



**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
İŞL-DR-2011-0002**

**KALİTE İYİLEŞTİRME SÜRECİNDE BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMI İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ
VE UYGULAMA ÖRNEĞİ**

HAZIRLAYAN

Esra AYTAÇ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU

AYDIN-2011

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
İŞL-DR-2011-0002**

**KALİTE İYİLEŞTİRME SÜRECİNDE BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMI İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ
VE UYGULAMA ÖRNEĞİ**

HAZIRLAYAN

Esra AYTAÇ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU

AYDIN-2011

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

İşletme Ana Bilim Dalı İşletme Doktora Programı öğrencisi Esra AYTAÇ tarafından hazırlanan “**Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği**” başlıklı tez, 07 Ocak 2011 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

<u>Unvanı, Adı ve Soyadı</u> :	<u>Kurumu</u> :
Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU(Danışman)	Adnan Menderes Üniversitesi
Doç. Dr. Ercan BALDEMİR	Muğla Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Muhsin ÖZDEMİR	Adnan Menderes Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan AYGÖREN	Pamukkale Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Esin SAYIN	Adnan Menderes Üniversitesi

İmzası:


Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu doktora tezi, Enstitü Yönetim Kurulununsayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selçuk ÇOLAKOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı : Esra Aytaç

İmza :

YAZAR ADI-SOYADI: Esra AYTAÇ

BAŞLIK: KALİTE İYİLEŞTİRME SÜRECİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE UYGULAMA ÖRNEĞİ

ÖZET

İşletmelerin kendilerini farklılaştırarak rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri; kalitenin yaratılması, korunması, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gibi konulara eğilmeleri ile mümkün olmaktadır. Bu durum, kalitenin ölçümünü ve analizini gerektirmektedir. Bu amaçla, birçok kalite iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin başında, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) gelmektedir. HTEA, bir ürün, parça, süreç veya sistem içinde bulunan veya bulunması muhtemel hata türlerini, bunların nedenlerini, etkilerini ve ortaya çıkma sıklıklarını belirleyen ve bu belirlemelere göre hata türlerini risklerine göre sıralayan bir yöntemdir. HTEA'nın endüstrideki uygulamalarının artmasıyla yöntemin birtakım eksiklikleri ortaya çıkmıştır. Hata türleri arasında tam bir ayırım yapamaması, değerlendirme esnasında kullanılan nitel veriler ile incelenen ürüne ve sürece ilişkin geçmiş veriler olmadığında başvuru uzman yargısındaki belirsizliği modelleyememesi, bu eksiklikler arasında sayılabilmektedir. Literatürde bu eksiklikleri gidermek için HTEA, bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile birleştirilmiş ve bulanık HTEA olarak düzenlenmiştir.

Bu çalışmada bulanık HTEA, kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) ile birlikte kullanılmıştır. Denizli'de faaliyet gösteren bir kablo işletmesinde bulanık KFG ile bir ürün geliştirilmiş ve bu ürünün imalatı esnasında çıkabilecek hata türleri, bulanık HTEA yöntemi ile belirlenmiş ve risklerine göre sıralanmıştır. Karar vericiler, tüm değerlendirme süreçlerinde, sözel değişkenleri kullanmıştır. Böylece, bulanık mantık yoluyla ürün geliştirme esnasında karşılaşılan kesin bilginin eksikliği ve her bir hata türüne ilişkin risk faktörlerine ait kesin değerlerin atanamaması sorunları giderilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Kalite İyileştirme, Hata, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG), Bulanık Mantık, Bulanık Küme, Bulanık HTEA, Bulanık KFG

NAME and SURNAME: Esra AYTAÇ

TITLE: FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS WITH FUZZY LOGIC APPROACH AT QUALITY IMPROVEMENT PROCESS AND APPLICATION SAMPLE

ABSTRACT

The survival of the companies by differentiating themselves in a competitive market is only possible by tending the issues such as creation, protection, development and improvement of the quality. That requires the quality to be measured and analyzed. For that purpose, many quality improvement methods have been developed. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) are the most important of these methods. FMEA is a method that determines current or possible failure modes in the product, the process or the system as well as the causes, the effects and the occurrence frequency of these failure modes. FMEA also ranks the failure modes according to their risks as a result of these determinations. Some drawbacks have emerged as a result of its increasing industrial applications of FMEA. The failure of distinguishing exactly between the kinds of failure modes, inability of modeling the qualitative data applied during evaluation period as well as the ambiguity of expert judgements used in the case of inadequate historical data regarding the product and process under examination, are the main drawbacks. In order to eliminate these drawbacks, the FMEA has been combined with fuzzy logic and fuzzy set theory and organized as fuzzy FMEA in the literature.

In this study, the fuzzy FMEA has been used together with Quality Function Deployment (QFD) which is one of the quality improvement methods. As an application sample, a product of a cable company operating in the Denizli district has been developed using the fuzzy QFD and potential failure modes which might occur during the production process have been determined and ordered using fuzzy FMEA. The decision makers in the cable company have used linguistic variables during evaluation process. So the difficulties like the lack of enough information during the product development process or problems regarding the non-assignment of precise values for the risk factors concerning failure modes have been eliminated via fuzzy logic approach.

KEYWORDS

Quality Improvement, Failure, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Quality Function Deployment (QFD), Fuzzy Logic, Fuzzy Set, Fuzzy FMEA, Fuzzy QFD

ÖNSÖZ

İşletmeler, faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde farklı nedenlerden kaynaklanan çeşitli hatalarla karşılaşır. İşletmeler için asıl önemli olan, muhtemel hataları önceden öngörerek bunların ortaya çıkmasını önlemek veya bunlar ortaya çıktığında onları kontrol eden yöntemler veya düzeltici tedbirler uygulayabilmektir. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden birisi, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)'dir. Yöntemin sonuçlarının daha etkin olabilmesi için, literatürde bu yöntem, bulanık mantık yöntemi ile birleştirilmiştir. Bu çalışmada, kalite iyileştirme kavramına bulanık mantık kavramı eklenerek bulanık HTEA ve bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) yöntemleri bir arada yürütülmüş ve yöntemler, bir kablo işletmesinde uygulanmıştır.

Bu çalışmadaki bilgilerin, kaynakların bundan sonra bu konuda yapılacak olan çalışmalara kaynak oluşturacağı ümit edilmektedir.

Bu tezin hazırlanmasında zaman ayırarak beni dinleyen, destekleyen ve yardım eden danışmanım Sayın Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU'na ve hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Muhsin ÖZDEMİR'e sonsuz şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tezin eksikliklerinin giderilmesindeki ve olgunlaştırılmasındaki desteklerinden ötürü Sayın Doç. Dr. Ercan BALDEMİR'e teşekkür ederim. Tezin uygulama kısmının tamamlanması aşamasında yoğun iş tempoları arasında bana zaman ayıran, deneyim ve bilgilerini aktaran Sayın Hasan ÖZBEK'e, Pınar KAYDI'ya ve Kadir DOĞU'ya çok teşekkür ederim. Yine gösterdikleri sabır ve yaptıkları desteklerden ötürü meslektaşlarım Araş. Gör. Ayşegül TUŞ IŞIK'a ve Araş. Gör. Nilsen KUNDAKCI'ya minnettarlığımı bildiririm. Son olarak, hayatımın her anında sürekli beni destekleyen anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
EKLER LİSTESİ	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE İYİLEŞTİRMEDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

1.1 “KALİTE” KAVRAMI.....	5
1.1.1 Kalitenin Tarihsel Gelişimi	7
1.1.2 Toplam Kalite Yönetimi.....	8
1.1.3 Kalite İyileştirme ve Kalite İyileştirme Sürecinde Kullanılan Yöntemler	11
1.1.3.1 Ishikawa’nın Yedi Aracı	12
1.1.3.2 Kalite İyileştirmede Kullanılan Diğer Yöntemler.....	16
1.2 HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ	31
1.2.1 Hata Türü ve Etkileri Analizinin Tarihsel Gelişimi	36
1.2.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	37
1.2.3 Hata Türü ve Etkileri Analizinin Çeşitleri	43
1.2.3.1 Sistem Hata Türü ve Etkileri Analizi	43
1.2.3.2 Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	46
1.2.3.3 Süreç Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	47
1.2.3.4 Hizmet Hata Türü ve Etkileri Analizi	48
1.2.4 Hata Türü ve Etkileri Analizinde Kullanılan Temel Kavramlar	49
1.2.4.1 Hata	49
1.2.4.2 Hata Türü	50
1.2.4.3 Hata Nedeni.....	51

	vi
1.2.4.4 Hata Etkisi	52
1.2.4.5 Hatanın Ortaya Çıkma Durumu	54
1.2.4.6 Hatanın Tespiti	54
1.2.4.7 Risk Öncelik Sayısı	56
1.2.4.8 Kritiklik Sayısı	58
1.2.4.9 Düzeltici Faaliyetler	59
1.2.4.10 Hata Türü ve Etkileri Analizi Takımı	59
1.2.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi Sürecinin Adımları	60
1.2.6 Hata Türü ve Etkileri Analizinin Yararları	64
1.2.7 Hata Türü ve Etkileri Analizine Yöneltilen Eleştiriler.....	66

İKİNCİ BÖLÜM

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

2.1 BULANIK MANTIK.....	70
2.1.1 Bulanık Küme Teorisi	74
2.1.1.1 “Bulanık Küme” ve “Üyelik Fonksiyonu” Kavramları	75
2.1.1.2 Üyelik Fonksiyonu Çeşitleri	79
2.1.1.3 Bulanık Kümelerde İşlemler	82
2.1.1.4 Bulanık Sayılar.....	84
2.1.2 Bulanık Çıkarım Sistemleri	87
2.1.2.1 Bulanıklaştırma	89
2.1.2.2 Kurallar	89
2.1.2.3 Çıkarım.....	90
2.1.2.4 Durulaştırma.....	91
2.2 BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ	93
2.3 BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	99
2.4 KALİTE İYİLEŞTİRMEDE ETKİLEŞİMLİ BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ.....	108
2.4.1 Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi ile Bir Ürünün Geliştirilmesi	110
2.4.2 Hata Türlerinin Bulanık Veriler ile Ele Alınması	122
2.4.2.1 Hata Türlerinin Belirlenmesi.....	123

	vii
2.4.2.2 Hata Türlerinin Risk Faktörlerine Göre Değerlendirilmesi	124
2.4.2.3 Hata Türlerinin Risklerine Göre Sıralanması.....	127

