalleştirilmiş matristen hareketle her bir sıra değerlerinin ortalaması alınır. Elde edilen bu değerler her bir kriter için yüzde önem ağırlıklarıdır.

4.2.5. Tutarlılığın Kontrol Edilmesi

Ölçüm aletleri de dahil olmak üzere tüm ölçümler deneysel hata yada ölçme aleti hatası ile karşı karşıya kalıp tutarsız sonuçlara yol açabilirler. Tutarlılık karar kuramının en önemli kilometre taşlarından biridir. Ancak bir ölçüm sırasında en duyarlı aletler kullanılsa dahi aslında mükemmel bir tutarlılığa erişmek hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle bir karar verme modelinin etkinliğini irdelerken modelin kullanımı sonucunda ne denli kötü olduğu araştırılmalıdır. Burada tutarlılıklardan kasıt sadece tercihlerdeki mantıklılık değil aynı zamanda bu tercihlerin yoğunluklarına ilişkin sayısal tutarlılıktır. Diğer bir deyişle A, B'ye iki kez daha fazla tercih ediliyor; B, C'ye üç kez daha fazla tercih ediliyor ise sayısal tutarlılığın olması için A'nın C'ye altı kez daha fazla tercih ediliyor olması gerekmektedir.

AHP yöntemine göre karar vericilerin ikili karşılaştırma değerleri öznedir ve karar vericiler yanlış veya yanlış davranarak karşılaştırma yapmış olabilir. Dolayısı ile ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olup olmadığı kontrol edilmeli, eğer tutarlılık istenen seviyede değilse karşılaştırmalara verilen cevaplar tekrar gözden geçirilmelidir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için en büyük öz değerin, matris boyutuna eşit olması gerekmektedir. A matrisinin en büyük öz değeri 4.2 nolu Eşitlik yardımı ile elde edilir.

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_{ij} \quad (4.2)$$

Fakat yapılan hesaplamalarda bu eşitlik her zaman sağlanmaz. Burada ihtiyaç duyulan şey tutarsızlığa bağlı olarak ortaya çıkan hatanın derecesinin ölçümüdür. Bu

koşulda $(\lambda_{\max} - n)$ değeri bir tutarsızlığa işaret etmektedir. Bu tutarsızlığın derecesi, tutarlılık indeksi (Tİ) olarak tanımlanır. Tİ değeri Eşitlik 4.3 yardımı ile hesaplanır.

$$Tİ = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (4.3)$$

Tİ'nin $n \times n$ boyutlu matrise karşılık gelen rastgele indekse (RI) oranlanmasına tutarlılık oranı (TO) denir.

Tablo 4.2.AHP Rastgele İndeks Sayıları

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Kaynak:İ.GÜNGÖR,D. İSLER, “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile Otomobil Seçimi”, ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, s.21-33, 2005.

Tutarlılık oranı, Eşitlik 4.4'deki gibi hesaplanır.

$$TO = \frac{Tİ}{Rİ} \quad (4.4)$$

TO düzeyinin 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. Eğer bu oran 0,10'dan büyük ise Saaty ve Vargas, karar vericilere kararlarını yeniden gözden geçirme tavsiyesinde bulunmaktadırlar (Saaty, 2008: 98). Tutarlılık derecesi kabul edilebilir bir düzeyde ise süreç devam eder değil ise analizi sürdürmeden önce ikili karşılaştırmalar gözden geçirilir.

4.2.6. Alternatiflerle İlgili Sıralamanın Belirlenmesi

AHP'de her bir ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı da sağlandıktan sonra sıra karar probleminin çözümünden elde edilecek nihai kararın verilmesine gelir. Bu aşamada problemin ana amacının gerçekleşmesinde karar alternatiflerinin sıralaması olarak hizmet

edecek karma öncelikler vektörü oluşturulur. Bu vektörü oluşturmak için her değişken için belirlenen öncelik vektörlerinin ağırlıklı ortalaması alınır.

Birebir karşılaştırmalar ve matris işlemleri faktör sayısı kadar tekrarlanır. Her bir karşılaştırma işleminden sonra mx1 boyutlu ve değerlendirilen faktörün karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını gösteren vektörler elde edilir. Karar matrisi ile sütun vektörü çarpıldığında m elemanlı sütun vektörü elde edilir. Bu sütun vektörü karar noktalarının yüzde dağılımını verir. Diğer bir deyişle, vektörün elemanlarının toplamı birdir. Bu dağılım aynı zamanda karar noktalarının önem sırasını da gösterir (Rençber,2010:49). Sütun vektörü Eşitlik 4.5'te görülmektedir.

$$L = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & \cdots & S_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \vdots \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

4.2.7. Duyarlılık Analizinin Yapılması

Alternatiflerin sıralamaları oluşturulduktan sonra kurulan modelin sonuçlarını gözden geçirmek gerekmektedir. Bu inceleme yargılara veya hiyerarşik yapıya ilişkin ihtiyaç duyulan düzeltme alanlarına işaret edecektir. Bu incelemenin önemli bir bileşeni alternatiflerin sıralamalarının ve nihai kararın yargılardaki değişikliklere karşı ne kadar duyarlı olduğunun değerlendirilmesidir. Duyarlılık analizi başlığı altında yapılan bu inceleme ikili karşılaştırmaların oluşturulmasında yargıların kişiden kişiye farklılık gösterebileceği veya daha önce belirli bir yargıda bulunan kişinin zamanla düşüncelerinin farklılaşabileceği varsayımına dayanmaktadır.

Duyarlılık analizi "...olursa.....ne olur?" sorusuna cevap verir. Duyarlılık analizinde "Eğer modelin herhangi bir elemanı veya elemanlarında değişiklik yaparsak, bundan optimal çözüm nasıl etkilenir?" sorusunun cevabı aranır. Eğer herhangi bir elemandaki değişimin optimal karar üzerindeki etkisi fazla ise kararın o elemandaki değişime karşı duyarlı olduğu sonucuna varılır. Bu durumda karar vericinin ilgili elemanı daha dikkatli incelemesi gerekecektir. Duyarlılık kavramı sistem cevabındaki değişim miktarının, bu değişime sebep olan tasarım parametrelerindeki değişme oranı olarak tarif edilmektedir. Bu en genel anlamda Eşitlik 4.6 şeklinde tanımlanır (Rençber, 2010: 50).

$$\text{Duyarlılık} = \frac{\Delta \text{ Sistem Cevabı}}{\Delta \text{ Giriş Parametresi}} \quad (4.6)$$

4.3 BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan AHP belirsizlik durumunda karar vermeye tam uygun olmadığından, bulanık mantıkla AHP birleştirilerek bulanık analitik hiyerarşi prosesi (BAHP) ortaya konmuştur. Karar verici genellikle kesin değerler içeren değerlendirme yapmak yerine aralıklı değerlendirme yapmayı daha güvenilir bulacaktır. Yazında yer alan çeşitli yazarlar tarafından ortaya konmuş olan bir çok BAHP yöntemi bulunmaktadır. BAHP ile ilgili ilk çalışma, Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Buckley (1985), Boender Et Al.(1989), arkasından Chang (1996) ve Cheng (1996) tarafından BAHP yaklaşımı ele alınmıştır (Üzgün, 2006:31). Bu yaklaşımların her birinde farklı çözüm algoritmaları ortaya konmuştur.

BAHP'nin uygulandığı birçok problemde Chang (1996) tarafından önerilen genişletilmiş BAHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde "a" kesim seviyelerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu yöntem yapay derece değerlerini kullanmasının yanında basit seviye sıralaması ve karma toplam sıralaması ile öne çıkmaktadır. Yöntemin en üstün yanı hesap gereksiniminin az olması ve klasik AHP'nin adımlarını izleyerek ilave işlem gerektirmemesidir. Zayıf yönü ise sadece bulanık üçgensel sayıları kullanmasıdır (Güner, 2005: 38).

4.3.1. Genişletilmiş BAHP Yöntemi Algoritması

\tilde{M} matrisi Eşitlik 4.7'de görülen, her bir eleman arasındaki ikili karşılaştırmaları gösteren \tilde{m}_{ij} bulanık sayılarından oluşan bir matristir.

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \dots & \tilde{m}_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{m}_{ij} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Burada;

Tüm $\tilde{m}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ 'ler üçgen bulanık sayı

l_{ij} : Alt değer

u_{ij} : Üst değer

m_{ij} : Üyelik fonksiyonunun bir olduğu orta değerdir.

Her bir müşteriden elde edilen ikili karşılaştırma değerlerinin ortalaması Eşitlik 4.8 yardımı ile hesaplanır.

$$\widetilde{M}_{ij} = \frac{1}{n} \otimes (m_{ij1} \oplus m_{ij2} \oplus \dots \oplus m_{kkn}) \quad (4.8)$$

Burada;

$i=1, \dots, k$ ve $j=1, \dots, k$

k: CR'lerin sayısı

n: müşteri sayısıdır.

Bulanık yapay büyüklük değeri (S_i) Eşitlik 4.9'daki gibi tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (4.9)$$

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ifadesini elde etmek için, m değerleri üzerinde bulanık sayılarda toplama işlemi Eşitlik 4.10'daki şekilde gerçekleştirilir.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4.10)$$

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ ifadesini elde etmek için öncelikle M_{gi}^j ($j=1, 2, \dots, m$) değerleri üzerinde bulanık toplama işlemi Eşitlik 4.11'deki gibi yapılır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4.11)$$

ve bu adımın en son aşaması olarak bir önceki adımda elde edilen vektörün tersi Eşitlik 4.12 yardımı ile hesaplanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4.12)$$

4.3.2. BAHP'de Kullanılan Ölçekler

Bulanık AHP'de uygulanan yönteme göre ölçek çeşitleri değişmektedir. Yaygın olarak kullanılan bulanık üçgensel sayılardan oluşan ölçek Tablo 4.3'de görülmektedir (Felix, 2007: 20-25). Ölçek dilsel değişkenlerin üçgen bulanık sayı olarak karşılıklarını ve her bir önem derecesinin eşleniğini içermektedir. AHP'de olduğu gibi dokuzlu ölçekte beş adet önem değeri ve ara yargılar için dört adet ara değer mevcuttur.

Tablo 4.3. BAHP İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem Değeri	Önem Derecesinin Eşleniği	Tanım	Açıklama
(1,1,1)	(1,1,1)	Eşit Önem	Her iki seçenekte eşit öneme sahiptir
(2,3,4)	(1/4, 1/3, 1/2)	Orta Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine orta derecede önemli kılması
(4,5,6)	(1/6, 1/5, 1/4)	Yüksek Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine yüksek derecede önemli kılması
(6,7,8)	(1/8, 1/7, 1/6)	Çok Yüksek Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine çok yüksek derecede önemli kılması
(8,9,10)	(1/10, 1/9, 1/8)	Kesin Derece Önem	Tecrübe ve yargının bir seçeneği diğerine kesin derecede önemli kılması
(1,2,3),(3,4,5), (5,6,7),(7,8,9)	(1/3, 1/2, 1/1) (1/5, 1/4, 1/3) (1/7, 1/6, 1/5) (1/9, 1/8, 1/7)	Ara Değerler	Uzlaşma gerektiğinde iki yargı arasındaki ara değerler

Kaynak:T. S. FELIX, Global Supplier Selection: A Fuzzy-AHP Approach, International Journal of Production Research, 1-33, 2007.

4.3.3. BAHP'de Tutarlılık

Yazın taraması sonucu BAHP' de tutarlılık oranı ile ilgili çok fazla bir bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak Kwong ve Bai (Kwong-Chen, 2007: 622), tutarlılığın hesaplanması için bulanık sayıların durulaştırıldıktan sonra AHP'de olduğu gibi hesaplanacağından bahsetmiştir. Fakat yazındaki pek çok çalışmada tutarlılığın kontrol edilmediği görülmüştür.

Chang tarafından önerilen genişletilmiş analiz yönteminde tutarlılığın hesaplanması bazı durumlarda mümkün görülmemektedir. BAHP sonucunda toplam ağırlık vektöründe bazı kriterlerin ağırlıkları sıfır çıkmaktadır. Tutarlılık indeksi hesaplanırken durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlık vektörü çarpılıp, bulunan vektörün ağırlık vektörünün her bir elemanına tek tek bölünmesi gerekmektedir. Ağırlık vektörünün elemanlarından birisi sıfır olduğu durumlarda sayının sıfıra bölünmesi söz konusu olmaktadır. Bu durum ise matematikte tanımsızlık belirtmektedir.

Beşinci Bölüm

KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİNİN AKSİYOMATİK TASARIM İLE ETKİNLEŞTİRİLMESİ

Bu bölümde iki, üç ve dördüncü bölümlerde incelenmiş olan Aksiyomatik Tasarım, Bulanık Mantık ve Analitik Hiyerarşi Prosesi metodolojilerinin Kalite Fonksiyonu Göçerimi'ne entegrasyonları sağlanarak bu metodolojinin etkinleştirilmesi amacı ile geliştirilmiş olan metodoloji adım adım açıklanacaktır.

5.1. KALİTE FONKSİYONU GÖÇERİMİ VE FARKLI YÖNTEMLERİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ

KFG yönteminin farklı odak alanları ile ilgili yazın oldukça geniştir. Araştırmacılara rehberlik edebilecek yazın taraması sunan çok sayıda makale mevcuttur. Bouchereau V. (Bouchereau-Rowlands, 2000:8), Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, Taguchi gibi yöntemlerin KFG'nin eksikliklerini gidermek için yöneme nasıl uyarlanabileceğini tanımlayan bir çalışma sunmuştur. Lai-Kow Chan (Kwong-Chen,2007:667), KFG sürecinin kapsamlı bir tanımlamasını yaparak, yöntemin temellerinin daha net anlaşılmasını amaçlamıştır. Çalışmada, KFG uygulamasında karşılaşılan temel problemler tanımlanarak olası çözümler tavsiye edilmiştir. Lai-Kow Chan diğer bir çalışmasında (Lai-Ming, 2002:463) 650 adet KFG makalesini incelemiştir. KFG'nin ortaya çıkışı, tarihsel gelişimi, özellikle Japonya ve ABD'deki süreci belirtmiştir. KFG örgütlerinin listesi, KFG yazılımları ve online kaynaklar sunulmuştur. KFG'nin fonksiyonel alanları, endüstri alanındaki uygulamaları ve metodolojik gelişimi kategorik olarak incelenmiştir.

Ibo van de Poel (Poel, 2007:18) ise, KFG'nin temel getirileri ve kısıtları üzerine odaklanmıştır. KFG'deki bazı temel metodolojik sorunlar ve bu sorunların olası çözümleri üzerinde çalışmıştır. Abdolshah Mohammad (Mohammad-Mohsen, 2013:11), 2000-2011 yılları arasında yayınlanan BKFG makalelerini analitik olarak incelediği bir yazın taraması makalesi sunmuştur. Bu çalışmada makaleler iki temel gruba ayrılmıştır. Birinci grup *temel BKFG'nin gelişimi için bir model önerisi sunan* makaleler, ikinci grup ise *tamamen yeni uygulamalar öneren* makalelerdir. Bu analizden sonra elde edilen sonuçlara göre;

-Çalışmaların çoğunluğu Kalite Evi'ni tamamlamak için sayısal yöntemlere odaklanmıştır

-En çok çalışılan yöntemler MCDM'dir.

-KFG'nin temel amacı ürün geliştirme olmasına rağmen, risk analizi, rekabet analizi gibi diğer unsurlar da KFG kapsamına alınmıştır

-Meta sezgisel yöntemlerin karmaşık BKFG problemlerin çözümünde kullanılması gelecek vaat eden bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır

-BKFG'nin tüm aşamalarını tamamlayan çalışma sayısı oldukça azdır

Yapılan KFG yazını taramasında AT ve KFG'yi bütünleştiren çalışmalar yeni ve az yer kaplayan bir alan olarak ortaya çıkmaktadır. Goncalves (Goncalves-Coelho, 2005:233), eşzamanlı mühendislik alanında bir çalışma olarak KFG yöntemine AT ilkelerinin uyarlanması ile yapılacak bir geliştirme öngörmüştür. Çalışmasında EC'lerin bağımsızlığının sağlanması ve zikzak yolu izleyerek hiyerarşik ayrıştırma yapılması yöntemlerini kullanmıştır. Varılan sonuçlara göre AT konseptinin KFG'ye katılması, korelasyonlar nedeni ile tekrarlayan işlemlerin ve dolayısı ile süre ve maliyetlerin azaltılmasını sağlamıştır.

Andrew T. Olewnik (Olewnik-Lewis, 2005:126), ürün geliştirme yöntemlerinin yeterliliğinin onaylanması alanında bir çalışma yapmıştır. Bu yöntemlerin yeterliliğini tespit için pek çok kriter bazında inceleme yapmıştır. Çalışma kapsamında basit bir tasarım problemini iki tanınmış yöntem olan KFG ve AT yöntemleri ile incelemiş ve her ikisinin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymuştur. Andrea Del Taglia (Taglia-Gianni, 2006:11), KFG ve AT yöntemlerinin pazarda rekabetçi bir ürün meydana getirebilmek adına nasıl bir arada kullanılabileceklerini gösteren bir metodoloji sunmuştur. Taglia'ya göre bu metodolojinin üstünlüğü ürün geliştirme maliyetinin azaltılması ve müşteri tatmininin artırılmasıdır.

Miguel AT ilkelerinin kullanımı ile uygulama zorlukları azaltılmış bir KFG modeli önermiştir. Sonuçlar; AT ilkelerinin uyarlanmasının KFG modelinin uygulanmasındaki kısıt ve zorlukları en aza indirmede başarılı olduğunu göstermiştir (Miguel-Carnevalli, 2007:127). Çelik KFG ilkelerini genişleterek yeni bir model olan tavsiye edilen sipariş miktarı (SOQ) modelini sunmuştur. Bu yeni model içerisinde BAHP ve Bulanık

Aksiyomatik Tasarım (BAT) algoritmaları kullanılarak yatırımlar sayısal çıktılar yardımı ile yönetilmiştir (Çelik-Çebi, 2008:9).

Cavallini C. müşteri isteklerinin AT kapsamındaki fonksiyonel gereklilikler, mühendislik karakteristiklerinin de tasarım parametreleri şeklinde ele alınması ile Bilgi Aksiyomu uygulaması yapmıştır. Önerilen bu metodoloji ile yeni bir ürünün malzeme seçimini daha verimli ve korelasyon etkisinden arındırılmış şekilde yapılmasını örnek çalışma olarak sunmuştur (Cavallini-Citti, 2013: 5).

5.2. ÖNERİLEN METODOLOJİ

İncelenmiş olan AT, BM ve AHP'nin yöntemleri KFG'nin etkinliğini arttırmak üzere KFG yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Her bir yöntemin farklı üstünlüklerinin KFG'yle bütünleştirilmesi ile daha etkin bir KFG çıktısı elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemlerin, KFG sürecinin hangi aşamasında katkı sağlayacağı tespit edildikten sonra ilgili adımlarda yöntemlerin bütünleştirilmesi ile ilgili çalışma yapılmıştır. Her bir yöntemin kullanım amacına, üstünlüklerine ve zayıflıklarına ilgili bölümlerde değinilmiştir. Bu yöntemlerin KFG'ye katkıları temel olarak şu şekildedir; AT'nin çözüme bir seferde ulaşma, tekrarlı işleri azaltma yönelimi KFG'deki korelasyonları ve etkilerini azaltmakta yardımcı olmakta, AHP'nin ikili karşılaştırma yöntemi karar vericilerin daha gerçekçi karar vermelerini sağlamaktadır. BM dilsel değişkenler yardımı ile yargıların değerlendirilmesini sağlayarak sistemin tamamına katkı sağlamaktadır.

Önerilen metodolojinin altıncı adımında AT'nin Bağımsızlık Aksiyomu KFG yöntemine dahil olmakta ve ilişki matrisi içindeki korelasyonların belirlenen sınıra göre değerlendirilip gerekli ise elimine edilmesini sağlamaktadır. Yedinci adımda, AHP ikili karşılaştırma yöntemi müşteri isteklerinin önceliklendirilmesinde kullanılmaktadır. 12. adımda AT'nin Bilgi Aksiyomu tekrar KFG yöntemine dahil olmakta ve çatı matrisindeki korelasyonların KFG çıktısı üzerine yansıtılmasını sağlamaktadır.

Önerilen metodolojinin adımları Şekil 5.1'de görülmektedir. Bu adımlar bu bölüm içerisinde ayrıntılı olarak açıklanıp incelenecektir. Bu adımlar sonucunda elde edilecek KFG matrisi Tablo5.1.'de görülmektedir.

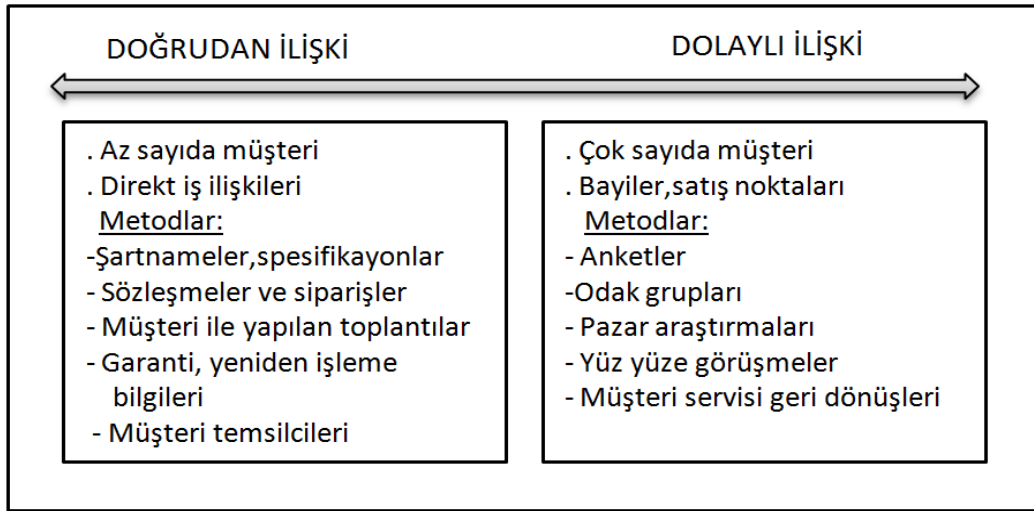
5.2.1. KFG Takımının Oluşturulması

KFG ürün tasarım çalışmalarında işletmelerdeki tüm çalışanların katılımını gerektiren bir sistemdir. KFG takımı pazarlama, mühendislik, üretim, kalite, satın alma ve

muhasebe bölümlerini temsil edebilecek kişilerden oluşur. Takımın doğrudan ya da dolaylı olarak projeden etkilenen farklı fonksiyonel birimlerin temsilcilerinden oluşması gereklidir. Mevcut üründe geliştirme amacı ile kurulan KFG takımları, yeni ürün geliştirme takımlarına oranla daha az sayıda kişiden oluşur. KFG takımı dışında uzman değerlendirmesine ihtiyaç duyulan CR-EC ilişkileri veya EC'lerin kendi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi gibi konular için teknik uzmanlardan oluşan bir ekip belirlenmelidir.

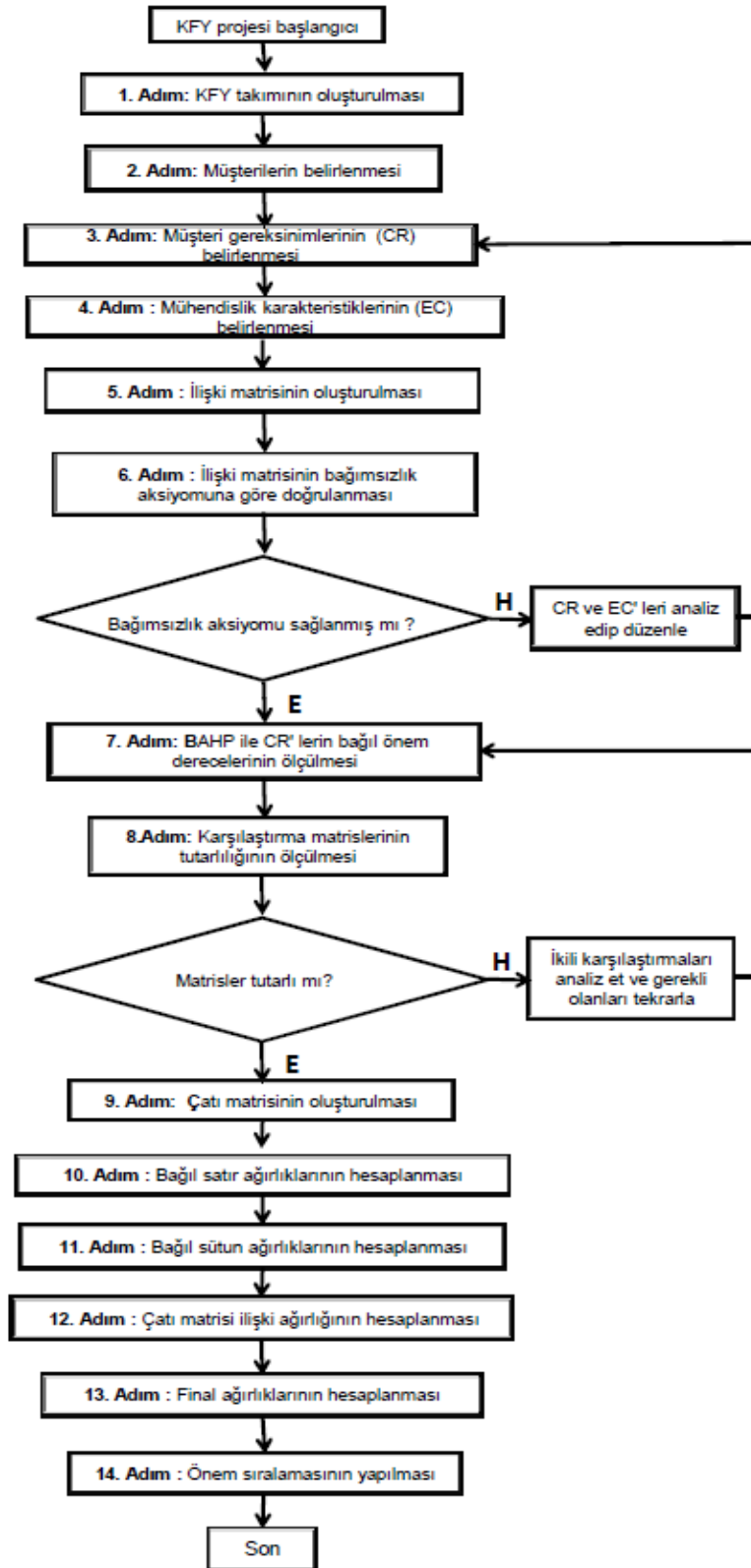
5.2.2. Müşterilerin Belirlenmesi Ve Müşterinin Sesinin Toplanması

Müşterinin sesinin toplanmasında çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemler müşteri ile kurulan ilişki tipine göre farklılıklar gösterir. Bu yöntemler Şekil 5.2'de özetlenmiştir. KFG çalışmasına dahil edilecek müşteri sayısı; ürünün karmaşıklığına, pazarın çeşitliliğine, ürün kullanım alanlarına ve müşterilerin kültürel yapılarına bağlıdır. Amaç, hedef kitleyi temsil eden gurubun %90-95 oranında çalışmaya katılabilmesidir. Eğer ürün pazarda olan bir ürünse mevcut kullanıcılar veri toplama için ilk başvurulacak gruptur. Bunun dışında potansiyel kullanıcılarla temasa geçmekte önemlidir. Eğer ürün pazara yeni girmiş bir ürünse potansiyel kullanıcıların önemi daha da artar.



Şekil 5.1. Müşteri İlişkilerine Bağlı Olarak Müşterinin Sesini Toplama Yöntemleri

Kaynak: G.,MAZUR, Voice of Customer Analysis: A Modern System of Front-End QFD Tools with Case Studies, AQC,27-43,1997



Şekil 5.1. Önerilen Metodolojinin Şematik Gösterimi

Tablo 5.1. Önerilen Metodolojinin Kalite Evi

Çatı Korelasyonları (RC)k									
RC1k	RC2k	RC3k	RC4k	RC5k	RCj				
RC1.	RC2.	RC3.	RC4.	RC56					
RC1.	RC2.	RC3.	RC45						
RC1.	RC2.	RC34							
RC13	RC23								
RC12									
Mühendislik Karakteristikleri (ECm)									
EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7			
C11	C12	C1.	C1.	C1.	C1.	C1j			
C21									
C.1									
C.1									
C.1									
C.1									
C1									
CW1	CW2	.....	.....	.....	CWj	Cwj			
ACW1	ACW2	.....	.....	.....	ACWj	ACWj			
P1	P2	.....	.....	.....	Pj	Pj			
I1	I2	.....	.....	.....	Ij	Ij			
EVC1	EVC2	.....	.....	.....	EVCj	EVCj			
T11	T12	.....	.....	.....	T1j	T1j			
WC1	WC2	.....	.....	.....	WCj	WCj			
WF1	WF2	.....	.....	.....	WFj	WFj			
R1	R2	.....	.....	.....	Rj	Rj			
Bağıl Önem (Rik)									
Müşteri Gereksinimleri (CRk)									
CR1	RI1								
CR2	RI2								
CR3	RI..								
CR4	RI..								
CR5	RI..								
CR6	RI..								
CR7	RIj								
Kolon Ağırlığı (CWj)									
Bağıl Kolon Ağırlığı (WRj)									
Pozitif Korelasyon olasılığı (Pj)									
Bilgi İçeriği (Ij)									
Negatif Kor. Beklenen Değeri (EVG)									
Toplam Bilgi İçeriği (TIj)									
Korelasyon Ağırlığı (WCj)									
Final Ağırlık (WFj)									
Önem Sıralaması (Rj)									
Firmamız (OFk)									
OF1	FA1	FB1	SG1	IR1	SP1	AW1	RW1		
OF2	FA2	FB2	SG2	IR2	SP2	AW2	RW2		
...		
...		
...		
OFi	FAi	FBi	SGi	IRi	SPi	AWi	RWi		
OFi	FAi	FBi	SGi	IRi	SPi	AWi	RWi		
Stratejik Hedefler (SGk)									
İyileştirme Oranı (IRk)									
Satış Avantajı (SPk)									
Mutlak Ağırlık (AWk)									
Bağıl Ağırlık (RWk)									

5.2.3. Müşteri Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Müşterinin sesinin toplanmasından sonra bu bilgilerin düzenlenmesi gereklidir. Yukarıda belirtilen yöntemler ile elde edilen bilgiler, KFG takımı tarafından düzenlenerek temel müşteri istekleri belirlenir. 1.3.2. bölümünde ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi elde edilen CR'ler Kalite Evi ilişki matrisinin sol tarafına CR_1, CR_2, \dots, CR_k olarak yerleştirilirler.

5.2.4. Mühendislik Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Kalite Evinin amacı, müşteri beklentilerini karşılayacak ürün tasarlamak ya da mevcut tasarımları geliştirmektir. Bu amaca yönelik bir uygulamada en önemli nokta müşteri beklentilerinin mühendislik aşamasında kullanılabilecek teknik tanımlamalara dönüştürülmesidir.

Bu adımda her bir müşteri isteğinin karşılanmasını sağlayacak EC'ler belirlenir. Belirlenen mühendislik karakteristikleri ölçülebilir ve müşteri istekleri ile doğrudan ilişkili olmalıdır. Neden-sonuç diyagramı veya ağaç diyagramı kullanılarak her bir müşteri isteğini gerçekleştirilmesi aşamasında etkili olan EC tespit edilebilir. EC'ler Kalite Evi ilişki matrisinin üst tarafına EC_1, EC_2, \dots, EC_m olarak yerleştirilirler.

5.2.5. İlişki Matrisinin Oluşturulması

Her bir müşteri isteği ve mühendislik karakteristiği arasındaki ilişki uzmanlar tarafından beşli ölçeğe göre belirlenmiş sözel terimler ile değerlendirilir. İlişkiyi tanımlayan beş sözel terim; *çok az*(VL), *az*(L), *orta*(M), *yüksek*(H) ve *çok yüksek*(VH) olarak belirlenmiştir. Bu sözel terimlere atanmış olan üçgen bulanık sayılar Şekil 5.3'de görülmektedir.

Her bir uzmanın yaptığı değerlendirmeden elde edilen bulanık sayıların ortalaması Eşitlik 5.1 yardımı ile bulunarak Kalite Evi'nin ilişki matrisinde ilgili alana yerleştirilir.

$$C_{ij} = \frac{1}{n} \otimes (r_{ij1} \oplus r_{ij2} \oplus \dots \oplus r_{ijn}) \quad (5.1)$$

Burada;

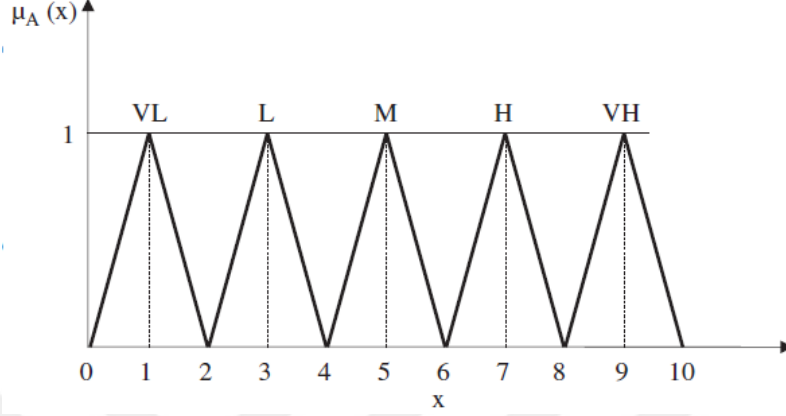
C_{ij} : ilişki derecesi

$i = 1, \dots, k$ ve $j = 1, \dots, m$

k:CR'lerin sayısı

m: EC'lerin sayısı

n : Uzman sayısıdır.