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

3.1 UYGULAMA ALANI OLAN İŞLETMENİN TANITIMI.....	136
3.2 UYGULAMA İÇİN ÜRÜNÜN SEÇİMİ	138
3.3 KALİTE EVİNİN OLUŞTURULMASI.....	138
3.3.1 Hata Türlerinin Değerlendirilmesi için Kullanılacak Sözel Terimlerin Belirlenmesi	154
3.3.2 Risk Faktörlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi	158
3.3.3 Ürün Kavramı için Hata Türlerinin Belirlenmesi.....	161
3.3.4 Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması	169
3.4 ÜRÜN PARÇA MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI.....	179
3.4.1 Ürün Parçalarındaki Hata Türlerinin Belirlenmesi	183
3.4.2 Ürün Parçalarındaki Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması	183
3.5 ÜRETİM SÜRECİ MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI.....	190
3.5.1 Üretim Süreçlerindeki Hata Türlerinin Belirlenmesi	194
3.5.2 Üretim Sürecindeki Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması	204
3.6 ÜRETİM MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI	210
3.6.1 Üretimdeki Hata Türlerinin Belirlenmesi.....	215
3.6.2 Üretimdeki Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması	220
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	225
KAYNAKÇA	230
EKLER.....	251
ÖZGEÇMİŞ.....	293

EKLER LİSTESİ

Ek 1a:	İşletmenin organizasyon şeması (Merkez ofis).....	251
Ek 1b:	İşletmenin organizasyon şeması (Fabrika).....	252
Ek 2:	İşletmenin yerleşim plânı.....	253
Ek 3:	Tel çekme süreci.....	254
Ek 4:	Tel bükme süreci.....	255
Ek 5:	İzole ekstrüzyon süreci.....	256
Ek 6:	İzole büküm süreci.....	257
Ek 7:	Dolgu ekstrüzyon süreci.....	258
Ek 8:	Zırhlama süreci.....	259
Ek 9:	Dış kılıf ekstrüzyon süreci.....	260
Ek 10:	Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	261
Ek 11a:	Ürün parçalarının $\alpha=1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (2. Aşama).....	265
Ek 11b:	Ürün parçalarının $\alpha=0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (2. Aşama).....	265
Ek 12:	Ürün parçaları için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	266
Ek 13:	Ürün parçaları için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (2. Aşama).....	269
Ek 14a:	Üretim süreçlerinin $\alpha=1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri.....	272
Ek 14b:	Üretim süreçlerinin $\alpha=0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri.....	272
Ek 15:	Üretim süreçleri için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	273
Ek 16:	Üretim süreçleri için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (3. Aşama).....	278
Ek 17a:	Üretimin $\alpha=1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (4. Aşama).....	283
Ek 17b:	Üretimin $\alpha=0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (4. Aşama).....	284

Ek 18:	Üretim için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	285
Ek 19:	Üretim için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (4. Aşama)	289

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1:	Toplam kalite yönetimi ile geleneksel yönetimin karşılaştırılması.....	9
Çizelge 1.2:	Kalite iyileştirme için yöntemler.....	17
Çizelge 1.3:	Hatanın etkisini değerlendirmek için kullanılan HTEA ölçeği.....	52
Çizelge 1.4:	Hatanın etkisini değerlendirmek için kullanılan alternatif HTEA ölçeği.....	53
Çizelge 1.5:	Hatanın ortaya çıkma olasılığı için HTEA ölçeği.....	54
Çizelge 1.6:	Hatanın tespit edilemeyebilirliği için HTEA ölçeği.....	55
Çizelge 1.7:	Hatanın tespit edilebilirliği için HTEA ölçeği.....	56
Çizelge 1.8:	HTEA formu.....	63
Çizelge 1.9:	RÖS'e ilişkin ölçeğin istatistiksel verileri.....	67
Çizelge 2.1:	Bulanık sistemlerin gelişmesinde temel olaylar.....	73
Çizelge 2.2:	Rassallık göstergesi.....	114
Çizelge 3.1:	Bulanık önem dereceleri.....	140
Çizelge 3.2:	Müşteri gereksinimleri için ikili karşılaştırma matrisi.....	141
Çizelge 3.3:	Müşteri gereksinimleri için elde edilen başlangıç bulanık ağırlıklar.....	142
Çizelge 3.4:	Müşteri bazlı rekabet değerlendirmesi için sözel terimler.....	144
Çizelge 3.5:	Satış noktası değerlendirmesi için sözel terimler.....	144
Çizelge 3.6:	Müşteri bazlı rekabet değerlendirmesi.....	145
Çizelge 3.7:	Müşteri gereksinimlerinin nihaî bulanık ağırlıkları.....	146
Çizelge 3.8:	Müşteri gereksinimlerinin bulanık olmayan ağırlıkları.....	146
Çizelge 3.9a:	$\alpha = 1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (1. Aşama).....	152
Çizelge 3.9b:	$\alpha = 0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (1. Aşama).....	152
Çizelge 3.10:	Teknik gereksinimlerin farklı α kesmelerinde bulanık ağırlıkları.....	153
Çizelge 3.11:	Teknik gereksinimlerin bulanık olmayan ağırlıkları (1. Aşama)	153

Çizelge 3.12:	Risk faktörlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sözel terimler.....	156
Çizelge 3.13:	Karar vericilerin ağırlıkları (1. Aşama)	158
Çizelge 3.14a:	1. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi.....	159
Çizelge 3.14b:	2. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi.....	159
Çizelge 3.14c:	3. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi.....	160
Çizelge 3.14d:	4. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi	160
Çizelge 3.15:	Risk faktörleri için bulanık ağırlıklar (1. Aşama)	160
Çizelge 3.16:	Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri.....	163
Çizelge 3.17:	Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (1. Aşama).....	170
Çizelge 3.18:	Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin bulanık RÖS değerleri.....	176
Çizelge 3.19:	Farklı α kesmelerinde ürün parçalarının bulanık ağırlıkları (2. Aşama).....	181
Çizelge 3.20:	Ürün parçalarının bulanık olmayan ağırlıkları.....	181
Çizelge 3.21:	Ürün parçalarına ilişkin hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri (2. Aşama).....	184
Çizelge 3.22:	Ürün parçaları için belirlenen hata türlerinin bulanık RÖS değerleri.....	188
Çizelge 3.23:	Üretim süreçlerinin farklı α kesmelerinde bulanık ağırlıkları.....	193
Çizelge 3.24:	Üretim süreçlerinin bulanık olmayan ağırlıkları (3. Aşama)...	194
Çizelge 3.25:	Üretim süreçleri için belirlenen hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri.....	195
Çizelge 3.26:	Karar vericilerin ağırlıkları (3. Aşama)	204
Çizelge 3.27:	Risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları (3. Aşama)	204

Çizelge 3.28:	Üretim süreçlerine ait hata türlerinin bulanık RÖS değerleri.....	205
Çizelge 3.29:	Üretimin farklı α kesmelerinde bulanık ağırlıkları (4. Aşama)	214
Çizelge 3.30:	Üretimin bulanık olmayan ağırlıkları (4. Aşama)	214
Çizelge 3.31:	Üretim için belirlenen hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri.....	216
Çizelge 3.32:	Karar vericilerin ağırlıkları (4. Aşama)	220
Çizelge 3.33:	Risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları (4. Aşama)	220
Çizelge 3.34:	Üretim için belirlenen hata türlerinin bulanık RÖS değerleri (4. Aşama)	221

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1:	Toplam kalite yönetiminin unsurları.....	10
Şekil 1.2:	Kalite iyileştirmede kullanılan yedi temel araç.....	13
Şekil 1.3:	Kalite evi.....	23
Şekil 1.4:	Dört aşamalı KFG uygulaması.....	28
Şekil 1.5:	Risk algılamasına neden olan baskılar.....	31
Şekil 1.6:	Hata türü ve etkileri analizinin kalite yönetim sistemi içindeki rolü.....	33
Şekil 1.7:	Ürün geliştirme döngüsü ve HTEA programı.....	44
Şekil 1.8:	Sistem, tasarım ve süreç HTEA arasındaki ilişki.....	45
Şekil 1.9:	Tasarım HTEA diyagramı.....	46
Şekil 1.10:	HTEA’da risk öncelik sayısı hesaplaması.....	57
Şekil 1.11:	HTEA sürecindeki adımlar.....	61
Şekil 2.1:	“Ağırlık” sözel değişkeni.....	76
Şekil 2.2:	Üyelik fonksiyonunun kısımları.....	77
Şekil 2.3:	a)Konveks ve normal bulanık küme b) Konveks ve normal olmayan bulanık küme c) Konveks olmayan ve normal bulanık küme d) Konveks olmayan ve normal olmayan bulanık küme.....	79
Şekil 2.4:	Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları.....	82
Şekil 2.5:	Bulanık kümelerde a) birleşim işlemi b) kesişim işlemi c) tümlleme işlemi.....	84
Şekil 2.6:	Normal ve konveks bulanık bir sayı ve farklı α kesmeleri.....	86
Şekil 2.7:	Bir bulanık sistemin genel yapısı.....	88
Şekil 2.8:	Durulaştırma yöntemleri a) maksimum değerlerin en düşüğü yöntemi b) ağırlık merkezi yöntemi c) maksimum değerlerin ortalaması yöntemi d) maksimum değerlerin en büyüğü yöntemi.....	91
Şekil 2.9:	Bulanık HTEA sisteminin adımları.....	96
Şekil 2.10:	Bulanık risk değerlendirme sistemi.....	97
Şekil 2.11:	Bulanık çıkarım sisteminin temel girdileri ve çıktıları.....	98

		xiv
Şekil 2.12:	Dört aşamalı KFG sürecindeki ilişki matrisleri.....	120
Şekil 3.1:	Kalite evindeki ilişkilerde kullanılan sözel terimler ve üyelik fonksiyonları.....	148
Şekil 3.2:	Kalite evi.....	150
Şekil 3.3:	Risk faktörlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sözel terimler ve üyelik fonksiyonları.....	155
Şekil 3.4:	Ürün parça matrisi	182
Şekil 3.5:	Üretim süreci matrisi.....	192
Şekil 3.6:	Üretim matrisi.....	213

KISALTMALAR LİSTESİ

HTEA: Hata Türü ve Etkileri Analizi

TKY: Toplam Kalite Yönetimi

KFG: Kalite Fonksiyon Göçerimi

AAS: Analitik Ağ Süreci

AHS: Analitik Hiyerarşi Süreci

RÖS: Risk Öncelik Sayısı

BRÖS: Bulanık Risk Öncelik Sayısı

KV: Karar Verici

TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

GİRİŞ

Günümüzde ekonomik, teknik ve sosyal konulardaki değişikliklere paralel olarak, eski anlayışlar yerini yenilerine bırakmaktadır. Bununla birlikte, tüketiciler de çoğu şey hakkında daha fazla bilgi sahibi olmakta başka bir deyişle, bilinçlenmekte, buna bağlı olarak ihtiyaçları ve istekleri de çeşitlenip artmaktadır. Ayrıca, küreselleşme ile birlikte sınırların kalkması ve teknolojideki gelişmeler sayesinde tüketiciler, ihtiyaçlarını dünyanın her yerindeki üreticilerden karşılayabilir hale gelmektedir. Bu da, aynı işi yapan çok sayıda işletmenin olması başka bir deyişle, aynı piyasada çok sayıda satıcı anlamına gelmekte ve rekabeti giderek arttırmaktadır. Bu nedenle, yoğun rekabette ayakta kalabilmek için işletmeler; ürünlerini, hizmetlerini, süreçlerini, iş yapış şekillerini, duruşlarını değiştirip, geliştirmek ve böylece, diğerlerinden farklı bir hale gelmek zorunda kalmaktadır.