Şekil 5.3. Çalışmada kullanılan dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonları

$[C_{ij}]$ matrisi, CR-EC ilişkilerinin gösterildiği matristir. Her bir C_{ij} elemanı, i'inci CR ile j'inci EC arasındaki ortalama ilişki derecesini göstermektedir. Burada; C_{ij} elemanları $C_{ij} = (C_{ij\alpha}, C_{ij\beta}, C_{ij\gamma})$ olarak tanımlanan birer üçgen bulanık sayıdır.

5.2.6. İlişki Matrisinin AT Bağımsızlık Aksiyomuna Göre Doğrulanması

Geleneksel AT yaklaşımında, fonksiyonel gereklilikler ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki sıfır veya bir şeklinde tanımlanır. Bir ilişki olduğu durumu, sıfır ise ilişkinin olmaması durumunu temsil eder. Zayıf ilişki durumlarında bile tasarım bağılı tasarım olarak kabul edilir ve değerlendirmeye alınmaz. Fakat bazı tasarım çözümleri bağılı olarak değerlendirilseler bile iyi birer tasarım çözümü olabilirler. Endüstriyel otoriteler ve kullanıcılar tarafından yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş McPherson ve Double Whisbone süspansiyon sistemleri Bağımsızlık Aksiyomuna göre değerlendirilmiş fakat bazı zayıf ilişkiler nedeni ile bağılı tasarım olarak tespit edilmişlerdir (Bae-Lee-CHU, 2002: 116).

KFG ilişki matrislerinin bağımsızlığı 0-1 mantığı ile değerlendirilir ise ayırık yada ayrılmış matris elde edilebilmesi için müşteri istekleri ve mühendislik karakteristiklerinde

pek çok analiz ve ayrıştırma yapılması gerekli olacaktır. Bu ayrıştırmalar ne kadar çok olursa müşterinin sesinde o kadar çok kayıp yaşanacaktır. Çebi ve Kahraman yaptıkları AT çalışmasında (Çebi-Kahraman,2010:43), fonksiyonel gereklilikler ve tasarım parametreleri arasındaki ilişki derecesini değerlendirmede 0-1 mantığı yerine bir bağımlılık derecesi (\tilde{C}) ölçümüne yer vermişlerdir. Bağımlılık derecesinin tespiti ile tasarım matrisi ayrıık veya ayrılmış olmasa dahi, bağımlılık derecesi kabul edilebilir bir tolerans değerinin (γ) altında ise Bağımsızlık Aksiyomu'na göre uygun kabul edilmiştir.

γ tolerans değerinin kullanılabilirliği Suh'un çalışmalarında da öngörölmüştür (Suh, 2001:5). Bu tolerans değeri KFG çalışmasının süre ve bütçe kısıtlarına bağılı olarak uzmanlar tarafından belirlenebilir. Tolerans değerinin akılcı olarak tespit edilmesi ile ilgi yapılacak parametre optimizasyonu çalışması KFG-AT bütünleştirilmesi metodolojisinin geliştirilmesi için yapılması gereken bir çalışmadır. Bu çalışmada, uzman değerlendirmesi ile belirlenen tolerans değeri esas alınmıştır.

-İlişki Matrisi Yönlendirimi

Bağılı bir tasarım matrisi, bileşenlerinin sırası değıştirilerek ayrıık veya ayrılmış bir matris haline getirilebilir veya bağımlılık katsayısı değıştirilebilir. Müşteri gereksinimlerinin sıralaması değıştirilerek fiziksel alanda yapılan bir uygulamanın bir önceki alanlarda yapılmış olan uygulamaları etkilemediğı, sadece daha sonra yapılacak olan alanlarda etki yarattığı durum yani ayrılmış tasarım durumu elde edilebilir veya etki derecesi en aza indirilebilir. Çebi ve Kahraman (Çebi-Kahraman,2010:43) tarafından sunulan aşğıdaki algoritma, ayrılmış tasarım matrisi oluşturma veya bağımlılık derecesinin azaltılmasında kullanılabilir.

Öncelikle CR ve EC'lere ait sıralama skorlarının hesaplanması gereklidir. Bu adımda tanımlanan bir müşteri gereksiniminin kaç farklı mühendislik karakteristiğı tarafından ne ölçüde karşılandığı ve aynı şekilde bir mühendislik karakteristiğinin kaç müşteri gereksinimini ne ölçüde karşıladığı Eşitlik 5.2 ve 5.3 aracılığı ile hesaplanır.

$$S_{CR_i} = \sum_{j=i}^m a_{ij}^m \quad (5.2)$$

$$S_{EC_j} = \sum_{i=1}^k a_{ij}^m \quad (5.3)$$

Burada;

a_{ij}^m : CR_i ve EC_j arasındaki ilişkiyi tanımlayan üçgen bulanık sayının orta değeri

S_{CR_i} ve S_{EC_j} : CR ve EC'lere ait sıralama skorlarıdır

Fonksiyonel gereksinimlere ait sıralama skorlarının değerine göre CR'ler küçükten büyüğe doğru sıralanır. En küçük CR ilişki matrisinin ilk satırına ve ilgili CR için tanımlanan EC'de ilk sütuna yerleştirilir. Bu şekilde tüm CR'ler ve EC'ler yeniden sıralanır. Eğer CR'lere ait sıralama skorlarında eşitlik söz konusu ise ilgili CR'ler için EC sıralama skorlarına bakılır. S_{EC_j} değeri büyük olan CR öncelikli olarak sıralamaya alınır. Müşteri gereksinimleri arasında öncüllük ya da ardıllık ilişkisi varsa yeni elde edilen ilişki matrisinde bu ilişkinin korunup korunmadığı kontrol edilir. Bu ilişki korunmamış ise sıralama, öncüllük ilişkisine göre değiştirilerek bağımlılık derecesi hesaplanmalıdır.

-Bağımlılık Derecesinin Hesaplanması

Bağımlılık derecesi Eşitlik 5.4 yardımı ile hesaplanır.

$$\tilde{C} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^m \check{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^m S_{max}} \quad (5.4)$$

Burada;

\tilde{C} : Tasarımın bağımlılık derecesini gösteren üçgen bulanık sayıdır.

-Bağımlılık Katsayısının Değerlendirilmesi Ve Müşteri İsteklerinin Yeniden Düzenlenmesi

Eğer $\tilde{C}=0$ veya $\tilde{C} \leq \gamma$ ise KFG ilişki matrisi Bağımsızlık Aksiyomu'na göre kabul edilebilir durumdadır. Burada, γ uzmanlar tarafından tespit edilmiş kabul edilebilir veya tolere edilebilir bağımlılık derecesidir. İlişki matrisinin Bağımsızlık Aksiyomu'na göre kabul edilebilir olması demek; CR ve EC'ler arasında bulunan ilişkiler nedeni ile meydana

gelecek zaman ve maliyet kayıplarının düzeyinin müşterinin sesinde meydana gelecek kayıp ile kıyaslandığında kabul edilebilir düzeyde olması demektir.

$\tilde{C} = 1$ veya $\tilde{C} > \gamma$ ise bu durumda ilişki matrisi Bağımsızlık Aksiyomu tarafından bağlı tasarım olarak nitelendirilir. Bu durumda ilişkilerin KFG çalışması üzerinde zarar verici etkileri olacaktır ve bu ilişki düzeyi kabul edilebilir sınırların altına düşene kadar CR'ler tekrar değerlendirilmelidir. Bağımlılık derecesinin düşürülmesi esnasında birebir ilişkili olduğu mühendislik karakteristiği dışındaki diğer mühendislik karakteristikleri ile yüksek değerde korelasyona sahip olan müşteri gereksinimi veya gereksinimleri, AT'nin hiyerarşik çözümlene prensibi ile ele alınarak bileşenlerine ayrıştırılmakta ve bu bileşenlerden diğer CR'ler ile daha az korelasyona sahip olan bileşeni matrisde bırakılırken yüksek korelasyona sahip olan bileşen matris dışına çıkarılmaktadır.

Bu işlem müşterinin sesinde belli bir derecede kayba yol açmaktadır. Fakat yüksek korelasyonların neden olduğu zaman kayıpları ve maliyet göz önüne alındığında bu müşterinin sesindeki kaybın kabul edilebilir seviyede olacağı kabul edilmektedir.

CR'lerin analizi ve yeniden değerlendirilmesine en yüksek S_{CR_i} 'ye sahip CR'den başlanmalıdır. CR'lerin yeniden değerlendirilmesinden sonra işlemler beşinci adım olan ilişki matrisinin oluşturulmasından itibaren bağımlılık derecesi kabul edilebilir sınırın altına düşene kadar tekrarlanmalıdır.

5.2.7. Müşteri İsteklerinin Bağlı Önem Derecelerinin Tespit Edilmesi

İlişki matrisinin bağımlılık derecesinin müsaade edilen sınırın altına düşürülmesi ile matrisde bulunan CR ve EC'ler son hallerini almış olurlar. Bir sonraki adımda müşteriler tarafından müşteri gereksinimlerinin her biri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak bağlı önem dereceleri tespit edilir. Bu karşılaştırmalarda Tablo 4.3'de bulunan ölçek kullanılmış ve ölçek yardımı ile dilsel değişkenler üçgen bulanık sayılara çevrilmiştir.

Bulanık sayıların elde edilmesinden sonra bölüm 4.3.1'de bahsedilen Chang'ın algoritması kullanılarak önem derecelerinin tespiti yapılmıştır.

-Tutarlılık Analizi

BAHP'de yapılan değerlendirmelerin tutarlılığının ölçülmesi KWONG ve BAI'nin (Kwong-Bai, 2003) önerdiği gibi yapılmıştır. Öncelikle bulanık sayılara atanan değerlendirmeler Eşitlik 5.5'deki yardımı ile durulaştırılmış daha sonra da Klasik AHP'deki

tutarlılık testi uygulanmıştır. İkili karşılaştırmaların durulaştırılmasında ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır.

$$m_{ij} = \frac{(l_{ij} + 4m_{ij} + u_{ij})}{6} \quad (5.5)$$

5.2.8. Kalite Evi Çatı Matrisinin Oluşturulması

EC ilişki matrisi mühendislik karakteristiklerinin birbirlerinden hangi yönde ve ne ölçüde etkilendiklerini gösteren uzman değerlendirmelerinden oluşur. Çatı matrisi çok büyük öneme sahip olmasına rağmen KFG'nin en az önem verilen kısmıdır. FR'lerin oluşturulmasından itibaren bunların herhangi birinde yapılacak değişikliğin diğerlerini de etkileyeceği KFG takımı tarafından görülmektedir. Bu ilişkinin yönü ve önemi yapılacak iyileştirme ve geliştirme çabaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır. Özellikle aralarında ters yönde etkileşim bulunan FR'ler konusunda özel bir çalışma ve planlama yapılması şarttır. Fakat genellikle KFG çalışmalarında bu ilişkilerin etkisi sadece sözel olarak belirtilir ve hesaplamalara katılmaz. İlişkilerin çatı matrisinde bulunması KFG takımına bir ölçüde yol gösterse de bu yeterli değildir. EC korelasyonlarının sayısal olarak çözüme katıldığı çalışma sayısı oldukça azdır.

Bu çalışmada çatı matrisinde toplanan bilginin mühendislik karakteristiklerinin önem sıralamasının tespitinde kullanımı sağlanmıştır. Bunu sağlayabilmek için ilişkilerin yönü ve büyüklüğü sayısal olarak değerlendirmeye katılmıştır.

Temelde üç çeşit ilişki durumu mevcuttur; *ilişki olmaması*, *pozitif yönlü ilişki*, *negatif yönlü ilişki*. İlişki olmaması durumu, bir mühendislik karakteristiğinde yapılan değişikliklerin diğerini etkilemediği durumdur. Pozitif korelasyon iki mühendislik karakteristiğinin aynı şekilde etkilendiğini yani birinin geliştirilmesinin diğerini de geliştirdiğini gösterir. Negatif korelasyon durumu ise iki mühendislik karakteristiğinin ters yönde etkilendiklerini yani birinin iyileştirilmesi durumunda diğerinde kötüleşme meydana geldiğini belirtir. Bu üç korelasyon çeşidi arasında olumsuz etkilerinden dolayı negatif korelasyonlar en kritik olanlardır.

Bu çalışmada, teknik özellikler arasındaki ilişkinin derecesi pozitif *az* (PL), pozitif *orta* (PM), *pozitif yüksek*(PH), *negatif az* (NL), *negatif orta* (NM), *negatif yüksek* (NH) ve *ilişki yok* (NC) olmak üzere yedili bir dilsel ölçek ile değerlendirilmiştir. Bu dilsel ölçekler PL (1;1;1), PM (2;3;4), PH (8;9;10), NL (-1;-1;-1), NM (-4;-3;-2), NH (-10;-9;-8), NC(0;0;0)

olarak tanımlanan üyelik fonksiyonlarına sahiptirler. Her bir uzman mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişki derecesini bu dilsel değişkenler ile belirlemiştir. Uzman değerlendirmelerinden elde edilen sonuçların ortalaması Eşitlik 5.6 yardımı ile elde edilmiştir.

$$RC_{jk} = \frac{1}{n} \otimes (RC_{jk1} \oplus RC_{jk2} \oplus \dots \oplus RC_{jkn}) \quad (5.6)$$

Burada;

RC_{jk} : ilişki derecesi

$j = 1, \dots, m$ ve $k = 1, \dots, m$

$RC_{jk} = (RC_{jk\alpha}, RC_{jk\beta}, RC_{jk\gamma})$

m: EC'lerin sayısı

n : uzman sayısıdır

5.2.9. Bağlı Satır Ağırlığının Hesaplanması

Kalite Evinin sağ tarafında bulunan rekabet matrislerinin çıktısı, işletmenin rakiplerle kıyaslanması ve işletmenin gelecek için hedeflerinin belirlenmesinin ardından hesaplanan bağlı satır ağırlığıdır. Bağlı satır ağırlığı müşteri önem derecelerinin rakipler ve hedeflere göre güncellenmiş halidir.

-Rekabet Matrislerinin Hazırlanması

Müşterilerden işletmenin ürünlerinin ve işletme tarafından belirlenmiş ana rakiplerin ürünlerinin beşli ölçek ile değerlendirmesi istenilir. Rekabet matrisinde "OF" sütunu; işletmenin ürünün her bir müşteri isteği ile ilgili olarak, müşteriler tarafından nasıl algılandığını göstermektedir. İşletmenin (OF), A rakibinin (FA) ve B rakibin ürünü (FB) müşteriler tarafından değerlendirildikten sonra Eşitlik 5.7, 5.8, 5.9 yardımı ile ortalamaları alınarak ilgili sütunlara yazılır.

$$OF_i = \frac{1}{n} (OF_{i1} + OF_{i2} + \dots + OF_{in}) \quad (5.7)$$

Burada;

OF_i : İşletmenin başarımı

k : CR'lerin sayısı

n : müşteri sayısıdır.

$$FA_i = \frac{1}{n}(FA_{i1} + FA_{i2} + \dots + FA_{in}) \quad (5.8)$$

Burada;

FA_i : A işletmesinin başarımı

k : CR'lerin sayısı

n : müşteri sayısıdır.

$$FB_i = \frac{1}{n}(FB_{i1} + FB_{i2} + \dots + FB_{in}) \quad (5.9)$$

Burada;

OF_i : İşletmenin başarımı

k : CR'lerin sayısı

n : müşteri sayısıdır.

-Stratejik Hedeflerin Tespiti

İşletmenin ve rakiplerinin başarımı müşteriler tarafından belirlendikten sonra sıradaki adım KFG takımı tarafından işletmenin stratejik hedeflerinin tespitidir. Hedefler aynı beşli ölçek ile belirlenmelidir. KFG takımı tarafından belirlenen hedeflerin ortalaması Eşitlik 5.10 yardımı ile alınarak ilgili sütuna yazılır.

$$SG_i = \frac{1}{n}(SG_{i1} + SG_{i2} + \dots + SG_{in}) \quad (5.10)$$

Burada;

SG_i :Stratejik hedef

k : CR'lerin sayısı

n : uzman sayıdır

-İyileştirme Oranın Hesaplanması

İyileştirme oranı işletmenin müşteri isteklerinde ne oranda iyileştirme yapmayı planladığının bir göstergesidir. Stratejik hedeflerin işletmenin mevcut başarımla değerlendirilmesine bölünmesi ile hesaplanır. İyileştirme oranının bir çıkması işletmenin herhangi bir iyileştirme öngörmediğinin göstergesidir.

$$IR_i = \frac{SG_i}{OG_i} \quad (5.11)$$

-Satış Üstünlüklerinin Belirlenmesi

Satış noktasına verilen puanlar 1.5,1.25 ve 1 şeklindedir. Bu rakamlar sırası ile satışlarda önemli bir artış potansiyeli,satışlarda artış ve satışlarda değişiklik olmaması durumunu belirtir. Her bir uzmanın yaptığı değerlendirmelerin ortalaması Eşitlik 5.12'nin yardımı ile alınıp ilgili sütuna yazılır.

$$SP_i = \frac{1}{n}(SP_{i1} + SP_{i2} + \dots \dots \dots + SP_{in}) \quad (5.12)$$

Burada;

SP_i : Satış üstünlüğü

k : CR'lerin sayısı

n : uzman sayıdır.

- Mutlak ağırlığın hesaplanması

Mutlak ağırlığın hesaplanması için bağıl önem değeri \widetilde{RI}_i 'nin her bir bileşeni, iyileştirme oranı (\widetilde{IR}_i) ve satış üstünlüğü (\widetilde{SP}_i) ile çarpılır.

$$AW_{i\alpha} = RI_{i\alpha} \times IR_i \times SP_i \quad (5.13)$$

$$AW_{i\beta} = RI_{i\beta} \times IR_i \times SP_i$$

$$AW_{i\gamma} = RI_{i\gamma} \times IR_i \times SP_i$$

Burada

$\widetilde{AW}_i = (AW_{i\alpha}, AW_{i\beta}, AW_{i\gamma})$ bir üçgen bulanık sayıdır.

-Bağıl Satır Ağırlığın Hesaplanması

Bağıl ağırlık, mutlak ağırlık sütunundaki değerlerin normalize edilmesiyle bulunur. Yani her bir müşteri isteğine ait ağırlık, ağırlık sütunu toplamına bölünür. Böylece müşteri istekleri içindeki yüzde önemleri hesaplanmış olur.

$$RW_{i\alpha} = \frac{AW_{i\alpha}}{\sum_{i=1}^k AW_{i\alpha}}$$

$$RW_{i\beta} = \frac{AW_{i\beta}}{\sum_{i=1}^k AW_{i\beta}}$$

$$RW_{i\gamma} = \frac{AW_{i\gamma}}{\sum_{i=1}^k AW_{i\gamma}} \quad (5.14)$$

Burada;

RW_i : Bağıl ağırlık

$RW_i = (RW_{i\alpha}, RW_{i\beta}, RW_{i\gamma})$ bir üçgen bulanık sayı

k = CR'lerin sayısıdır.

5.2.10. Bağıl Sütun Ağırlığının Hesaplanması

Bağıl satır ağırlığının hesaplanmasından sonra ilişki matrisindeki müşteri gereksinimleri ve mühendislik karakteristiklerinin arasındaki ilişkilere bağlı olarak bağıl sütun ağırlığı hesaplanır. Bağıl sütun ağırlığı mühendislik karakteristiklerinin hangi sıra ile ele alınması gerektiğinin bir ölçütüdür. Fakat sadece ilişki matrisine göre hesaplanan sütun ağırlığı çatı matrisi korelasyonlarının etkilerini içermediğinden yanıltıcı sonuçlar elde edilebilir.

-Sütun ağırlığının hesaplanması

Her bir CR'nin bağıl ağırlığı ve EC'ler ile CR'ler arasındaki ilişki değerleri kullanılarak mühendislik karakteristiklerinin mutlak sütun ağırlıkları hesaplanır. Bu sütun ağırlıkları her bir mühendislik karakteristiğinin tüm müşteri gereksinimleri dikkate alındığındaki önem sıralamasını vermektedir. Her bir mühendislik karakteristiğinin müşteri gereksinimi ile olan ilişkisi ilgili bağıl önem derecesi ile çarpılır ve bu çarpımların toplamı alınır.

Sütun ağırlıkları Eşitlik 5.15 yardımı ile hesaplanır.

$$CW_{j\alpha} = \sum_{i=1}^k C_{ij\alpha} \times RW_{i\alpha} \quad (5.15)$$

$$CW_{j\beta} = \sum_{i=1}^k C_{ij\beta} \times RW_{i\beta}$$

$$CW_{j\gamma} = \sum_{i=1}^k C_{ij\gamma} \times RW_{i\gamma}$$

Burada;

\widetilde{CW}_j : Sütun ağırlığı

$i=1, \dots, k$ ve $j=1, \dots, m$

$\widetilde{CW}_j = (CW_{j\alpha}, CW_{j\beta}, CW_{j\gamma})$ bir üçgen bulanık sayı

m : EC'lerin sayısı

k : CR'lerin sayısıdır.

-Bağıl Sütun Ağırlığının Hesaplanması

Bağıl ağırlık, mutlak ağırlık sütunundaki değerlerin normalize edilmesi ile bulunur. Her bir mühendislik karakteristiklerine ait ağırlık, ağırlık satırı toplamına bölünür. Böylece mühendislik karakteristiklerinin yüzde önemleri hesaplanmış olur. Bağıl Sütun ağırlıkları Eşitlik 5.16 yardımı ile hesaplanır.

$$RCW_{j\alpha} = \frac{CW_{j\alpha}}{\sum_{j=1}^m CW_{j\alpha}} \quad (5.16)$$

$$RCW_{j\beta} = \frac{CW_{j\beta}}{\sum_{j=1}^m CW_{j\beta}}$$

$$RCW_{j\gamma} = \frac{CW_{j\gamma}}{\sum_{j=1}^m CW_{j\gamma}}$$

Burada;

\widehat{RCW}_j : Bağıl sütun ağırlığı

$j=1, \dots, m$

$\widehat{RCW}_j = (RCW_{j\alpha}, RCW_{j\beta}, RCW_{j\gamma})$ bir üçgen bulanık sayı

m : EC'lerin sayısıdır.

Bu hesaplama ile çatı korelasyonları hesaba katılmamış halde mühendislik karakteristiklerinin önem derecelerine ulaşılmış olur. Bu değerler ile işletme CR'lerin karşılanabilmesi için öncelik verilmesi gereken EC'ler hakkında bilgi sahibi olabilir. Fakat bu bilgi mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkilerin etkilerini içermediği için yanıltıcı olabilir.

5.2.11. Korelasyon Ağırlığının Hesaplanması

Çok az sayıda çalışma çatı korelasyonlarını sayısal olarak değerlendirmiş, bunlar arasından da yine çok az bir kısmı bu korelasyonların sonuca etkisini sayısal olarak hesaplamalarda kullanmıştır. Lai yaptığı çalışmada mühendislik karakteristikleri arasındaki korelasyonun etkilerini Pawlak'ın Yaklaşımlı Kümeler Kuramı ile yansıtmıştır. Önerilen

yaklaşım korelasyonların etkilerini yansıtan bir korelasyon kategori unsurunu içermektedir. Yaklaşımın uygulaması iki silindri bir yıkama makinesi üzerinde yapılmıştır (Li-Tang, 2012: 126). Sonuçlar; yaklaşımın KFG takımının korelasyonlarla ilgili bilgisini sonuçlara yansıtılmasında başarılı olduğunu ve karar vermeyi kolaylaştırdığını göstermiştir.

Chun mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde Tasarım Yapı Matrisleri (DSM) kullanmıştır. Bu matrislerin yardımı ile Kalite Evi'nin zayıf yönlerinden olan korelasyonların etkisini de hesaba katan bir yöntem sunmuştur (Tseng-Torng, 2011:87). Lai mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkiyi maksimum sapma yaklaşımı temelinde incelemiş ve mühendislik karakteristiklerinin nihai sıralamasını bu ilişkileri dikkate alarak yapan bir yöntem sunmuştur (Li-Tang, 2010: 40).

Kwong mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkileri bulanık uzman sistemler yaklaşımı ile ele alan yeni bir metodoloji sunmuştur. Bu yaklaşımda CR ve EC'ler arasındaki ilişkileri Bulanık Mantık çerçevesinde değerlendirilmiştir. Önerilen metodoloji dijital kamera örneği üzerinde uygulanmıştır (Kwong-Chen, 2007: 667). Cavallini EC'leri AT'deki FR'ler ile özdeşleştirerek değerlendirmiş ve çatı korelasyonlarının nihai değerlendirmeye etkisini AT Bilgi Aksiyomu tabanında değerlendirmiştir (Cavallini-Citti, 2013:05).

Bu çalışmanın temeli Cavallini'nin çalışmasına dayanmakta ve korelasyonların etkisini AT Bilgi Aksiyomuna bağlı olarak yansıtmaktadır. Bilgi Aksiyomunun temeli bilgi ihtiyacı arttıkça işlemlerin karmaşık hale gelerek zorlaşacağı ve bir şeylerin ters gitme olasılığının artacağına dayanarak en basit, en az karmaşık tasarımın en uygun tasarım olduğudur. Bu çalışmada da korelasyonlara yaklaşım bu temelde olacaktır. Bir mühendislik karakteristiği üzerindeki korelasyonların sayısı ve değeri arttıkça o mühendislik karakteristiği uygun olmaktan uzaklaşacaktır. En az korelasyona sahip mühendislik karakteristiği uygulamada en kolay şekilde geliştirilebilecek mühendislik karakteristiğidir.

Burada önerilen metodoloji, negatif korelasyonların olumsuz etkileri nedeni ile özellikle negatif korelasyonlar üzerine odaklanmakta ve bu negatif korelasyonların sayı ve değerlerine bağlı olarak nihai sıralamayı değiştirmektedir.

-Pozitif Korelasyon Olasılığının Belirlenmesi

AT Bilgi Aksiyomunda olasılık; tasarım aralığının sistem aralığını ne ölçüde karşıladığı ile ölçülür. KFG çalışmasında istenilen mühendislik karakteristikleri arasında

negatif korelasyonların olmaması, iki mühendislik karakteristiğinin ilişkisiz veya aralarında sadece pozitif korelasyonların mevcut olmasıdır. Bu durumda bu çalışmada olasılık; ilgili mühendislik karakteristiğinin negatif olmayan korelasyonlarının toplam korelasyon sayısına oranı olarak tanımlanabilir. Yani sistem aralığı toplam korelasyon sayısı iken, tasarım aralığı negatif olmayan korelasyon sayısıdır. İlgili mühendislik karakteristiğine ait toplam korelasyon sayısı mühendislik karakteristiği sayısından bir eksik olacaktır. Bu durumda j'inci EC'nin negatif olmayan korelasyon gösterme olasılığı Eşitlik 5.17'deki gibi hesaplanır.

$$P_j = \frac{(m-1)-x}{(m-1)} \quad (5.17)$$

Burada;

P_j : Pozitif korelasyon olasılığı

$j = 1, \dots, m$

m : EC'lerin sayısı

x : İlgili EC'nin içerdiği negatif korelasyon sayısıdır

-Kısmi Bilgi İçeriğinin Hesaplanması

j . mühendislik karakteristiğine ait bilgi içeriği Bilgi Aksiyomu'na bağlı olarak Eşitlik 5.18 yardımı ile hesaplanır. Bilgi Aksiyomu temeline uygun olarak negatif korelasyon sayısı arttıkça olasılık düşecek ve buna bağlı olarak da ihtiyaç duyulan bilgi içeriği artacaktır.

$$I_j = -\log_2 P_j \quad (5.18)$$

Burada;

I_j : Kısmi bilgi içeriği

$j = 1, \dots, m$

-Negatif Korelasyonların Beklenen Değerinin Hesaplanması

Negatif korelasyonların beklenen değeri ile j'inci mühendislik karakteristiği ile ilgili olarak oluşabilecek olan negatif korelasyonların büyüklüğü hesaplanmaktadır. Bunun için Eşitlik 5.19'dan faydalanılır.

$$EVC_j = \sum_{k=1}^{(m-1)} (1 - P_j) \otimes RC_{jk} \text{ (negative)} \quad (5.19)$$

Burada;

EVC_j : Negatif korelasyonların beklenen değeri

$j = 1, \dots, m$

m: EC'lerin sayısı

$\widetilde{EVC}_j = (EVC_{j\alpha}, EVC_{j\beta}, EVC_{j\gamma})$ ve

$\widetilde{RC}_{jk} = (RC_{jk\alpha}, RC_{jk\beta}, RC_{jk\gamma})$ üçgen bulanık sayılardır.

$(1 - P_j)$ ilgili mühendislik karakteristiğindeki negatif korelasyon olasılığını belirler. EVC_j 'yi bulmak için negatif korelasyon oluşma olasılığı ile mevcut negatif korelasyonların toplam değeri çarpılır.

-Toplam Bilgi İçeriğinin Hesaplanması

Toplam bilgi içeriği (TI) Eşitlik 5.20 yardımı ile, I ve EVC 'nin çarpılması sonucu bulunur.

$$TI_j = I_j \otimes EVC_j \quad (5.20)$$

Burada;

TI_j : Toplam bilgi içeriği

$j = 1, \dots, m$

$TI_j = (TI_{j\alpha}, TI_{j\beta}, TI_{j\gamma})$ üçgen bulanık sayıdır.

-Korelasyon Ağırlığının Hesaplanması

İlgili mühendislik karakteristiğine ait korelasyon ağırlığı Eşitlik 5.21 yardımı ile hesaplanır.

$$WC_j = \frac{\frac{1}{TI_j}}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{TI_j}} \quad (5.21)$$

Burada;

WC_j : Korelasyon ağırlığı

$j=1, \dots, m$

m: EC'lerin sayısıdır ($0 \leq WC_j \leq 1$).

Eğer ilgili mühendislik karakteristiği her hangi bir negatif korelasyon içermiyor ise bu durumda toplam bilgi içeriği sıfır olur ve korelasyon ağırlığı tanımsız çıkar ($WC_j = \infty$). Bu durumda ilgili mühendislik karakteristiğinin toplam bilgi içeriği (TI) için uzman görüşü ile belirlenecek bir ∂ değeri tanımlamamız gerekmektedir.

∂ değeri sistem içerisindeki en düşük değere sahip TI değeri ile 0 arasında olmalıdır. Negatif korelasyon olmaması durumu tasarım aralığının sistem aralığı ile örtüştüğü durumu temsil eder. Bu durumda bilgi içeriği 0 olmakta ve bu mühendislik karakteristiğinin tercihini arttırmaktadır. Uzmanlar sistem içinde negatif korelasyonların ne derece tehlikeli olduğuna bağlı olarak ∂ sayısının değerini belirlemelidirler. ∂ 'nın en düşük TI değerine yakın olması negatif korelasyon değerlerinin final sıralamasını en az ölçüde etkilemesini yani negatif korelasyonların minimum etki etmesini sağlarken, ∂ değerinin sıfıra yaklaşması negatif korelasyonların etkisini en üst düzeye çıkarmaktadır. Yaptığımız çalışmada ∂ için 0.01 değerinin ortalama sonuçlar verdiği tespit edilmiş ve bu değeri kullanılmıştır.

Diğer bir uç senaryoda ilgili mühendislik karakteristiğindeki bütün korelasyonların negatif olması durumudur. Bu durumda olasılık değeri bire eşit olacak ve TI değeri tanımsız olacaktır ($TI_j = \infty$). Bu durumda ilgili mühendislik karakteristiğinin TI'sı için uzman görüşü ile belirlenecek bir Υ değeri tanımlamamız gerekmektedir. Υ değeri sistem

içerisindeki en yüksek değere sahip TI değeri ile ∞ arasında olmalıdır. Tüm korelasyonların negatif korelasyon olması durumu tasarım aralığının sistem aralığı ile hiç çakışmadığı durumu temsil eder. Bu durumda bilgi içeriği $+\infty$ olmakta ve bu mühendislik karakteristiğinin tercihini en aza indirmektedir. Uzmanlar sistem içinde negatif korelasyonların ne derece tehlikeli olduğuna bağlı olarak γ sayısının değerini belirlemelidirler. γ 'nın en yüksek TI değerine yakın olması negatif korelasyon değerlerinin final sıralamasını en az ölçüde etkilemesini yani negatif korelasyonların minimum etki etmesini sağlarken, γ değerinin ∞ 'a yaklaşması negatif korelasyonların etkisini en üst düzeye çıkarmaktadır. Burada yapılan çalışmada γ için 100 değerinin ortalama sonuçlar verdiği tespit edilmiş ve bu değer kullanılmıştır.

5.2.12. Final Ağırlığının Hesaplanması Ve Sıralamanın Yapılması

Bu adımda korelasyon ağırlığı ve bağıl sütun ağırlığının geometrik ortalaması alındıktan sonra bunun normalizasyonu yapılarak Eşitlik 5.22 yardımı ile final ağırlık hesaplanmıştır.

$$WF_j = \frac{\sqrt[2]{ACW_j \times WC_j}}{\sum_{j=1}^m \sqrt[2]{ACW_j \times WC_j}} \quad (5.22)$$

Burada;

WF_j :Final ağırlık

$j=1, \dots, m$

m : EC'lerin sayısıdır.

Mühendislik karakteristikleri arasındaki öncelik sıralaması final ağırlıklara göre yapılır. Yüksek final ağırlığı müşteri tarafından yüksek önem atanmış, diğer CR'ler ile kuvvetli pozitif ilişkilere, yüksek rekabet üstünlüklerine, mevcut başarımla stratejik hedefler arasındaki önemli farklara, diğer EC'ler ile düşük negatif ilişkilere işaret eder.

Altıncı Bölüm

KALIP İMALATI UYGULAMASI

Kalıplar, sac parçaların seri imalatına olanak sağlayan özel makinelerdir. BMW, Opel, Mercedes, Ford, Toyota gibi ana endüstrilerin ve Gestamp, Johnson Control, Magna, Leaple, Snop, Coşkunöz gibi ana yan endüstrilerin dünyanın çeşitli bölgelerinde sac parça üretim tesisleri vardır ve bu tesisler için kalıp tedarik ederler.