İşletmelerin kendilerini diğerlerinden farklılaştırması, genellikle “kalite” konuları üzerinde olmaktadır. Kalite, geçmişteki sadece kontrol olarak kullanılan anlamını kaybederek şu an “bir malın veya hizmetin gereksinimleri ve beklentileri karşılayabilme yeteneği” olarak tanımlanmaktadır (Şimşek, 2000: 15). Kalite bu anlamıyla, müşterilerin beklentilerinin ve ihtiyaçlarının anlaşılması, ürünlerin ve hizmetlerin tasarımı, üretim süreci, satış, satış sonrası gibi işlemlerin tamamını içermektedir. Bu işlemler esnasında önemli olan nokta, ürünlerin veya hizmetlerin hem iç hem de dış müşteriye ulaşmadan önce, hatta üretiminden önce detaylı ve güvenilir bir şekilde tasarlanması ve hataların, arızaların, problemlerin henüz gerçekleşmeden tahmin edilebilmesi ve düzeltici tedbirlerin alınabilmesidir. Bu amaçla işletmeler, kaliteye ve kalite iyileştirme yöntemlerine yönelmekte ve aynı anda birden çok kalite yöntemini uygulayarak sonuçları daha etkin bir şekilde kullanmaya çalışmaktadır. İşletmeler tarafından kullanılan eş zamanlı kalite çalışmalarının yanında birçok önleyici kalite yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu kalite iyileştirme yöntemlerinden biri de Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)’dir.

HTEA, “müşteriye gitmeden önce sistemden, tasarımdan, süreçten ve/veya hizmetten kaynaklanan bilinen ve/veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışların tanımlanmasına, belirlenmesine ve giderilmesine yarayan bir mühendislik yöntemidir” (Stamatis, 2003: 21). HTEA, ilk olarak askerî bir standart olarak kullanılmış daha sonra

endüstri tarafından yoğun bir şekilde kabul görmüş ve şu an birçok standardın parçası durumuna gelmiştir. HTEA, önce hataları, hataların nedenlerini, hataların hem işletme hem de işletme dışındaki etkilerini tanımlamakla başlamaktadır. Buradaki hata kavramı ile anlatılmak istenen bir sistemin, bir ürünün veya bir birimin sahip olması gereken özelliklerinde sapma veya istenen/beklenen fonksiyonunu yerine getirmeme veya eksik yerine getirme durumudur (Boran, 1996: 8). Bu bağlamda HTEA, tespit ettiği hataları veya hata nedenlerini risklerine göre sıralamaktadır. Yöntem, bu sıralamayı yaparken veya riskleri hesaplarken hatanın ortaya çıkma olasılığı, hatanın şiddeti (ağırlığı, etkisi) ve hatanın tespit edilebilirliği olmak üzere üç faktör kullanmaktadır.

Yöntem, diğer yöntemlere göre daha anlaşılır olması bakımından yaygın şekilde kullanılırken yöntemin bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerin başında, yöntemde başlangıç verileri olarak aynı anda nicel ve karar vericilerin bilgi ve deneyimleri gibi nitel bilgilerin bulunması veya her hataya ilişkin değişkenlere kesin değerlerin atanması zorluğu gelmektedir (Braglia vd., 2003a: 506, 513). Bu tür bilgilerin aynı anda işleme alınması klâsik yöntemlerle kolay olmamaktadır. Ayrıca, karar vericiler, analizi gerçekleştirmek için gerekli veriyi hiç bulamayabilmekte veya eksik veri ile çalışmak zorunda kalabilmektedir. Bu nedenle HTEA, bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile birleştirilerek bulanık HTEA olarak düzenlenmiş ve literatürde yer bulmuştur.

Bu tez çalışmasında, bulanık HTEA ile belirsiz ortamda kalite iyileştirme sürecinin gerçekleştirilebileceği, kesin olmayan verilerle işlem yapılabileceği ve analizin gerçekleştirilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Bu anlamda, bir ürünü hatasız bir şekilde oluşturacak tasarımı ortaya koyabilmek için HTEA çalışmasının yapılması amaçlanmıştır. Yöntemde, kesin sayılar ile ifade edilemeyen belirsiz kavramlar ve karar vericilerin bilgilerinin aktarımı, bulanık mantık ile sağlanmıştır. Bu bağlamda, “Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği” başlıklı tez çalışması, giriş ve sonuç bölümleri hariç olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

“Kalite İyileştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi” başlıklı *birinci bölümde*, HTEA'nın kalite kavramının bir parçası olduğu düşünülerek ilk olarak kaliteden ve kaliteye ilişkin temel kavramlardan bahsedilmiş, kalitenin tarihsel gelişimine kısaca değinilmiş, kalite iyileştirme ve kalite iyileştirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Aynı bölümde kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan “Hata Türü ve Etkileri Analizi” tanıtılmıştır. Analizin tarihsel gelişiminden, analiz ile ilgili literatürde gerçekleştirilen çalışmalardan bahsedilmiştir. Ayrıca, analizin işletmelerin farklı amaçlarına göre gerçekleştirebileceği türlerinden bahsedilmiş, analizin uygulama adımları açıklanmış ve sağladığı yararları değerlendirilmiştir. Analize yöneltilen eleştiriler ile bölüm tamamlanmıştır.

“Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Yaklaşımı” başlıklı *ikinci bölümde*, bulanık mantık ve bulanık küme teorisi üzerinde durulmuştur. Bu bölümde, bulanıklık kavramından bahsedilmiş ve teorinin, gerçek dünyada gerekliliği anlatılmaya çalışılmıştır. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları ile ilgili temel tanımlar verilmiş, bulanık kümeler ve bulanık sayılara ilişkin özellikler ve işlemler tanıtılmış, bulanık kontrol ve bulanık kontrolün temel elemanları kısaca anlatılmaya çalışılmıştır. Aynı bölümde, HTEA ile bulanık mantık kavramları birleştirilerek bulanık HTEA kavramına geçilmiştir. Bulanık HTEA kavramının gerekliliğine yer verilmiş, bulanık mantığın kullanılması ile yöntem kazandırılacak özellikler belirtilmiştir. Ayrıca, bulanık HTEA ile daha önce yapılmış çalışmalara detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Aynı bölümde, bu tez çalışmasının uygulama bölümünde izlenecek yöntem tanıtılmış ve bu yöntemle ilişkin aşamalar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

“Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi Üzerine Bir Uygulama Örneği” başlıklı *üçüncü bölümde*, bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada, kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) ile Denizli ilinde faaliyet gösteren bir kablo işletmesi için bir ürün geliştirilmiş ve bu ürünün imalatı esnasında çıkabilecek hata türleri, HTEA ile belirlenmiş ve belirlenen bu hata türleri, risklerine göre sıralanmıştır. Her iki yöntemin de belirsiz ortamda yapıldığı düşünülerek yöntemler, bulanık mantık yaklaşımı ile birleştirilmiştir.

Sonuç bölümünde ise, üçüncü bölümde yapılan uygulamanın sonuçları değerlendirilerek ilgili işletmeye kalite yönetimi, kalite iyileştirme ve rekabet avantajı konularında birtakım önerilerde bulunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE İYİLEŞTİRMEDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ

ANALİZİ

İnsan ihtiyaçlarını karşılamak üzere kurulmuş iktisadî birimler olan işletmeler, sistem yaklaşımına göre açık sistemler olup çevresel faktörlerde meydana gelen değişimlere uyum sağlayabilmek için bu değişiklikleri izlemek ve buna göre, kendi yapılarında, faaliyet gösterdikleri alanlarda ve teknolojilerde gerekli değişiklikleri yapmak zorundadır (Koçel, 2005: 258; Halis, 2000: 17). İşletmeleri bu şekilde değişime zorlayan temel nedenleri, şu şekilde sıralamak mümkündür (Yılmaz, 2005: 16, 17):

- Küreselleşmenin ve yoğun rekabetin artması,
- Uluslararası ve bölgesel birleşmelerin sayılarının ve önemlerinin artması,
- Bilgi teknolojilerinde gelişmelerin yaşanması,
- Yeni pazarların oluşması,
- Müşterilerin bilinçlenmesi ve isteklerinin değişerek çeşitlenmesi,
- İşgücünde cinsiyet, dil, ırk, kültür gibi farklılıkların bulunması,
- “İnsan” unsurunun önem kazanarak çalışanların yönetime katılması.

Genel olarak işletmelerin değişime ayak uydurmalarının asıl amacı, sürekli değişen iç ve dış çevre şartlarına karşı işletmeyi ayakta tutarak, işletmenin etkinliğini ve verimliliğini arttırmak, çalışanların memnuniyetini ve en önemlisi müşteri memnuniyetini sağlamaktır (Halis, 2000: 17, 18). Bu nedenle, günümüzde işletmeler, Toplam Kalite Yönetimi (TKY), toplam üretken bakım, üretim kaynak plânlaması, tam zamanında üretim gibi çeşitli yöntemler kullanmaktadır (Sharma vd., 2007b: 525). Bu yöntemler ile ürün ve hizmet kalitesinin sürekli olarak iyileştirilmesi, problemlerin ortaya çıkmadan çözülmesi, kusursuz, hatadan arındırılmış ürünler ve hizmetler sunarak müşteri memnuniyetinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu anlamda işletmeler için esas olan, kaliteyi oluşturma, sürekli geliştirme, iyileştirme ve koruma çalışmalarıdır. Kalitenin sürekli iyileştirilmesi veya geliştirilmesi ise, “hataları ayıklamak” yerine “hata yapmamak” yaklaşımının uygulanması, ölçümlerin ve kontrollerin kullanılması ile mümkün olmaktadır (Boran, 1996: 2).