Bu KFG çalışması, Bursa-Türkiye'de faaliyet gösteren bir sac kalıbı imalatçısında gerçekleştirilmiştir. İşletme yaklaşık 120 çalışanı ile yılda iki ila dört metre uzunluğunda 50 adet sac kalıbı imal etmektedir. İmal edilen kalıpların %90'ı Avrupa pazarına özellikle Almanya'ya ihraç edilmekte, geri kalanı yerel pazar için üretilmektedir. İşletmenin toplam müşteri sayısı ortalama 30 olup bunlardan beş ila altı adet her yıl düzenli olarak kalıp siparişi veren sadık müşterilerdir. Kalıpcılık sektöründe sadık bir müşteri kitlesine sahip olmak büyük önem taşımaktadır. Çünkü sac kalıbı her bir araç bileşeni için özel olarak üretilen bir makinedir ve başka bir parça için kullanılması veya stok için birden fazla üretilmesi mümkün değildir. Kalıpcı işletmelerin arz talep dengesini sağlayabilmeleri için kapasitelerinin en az %50'lik bölümünü dolduracak düzenli siparişi garanti altına almaları gereklidir ve buda düzenli olarak sipariş veren sadık müşteriler ile mümkün olabilmektedir.

Yapılacak olan bu KFG uygulamasının amacı; ilgili işletmenin kapasitesinin %50'sinden fazlasını dolduran sadık müşterilerinin tatmin düzeyini arttırmaktır.

6.1. KALIP İMALATI İLİŞKİ MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Uygulamanın ilk bölümünde KFG takımının belirlenmesi ile başlayıp, planlama, veri toplama gibi aşamaların ardından Müşteri Gereksinimleri ve bunlara karşılık gelen Mühendislik Karakteristikleri'nin tespiti ve son olarak ilişkilerin belirlenmesi ile son bulan ilişki matrisinin oluşturulması sürecine yer verilecektir.

-KFG Takımının Belirlenmesi

KFG takımı kalite müdürü, teknik müdür, pazarlama sorumlusu ve bir proje mühendisinden oluşmaktadır. Dış ticaret bölümü, dış müşteriler ile kurulacak iletişimlerde ve dış müşteri verilerinin toplanmasında çalışmaya dahil olmaktadır. İlgili işletmenin kalıp

fabrikası müdürü, teknik müdürü ve bir başka kalıp üreticisi işletmenin teknik müdür yardımcısı çalışmada teknik uzmanlar olarak görev almıştır. Her üç uzmanında 10 ila 15 senelik tecrübesi vardır ve kararlarının ağırlığı eşit olarak kabul edilmiştir.

-Müşterilerin Belirlenmesi

Çalışmanın amacına uygun olarak mevcut kapasitenin doldurulmasında en çok paya sahip olan 10 müşteri KFG çalışmasının kapsamına alınmıştır. Bu müşterilerin yedi tanesi Avrupa pazarından geri kalanları ise yerel pazardandır. Tüm müşteriler ana endüstriye malzeme sağlayan ana yan sanayilerdir.

-CR'lerin Belirlenmesi

Tespit edilen müşterilere ait sipariş teknik belgeleri, tasarım şartnameleri, kontrol listeleri, kalıp kabul koşulları, garanti şartları ve müşteri geri dönüşleri uzmanlar tarafından bir araya getirilerek incelenmiştir. Toplanan bu bilgilere dayanarak yedi adet temel müşteri isteği belirlenmiştir. Bunlar;

CR₁: Preslenmiş parçaların tekrarlanabilirliği ve süreç yeterliliği

Bir araçta yaklaşık 1000 adet bileşen vardır ve bunların 0.2-4 mm hassasiyetlerle birbirlerine monte edilmeleri gerekir. Ana endüstriler bu parçaları dünyanın dört bir yanındaki tedarikçilerinden temin ederler ve aracı oluşturmak için bu sac, plastik, döküm, talaşlı imalat parçalarını bir araya getirirler. Bir sac kalıbından beklenen sürekli olarak belirlenmiş toleranslar içinde parça üretmesidir. Üretilmiş parçaların tekrarlanabilirliği ve sürecin kararlılığı bir kalıp tarafından üretilen parçaların araca monte edilebilirliğinin göstergeleridir.

CR₂: Preslenmiş parçaların görsel kalitesi

Kesme çapağı, sac incelmeleri ve kırışmaları toleranslandırılmış ölçüler dışında parçanın kalitesini belirleyen kalite kriterleridir. Kesme çapakları montaj problemlerine yol açabildiği gibi operatör yaralanmalarına da sebep olabilir. İncelme ve kırışmalar tamponlar gibi bazı emniyet parçalarında sağlamlık ve dayanıklılık problemlerine yol açabildiği gibi dış yüzey parçalarında son kullanıcı tarafından fark edilebilecek estetik sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenlerden ötürü görsel kalitede en az ölçüsel kalite kriterleri kadar önemli olabilmektedir.

CR₃: Yüksek presleme hızı

Otomotiv endüstrisi de diğer endüstriler gibi maliyeti düşürme üzerine odaklanmıştır. Maliyet düşüşü kitle üretimi ile mümkün olmaktadır. Gün geçtikçe ana endüstriler araçlarını yeniden tasarlamakta ve farklı araçlarda ortak kaporta, ortak motor, ortak kapı mekanizmaları gibi değişiklikler ile aynı bileşeni farklı araçlarda kullanarak maliyetlerini azaltma yoluna gitmektedirler. Hatta bazı ana endüstriler ortak üretim hatları kullanarak çok ufak değişikliklerle aynı aracı farklı markalar altında (Peugeot bipper, Fiat fiorino ve Citroen nemo) pazara sunmaktadırlar. Bu şekilde ortak bileşen kullanımı ile bazı sac parçaların yıllık üretim ihtiyaçları iki milyon adedin üzerindedir. Bu durumda üretim adedinin belirleyicisi olan dakikadaki pres vuruş sayısı (SPM) bu parçaların üretimini gerçekleştiren kalıplarda çok önemli bir kriter haline almaktadır. 120 SPM'de çalışan bir kalıp ile bir vardiyada 48.000 adet üretim yapmak mümkündür. Bu üretim artışı ekipman ve işçilik giderlerinde önemli düşüşler sağlamaktadır.

CR₄: Kalıp standart elemanlarının kolay temin edilebilmesi

Bir kalıp %70 oranında kesme çeliği, form çeliği gibi özel imal edilmiş elemanlar ve %30 oranında sütun, burç, yay gibi standart elemanlardan oluşur. Standartlaştırılmış elemanların kullanımı preshanelere hızlı ve ucuz kalıp bakımı olanağı sunmaktadır. Kalıp üzerindeki standartlaştırılmış elemanların artması ile kalıbın yönetimi kolaylaşır. Dünya pazarında kalıp standart elemanlarını üreten pek çok tedarikçi vardır. Fakat, bu tedarikçilerin malzemelerinin birbiri yerine kullanımı ölçüsel ve işlevsel farklılıklar nedeni ile her zaman mümkün olmamaktadır. Kalıplar, üreticilerin dünyanın farklı yerlerindeki üretim tesisleri arasında transfer edilebilmekte ve bu durumlarda farklı ülkelerin üreticileri tarafından tedarik edilen standart elemanlar birbiri yerine kullanılamamaktadır. Bu nedenlerle kalıplarda mümkün olduğunca küresel standart elemanlar kullanılmalıdır.

CR₅: Kesme ve form çeliklerinin uzun ömürlü olması

Kalıp içinde bulunan kesme ve form çelikleri ömürlü, aşınmaya maruz kalan parçalardır ve kalıp ekonomik ömrü boyunca pek çok defa yenilenmeleri gerekmektedir. Bu parçalar genellikle kalıp içindeki en maliyetli parçalardır çünkü bunlar saca şekli veren özel imalat parçalarıdır. Ayrıca bu parçaların yenisinin imalatı 4-5 hafta gibi bir süre aldığından imalat duruşları açısından da kritik öneme sahiptirler. Bu nedenlerden ötürü kesme ve form çeliklerinin uzun ömürlü olması son derece önemlidir.

CR₆: Kalıp elemanlarına pres üzerinde müdahalenin kolay olması

Özel bir makine olan kalıplar preslere bağlanarak çalıştırılmaktadır. Presler, kalıp makinelerinin motoru olarak nitelendirilebilirler. Preslerin iki milyon Euro'ya varabilecek yüksek yatırım maliyetleri vardır ve saatlik çalışma ücretleri 250 Euro'ya kadar ulaşabilmektedir. Presler bu yüksek maliyetlerini karşılayıp karlılık yaratabilmek için düzenli bakım periyotları dışında sürekli olarak üretim gerçekleştirmek durumundadırlar. Eğer bir pres kalıp kaynaklı bir problem yüzünden imalata ara verir ise bu preshaneler için büyük kayıp anlamına gelmektedir. Kalıp içindeki bazı kritik parçaların imalat sırasında değiştirilmesi ve kalıp elemanlarının da sac özellikleri gibi bazı değişken kriterlere bağlı olarak ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenlerden ötürü müşteriler kalıp elemanlarına pres altında müdahalenin mümkün olduğunca kolay olmasını talep etmektedirler.

CR₇: Kalıp tasarım verisinin kalıp ile tam uyumu

Kalıpların tasarımı, simülasyonu ve imalatı bazı özel yazılımlar yardımı ile yapılmaktadır. Kalıp imalatında CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım), CAM(Bilgisayar Destekli İmalat) ve CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) programları kullanılmaktadır. Tasarım sürecinin ardından kalıbı oluşturan ayrıntı parçalar CNC (Bilgisayar Nümerik Kontrol) talaşlı imalat tezgahlarında işlenmekte ve kalıp montajcıları tarafından monte edilerek pres altı denemeleri için hazır hale getirilmektedir. Bu denemeler sırasında kalıpçılar kalıp elemanları üzerinde bazı ayar ve alıştırmalar yapmakta ve kalıp elemanları tasarlandıklarından farklı konum ve yüzeylere sahip olabilmektedir. Kalıplar müşteriye teslim edilirken kalıp ile birlikte 3 boyutlu tasarım ve ayrıntı resimleri de ilgili müşteriye teslim edilmektedir. Preshaneler bu bilgileri kesme ve form çeliklerinin yenilenmesinde ve bakımda kullanılmaktadırlar. Müşteriye teslim edilen bilgilerin kalıp ile aynı olmaması durumunda kalıp çelikleri arasındaki uyumsuzluklar nedeni ile önemli zaman ve maliyet kayıpları oluşabilmektedir. Bu nedenle kalıpta yapılan tüm ayar ve değişikliklerin tasarım verisine yansıtılması büyük önem taşımaktadır.

Tespit edilmiş olan yedi adet Müşteri Gereksinimi, Kalite Evi ilişki matrisinin sol tarafındaki ilgili sütuna yerleştirilmiştir.

-EC'lerin Belirlenmesi

CR'ler uzmanlar tarafından bu istekleri karşılayabilecek olan EC'lere dönüştürülmüştür. EC'ler ilgili müşteri gereksinimi ile birebir ilişkili ve ölçülebilir olmalıdır.

EC₁: CNC tezgahlarının tekrarlanabilirliği

Kalıp çelikleri frezeleme, tornalama, taşlama ve erozyon gibi CNC tezgahlarında işlenmektedir. Bu tezgahların kullanılan teknoloji, üretici, boyut ve kullanım süresine bağlı olarak 0.01-0.1 mm arasında değişen tekrarlanabilirlik değerleri vardır. Kalıp çeliklerinin işlendiği tezgahın hassasiyetine bağlı olarak çeliklerin ölçüsel hassasiyeti değişmekte ve buna paralel olarak preslenmiş parçaların tekrarlanabilirliği ve süreç yeterliliği de değişkenlik göstermektedir.

EC₂: Form çeliklerinin yüzey pürüzlülüğü

Kesme boşluğunun dengesiz veya uygun olmaması veya kesme çeliklerinin körelmesi neticesinde oluşan kesme çapağı gerekli ayarlar yapılarak veya kesme çelikleri bilerek giderilebilmektedir. Görsel kaliteyi oluşturan diğer bir unsur incelme ve kırışmalardır. Bu incelme ve kırışmalar genellikle şekil vermede kullanılan sürece ve form çeliklerinin yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Çeliklerin yüzey pürüzlülüğü işleme devir hızına, parlatma işlemine, kullanılan çelik malzemenin özelliklerine, uygulanan kaplama cinsine bağlı olarak 0.025-50 µm aralığında olabilir.

EC₃: Sac şekillendirme hızı

Presler 10- 120 vuruş / dakika hızlarında çalışabilirler. Kullanılan presin hareket mesafesi ve vuruş hızına bağlı olarak sac şekillendirme hızı meydana çıkar. Kalıp tasarımının mekanik özellikleri vuruş hızını sınırlayabilse de genellikle tasarımda yapılacak değişiklikler ile kalıbın hedef değerlere ulaşması sağlanabilir. Dakikadaki vuruş sayısının gerçek limitini sacın şekillenme hızı belirler. Sac şekillenme hızı ana endüstriler tarafından belirlenmiş olan ham maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve kalıpcı tarafından parçanın imalatı için belirlenmiş olan şekillendirme sürecine bağlıdır.

Aynı sac parçanın vuruş hızı belirlenen şekillendirme sürecine bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin parça tek bir adımda şekillendirilirken dakikada 20 vuruş mümkün iken, parçanın kademeli olarak 2 veya 3 adımda şekillendirilmesi ile dakikada 40 vuruş mümkün olabilir. Sac parçaların şekillendirilmesi özel yazılımlar ile simule edilerek, adım sayısı ve SPM hedefleri süre ve bütçe kısıtlarına göre belirlenir.

EC₄: Kalıp üzerindeki standart parçaların oranı

Ana endüstriler küresel pazarda kullanılan standart kalıp elemanlarındaki uyumsuzlukları ortadan kaldırabilmek için bazı normlar belirlemişlerdir. Standard parça üreticileri ürünlerinde bu normları kullanırlar ve ilgili kataloglarında ürünlerinin hangi normlara uygun olduğunu belirtirler. Bir kalıp üzerinde bulunan normlara uygun parçaların sayısının toplam parça sayısına oranı, kalıp standart elemanlarının kolay temin edilebilmesinin bir göstergesidir.

EC₅: Kalıp çeliklerinin tokluk ve aşınma dayanımı

Kalıp çeliklerinin dayanıklılığı,devamlılığı imalatlarında kullanılan malzemelerin tokluk ve aşınma dayanımlarına bağlıdır. Karbon oranı gibi kimyasal özellikler, kopma dayanımı gibi fiziksel özellikler, sertleştirme ve temperleme süreçlerinin sıcaklık ve süreleri çeliklerin tokluk ve aşınma dayanımlarını etkiler. Bu değerler için farklı ölçümler yapılabilse de en tanımlayıcı ve kolay ölçülebilen değer rockwell sertliği (HRC) cinsinden sertlik değeridir.

EC₆: Delme zımbası değiştirme süresi

Kılavuzlama elemanları, aktif yüzeyli parçalar, kesme ve delme mühreri, delme zımbaları kalıp üzerinde en sık değiştirilmesi gereken parçalardır. Üretim esnasında en çok değiştirilmesi gereken parçalar ise delme zımbalarıdır. Çünkü diğer elemanlara kıyasla delme zımbaları tasarım kısıtları nedeni ile en zayıf yapıya sahip elemanlardır. Bir delme zımbasını pres üzerinde değiştirmek için dakika bazında gerekli süre kalıp elemanlarına pres üzerinde müdahalenin kolaylığının ölçümü için bir belirleyicidir.

EC₇: Kalıp imalatında kullanılan özel yazılımların sayısı

Bilgisayar endüstrisinin ve kalıpcılık sektörünün gelişimine paralel olarak bu alanda kullanılabilecek özel yazılımların sayısı da artmıştır. Sektörün başlangıcında tüm kalıplar kağıt üzerinde iki boyutlu olarak tasarlanmakta ve tüm tasarım sorunları, öngörülemeyen hataları kalıpcılar tarafından uygulamada çözümlenmekte idi. Bu durum çok büyük maliyet ve zaman kayıplarına yol açmakta idi. Daha sonra Autocad gibi iki boyutlu tasarım programları (CAD) tasarım sürecine dahil oldu. Bir sonraki adım Catia, Proengineer gibi üç boyutlu ortamda tasarım yapılabilen ve bileşenlerin her yönü ile görülebildiği üç boyutlu

tasarım programları oldu. Bu üç boyutlu tasarım programlarına paralel olarak tasarlanan parçaların imalatına olanak sağlayan Tebis gibi bilgisayar destekli imalat (CAM) programları geliştirildi. Tasarım ve imalatın yanı sıra Autoform gibi simülasyon programları öngörülen süreçlerin gerçekten uygun olup olmadığının sonuçlarını uygulama yapmadan görme olanağı sundu. Son olarak gelinen noktada, nokta bulutu ve üçgen ağ teknolojileri ile çalışan Polyworks gibi tersine mühendislik yazılımları gerçekte var olan herhangi bir nesnenin bilgisayar ortamına yansıtılmasına olanak tanıdı. Bu programlar dışında bir kalıp imalatının tüm süreçlerinin bir arada yönetilmesine olanak sağlayan Vero Smirt gibi özel yazılımlar geliştirildi.