Son yıllarda ise, sistemlerin tasarım sürecinde güvenilirlik çalışmaları; artan karmaşıklık veya faaliyetler, bakım ve onarım faaliyetlerinin yetersizliğinden kaynaklanan yüksek maliyetler (Zafiroopoulos ve Dialynas, 2005: 183), bazı endüstrilerin yüksek sermaye maliyeti gerektirmesi veya yüksek risk taşıması gibi nedenlerle önemli bir parça haline gelmiştir (Hawkins ve Woollons, 1998: 375). Bu nedenle de hataların önlenmesi amacıyla geliştirilen ve özellikle güvenilirlik analizi esaslı çalışmalarda kullanılan birçok hata analizi yöntemi bulunmakta (Boran, 1996: 37), böylelikle, işletmeler, rekabet edebilmek, kaliteyi devamlı hale getirebilmek ve aynı zamanda ürünlerini ve hizmetlerini yüksek güvenilirlikte üretebilmek için birçok kalite iyileştirme yöntemi uygulamaktadır. Uygulanan tüm yöntemler, TKY'nin bir parçası olup, sürekli iyileştirmeye yönelik olduğu için çalışmanın bu bölümünde öncelikle kaliteye, kalite iyileştirme kavramlarına ve kalite iyileştirmeye yönelik yöntemlere değinildikten sonra bu yöntemlerden biri olan, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)'ne geçilmiştir.

1.1 “KALİTE” KAVRAMI

Tarih boyunca gerçekleşen değişimlere paralel olarak, kalite kavramında veya anlayışında da değişiklikler olmuştur. Geleneksel kalite anlayışına göre, bir ürün, ya da hizmet için tanımlanan kalite karakteristikleri, belirlenen sınırlar arasında kaldığı sürece, ürünün veya hizmetin kaliteli olduğunu söylemek mümkün iken; günümüzde belirlenen kalite sınırları arasında yer alan ürünler veya hizmetler, müşteri memnuniyetini sağlayabilmek ve yoğun rekabet şartlarında ayakta kalabilmek için yeterli değildir (Taşeli ve Köksal, 2004: 1). Bu şekilde kalite ve kaliteye ilişkin kavramların giderek daha da önem kazanması ve bunların işletmeler için olmazsa olmaz bir kavram haline gelmesi aşağıda belirtilen şu üç temel neden ile açıklanabilmektedir (Martinich, 1997: 562):

- Satın alma davranışında kaliteyi dikkate alan bir müşteri ürüne, fiyatı dikkate alan bir müşteriden daha sadık olacak ve aynı ürünü tüketmeye devam edecektir.
- Düşük kalitede ürün veya hizmet üretmek, yüksek kalitede ürün veya hizmet üretmekten daha pahalıdır.
- Satış sonrasında ürün iyi bir şekilde işlemediğinde, yaralanmalara veya ölüme neden olduğunda işletme, daha çok sorumluluk ve maliyet yüklenmektedir.

Bu temel nedenlere paralel olarak işletmelerin kalite konusunda başarılı olmaları, öncelikle bu kavramı doğru ve amaçlarına uygun bir şekilde anlamalarından ve yorumlamalarından geçmektedir. Bu nedenle, literatürde kaliteye ilişkin çok sayıda farklı tanımlar bulunmakta ve ortak bir tanım yapılamamaktadır. Örneğin, kalite üretim işletmeleri için hata, ya da kusur oranı, yüksek öğrenim kurumları için kurumsal itibar, sağlık organizasyonları için doğru teşhis oranı, hizmet organizasyonları için müşteri tatmin seviyesi olarak düşünülebilmektedir (Winn ve Cameron, 1998: 491).

Sözlük anlamına bakıldığında kalite, iki anlamda kullanılmaktadır. Birinci anlamı, “bir şeyin iyi veya kötü olma özelliği, nitelik”; ikinci anlamı ise, “üstün nitelikli” ’dir (Türk Dil Kurumu, 1988: 769).

Literatürde çok sık karşılaşılan ve kalite öncüleri tarafından yapılan kalite tanımları ise, şu şekildedir:

Juran’a göre, kalite, “kullanıma ve amaca uygunluktur” (Halis, 2008: 3).

Crosby’e göre, kalite, “bir ürünün gerekliliklerine uygunluk derecesidir” (Sarıkaya, 2003: 2).

Taguchi’ye göre, kalite, “ürünün veya hizmetin müşteriye sunumunun ardından toplumda meydana gelen kayıptır. Bu kayıp, müşteri memnuniyetsizliğini ve işletmelerin itibar kayıplarını içermektedir” (Hamzaçebi ve Kutay, 2003: 10).

Feigenbaum’a göre, kalite, “tüketici ihtiyaçlarını mümkün olan en ekonomik seviyede karşılamayı amaçlayan mühendislik, imalât, kalitenin devam ettirilmesi ve pazarlama özelliklerinin bileşimidir” (Halis, 2008: 4).

Müşteriler ise, kaliteyi, düşüncelerindeki kaliteye ilişkin farklı boyutları dikkate alarak farklı şekillerde tanımlamaktadır (Krajewski ve Ritzman, 1998: 215):

Spesifikasyonlara uygunluk: Müşteriye göre ürün kalitesi, ürünün performansı ve ürünün arızaları arasında geçen süre iken; hizmet kalitesi, zamanında teslimat veya yanıt verme süresidir.

Değer: Müşteriye göre kalite, müşterilerin bir ürüne veya hizmete ödeyecekleri fiyatın, ürün ve hizmetin öngörülen amacına ne kadar hizmet edeceğidir.

Kullanım uygunluğu: Müşterilere göre kalite, ürünün görünüşü, stili, dayanıklılığı, işçiliği veya kullanımdaki kolaylığıdır.

İşletmenin müşterinin gözündeki imajı: Ürünün veya hizmetin sağlandığı işletme, müşteriler için kalitenin değerlendirmesinde oldukça önemli olmakta,

işletmenin finansal tablolarında yolsuzluk yapması, ürün garanti problemleri, ya da aldatıcı reklamlar gibi olumsuz olaylar, işletmenin müşteri gözündeki imajını zedelemektedir.

Psikolojik etkiler: Müşteriler tarafından genellikle ürünün veya özellikle hizmetin kalitesi; atmosfer, görünüş, estetik gibi psikolojik etkiler altında değerlendirilmektedir.

Kalite öncüleri tarafından yapılan kalitenin farklı tanımları ve müşterinin gözündeki kalite anlayışları düşünüldüğünde kalitenin çok boyutlu olduğu anlaşılmaktadır. Garvin (1988) tarafından kalite boyutları, genel olarak sekiz başlık altında toplanmıştır. Bu boyutlar şunlardır:

Performans: Bir ürünün veya hizmetin ana faaliyet özelliğidir.

Özellikler: Bir ürünün veya hizmetin ana faaliyet özelliği dışında kalan destekleyici özelliklerdir.

Güvenilirlik: Bir ürünün belirlenen zaman aralığında çalışmama olasılığı veya bozulma olasılığıdır.

Uygunluk: Bir ürünün tasarımının veya çalışma özelliklerinin daha önceden belirlenen standartları karşılayabilme derecesidir.

Dayanıklılık: Bir ürünün kullanım süresidir.

Hizmet Görme Yeteneği: Bir ürüne veya hizmete ilişkin hız, yetenek, hızlı onarılma, nezaket, satış sonrası hizmet gibi özelliklerdir.

Estetik: Bir ürünün görünümü, kokusu, tadı gibi müşterilerin duyularına hitap eden özelliklerdir.

Algılanan Kalite: Müşteriler, bir ürüne veya hizmete ilişkin bilgiye her zaman tam olarak sahip olamayabilmekte ve bu durumda ürüne ilişkin marka gibi özellikler ile ürün veya hizmet kalitesine karar vermektedir (Garvin, 1988: 49-60).

1.1.1 Kalitenin Tarihsel Gelişimi

Günümüzde hem üretim hem de hizmet işletmeleri için vazgeçilmez bir rekabet aracı olan kalite kavramının geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Kalite kavramına, milattan önceki yıllarda Babil hükümdarı Hammurabi'nin kanunlarında, Finikelilerin devlet şartnamelerinde, Mısırlıların kayıtlarında rastlanmaktadır (Şale, 2001: 21).

Sanayi devriminden önce üretim, küçük atölyelerde yapılmış ve üretime ilişkin düzenlemeler, üreticilerin kayıtları, hammaddenin kontrolü, kalitesine göre ürüne fiyat verilmesi, bozuk ürün satan esnafın esnaflık belgesinin iptali gibi kalite ve kalite kontrol gibi işlemler, loncalar tarafından yürütülmüştür (Özevren, 2000: 11).

Sanayi devriminden sonra ise, üretim atölyelerinin yerini fabrikalar almıştır. Artan üretimi karşılamak için vasıfsız işçi kullanılmış bu da, kaliteyi düşürmüştür. Bu nedenle, bilimsel yönetimin kurucusu F. Taylor, bilimsel yöntemler kullanılmasını önermiştir. Daha sonra E. Mayo, Hawthorne araştırmaları ile takım çalışmasının önemini vurgulamış ve böylelikle, kalite çemberlerinin temeli atılmıştır.

II. Dünya Savaşı ile birlikte büyük miktarlarda kitle üretime ihtiyaç duyulmuş, %100 kalite kontrol yerine muayene kalite kontrol kavramının geliştirilmesi bir zorunluluk olmuş ve istatistik bilimi, kalite kontrol faaliyetlerinde kullanılmıştır (Gözlü, 1990: 9).

II. Dünya Savaşı'ndan sonra Japonya, endüstrisini tamamen değiştirerek E. Deming ve J. Juran gibi Amerikalı kalite öncülerinin yardımıyla kaliteyi, rekabet aracı (Krajewski ve Ritzman, 1998: 214) ve herkesin görevi, amacı ve yaşam felsefesi haline getirmiştir (Yılmaz, 2005: 28). Bu dönemde TKY, sürekli iyileştirme, kalite çemberleri gibi kaliteye ilişkin birçok temel kavram ortaya çıkmıştır.

Kalitenin Türkiye'deki geçmişi ise, Osmanlı İmparatorluğu'ndaki usta-çırak ilişkisinin bulunduğu lonca sistemine kadar uzanmaktadır (Yılmaz, 2005: 32). 1980'lerin ortasında Türkiye'deki büyük işletmeler, kalite güvence sistemlerini kurmaya başlamışlar ve TKY etkinlikleri düzenlemişlerdir. 1991'de ise, Kalite Derneği (KalDer) kurulmuştur. Ulusal Kalite Kongresi ve Ulusal Kalite Ödülü, bu derneğin en önemli etkinlikleri arasındadır.