Tüm bu yazılımlar kalıp imalatındaki insan hatası unsurunu azaltarak maliyet ve süre tasarrufları sağlamakta ve tasarlanan ile gerçekleşen arasındaki uyumun sağlanmasına olanak tanımaktadır. Bir kalıp üreticisinde kullanılan teknik yazılımların sayısı kalıp tasarım dasesinin kalıp ile tam uyumu için belirleyici bir kriterdir.

Yukarıda belirtilen yedi adet *EC*, Kalite Evi ilişkisi matrisinin üst tarafındaki ilgili satıra yerleştirilmiştir.

-İlişki matrisinin belirlenmesi

CR'lerin her bir mühendislik karakteristiği ile olan ilişkisi uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Her bir uzmandan *CR-EC*ler arasındaki ilişkiyi çok az (VL), az(L), orta(M), yüksek (H) ve çok yüksek (VH) ilişki şeklinde belirlenmiş olan beşli bir sözel ölçeğe göre değerlendirmesi istenmiştir. Bir numaralı uzmanın *CR-EC* ilişkilerine dair sözel değerlendirmesi Tablo6.1'de görülmektedir.

Tablo 6.1. Bir nolu uzmanın değerlendirmesinden elde edilen dilsel değişkenler

		Bağıl Önem (Rik)	Teknik Gereksinimler(<i>EC</i> _m)						
			<i>EC</i> ₁	<i>EC</i> ₂	<i>EC</i> ₃	<i>EC</i> ₄	<i>EC</i> ₅	<i>EC</i> ₆	<i>EC</i> ₇
Müşteri İstekleri (<i>CR</i> _k)	<i>CR</i> ₁	Ri1	VH	L	L				VL
	<i>CR</i> ₂	Ri2	VL	H	M		M		L
	<i>CR</i> ₃	Ri3	VL	M	VH				
	<i>CR</i> ₄	Ri4				VH		M	
	<i>CR</i> ₅	Ri5		L	M		VH		VL
	<i>CR</i> ₆	Ri6				M		VH	
	<i>CR</i> ₇	Ri7							H

Her bir uzmanın değerlendirmesinden elde edilen dilsel değişkenler Şekil5.3'deki ölçeğe göre üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüş ve 5.1 nolu Eşitlik yardımı ile ortalamaları alınarak Tablo 6.2'de görülen ilişki matrisi oluşturulmuştur.

6.2. İLİŞKİ MATRİSİNİN BAĞIMSIZLIĞININ SAĞLANMASI

İlişki matrisinin elde edilmesinin ardından önerilen metodolojiye uygun olarak elde edilen ilişki matrisinin bağımsızlığının müsaade edilen tolerans değerinin altında olup olmadığının kontrol edilmesi ve bu değer üzerinde ise gerekli işlemler yapılarak bağımsızlığının sağlanması gerekmektedir. Hesaplama adımları aşağıda verilmiştir:

-Bağımlılık katsayısı hesaplanması ve ilişki matrisinin düzenlenmesi

CR ve EC 'lere ait sıralama skorları S_{CR_i} ve S_{EC_j} 'ler ve orijinal ilişki matrisine ait bağımlılık katsayısı \tilde{C} ; 5.2, 5.3 ve 5.4 nolu denklemler yardımı ile hesaplanır. Tablo 6.3'te görüldüğü gibi bağımlılık katsayısı $\tilde{C}=(0.088,0.123,0.159)$ uzmanlar tarafından kabul edilebilir değer olarak belirlenmiş olan $\gamma=(0.1,0.1,0.1)$ 'dan daha büyüktür.

CR 'ler S_{CR_i} sıralama skorları en azdan en fazlaya göre $CR_7 < CR_4 = CR_6 < CR_1 < CR_3 < CR_5 < CR_2$ olacak şekilde sıralanırlar. CR_4 ve CR_6 numaralı müşteri isteğinin hem S_{CR_i} hem de S_{EC_j} skorları eşit olduğu için mantıksal sıralamaya göre CR_4 öncelikli olarak sıralamaya alınır.

Tablo 6.4'te görüldüğü gibi düzenlenmiş de olsa ilişki matrisinin bağımlılık katsayısı $\tilde{C}=(0.063,0.086,0.109)$ uzmanlar tarafından kabul edilebilir değer olarak belirlenmiş olan $\gamma=(0.1,0.1,0.1)$ 'dan daha büyüktür. Bu durumda 6.3 numaralı adımda tanımlanmış olan CR 'lerin tekrar düzenlenmesi gereklidir.

-Bağımlılık katsayısının değerlendirilmesi ve müşteri gereksinimlerinin yeniden belirlenmesi

CR 'lerin analiz edilmesi ve tekrar düzenlenmesi en yüksek S_{CR_i} skoruna sahip olan CR_2 ile başlamalıdır. CR_2 preslenmiş parçaların görsel kalitesi olarak tanımlanmıştı. Daha önce açıklandığı üzere görsel kalite kesme çapakları, sac incelmeleri ve kırışmaları kriterlerine bağlıdır. Bu kriterler görsel kalite başlığı altında toplansa da farklı temel nedenlere ve oluşum mekanizmalarına sahiptirler. CR_2 farklı temel nedenlere sahip içerikleri barındırması sebebi ile birden fazla EC ile güçlü ilişkilere sahiptir.

Tablo 6.2. Bulanık Ortalanmış CR-EC İlişki Matrisi

Müşteri İstekleri (CRk)	Teknik Gereksinimler (ECm)																		
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	Bağıl Önem (RIk)											
CR1	6,67	7,67	8,67	2,00	3,00	4,00	0,67		1,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,67
CR2	1,33	2,33	3,33	7,33	8,33	9,33	4,00	5,00	6,00	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	3,33	4,33
CR3	0,00	1,00	2,00	2,67	3,67	4,67	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CR4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00
CR5	0,00	0,00	0,00	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00	0,00	0,00	0,00	8,00	9,00	10,00	0,00	0,00	2,00	3,00
CR6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	0,00
CR7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,33	8,33

Tablo 6.3. Orijinal CR-EC İlişki Matrisinin Bağımlılık Katsayısı

Müşteri İstekleri (CRk)	Teknik Gereksinimler (ECm)														SCRi	Σaij								
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	EC8	EC9	EC10	EC11	EC12	EC13	EC14										
CR1	6,67	7,67	8,67	2,00	3,00	4,00	0,67	1,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,67	12,00	2,67	4,33	6,00	
CR2	1,33	2,33	3,33	7,33	8,33	9,33	4,00	5,00	6,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	0,00	3,33	4,33	23,67	10,00	13,00	16,00	
CR3	0,00	1,00	2,00	2,67	3,67	4,67	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	
CR4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	11,33	2,67	3,67	4,67	
CR5	0,00	0,00	0,00	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00	0,00	0,00	0,00	8,00	9,00	10,00	0,00	0,00	2,00	3,00	22,00	2,00	3,00	4,00	
CR6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	0,00	11,33	0,00	0,00	0,00	
CR7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,33	8,33	8,33	0,00	0,00	0,00	
SEC1	11,00			19,33			11,33		12,67			11,33						16,00			Σ	17,33	24,00	30,67
																					C	0,092	0,127	0,162

KFG uygulamasında süre ve maliyet kayıplarına neden olacak bu ilişkilerin giderilebilmesi için CR_2 nolu müşteri isteğinin AT'de olduğu gibi içeriklerine ayrıştırılması gerekmektedir. Bu ayrıştırma sonucunda CR_2 'nin bileşenlerinden bir kısmı ihmal edileceği için müşterinin sesinde bir miktar kayıp yaşanacaktır. Fakat bu yaşanacak kayıpların etkisi olası süre ve maliyet kayıpları ile kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeyde kalacaktır.

Uzmanlar sistem içindeki güçlü ilişkilerin giderilmesi adına CR_2 'nin temel bileşenlerinden parça üzerinde kesme çapağı olmaması isteği ile devam etme kararı vermişlerdir. Bu müşteri isteği CR_{21} olarak nitelendirilmiştir.

CR_{21} : Preslenmiş parça üzerinde kesme çapağı olmamalı

EC_{21} : Kesme çeliklerinde uygun kesme boşluğu

Kesme çapağının temel nedeni kesme dişisi ve erkeği arasında sac kalınlığının %6 ila %8'i arasında olması gereken kesme boşluğunun uygun olmayışıdır. Bunlar dışında kullanılan çelik kalitesi ve kesme erkeğinin keskin olmaması da ikincil nedenler olabilir. Müşteri isteklerinin değerlendirilmesi ve yeniden belirlenmesinin ardından CR-EC ilişki matrisi ve bu matrisin S_{CR_i} skorları ve bağımlılık katsayısı tekrar hesaplanmalıdır. İşlemler 5 nolu işlem basamağından başlayarak tekrarlanır.

Tablo 6.5. Bir numaralı uzmanın yeni ilişki matrisinde CR-EC ilişkilerine dair sözel değerlendirmesi

		Bağıl Önem (R _i /k)	Teknik Gereksinimler(EC _m)						
			EC ₁	EC ₂₁	EC ₃	EC ₄	EC ₅	EC ₆	EC ₇
Müşteri İstekleri (CR _k)	CR ₁	RI ₁	VH		L				VL
	CR ₂₁	RI ₂	VL	H					
	CR ₃	RI ₃	VL		VH				
	CR ₄	RI ₄				VH		M	
	CR ₅	RI ₅		VL	M		VH		VL
	CR ₆	RI ₆				M		VH	
	CR ₇	RI ₇							H

Uzmanlar yeniden düzenlenmiş CR-EC ilişkilerine dair sözel değerlendirmelerini yaparlar. Bir numaralı uzmanın yeni ilişki matrisinde CR-EC ilişkilerine dair sözel değerlendirmesi Tablo 6.5'de görülmektedir. Tablo 6.6'da görülen yeni matris için hesaplanan bağımlılık katsayısı $\tilde{C} = (0.028, 0.044, 0.06)$ uzmanlar tarafından kabul edilebilir değer olarak belirlenmiş olan Υ ' dan daha küçüktür. Bu durumda ilişki matrisi Bağımsızlık Aksiyomu'na göre uygundur ve bir sonraki adıma geçilebilir.

6.3. ÇATI KORELASYONLARINDAN BAĞIMSIZ SÜTUN AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI

İlişki matrisinin bağımsızlığının sağlanmasının ardından klasik KFG yöntemine uygun olarak sütun ağırlığının hesaplanması aşamasına geçilir. Bu bölümde sırası ile BAHF ikili karşılaştırma yöntemi ile müşteri gereksinimleri önem derecesinin belirlenmesi, tutarlılık analizi, çatı matrisinin oluşturulması, rekabet matrisinin oluşturulması, ardından bağıl satır ve son olarak sütun ağırlığının hesaplanması yapılacaktır.

-Müşteri Gereksinimlerinin Mutlak Önemlerinin Belirlenmesi

İlişki matrislerinin Bağımsızlık Aksiyomuna uygun hale gelmesinden sonra, müşteriler tarafından yapılan ikili karşılaştırmalar ile CR'lerin bağıl önem derecelerinin hesaplanması aşamasına geçilir. İkili karşılaştırmalarda dokuzlu ölçeğe bağlı olarak değerlendirmeler yapılır ve üçgen bulanık sayılara dönüştürülür. Bir numaralı müşterinin değerlendirmesi Tablo 6.7'de görülmektedir.

Her bir müşteri tarafından yapılan ikili karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar bulanık sayılara dönüştürüldükten sonra ortalamaları alınarak Tablo 6.8'deki matris elde edilir. CR'lerin bağıl önem dereceleri bölüm 4.3.1'de anlatılmış olan Chang'ın genişletilmiş analiz yöntemine göre hesaplanır. Bağıl Önem Dereceleri Tablo 6.9'da görülmektedir.

Tablo 6.7. Bir Numaralı Müşterinin CR'lerin Öncelikleri İçin Sözel Değerlendirmeleri

		CR1	CR21	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
Müşteri İstekleri (CRk)	CR1	EQP	SP	EQP	EXP	MP	EXP	SP
	CR21	1/SP	EQP	1/MP	MP	EQP	VSP	EQP
	CR3	EQP	MP	EQP	EXP	MP	EXP	SP
	CR4	1/EXP	1/MP	1/EXP	EQP	1/SP	EQP	1/MP
	CR5	1/MP	EQP	1/MP	SP	EQP	EXP	MP
	CR6	1/EXP	1/VSP	1/EXP	EQP	1/EXP	EQP	1/MP
	CR7	1/SP	EQP	1/SP	MP	1/MP	MP	EQP

Tablo 6.4.Düzenlenmiş CR-EC İlişki Matrisinin Bağımlılık Katsayısı

		Teknik Gereksinimler (ECm)														Σ aij			
		EC7	EC4	EC6	EC1	EC3	EC5	EC2	EC8	EC9	EC10	EC11	EC12	EC13	EC14	EC15	SCRi	Σ aij	
Müşteri İstekleri (CRk)	CR7	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00	
	CR4	0,00	0,00	0,00	5,67	7,67	8,67	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,33	2,67
	CR6	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	5,67	7,67	8,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,33	0,00
	CR1	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	2,67
	CR3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	2,67
	CR5	2,00	3,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00	4,00
	CR2	3,33	4,33	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	2,33	3,33	4,00	5,00	6,00	2,67	3,67	4,67	23,67	4,00
SEC		16,00			11,33			11,00		19,33			12,67			20,00		Σ	
																		C	
																			0,063
																			0,086
																			0,109

Tablo 6.6.Müşteri İstekleriDüzenlenmiş CR-EC İlişki Matrisinin Bağımlılık Katsayısı

		Teknik Gereksinimler (ECm)														Σ aij			
		EC1	EC21	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	EC8	EC9	EC10	EC11	EC12	EC13	EC14	EC15	SCRi	Σ aij	
Müşteri İstekleri (CRk)	CR1	6,67	7,67	8,67	0,00	0,00	0,67	1,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,67
	CR21	0,67	1,67	2,67	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,33	0,00
	CR3	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,33	0,00
	CR4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	11,33	2,67
	CR5	0,00	0,00	0,00	0,67	1,67	2,67	4,00	5,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,67	2,00
	CR6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	0,00	0,00	11,33	0,00
	CR7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00
SEC		10,33			14,33			11,33		9,33			11,33			11,67		Σ	
																		C	
																			5,33
																			8,33
																			0,028
																			0,044
																			0,06

Tablo 6.9. Müşteri İsteklerinin Bağlı Önem Dereceleri

Σl	Σm	Σu	Si		
			l	m	u
26,800	32,400	38,000	0,225	0,316	0,433
11,800	14,227	16,875	0,099	0,139	0,192
20,300	24,400	28,550	0,170	0,238	0,325
3,767	3,022	2,827	0,032	0,029	0,032
14,550	17,367	20,275	0,122	0,169	0,231
3,742	3,063	2,888	0,031	0,030	0,033
6,867	8,124	9,758	0,058	0,079	0,111
87,825	102,602	119,173			
0,008	0,010	0,011			

-İkili Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Analizi

Her bir müşterinin yapmış olduğu ikili karşılaştırmalara ait matris 5.5 nolu Eşitlik yardımı ile durulaştırılır. Durulaştırma işleminin ardından her bir matrisin tutarlılık katsayısı hesaplanarak matrislerin tutarlılığı kontrol edilir. Bir numaralı müşteri için hesaplanmış tutarlılık oranı Tablo 6.10'da görülmektedir. Matrislerin tutarlılık katsayıları sırası ile 0.063, 0.061, 0.058, 0.059, 0.055, 0.064, 0.059, 0.071, 0.062 ve 0.066'dir. Tüm oranlar belirlenmiş olan $YO = 0.1$ 'in altında olduğu için yapılan değerlendirmeler tutarlıdır.