1.1.2 Toplam Kalite Yönetimi

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), “müşterilerin ihtiyaçlarını en ekonomik düzeyde karşılamak için, işletmenin farklı bölümlerinin kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çalışmalarını birleştirip koordine eden etkili bir yöntemdir” (Kovancı, 2001: 13). Bu tanımdan yola çıkarak “toplam” sözcüğü, herhangi bir ürüne veya hizmete ilişkin tüm birimleri, süreçleri, çalışanları; “kalite” sözcüğü, müşteri isteklerinin karşılanmasını; “yönetim” sözcüğü ise, kalitenin sağlanabilmesi için

tüm kaynaklara ve faaliyetlere uygulanan yöntemleri kapsamaktadır (Özevren, 2000: 7; Doğan, 2000: 24).

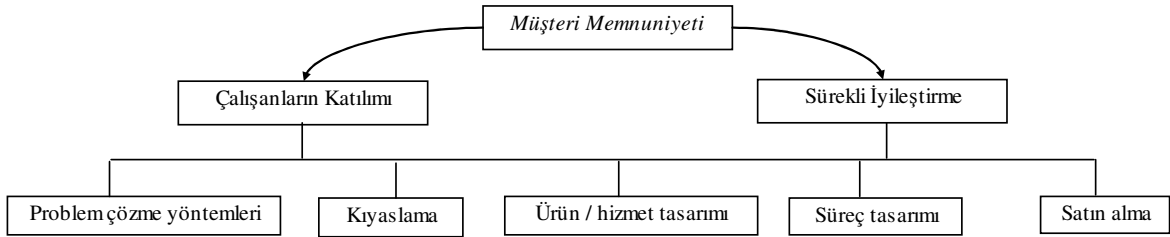
TKY, Japonya’da ortaya atılan ve sonra tüm dünyaya yayılan bir yönetim biçimi olup çalışan odaklı, çalışanların motive edilmesi için paranın gerekli olmadığını ve ekip çalışmasını savunan bir sistemdir (Sarıkaya, 2003: 19). Bu anlamda TKY, bir işletmedeki tüm çalışanların kaliteye ilişkin faaliyetlerden haberdar olmasını ve bu faaliyetlerin ortaya çıkarılmasına ve yürütülmesine aktif olarak katılımını gerektirmektedir (Takan, 2001: 2, 3).

Çizelge 1.1: Toplam kalite yönetimi ile geleneksel yönetimin karşılaştırılması

	<i>Geleneksel Yönetim</i>	<i>Toplam Kalite Yönetimi</i>
<i>Örgütsel yapı</i>	Hiyerarşik ve katıdır.	Düz ve esnektir.
<i>Değişime bakış</i>	Tutucudur.	Sürekli gelişme temellidir.
<i>Alt-üst ilişkisi</i>	Üst, patrondur. Alt, üste bağımlıdır. İlişki, kontrol ve korku temellidir.	Üst, liderdir. Alt ve üst arasında karşılıklı bağımlılık vardır. İlişki, güven ve anlayış temellidir.
<i>İşgören çabaları</i>	Bireyseldir ve birbirlerinin rakibidirler.	Takım halinde çalışan arkadaşlardır.
<i>İşgücü</i>	İşgücü ve eğitim, maliyettir.	İşgücü ve eğitim, yatırımdır.
<i>Kalite kararı</i>	Kaliteye, yönetim karar vermektedir.	Kalite, müşteriye sorulmaktadır.
<i>Temel karar</i>	Yöneticilerin deneyimlerine dayalıdır.	Gerçeklere, sağlam bilgiye ve sistemlere dayalıdır.

Kaynak: Halis, M. (2000) *Paradigmadan Uygulamaya Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri, ISO 9002 Kalite Belgesi Çalışmaları (1. Basım)*, Beta Basım Yayım Dağıtım: İstanbul, s. 80.

Çizelge 1.1’de TKY’nin, geleneksel kalite yönetimi ile karşılaştırılması görülmektedir. TKY’nin, örgütsel yapı, değişime bakışı, alt-üst ilişkisi gibi birçok bakımdan geleneksel yönetimden farkları bulunmaktadır.



Şekil 1.1: Toplam kalite yönetiminin unsurları

Kaynak: Krajewski, L. J. ve Ritzman, L. P. (1998) *Operations Management: Strategy and Analysis*, Addison Wesley: New York, s. 214.

TKY, “müşteri odaklı yönetim” olarak da anılmaktadır (Yılmaz, 2005: 36). Bu anlamda TKY, Şekil 1.1’de görüldüğü gibi müşteri memnuniyeti, çalışanların katılımı ve kalitede sürekli iyileştirme olmak üzere üç prensip üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu prensiplerden ilki olan müşteri memnuniyeti, doğrudan işletmenin rekabeti ile ilgilidir. Günümüzde rekabetin merkezinde müşteriler bulunduğu için, müşterilerin ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla gerekli çabayı harcayan ve onları memnun eden işletmeler, rekabette daha başarılı olmaktadır (Doğan, 2000: 16). Müşteri memnuniyetinin sağlanması için ürün ve hizmete ilişkin yeni düşüncelerin, buluşların ortaya çıkmasında işletmedeki tüm çalışanların katkısı gerekmektedir (Takan, 2001: 3). Burada çalışanların katkısı ile anlatılmak istenen, tüm süreçlerde çalışanlara düşüncelerinin sorulması ve bu düşüncelerinden yararlanmasıdır. Bu şekilde üretim sürecinin her aşamasındaki kalite için sorumluluğun tüm çalışanlara dağıtılması ve çalışanların kalitenin tamamından sorumlu olması düşüncesi, daha yüksek kalitede ürünler ile sonuçlanmaktadır (Harvey, 1997: 133). Bu süreçte çalışanların, örgütsel performansla ilgili bilgi sahibi olması, bu bilginin çalışanlar tarafından anlaşılması ve ödüllendirme sistemi gibi konular oldukça önemli olmaktadır (Erdil vd., 2003: 46). Bu aşamada çalışanlara, kalitenin yönetimi ve kontrolü ile ilgili temel eğitimlerin verilmesi gerekmektedir (Sarıkaya, 2003: 22).

Kalitede Japonca bir kavram olan “kaizen”, TKY’nin ayrılmaz bir parçası olan sürekli iyileştirme, faaliyetlerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için sürekli araştırmaya ve geliştirmeye dayanan bir felsefedir. Sürekli iyileştirme felsefesinin temelinde yatan düşünce, herhangi bir faaliyetin iyileştirilebileceği ve bu faaliyet ile yakından ilgili çalışanların, yapılması gereken iyileştirmeleri belirlemek için en iyi olduklarıdır

(Krajewski ve Ritzman, 1998: 218). Bu şekliyle sürekli iyileştirme, sürekli bir arayışı ifade etmekte, rekabetçi ortamda rakiplere karşı daha iyiyi araştırmak, geliştirmek, anlamak, yapmak, üretmek, sunmak, süreçleri sürekli iyileştirmek anlamında kullanılmaktadır (Takan, 2001: 3,22).

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi TKY, bu üç prensibe ek olarak kalitenin sürekli iyileştirilmesi temel amacını gerçekleştirmek için ürün ve hizmet tasarımı, süreç tasarımı, kıyaslama, satın alma ve problem çözme yöntemlerini de içermektedir (Krajewski ve Ritzman, 1998: 213).

Sürekli iyiyi arayan TKY’nin yararları şunlardır (Yılmaz, 2005: 35, 36):

- Ürün veya hizmet kalitesi, süreç kalitesi, sistem kalitesi gibi işletmenin tüm birimlerinde kalite iyileştirmenin yer alması,
- Müşteri memnuniyetinin sağlanması,
- Çalışanların memnuniyetinin sağlanması, rahatsızlıklarının ortadan kaldırılması, motive edilmesi, işgücü verimliliğinin artması,
- Hataya, israfa ve savurganlığa neden olan problemlerin nedenlerinin tespit edilerek problemlerin ortadan kaldırılması,
- Katma değer yaratmayan işlemlerin ortadan kaldırılması,
- İşletme içinde kullanılan makine ve teçhizatın bakım onarım maliyetlerinin azalması ve teçhizatın daha uzun kullanılması,
- İşletmenin pazar payının ve kârlılığının artmasıdır.