Tablo 6.10. Bir Numaralı Müşterinin Durulaştırılmış Karşılaştırma Matrisi ve Tutarlılık Oranı

Müşteri Gereksinimleri (CRk)	CR1	CR21	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	Si	Wi	Di	CI	CR	
	CR1	1,00	5,00	1,00	9,00	3,00	9,00	5,00	33,00	0,29			2,58	8,76
	CR21	0,24	1,00	0,35	3,00	1,00	7,00	1,00	13,59	0,12	0,8	6,64	
	CR3	1,00	3,00	1,00	9,00	3,00	9,00	5,00	31,00	0,28	2,34	8,45	
	CR4	0,11	0,35	0,11	1,00	0,24	1,00	0,35	3,16	0,03	0,23	8,14	
	CR5	0,35	1,00	0,35	5,00	1,00	9,00	3,00	19,69	0,18	1,1	6,26	
	CR6	0,11	0,14	0,11	1,00	0,11	1,00	0,35	2,83	0,03	0,18	7,2	
	CR7	0,24	1,00	0,24	3,00	0,35	3,00	1,00	8,84	0,08	0,56	7,12	
								112,11		λ_{max}	7,51	0,08	0,063

Tablo 6.8. Ortalanmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	CR1	CR21	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
Müşteri İstekleri (CR)							
CR1	1,00	2,40	1,60	7,80	3,00	8,60	4,40
CR21	0,31	1,00	0,50	3,20	1,00	4,80	1,80
CR3	0,60	2,20	1,00	7,40	1,40	6,60	2,20
CR4	0,13	0,50	0,14	1,00	0,20	1,00	0,50
CR5	0,50	1,00	0,85	4,00	1,00	6,20	2,00
CR6	0,13	0,47	0,26	1,00	0,17	1,00	0,55
CR7	0,37	0,60	0,50	2,00	0,33	3,70	1,00

-Kalite Evi Çatı Matrislerinin Belirlenmesi

Yapılan çalışmada Kalite Evi'ne adını veren üçgen şeklindeki mühendislik karakteristikleri ilişki matrisi yerine kare matris tercih edilmiştir. Çünkü ilişkilerin sayısal olarak değerlendirileceği durumlarda üçgen matrislerin kullanımı sayısal hesaplamaları zorlaştırmaktadır. Uzmanlar, *EC*'ler arasındaki ilişkilerin derecesi pozitif az (PL), pozitif orta (PM), pozitif yüksek (PH), negatif az (NL), negatif orta (NM), negatif yüksek (NH) ve ilişki yok (NC) olmak üzere yedili bir dilsel ölçek ile değerlendirilmiştir. Bir numaralı uzmanın değerlendirme sonuçları Tablo 6.11'de görülmektedir.

Tablo 6.11. Bir Numaralı Uzmanın *EC*'ler ile ilgili Sözel Değerlendirmesi

Çatı Korelasyonları (RC _{jk})						
NL	PL	PH	PL	NL	PL	-
O	O	O	PM	O	-	-
NM	NM	PL	O	-	-	-
O	O	O	-	-	-	-
PM	PL	-	-	-	-	-
PH	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Teknik Gereksinimler (EC _m)						
EC₁	EC₂₁	EC₃	EC₄	EC₅	EC₆	EC₇

Sözel değerlendirmelerin bulanık sayılara dönüştürülmesinin ardından ortalamaları alınır. Ortalanmış bulanık çatı matrisi Tablo 6.12'de görülmektedir.

Tablo 6.12. Ortalanmış Bulanık Mühendislik Karakteristikleri İlişki Matrisi

Çatı Korelasyonları (RC _{jk})																				
-2,00	-1,67	-1,33	1,33	1,67	2,00	8,00	9,00	10,00	1,00	1,00	1,00	-2,00	-1,67	-1,33	1,33	1,67	2,00	-	-	-
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	2,33	3,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
-5,00	-4,33	-3,67	-3,00	-2,33	-1,67	1,67	2,33	3,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,67	4,33	5,00	3,33	3,67	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,00	9,00	10,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teknik Gereksinimler (EC _m)																				
	EC₁			EC₂₁			EC₃			EC₄		EC₅			EC₆			EC₇		
l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u

-Bağıl Satır Ağırlığının Hesaplanması

İşletmenin küresel pazardaki pozisyonunu ortaya çıkarmak amacı ile müşterilerden işletmeyi Avrupa ve Asya'daki kalıp imalatçıları ile karşılaştırmaları istenmiştir. İşletmenin ve rakiplerinin başarımı beşli ölçek ile değerlendirilmiştir. Daha sonra uzmanlar aynı ölçek üzerinden işletmenin stratejik hedeflerini belirlemiştir. Her bir CR için iyileştirme oranı ile hesaplanmıştır. İyileştirmeler sonucunda ortaya çıkması öngörülen satış üstünlükleri her bir uzman tarafından değerlendirilip ortalamaları alınmıştır. Elde edilen değerler Tablo 6.13'de görülmektedir.

Tablo 6.13. Ortalanmış İyileştirme Oranı ve Satış Üstünlüğü Değerleri

	Firmamız (OFk)	A Firması (FAk)	Firm B (FBk)	Stratejik Hedefler (SGk)	İyileştirme Oranı (IRk)	Satış Avantajı (SPk)
CR ₁	3,7	4,5	3,1	4,33	1,17	1,42
CR ₂₁	4,3	4,6	3,8	4,77	1,25	1,08
CR ₃	3,4	4,4	3,5	4,00	1,14	1,42
CR ₄	3,2	3,8	3,3	3,47	1,05	1,17
CR ₅	3,9	4,6	3,2	4,33	1,35	1,42
CR ₆	3,4	4	3,2	4,67	1,46	1,17
CR ₇	4,2	4,4	2,9	4,47	1,54	1,50

Bu adımlar tamamlandıktan sonra 5.13 ve 5.14 nolu Eşitlikler yardımı ile Tablo 6.14'de görülen mutlak ve bağıl ağırlıklar hesaplanır.

- Bağıl sütun ağırlığının hesaplanması

Bir sonraki adım EC'lerin müşteri istekleri ile ilişkilerinin değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan ve temel önem derecelerini gösteren bağıl sütun ağırlığının hesaplanmasıdır. Bağıl sütun ağırlığı EC'lerin önem derecelerine göre sıralanmasına olanak tanır. Fakat bu sıralama mühendislik karakteristikleri arasındaki ilişkilerin sonuca ilişkilerini yansıtmamaktadır. 5.15 ve 5.16 nolu Eşitlik yardımı ile Tablo6.15'de görülen bağıl sütun ağırlığı hesaplanmıştır.

Tablo 6.14. Müşteri Gereksinimlerinin Mutlak ve Bağıl Ağırlıkları

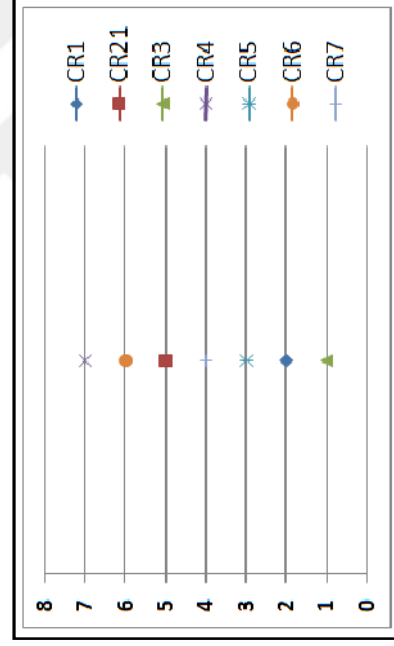
Müşteri İstekleri (CRk)	Bağıl Önem (Rik)			İyileştirme Oranı (IRk)	Satış Avantajı (SPk)	Mutlak Ağırlık (AWk)			Bağıl Ağırlık (RWk)		
	CR1	CR2	CR3			AW1	AW2	AW3	RW1	RW2	RW3
CR1	0,22	0,32	0,43	1,17	1,42	0,37	0,52	0,72	0,30	0,31	0,31
CR2	0,10	0,14	0,19	1,25	1,08	0,13	0,19	0,26	0,11	0,11	0,11
CR3	0,17	0,24	0,33	1,14	1,42	0,28	0,39	0,53	0,22	0,23	0,23
CR4	0,03	0,03	0,03	1,05	1,17	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
CR5	0,12	0,17	0,23	1,35	1,42	0,23	0,32	0,44	0,19	0,19	0,19
CR6	0,03	0,03	0,03	1,46	1,17	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,02
CR7	0,06	0,08	0,11	1,54	1,50	0,13	0,18	0,26	0,11	0,11	0,11

Şekil 6.1'de görülen korelasyon değerlendirmesi öncesi sıralamaya göre mühendislik karakteristiklerinden yüksek presleme hızı (CR_3) ilk önceliğe sahip iken, kalıp standart elemanlarının kolay temin edilebilmesi (CR_4) son sıradadır. Kalite Evi incelendiğinde CR_3 en yüksek bağıl önem derecesine, iyileştirme oranına veya satış üstünlüğüne sahip olmadığı görülmektedir. Fakat CR_3 'ün CR_5 ile olan yüksek ilişki derecesi sütun ağırlığının yükselmesini sağlamış ve ilk sıralamayı almasına olanak vermiştir.

İlişki matrisinin Bağımsızlık Aksiyomu'na göre incelenmesi sırasında süre ve maliyet kayıplarına yol açacak bazı yüksek ilişkiler elimine edilmişti. İlişki matrisinin Bağımsızlık Aksiyomuna uygun hale getirilmesinin ardından matrisin içinde kalan korelasyonlar kabul edilebilir sınırlar içinde olmasına karşın, EC 'lerin önem derecelerinin tespit edilmesinde kritik role sahiptirler.

Tablo 6.15. Korelasyon Değerlendirmesi Öncesi EC'lerin Mutlak ve Bağıl Önem Dereceleri

CR1	Bağıl Önem (RIk)		Teknik Gereksinimler (ECm)														Mutlak Ağrlık (AW<		Bağıl Ağrlık (RWk)	
	0,22	0,32	0,43	EC1	EC21	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	Satis Avantajı (SFk)	Yatırım Oranı (RIk)	0,37	0,52	0,72	0,30	0,31			
	0,10	0,14	0,19	6,67	7,67	8,67	0,00	0,57	1,00	1,33								0,00	0,00	0,00
CR21	0,17	0,24	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
CR3	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
CR4	0,12	0,17	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
CR5	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
CR6	0,06	0,08	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
CR7	2,07	2,79	3,47	0,92	1,25	1,57	2,58	3,17	3,71	3,71	0,32	0,27	0,26	1,51	1,75	2,00	0,37	0,31		
Kolon Ağrlığı (CW)	0,23	0,25	0,26	0,10	0,11	0,12	0,29	0,28	0,28	0,28	0,04	0,02	0,02	0,17	0,15	0,15	0,04	0,03	0,02	
Bağıl Kolon Ağrlığı (WRI)																				
Durulaştırma				0,25	0,11	0,28			0,03					0,15			0,03			
Sıralama				2	5	1	7	3			6									



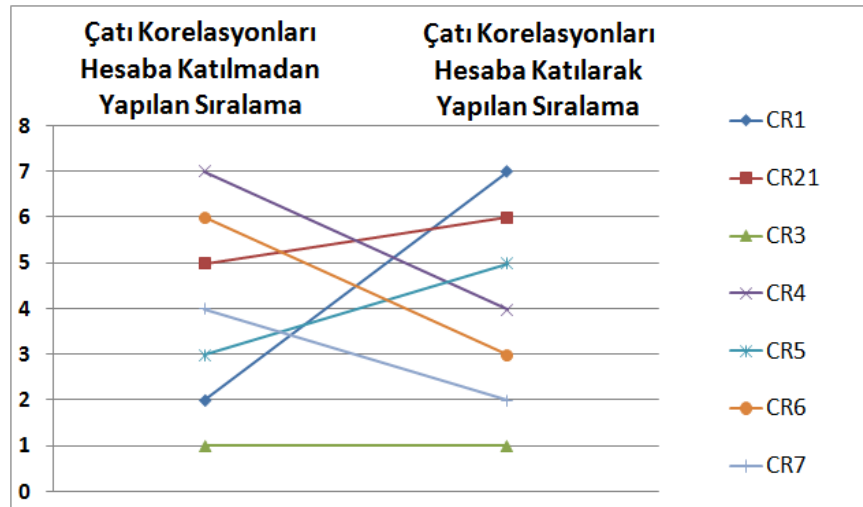
Şekil 6.1. EC'lerin Çatı Korelasyonları Dikkate Alınmadan Yapılmış Olan Sıralaması

6.4. ÇATI MATRİSİ KORELASYON AĞIRLIĞININ HESAPLANMASI ve SIRALAMANIN ELDE EDİLMESİ

Bağıl sütun ağırlığına göre yapılan sıralama EC 'ler arasındaki korelasyonları dikkate almadan yapılmış bir sıralamadır. Bu nedenle, yapılan değerlendirmelerin gerçekleri tam olarak yansıtmama ve yanlış kararlar verilmesine sebep olma riski vardır. Yapılan bu çalışmadaki amaçlarımızdan biride özellikle negatif korelasyonların etkilerini sayısal olarak sonuçlar üzerinde görebilmektir. Negatif korelasyonların sayı,olasılık ve kuvvetlerine bağlı olarak her bir mühendislik karakteristiğinin Eşitlik 5.20'ye göre toplam bilgi içeriği hesaplanmıştır. Daha sonra toplam bilgi içeriği kullanılarak Eşitlik 5.21'e göre korelasyon ağırlığı hesaplanmıştır.

Korelasyon ağırlıkları, geometrik ortalama alınma sureti ile sütun ağırlıklarının final değerlerine yansıtılmıştır. Final ağırlıklarının hesaplanması ile yapılan sıralama çatı korelasyonlarının etkilerini de içermektedir. EC_1 , EC_{21} ve EC_5 'in diğer EC 'ler ile negatif korelasyonları mevcuttur. Bu negatif korelasyonların sayı ve büyüklükleri korelasyon ağırlıklarını etkilemekte ve korelasyon ağırlıkları da final sıralamayı belirlemektedir.

EC_1 numaralı mühendislik karakteristiğinin sahip olduğu toplam değeri (-7,-6,-5) olan iki adet negatif korelasyon bu mühendislik karakteristiğinin öncelik sıralamasını 2. sıradan 7. sıraya geriletmiştir. Aynı şekilde EC_{21} ve EC_5 sahip oldukları negatif korelasyonlar sebebi ile sıralamada geriye düşmüşlerdir. Yapılan işlemler ve elde edilen değerler Tablo 6.16.'da gösterilmiştir. Sıralamadaki değişiklikler Şekil6.2.'de görülmektedir.



Şekil 6.2. Sıralamadaki Değişiklikler ve Final Sıralama

Tablo 6.16. EC'lerin Final Ağırlıkları

	Çeli Korelasyonları (RCJK)										Yatırım Oranı (RK)	Satış Avantajı (SPK)	Mutlak Ağırlık (AWK)	Bağıl Ağırlık (RWK)													
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	EC8	EC9	EC10																	
CR1	0,22	0,32	0,45	0,67	7,67	8,67	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-2,00	-1,67	-1,33	1,33	1,57	2,00	-	-	-	-	-	-		
CR2	0,10	0,14	0,15	0,67	1,67	2,67	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	1,67	2,33	3,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CR3	0,17	0,24	0,33	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00	7,33	8,33	9,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CR4	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	8,67	0,00	0,00	2,67	3,57	4,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CR5	0,12	0,17	0,23	0,00	0,00	0,00	0,67	1,67	2,67	4,00	5,00	6,00	0,00	0,00	0,00	8,00	9,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CR6	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	3,67	4,67	0,00	0,00	0,00	6,67	7,67	8,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CR7	0,06	0,08	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kolon Ağırlığı (CWJ)	2,07	2,79	3,47	0,92	1,25	1,57	2,58	3,17	3,71	0,32	0,27	0,26	0,02	0,02	0,17	1,51	1,76	2,00	0,37	0,31	0,29	1,16	1,58	2,02	0,14	0,15	0,14
Bağıl Kolon Ağırlığı (WRJ)	0,23	0,25	0,26	0,10	0,11	0,12	0,29	0,28	0,23	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,16	0,16	0,15	0,04	0,03	0,02	0,02	0,13	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14
Durulaştırma	0,25			0,11				0,28				0,03							0,03								
Sıralama	2			5			1				7				3				6								
Negatif Korelasyon sayısı	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Negatif Korelasyonların Toplam Değeri	-7,00	-6,00	-5,00	-3,00	-2,33	-1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,00	-1,67	-1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pozitif Korelasyon olasılığı (P)	0,67	0,67	0,67	0,88	0,88	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	0,83	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3111 İçeriği (I)	0,56	0,58	0,56	0,26	0,26	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,26	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Negatif Korelasyonların Beklenen Değeri (EVC)	-2,33	-2,00	-1,67	-0,50	-0,39	-0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,33	-0,28	-0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam 3111 İçeriği (TII)	1,36	1,17	0,97	0,15	0,10	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,07	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Korelasyon Ağırlığı (WC)	0,0017	0,0020	0,0024	0,0181	0,0230	0,0817	0,2582	0,2357	0,2857	0,2382	0,2357	0,2316	0,0272	0,0513	0,0596	0,2382	0,2357	0,2316	0,2382	0,2357	0,2316	0,2382	0,2357	0,2316	0,2382	0,2357	0,2316
Final Ağırlık (WF)	0,0264	0,0302	0,0334	0,0567	0,0664	0,0821	0,3446	0,3462	0,3444	0,1218	0,1024	0,0906	0,0689	0,0962	0,1035	0,1304	0,1087	0,0554	0,2312	0,2312	0,2312	0,2312	0,2312	0,2312	0,2312	0,2312	0,2312
Durulaştırma	0,03			0,07				0,35				0,10						0,11									
Final Sıralama (R)	7			6			1				4			5			3										2

SONUÇ

Bugüne kadar yapılan çalışmalarla KFG, müşteri gereksinimlerinin mühendislik karakteristiklerine dönüştürülmesi ile işletmelere bu müşteri gereksinimlerini tatmin etmede izlenecek yolu gösteren bir çizelge olmaktan öteye geçerek çok kriterli bir karar verme aracına dönüşmüştür. Analitik Hiyerarşi Prosesi, Aksiyomatik Tasarım, Bulanık Mantık, Doğrusal Programlama gibi bir çok yöntem KFG'nin güçlü temelleri üzerine uygulanmıştır. KFG yönteminin sürekli olarak gelişmesi, araştırmacıları KFG'nin önemli fakat ihmal edilmiş bileşenlerinden biri olan çatı matrisi korelasyonları gibi farklı alanları üzerinde çalışmaya yöneltmiştir. Gelecekte KFG çıktılarının daha gerçekçi hale gelmesi ve işletmelere müşteri memnuniyetini sağlamada daha doğru yol göstermesi için korelasyonların da sayısal olarak KFG sistemine dahil edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen metodolojinin temel amacı; öncelikle ilişki matrisindeki korelasyonları sınırlamak daha sonra da çatı matrisi içerisinde kalan korelasyonların etkilerini sonuçlara yansıtmaktır. Önerilen yeni yöntem, Türkiye'de faaliyet göstermesine karşın küresel pazarda rekabet eden bir kalıp imalatçısında uygulanmıştır.