1.1.3 Kalite İyileştirme ve Kalite İyileştirme Sürecinde Kullanılan Yöntemler

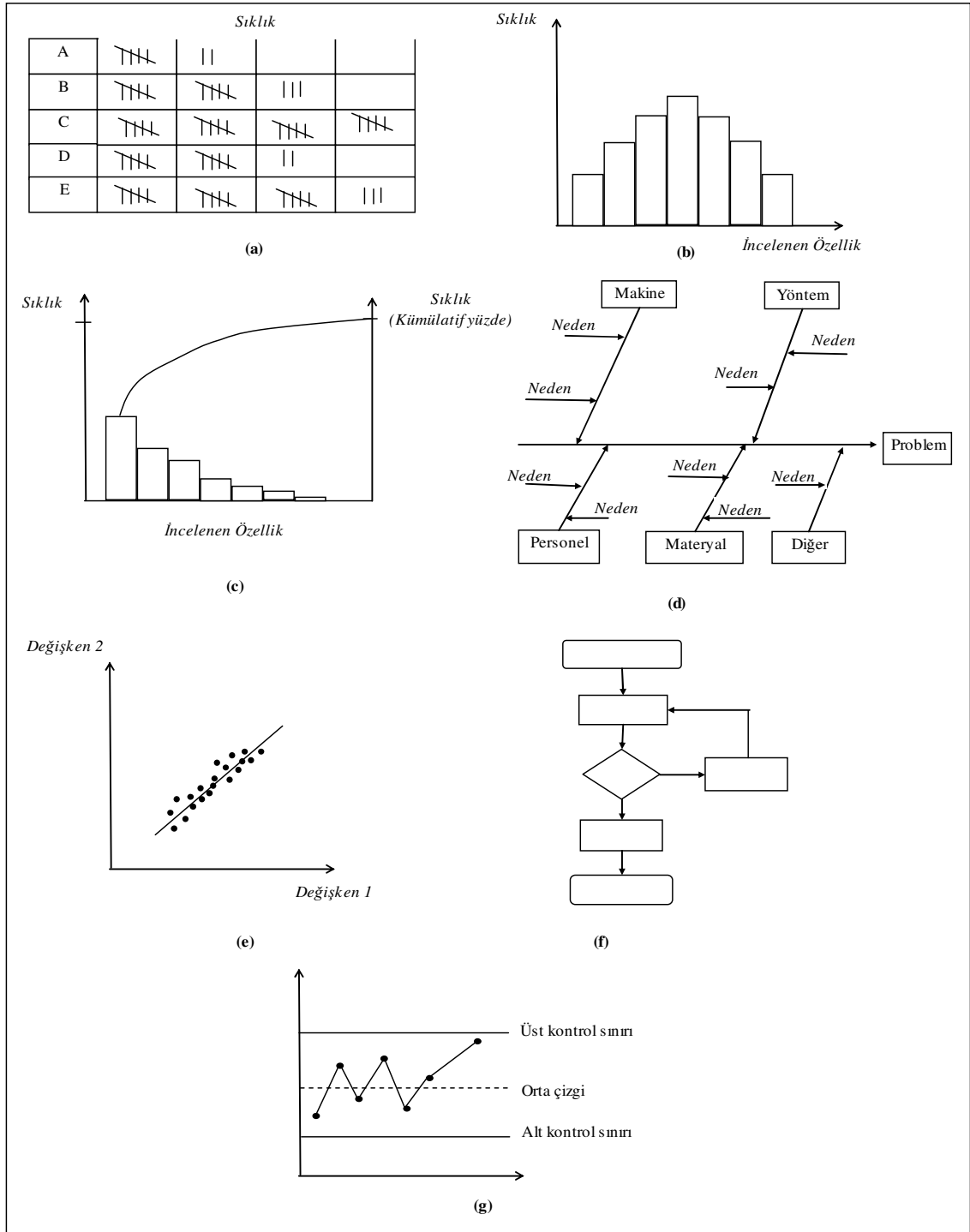
Günümüzde işletmeler, yoğun rekabet ortamında kalite iyileştirme programlarına veya süreçlerine yönelmek zorunda kalmıştır. Bu zorunluluk karşısında ürün, süreç veya hizmet kalitesinin ölçümüne veya değerlendirilmesine ilişkin birçok TKY ve sürekli iyileştirme temelli yöntem geliştirilmiştir. Burada bahsedilen iyileştirme, mevcut düzeyden daha üstün olan yeni bir düzeyin elde edilmesidir (Gözlü, 1990: 35). Rekabetçi ortamda başarılı olabilmek için bu kalite iyileştirme çalışmalarının, bir problemle karşılaşıldığında gerçekleştirilen kesikli iyileştirmelerden ibaret olmayıp, süreklilik göstermesi gerekmektedir (Sarıkaya ve Altunışık, 2004: 1). Ayrıca, ürün kalitesini geliştirmek için kalite karakteristiklerini tek tek ele alan kalite yöntemlerinin kullanılması, istenen kaliteyi sağlamada yeteri kadar başarılı olamamakta,

bu nedenle, iki veya daha çok kalite karakteristiğini birlikte değerlendirip analiz eden kalite yöntemleri kullanılmaktadır (Baynal ve Terzi, 2004: 1). Bu nedenle, günümüzde sürekli iyileştirmeye paralel olarak ürünün veya sürecin tasarım aşamasından başlayıp müşterinin eline ulaşıncaya kadar geçen süre içinde çoklu kalite iyileştirme yöntemleri kullanılmakta böylece, her birinin etkisi daha da güçlendirilmektedir.

Günümüzde kaliteye ilişkin problemleri çözmek amacıyla Ishikawa tarafından yedi temel araç adı altında toplanan (Özevren, 2000: 208) ve Ishikawa'nın yedi aracı olarak bilinen yöntemlere ek olarak, birçok yeni yöntem geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmıştır. Bu bölümde, bu yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir.

1.1.3.1 Ishikawa'nın Yedi Aracı

Japonya'da kalite çemberleri ve kalite yönetimi teknikleri konularında önemli çalışmalar yapan K. Ishikawa'ya göre işletmede karşılaşılan sorunların % 95'i basit yedi temel yöntem kullanılarak çözülebilmektedir (Yatkın, 2004: 17). Bu yöntemler; çetele tablosu, histogram, Pareto şeması, neden-sonuç diyagramı, dağılım diyagramı, akış şeması ve kontrol şemasıdır. Günümüzde Ishikawa'nın yedi aracı olarak bilinen bu yöntemler, Şekil 1.2'de görülmektedir. Kalite iyileştirmede kullanılan bu yöntemler aşağıdaki başlıklarda kısaca tanıtılmıştır.



Şekil 1.2: Kalite iyileştirmede kullanılan yedi temel araç

a) Çetele tablosu b) Histogram c) Pareto şeması d) Neden-sonuç diyagramı

e) Dağılım diyagramı f) Akış şeması g) Kontrol şeması

Kaynak: Montgomery, D. C. (1991) *Introduction to Statistical Quality Control (2. Basım)*, John

Wiley&Sons: New York, s. 2.

Çetele Tablosu: Çetele tablosu, istatistiksel kalite kontrolün başlangıç aşamasında kontrol altındaki sürece ilişkin geçmiş veya güncel verileri toplamada kullanılan bir veri toplama tablosudur (Montgomery, 1991: 118). Bir çetele tablosunun fonksiyonu; üretim süreci dağıtım çetelesi, uygunsuz veya hatalı ürün çetelesi, uygunsuzluğun yerine ilişkin çetele, uygunsuzluğun nedenine ilişkin çetele veya onay çetelesi olabilmektedir (Ross, 1999: 170).

Histogram: Histogram; genişlikleri, sınıf aralığını ve yükseklikleri, sınıf frekansını gösteren dikdörtgenler çizilerek oluşturulan bir istatistiksel grafikdir. Bu grafik ile sayıları incelemek ve anlamak, frekans tablolarında sayıları incelemekten daha kolay olmaktadır (Bowen ve Starr, 1994: 51). Uygulamalarda veri kümelerinin çoğu, çok sayıda gözlem içermektedir. Bu nedenle, gözlemlere ilişkin bilgi miktarını azaltmak için gözlemleri sınıflandırma yoluna gidilmekte ve histogramlar sayesinde gözlemler, görsel olarak verilebilmektedir (Newbold, 2001: 33).

Pareto Şeması: Pareto şeması, sınıflandırılmış verileri tanımlamak için kullanılan grafiksel bir araçtır. Aslında Pareto şeması, sınıflandırılan verinin sıklığına göre azalan bir şekilde çizilen ve aynı ölçek üzerinde kümülatif poligon ile birleştirilen yatay çubuk grafiğinin özel bir tipi olup, “hayati azınlığı”, “önemsiz çoğunluktan” ayırabilmek amacını taşımaktadır (Berenson ve Levine, 1999: 81, 82). 80/20 kuralı olarak bilinen Pareto şemasının, kalite kontrolde kullanımı ise, Juran tarafından yapılmıştır. Bu kurala göre kusurların, hataların veya uygunsuzlukların % 80’inin nedeni, bunlara ilişkin tüm nedenlerin % 20’sidir (Çetin vd., 2001: 421). Bu sayede tespit edilen hata tiplerinin ana nedenleri ortaya çıkarılarak, bu hataların ve nedenlerin ortadan kaldırılması için gerekli kararların verilmesi ve düzeltici tedbirlerin alınması sağlanmaktadır (Özcan, 2001: 153).

Neden-Sonuç Diyagramı: Neden-sonuç diyagramı; bir hata, uygunsuzluk, yanlış veya problem belirlendikten sonra bu istenmeyen durumların potansiyel nedenlerinin analiz edilmesinde kullanılan etkin bir araçtır (Montgomery, 1991: 121; Ross, 1999: 172). Ishikawa tarafından geliştirilen neden-sonuç diyagramı (balık kılıcı diyagramı, Ishikawa diyagramı), bir sonuç ile sonucu meydana getiren tüm nedenleri bir arada göstermek amacını taşımaktadır (Yücel, 2007: 10).

Dağılma Diyagramı: Dağılma diyagramı (serpme diyagramı), iki değişken arasındaki ilişkiyi görsel olarak göstermektedir (Newbold, 2000: 64). Dağılma

diyagramının şekli, iki değişken arasındaki ilişkinin şeklini vermektedir (Montgomery, 1991: 125). Kalite konusunda ise, dağılma diyagramları, üretilen ürünün kalitesine etki eden herhangi iki değişken (özellik) arasındaki ilişkinin varlığını araştırmaktadır (Çetin vd., 2001: 429).

Akış Şeması: Bir süreci ve bu süreçteki adımları kontrol altında tutabilmek için öncelikle süreci tam olarak tanımlamak gerekmektedir. Bir süreci tam olarak plânlamak, tanımlamak ve sürecin anlaşılmasını sağlamak için kullanılan akış şemaları, bir ürüne veya bir sürece ilişkin tüm faaliyetleri birbiri ardına ekleyerek gösteren şemalardır (Sarıkaya, 2003: 95). Akış şemalarının algoritmalarından temel farklılığı, süreçteki adımların kutular içine simgeleri ile yazılması ve bunlar arasındaki ilişkilerin, yönleriyle birlikte oklar ile gösterilmesidir (Halis, 2008: 179).

Kontrol Şeması: Kontrol şeması, bir süreçteki atanabilir nedenlerin varlığını açıklamada kullanılan bir yöntem olup süreçten alınan ürün örneklerinin örneklem istatistikleri ile oluşturulmakta (Wang ve Chen, 2002: 211; Chen, 2005: 349) ve bir sürecin gerçek zamanlı olarak izlenmesinde grafiksel bilgi vermektedir (Nahmias, 2005: 615).

Kontrol şemaları, değişkenler ve özellikler için kontrol şemaları olarak ikiye ayrılmakta ve bir ürüne ilişkin bir veya birden çok kalite karakteristiğini yansıtılmaktadır (Yu vd., 2003: 1299). Çeşidi ne olursa olsun kontrol şemaları genel olarak, orta çizgiden, alt ve üst kontrol sınırlarından oluşmaktadır. Eğer incelenen süreçte atanabilir nedenler bulunursa, örneklem istatistikleri, alt ve üst sınırın dışında yer almakta ve kontrol dışı sinyali vermektedir. Bu durumda yetkili kişi, atanabilir nedeni araştırmakta, süreci kontrol altına alan gerekli düzeltici tedbirleri uygulamaktadır (Wang ve Chen, 2002: 211; Chen, 2005: 349).

1.1.3.2 Kalite İyileştirmede Kullanılan Diğer Yöntemler

TKY'nin bir parçası olan sürekli iyileştirme kavramı gereğince işletmeler, ürünlerinde veya hizmetlerinde kaliteyi sürekli geliştirmek zorundadır. Kalitenin iyileştirilmesi, işletmeler için bir seferde yapılıp tamamlanan bir görev olmayıp; müşterilerin ihtiyaçlarına göre ürün tasarımına, bu tasarım gereklerinin üretim sürecindeki işlemlere uyumuna, süreç boyunca ürünün kontrolüne, ürünün müşteriye hasarsız bir şekilde ulaştırılmasına, ürünün müşterinin eline geçmesinden sonraki kullanım zamanına kadar devam etmektedir. Bu nedenle, Ishikawa'nın sadece üretim sürecini kontrol altında tutmaya yönelik yedi kalite aracının yanı sıra günümüzde işletmeler, problemlerle karşılaşmamak, karşılaşılabilecekleri problemleri tahmin etmek ve belirlemek, müşteri ihtiyaçlarına göre tasarımlar yapmak amacıyla kalite iyileştirmede çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Çizelge 1.2: Kalite iyileştirme için yöntemler

	Yöntemler	Uygulamalar
Beyin fırtınası yöntemleri	İlgi diyagramı	Belirli bir konu hakkında çok sayıda fikri, düşünceyi veya görüşü toplama ve bunları, gruplara ayırma yöntemidir.
	Nominal grup tekniği	Bir çeşit takım kararlaştırma yöntemidir.
	Kuvvet alanı analizi	Yapılması gereken değişikliklere yardım etmeyi veya engel olmayı amaçlayan kuvvetleri tanımlayan yöntemdir.
Şematik yöntemler	Akış şeması	Mevcut bir süreçten yeni bir süreç tasarlamak amacıyla kullanılan yöntemdir.
	İşlev gelişimi için süreç akış diyagramı	
	Ağaç diyagramı	Bir konu ve onun elemanları arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılan şemadır.
	Ok diyagramı	Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği olarak bir çizelgeleme, plânlama türüdür.
	Matris diyagramı	İki boyutlu bir dizi satır ve sütundan meydana gelen yöntemdir.
Hataya ilişkin yöntemler	Poke - Yoke	Hataların tekrarını ve kusurlu ürünün oluşmasını önlemeyi ve süreci, sürekli iyileştiren sistemleri kurmayı amaçlayan yöntemdir.
	Hata türü ve etkileri analizi	Riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik bir analiz yöntemidir.
Tasarıma ilişkin yöntemler	Altı sigma	Hatayı en aza indirmeyi amaçlamaktadır.
	Deney tasarımı ve Taguchi yöntemi	Ürünün performans farklılıklarını en aza indirerek hem üretim hem de hayat boyu maliyetini azaltmayı amaçlayan yöntemlerdir.
	Kalite fonksiyon göçerimi	Ürün ve hizmetlerin plânlanmasına ilişkin bir tasarım projesi veya metodolojisidir.
Diğer yöntemler	Toplam verimli bakım	Kalite kontrolün, süreç denetiminde kullanılan bir yöntemdir.
	Tam zamanında üretim	İşletmedeki zaman ve kaynak kayıplarını önlemeyi ve ortadan kaldırmayı amaçlayan bir yöntemdir.
	Kıyaslama	Bir sürecin, bir ürünün, tanınmış lider kuruluşların süreçleriyle veya ürünleriyle kıyaslanmasını esas alan bir yöntemdir.

Kaynak: Çetin, C., Akın, B. ve Erol, V. (2001) *Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi (ISO 9000-2000 Revizyonu) İlke, Süreç, Uygulama (2. Basım)*, Beta Basım: İstanbul, s. 480.

Günümüzde işletmelerce yaygın olarak kullanılan bu kalite yöntemleri, Çizelge 1.2'de görülmektedir. Kalite iyileştirmede kullanılan bu yöntemlerden bazıları aşağıdaki başlıklarda kısaca tanıtılmıştır.

İlgi Diyagramı: İlgi diyagramı (yakınlık, ilişkilendirme diyagramı), katılımcılardan oluşan bir grup tarafından ortaya atılmış düşünceleri toplayan ve bu düşünceleri, aralarındaki ilişkileri baz alarak gruplandırılan bir çeşit beyin fırtınası yöntemidir (Halis, 2008: 200). Bu yöntem yardımıyla herhangi bir olaya veya probleme

ilişkin karmaşık ilişkiler, daha belirgin hale getirilmekte ve problemler, daha etkin bir şekilde çözülebilmektedir.

İlgi diyagramını oluşturabilmek için öncelikle bir takım oluşturulur, daha sonra üzerinde çalışılacak konu veya problem belirlenir, katılımcılardan probleme veya konuya ilişkin sözlü bilgiler toplanır, bu sözlü bilgiler hazırlanan veri kartlarına aktarılır, veri kartlarındaki bilgilere göre kartlar gruplara ayrılır, her grup için başlıklar ve gerekiyorsa alt başlıklar oluşturulur, bu başlıklar temel alınarak ilgi diyagramı tamamlanır (Özevren, 2000: 120; Halis, 2008: 201).

Nominal Grup Tekniği: Nominal grup tekniği, oylama sistemini kullanarak problemleri önemlerine göre önceliklendirilmesini sağlayan ve bir probleme ilişkin çözüm önerilerinin önem derecesini belirleyen bir çeşit beyin fırtınasıdır (Halis, 2008: 211). Yöntem, genel olarak şu beş aşamayı kapsamaktadır (Ruyter, 1996: 45):

- Grup yöneticisinin, tartışılacak konuyu, problemi tanıtmayı ve katılımcılardan probleme ilişkin düşüncelerini yazılı bir şekilde istemesi,
- Grup yöneticisinin, katılımcılara düşüncelerini sorması ve bu düşünceleri, sözlü iletişim olmadan tüm katılımcıların görebileceği şekilde yazması,
- Bir önceki aşamadaki tüm düşüncelerin, yeniden gözden geçirilmesi, tartışılarak tekrar eden düşüncelerin kaldırılması, düşünce kümesindeki her elemana bir kod atanması,
- Katılımcıların en önemli gördükleri beş düşünceyi seçmesi, bu düşünceleri derecelendirmek için puan ataması yapması, her düşüncenin görece önemlerinin veya önceliklerinin oylama sistemi ile belirlenmesi,
- Sonuçların toplanması, belirlenen her parça için toplam puanların belirlenmesi ve katılımcıların, önceki değerlendirmelerine dayanarak bireysel skorlarını değiştirmek istemesi durumunda ikinci tura geçilmesi.

Nominal grup tekniğinin diğer yöntemlere göre bazı avantajları bulunmaktadır. Nominal grup tekniği, eleştirilme endişesi veya tartışma korkusu gibi grup etkileşiminden kaynaklanan problemleri ve katılımcılar arasındaki farklılığı olabildiğince ortadan kaldırmakta ve tüm katılımcılara, eşit katılım hakkı vermekte böylece, grup içindeki muhalefeti azaltmaktadır (Brahm ve Kleiner, 1996: 35).

Kuvvet Alanı Analizi: Kuvvet alanı analizi, K. Lewin (1951) tarafından ortaya atılmıştır. Kuvvet, bir organizasyonu etkileyen ve bu etki ile organizasyonun durumunu değiştiren faktördür (Schwering, 2003: 361). Bir organizasyondaki herhangi bir değişiklik, mevcut durumu korumaya çalışan kuvvetler ile değişikliği destekleyen kuvvetler arasında bir mücadeleyi ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, organizasyondaki değişikliğe ilişkin ortaya çıkan farklı kuvvetlerin etkilerini tanımlamak ve değerlendirmek gerekmektedir. Bu anlamda, kuvvet alanı analizi, herhangi bir değişikliği tanıtmadan önce kuvvetleri tanımlamak, mevcut durumu savunan hangi kuvvetlerin en az çabayla en aza indirilmesini ve hangi itici faktörlerin daha da kuvvetlendirilmesini anlamak için kullanılan yöntemdir (Salaheldin, 2003: 268). Bu analizin sonuçları, herhangi bir değişikliği uygulamadan önce yöneticilere, değişiklik ile ilgili işletme içindeki atmosfere veya tutuma ilişkin önemli bilgiler vermektedir.

Ağaç Diyagramı: Ağaç diyagramı, bir amaca varmak veya bir problemi çözmek için gerekli tüm yolları ve faaliyetleri şematik olarak göstermektedir (Özevren, 2000: 125). Bir ağaç diyagramında, analiz için problem merkezli (parçalar arasındaki ilişkilere dayanan düşünceler, doğrusal olarak düzenlenir) ve amaç merkezli (bir baştan diğer başa ayrıntılı olarak hedeften en küçük faaliyet detayına kadar tüm faaliyetler, doğrusal olarak düzenlenir) olmak üzere iki diyagram kullanılabilir (Ahmad vd., 2006: 394).

Ok Diyagramı: Ok diyagramı, bir projedeki veya bir süreçteki işlerin sırasını, projenin en iyi plânını, kaynak kısıtlarını ve bunların çözümlerini gösteren iş akış plânlarıdır. Yöntem, genellikle Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Project Evaluation and Review Technique, PERT)'nde ve Kritik Yol Metodu (Critical Path Method, CPM)'nda kullanılmakta olup (Halis, 2000: 147), işletmelerde genellikle, yeni ürün geliştirme ve yapılandırma projeleri gibi konularda uygulanmakta (Özevren, 2001: 139) ve bu projelerde yapılacak işlerin sırasıyla ve eksiksiz görülmesini sağlayarak potansiyel iyileştirmelerin farkına varılmasına, yapılan iyileştirmelerin etkinliğinin belirlenmesine, ortaya çıkabilecek problemlerin önceden tahmin edilip önlenmesine yardımcı olmaktadır (Çetin vd., 2001: 497).

Matris Diyagramı: Matris diyagramları, bir problem veya olay üzerinde etkili değişkenlerin belirlenmesini ve bu değişkenler arasındaki ilişkilerin analizini sağlayan bir yöntemdir (Halis, 2000: 146). Matris diyagramlarının asıl amacı, bir faaliyet için belirlenen fonksiyonların veya özelliklerin birbirleriyle olan ilişkilerini belirlemek ve bu ilişkilerin birbirlerine göre oranlarını bulmaktır (Çetin vd., 2001: 500). Kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan kalite fonksiyon göçerimi, matris diyagramları ile çalışmaktadır.

Tam Zamanında Üretim: Tam zamanında üretim, gerekli parçaları gereken zamanda ve gereken miktarda üretirken düşük maliyet, yüksek kalite, üretim esnekliği gibi amaçları dikkate alan (Gunasekaran ve Lyu, 1997: 407) ve ürüne değer katmayan tüm faaliyetleri israf olarak kabul eden bir sistemdir (Acar vd., 2006: 23). Tam zamanında üretim; toplam kalite kontrolü, talep çekmeli sistem, kanban sistemi, üretim süreçlerinin esnekliği, verimsizliklerin yok edilmesi, toplam verimli bakım ve sürekli iyileştirme kavramları üzerine kurulmuş olup (Savaş, 2003: 204), “sıfır” kavramı üzerinde durmakta; başka bir deyişle, sıfır hata, sıfır kuyruk, sıfır stok, sıfır israf, sıfır duraklama vb. amaçları gerçekleştirmeyi hedeflemektedir (Kumar ve Panneerselvam, 2007: 393).