Çalışmada, müşteri gereksinimlerinin önem derecelerinin tespiti için müşterilerden veri toplanmaya başlanmasından önce ilişki matrisinin bağımsızlığı ölçülmüştür. CR_2 numaralı müşteri isteğinin içerdiği korelasyonların etkisi ile matrisin bağımlılık derecesi müsaade edilen değerlerin üzerinde çıkmıştır. *Preslenmiş parçaların görsel kalitesinin (CR_2)* neden olduğu korelasyonların azaltılabilmesi için CR_2 zikzak ayrıştırılmaya tabi tutulmuş ve daha az korelasyon değerlerine sahip olan CR_{21} olarak yeniden düzenlenmiştir. Yeni matrisin bağımsızlığı tekrar değerlendirilmiş ve kabul edilebilir değerler içinde olduğunun tespit edilmesi ile çalışma bir sonraki aşamaya geçmiştir.

Müşteri gereksinimlerinde yapılan bu düzenleme müşterinin sesinde bir miktar kayba yol açsa da çalışmanın geleceğinde oluşacak pek çok karışıklık ve kayıpların önüne geçilmesine yardımcı olmuştur. Ayrıca KFG çalışmasının ilk aşamalarında yapılan bu Bağımsızlık Aksiyomu uygulaması mühendislik karakteristikleri arasındaki korelasyonların azaltılmasında da etkili olmuştur. Mühendislik karakteristiklerinin sıralaması çatı korelasyonlarının etkisi hesaba katılmadan ve hesaba dahil edilerek yapılmış ve sonuçlardaki değişiklikler net olarak ortaya konmuştur.

Çatı korelasyonlarının hesaba dahil edilmesi ile nerede ise tüm sıralamada

değişiklikler meydana gelmiştir. İşletmenin bu korelasyonların etkilerini hesaba katmadan yapacağı iyileştirme çalışmalarında yanlış yönde hareket edeceği ve zamanını, bütçesini öncelikli olmayan mühendislik karakteristikleri üzerinde harcayacağı ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar KFG çalışmalarında korelasyonların sonuç üzerindeki etkilerini ve ne derece önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Yapılan uygulamanın imalat sektöründe olması neticesinde elde edilen müşteri gereksinimleri KFG sürecinin ilk adımını oluşturan ürün planlama matrisi (Kalite Evi) girdilerinden daha ziyade sürecin ikinci aşaması olan ürün tasarım matrisi girdileri ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenle, elde edilen gereksinimler teknik içerikli ve klasik bir Kalite Evi matrisi girdilerine oranla rafine durumdadır. Bu ayrıntılı ve net olarak belirlenmiş girdiler mühendislik karakteristiklerinin de net olarak belirlenmesine ve ilişki matrisinin bir tasarım matrisine benzer şekilde oluşturulabilmesine olanak tanımıştır. Bu durum KFG ile AT arasındaki bütünleştirmede kolaylık sağlamış ve iki yöntemin bütünleştirilmesini kolaylaştırmıştır. Aynı metodolojinin daha öznel müşteri gereksinimleri ile çalışılmasını gerekli kılacak bir uygulamada, örneğin hizmet sektöründe uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

KFG'nin yapılan çalışmalarla görsel bir yol haritasının ötesinde sayısal bir karar verme yöntemi haline dönüştüğü görülmektedir. Gelecekte KFG çıktılarının daha gerçekçi hale gelmesi ve işletmelere müşteri memnuniyetini sağlamada daha doğru yol göstermesi için korelasyonların da sayısal olarak KFG sistemine dahil edilmesi sonucuna ulaşılmıştır. Yazında çalışılmaya başlanan fakat henüz tam bir metodoloji haline gelmemiş olan Kalite Fonksiyonu Göçerimi-Aksiyomatik Tasarım bütünleştirilmesinin, korelasyonların yönetimi açısından önemli olduğu bu çalışma ile de ortaya konmuştur. Araştırmacıların bu alan üzerinde yaptıkları çalışmalar arttıkça eksik noktalar tespit edilerek giderilecek ve daha sağlıklı bir bütünleştirme sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

Kitaplar

BAYKAL N., BEYAN T., **Bulanık Mantık İlke ve Temelleri**, Bıçaklar Kitapevi, Ankara, 2004.

DAY, R.G., **Kalite Fonksiyon Göçerimi**, Marshall Boya ve Vernik Sanayi A.S., İstanbul, 1998

ESİN A., **ISO 9000'in Işığında Toplam Kalite**, Pan Matbaacılık, 1999

GÜLEŞ H., BÜLBÜL H., **Yenilikçilik-İşletmeler İçin Stratejik Rekabet Aracı**, 1. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara, 2004

SUH, N.P., **Axiomatic Design: Advances and Applications**, Oxford University Press, New York, USA, 2001

ŞEN Z., **Mühendislikte Bulanık Mantık İle Modelleme Prensipleri**, Su Vakfı Yayınları, 2009

ŞEN Z., **Bulanık mantık modelleme ilkeleri**, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul, 2001

AKAO, Y., **Quality Function Deployment (C): Integrating Customer Requirements Into Product Design**, Productivity Press, New York, USA, 1990

Makaleler

AKBABA, A., "Kalite Fonksiyon Göçerimi Metodu Ve Hizmet İşletmelerine Uyarlanması", **DEU Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, sayı 2, 2000, s.3-18

ANREA T., GIANNI C., "Axiomatic Design And QFD:A Case Study Of Reverse Engineering System For Cutting Tools", **Proceedings of ICAD2006**, The Fourth International Conference on Axiomatic Design, Firenze, June 13-16, 2006, ICAD-2006-11

BAE S., LEE M., CHU C., "Axiomatic Design of Automotive Suspension Systems", **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Volume 51, Issue 1, 2002, pp. 115-118

BOUCHEREAU V., ROWLANDS H., "Methods And Techniques To Help QFD, Benchmarking", **An International Journal**, vol.7, no.1, 2000, pp.8-19, MCB University Press, pp. 1463-5771

CAVALLINI C., CITTÌ P., LEONARDO C., ALESSANDRO G., "An Axiomatic Approach To Managing the Information Content In QFD Applications In Material Selection", **Proceedings of ICAD2013: The Seventh International Conference on Axiomatic Design**, Worcester – June 27-28, 2013, ICAD-2013-05

CHEN L. H., WENG M., "An Evaluation Approach To Engineering Design In QFD Processes Using Fuzzy Goal Programming Models", **European Journal of Operational Research**, vol.172, no.1, 2006, pp. 230-248

ÇEBİ S., KAHRAMAN C., "Bulanık Aksiyomlarla Tasarıma Dayalı Otomobil Göstergesi Tasarımı", **İTÜ Dergisi**, cilt: 10, sayı: 2, Nisan 2011, s.27-38

- ÇEBİ S., KAHRAMAN C., "Extension of Axiomatic Design Principles Under Fuzzy Environment", **Expert Systems with Applications**, Vol 37, Issue 3, 2010, pp.2682–2689.
- ÇEBİ S., KAHRAMAN C., "Developing a Group Decision Support System Based on Fuzzy Information Axiom", **Knowledge-Based Systems**, Vol 23, Issue 1, 2010, pp.3-16.
- ÇEBİ S., KAHRAMAN C., "Indicator Design For Passenger Car Using Fuzzy Axiomatic Design Principles", **Expert Systems with Applications**, doi:10.1016/j.eswa.2010.02.138.
- ÇEBİ S., KAHRAMAN C., "Determining Design Characteristics Of Automobile Seats Based On Fuzzy Axiomatic Design", **International Journal of Computational Intelligence**, Volume 3, Issue 1, 2010, pp.43-55
- ÇELİK M., ÇEBİ S., KAHRAMAN C., ER I., "An Integrated Fuzzy QFD Model Proposal On Routing Of Shipping Investment", **Expert Systems with Applications**, 4 August 2008, pp. 9
- DÜNDAR S., "Ders Seçiminde Analitik Hiyerarşi Proses Uygulaması", **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Isparta, 2008, s.217-226
- FELIX T. S., "Global Supplier Selection: A Fuzzy-AHP Approach", **International Journal of Production Research**, 2007, pp.1-33
- GONCALVES A. M., COELHO A. J., MOURAO F., PEREIRA Z. L., "Improving The Use Of QFD With Axiomatic Design", **Concurrent Engineering**, Volume 13, 2005, pp. 233-239
- GÜNGÖR İ., İŞLER D., "Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı İle Otomobil Seçimi", **ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi**, cilt 1, sayı 2, 2005, s.21-33.
- HAİK B., WASİLOFF J., "Axiomatic Design Quality Engineering: A Transmission Planetary Case Study", **Proceedings of ICAD2004 The Third International Conference on Axiomatic Design**, Seoul, June 21-24, 2004, pp. 655-675
- HAO TIEN L., "Product Design And Selection Using Fuzzy QFD And Fuzzy MCDM Approaches", **Applied Mathematical Modelling** **35**, 2011, pp.482-496
- HONG E., PARK G., "Decomposition Process Of Engineering Systems Using Axiomatic Design And Design Structure Matrix", **Proceedings of ICAD2009**, March 25-27, 2009, pp. 73-78
- KILIÇ, DELİCE E., Güngör Z., "Kalite Fonksiyon Göçerimi İçin Yeni Bir Yaklaşım: Bir Uygulama ", **Akademik Bilişim 2008: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi**, 30 Ocak - 01 Şubat, 2008, s.185-193
- KWONG C.K., CHEN Y., BAİ H., CHAN D.S.K., "A Methodology Of Determining Aggregated Importance Of Engineering Characteristics In QFD", **Computers & Industrial Engineering**, Volume 53, 2007, pp.667–679
- LAI-KOW C., MING-LU W., "Quality Function Deployment: A Literature Review", **European Journal of Operational Research**, Volume 143, 2002, pp. 463–497
- Lİ Y., TANG J., LUO X., "An ECI-Based Methodology For Determining The Final Importance Ratings Of Customer Requirements In MP Product Improvement", **Expert Systems with Applications**, Volume 37, 2010, pp.40–50
- Lİ Y., TANG J., CHİN K., HAN Y., LUO X., "A Rough Set Approach For Estimating Correlation Measures", **Information Sciences**, Volume 189, 2012, pp.126–142
- MAZUR, G., Voice of Customer Analysis: A Modern System of Front-End QFD Tools with Case Studies, **AQC**, Volume 2, 1997, pp.7-43,

MIGUEL P., Carnevalli J., Calarge F., "Using Axiomatic Design For Minimizing QFD Application Difficulties In NDP Research Proposal And Preliminary Definition", **Management & Development**, Volume 5, Issue 2, December 2007, pp. 127

MOHAMMAD A., MOHSEN M., "Fuzzy Quality Function Deployment: An Analytical Literature Review ", **Hindawi Publishing Corporation Journal of Industrial Engineering**, Volume 2013, Article ID 682532, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/682532>

OLEWNIK A., LEWIS K., "On Validating Engineering Design Decision Support Tools", **Concurrent Engineering: Research and Applications**, Volume 13, no.2, June 2005, pp.126-132

ÖZTÜRK E., KONAR H., DİLAVER A., "Bulanık Mantık Ve Jeodezik Uygulamalardaki Yeri", **Harita Mühendisliği Dergisi**, no.87, Ankara, 2000, s.28-42.

POEL I., Methodological Problems In QFD And Directions For Future Development, **Reserch in Engineering Design**, 2007, pp.18-21

ROSS P., "The Role Of Taguchi Methods and Design of Experiment In QFD", **Quality Progress**, Volume 21, Issue 6, 1988, pp.23-34

SAVAS H., AY M., "Üniversite Kütüphanesi Tasarımında Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması", **D.E.Ü, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, Cilt: 7, Sayı: 3, 2005, s.80-98

SAATY T. L., Decision Making With The Analytic Hierarchy Process, **Services Sciences**, Volume 1, Issue 1, 2008, pp. 83- 98

TELEK A.B., AKIN B., "OFD Uygulaması", **5. Ulusal Kalite Kongresi Tebliğler ve Özgeçmişler**, İstanbul, 1996, s.589-597

TSENG C., TORNG C., "Prioritization Determination of Project Tasks in QFD Process Using Design Structure Matrix", **Journal of Quality**, Volume 18, Issue 2, 2011, pp.87-116

YAN-LAI L., JIA-FU T., Kwai-Sang C., Yi H., Xing-Gang L., "A Rough Set Approach For Estimating Correlation Measures", **Information Sciences**, Volume 189, 2012, pp.126–142

YASAR E. A., DURMUŞOĞLU M. B., DİNÇMEN M., "Design of a Knowledge Management System Based on Axiomatic Design Principles", **35. International Conference on Computers and Industrial Engineering**, 2005, pp.2115-2130

ZADEH L.A., "Fuzzy Sets", **Information and Control**, Volume 8, 1965, pp. 338-353

Diğer Kaynaklar

AYYILDIZ G., CIM Yatırımlarının Bulanık AHP Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003

EYMEN E., Kalite Fonksiyon Göçerimi, **Kalite Ofisi Yayınları**, no:11, 2006

GÜNER H., Bulanık AHP ve Bir İşletme İçin Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2005

GÖRGÜLÜ Ö., Bulanık Mantık Teorisi ve Tarımda Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2007

KARACA Y.,Çok Kriterli Karar Verme Metotları ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile Matematik Eğitimi Alanında Bir Uygulama, Bozok Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yozgat, 2011

KWONG C.K., BAI H., Determining The Importance Weights For The Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP With an Extent Analysis Approach, Thesis, Department Of Industrial And Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, 2003

MANCHULENKO N., Applying axiomatic design principles to the house of quality, Thesis, University of Windsor, 2001.

MARABAOĞLU U., KORKMAZ, M., Aksiyomatik Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 2008

NOEL M., Applying Axiomatic Design Principles To The House Of Quality, Thesis, 2001, National Library of Canada, Acquisitions and Bibliographic Services

OIAB MOMENT EXPO, **Kabına Sığmayan Sektör**, Temmuz 2013, www.moment-expo.com/ kabına sığmayansektör

RENÇBER Ö., Büyük Çaplı Projelerde Karar Verme: Analitik Hiyerarşi Süreci Uygulaması, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze, 2010

SARSILMAZ M., Kalite Fonksiyon Göçerimi ve Bir İşletmede Uygulama Denemesi, Y.Lisans Tezi, Balıkesir Ü., Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1999

ŞENTÜRK S., Deney Planlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2006

T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, **Otomotiv Sektörü Raporu (2013/2)**, 2013, sanayipolitikalari.sanayi.gov.tr/Public/DownloadSectorReport/1075

TÜRE H., Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006

ÜZGÜN T., Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.

www.goalqpc.com

www.qfdi.org

YENİGÖL F., Yeni Ürün Geliştirmede Müşteri İstek Ve İhtiyaçlarını Teknik Karakteristiklere Dönüştürmeyi Sağlayan Bir Yöntem: Kalite Fonksiyon Göçerimi, Doktora Tezi , D.E.Ü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2000

YILMAZ N., Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.

ÖZGEÇMİŞ			
Adı, Soyadı	Cem KAYGULUOGLU		
Doğum Yeri ve Yılı	BURSA-12.10.1978		
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce		
ve Düzeyi	Çok İyi		
Eğitim Durumu	Başlama - Bitirme Yılı	Kurum Adı	
Lise	1989	1996	Bursa Anadolu Lisesi
Lisans	1996	2000	Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000	2001	İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü İşletmecilik İhtisas Programı
	2010	-----	Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Bölümü
Doktora			
Çalıştığı Kurum (lar)	Başlama - Ayrılma Yılı	Çalışılan Kurumun Adı	
1.	2001	2002	BURPOLMET LTD. ŞTİ.
2.	2003	-----	PAYE MAKİNE LTD. ŞTİ.
3.			
Üye Olduğu Bilimsel ve Mesleki Kuruluşlar	Makine Mühendisleri Odası		
Katıldığı Proje ve Toplantılar	YAEM 2014,IFORS 2014		
Yayımlar:			
Diğer:			
İletişim (e-posta):	cem.kayguluoglu@paye.com.tr		
	Tarih	İmza	
		Adı Soyadı	