Bir stok kontrol yöntemi olmayan tam zamanında üretimin sağlayacağı faydaları şu şekilde sıralamak mümkündür (Ross, 1999: 197; Acar vd., 2006: 22):

- Hataları kaynağında kontrol ederek israfı, yeniden işlemeyi veya hurdayı azaltır.
- Belirlenen programın ertelenmesi veya üretimin duraklaması azalır böylece, üretim süreci, sürekli hale gelir.
- Makinelerin ve binaların, daha etkin bir şekilde kullanımını sağlar.
- Her birim çıktı için bina ve depo alanında kapladığı yeri azaltır, işyeri düzeni daha etkin bir şekilde yapılır.
- İstenilen ürünün istenilen miktarda üretimi nedeniyle teslimat süresi kısalmır.
- Tedarikçilerle daha iyi ilişkiler geliştirilir, aynı zamanda pazarlama, satın alma, tasarım ve üretim gibi fonksiyonlar arasında daha iyi iletişim sağlanır.
- İsrafa yol açan faaliyetleri ortadan kaldırarak dolaylı ve dolaysız işgücünü azaltır.

- Üretim süreçlerinde kısa bir hazırlık zamanı ile bir ürünün üretiminden diğerine hızlı bir şekilde geçilebilir. Böylece, değişen istekler için üretimin esnekliği arttırılır.

Kıyaslama: Kıyaslama; organizasyonun kendi içindeki veya diğer organizasyonlardaki en iyi uygulamaları araştırması, lider işletmeleri incelemesi ve bunları, kendi yapısına uyarlaması süreci olup kısaca, “en iyi uygulamaların adaptasyonu” olmaktadır (Erdem, 2006: 68; Saraç, 2005: 54). Kalite literatüründe kıyaslama çeşitlerine ilişkin tam bir grupta olmamakla birlikte kıyaslama; *ürün kıyaslaması* (ürünü iyileştirmek), *fonksiyonel veya süreç kıyaslaması* (süreci iyileştirmek), *en iyi uygulamaların kıyaslanması* (çalışma ortamı, çalışanlar için ücret teşvikleri gibi faktörleri dikkate alan yönetim uygulamalarını iyileştirmek) ve *stratejik kıyaslama* (işletmenin bütünü ve stratejilerini iyileştirmek) olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Nahmias, 2005: 666; Doğan ve Demiral, 2008: 8, 9).

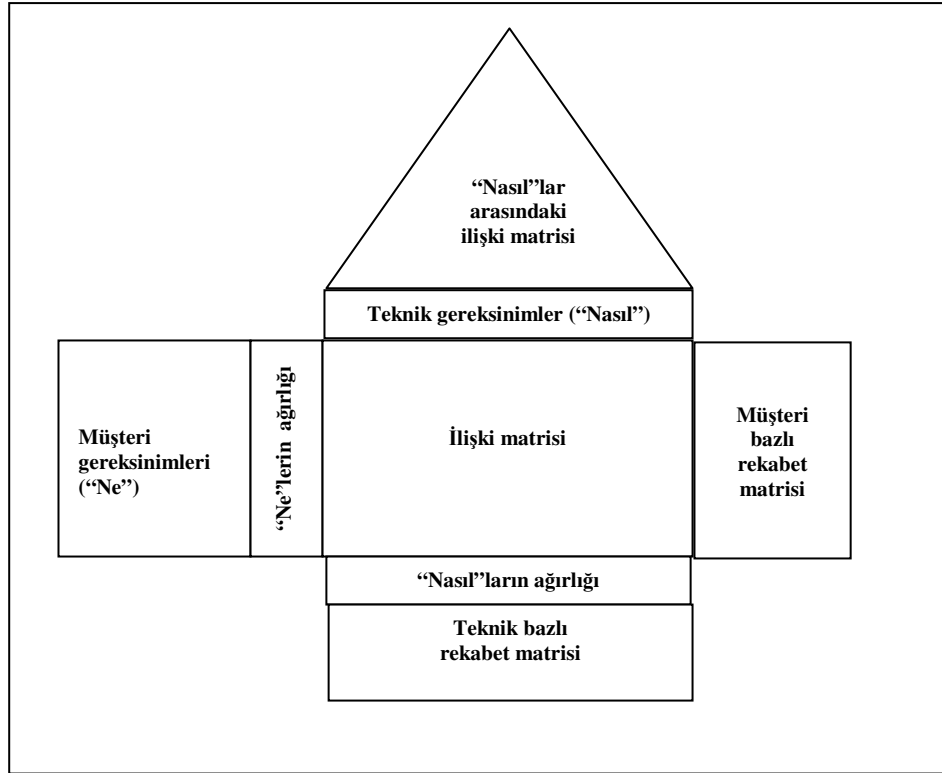
Hem üretim hem de hizmet işletmelerinde uygulanabilen kıyaslama; *plânlama* (kıyaslamaya konu olan ürüne, hizmete veya sürece, kıyaslama için kullanılacak işletmeye, analiz için gerekli ölçümlere karar verilmesi), *analiz etme* (işletmenin mevcut performansı ile kıyaslama yapılan işletmenin performansları arasındaki farkın belirlenmesi, bu farklılığın nedenlerinin tanımlanması), *integrasyon* (hedeflerin yeniden belirlenmesi ve bu hedefleri gerçekleştirmek için kaynakları sağlayacak yöneticilerin desteğinin sağlanması), *uygulama yapma* (farklı bölümlerin üyelerinden oluşan bir takımın kurulması, plânların uygulanması, gelişmelerin izlenmesi) olmak üzere dört temel adımı içermektedir (Krajewski ve Ritzman, 1998: 223).

Taguchi Yöntemi: G. Taguchi’ye göre, bir üründe veya süreçte değişkenliğe neden olan kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler bulunmaktadır (Ross, 1999: 215). Taguchi yöntemi, bu kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun birleşimlerini seçerek başka bir deyişle, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini, kontrol edilebilen faktörlerle azaltarak, ürün ve süreçteki değişkenliği en aza indirmeyi amaçlayan bir deneysel tasarım yöntemidir (Canıyılmaz ve Kutay, 2003: 52). Yöntem, bir ürünün kalitesinin, ürünün tasarım aşamasında oluşturduğu düşüncesine dayanmakta ve ürünün kalitesini oluşturan ürün

özelliklerinin, tasarım aşamasında dikkate alınması gerektiğini ancak bu şekilde üründen beklenen performansın alınabileceğini savunmakta (Hamzaçebi ve Kutay, 2003: 7, 8) ve güçlü ürünün veya güçlü sürecin başarılmasını önermektedir. Burada “güçlü” ile anlatılmak istenen, ürünün veya sürecin, tutarlı bir şekilde belirlenen hedefi gerçekleştirme ve kontrol edilemeyen değişkenlerden etkilenmemesidir (Montgomery, 1991: 532).

Yöntem sayesinde değişkenliğin azaltılmasıyla kalite iyileştirilebilecek, kalitenin iyileştirilmesiyle maliyetler düşürülebilecek, işletmenin kendi içinde memnuniyeti sağlanacak, daha da önemlisi güçlü tasarımlarla müşteri memnuniyeti gerçekleştirilebilecektir.

Kalite Fonksiyon Göçerimi: Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG), Japonya’da Akao (1966) tarafından ortaya atılmış olan bir kavram olup ürünlerin ve hizmetlerin müşteri gereksinimlerine göre tasarlanması gerektiği düşüncesine dayanmaktadır (Hauser ve Clausing, 1988: 63). KFG, yeni bir ürün/hizmet tasarımında, mevcut bir ürünün iyileştirilmesinde, yatırım plânlamasında, süreç yönetiminde kullanılabilir (Güllü ve Ulçay, 2002: 73). KFG’de; farklı özellikler gösteren, değişik alanlarda yapılan uygulamalar için çok sayıda model bulunmaktadır. Bu modellerde, uygulamanın özelliğine göre KFG modellerinden birisi temel alınıp bu modelde sunulan matrisler yeniden tanımlanarak, matrislerden bazıları atılarak veya yeni matrisler eklenerek değişiklikler yapılabilir (Akbaba, 2005: 41). Bu bölümde, literatürde yaygın olarak kullanılan dört aşamalı KFG modeli tanıtılmıştır.



Şekil 1.3: Kalite evi

Kaynak: Hauser, J. R. ve Clausing, D. (1988) "The House of Quality", *Harvard Business Review*, c. 66, s. 68.

Başarılı bir KFG uygulaması, birbirleri ile bağlantılı tasarım, parça, süreç ve üretim olmak üzere dört aşamayı kapsamaktadır. Bu anlamda KFG'nin temeli, Şekil 1.3'te görülen ve "kalite evi" adı verilen matrise dayanmaktadır. Kalite evinde "ne yapılacak" (müşteri gereksinimleri), "nasıl yapılacak" (teknik gereksinimler, ürün özellikleri), müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler ve teknik gereksinimlerin kendi arasındaki ilişkileri, matristeki hücelere karşılık gelecek şekilde tanımlanmaktadır (Karsak ve Özoğul, 2009: 662). Bu anlamda matris şeklinde olan kalite evinin satırlarında, müşteri gereksinimleri; sütunlarında, teknik gereksinimler; matris gövdesindeki hücelerde, bunlar arasındaki ilişkiler; matrisin çatısında, teknik gereksinimlerin korelasyonları (bağımlılıkları); müşteri ve teknik bazlı rekabet değerlendirmeleri yer almaktadır (Park ve Kim, 1998: 570). Buna göre KFG'nin temeli olan kalite evinin hazırlanması, genel olarak sekiz adımlı bir süreci gerektirmektedir.

Müşteri (tüketici) gereksinimlerinin (ihtiyaçları, beklentileri, istekleri) belirlenmesi: Müşteri gereksinimleri, müşterinin ürün ile ilgili istekleridir. Sonraki aşamalarda tüm analizler, bu istekler üzerinde yapılacağı için bu isteklerin, müşteriler tarafından ifade edilmesi oldukça önemlidir (Güllü ve Ulcay, 2002: 74). Bu nedenle, KFG çalışmalarının ilk adımı, müşteri gereksinimlerinin belirlenmesidir. KFG takımı, müşteri gereksinimlerini beyin fırtınası, anket çalışmaları (Shen vd., 2001: 68), müşteriler ile yapılan yüz yüze görüşmeler veya diğer teknikler yardımıyla belirlemektedir. Müşteri gereksinimleri, kalite evinin satırlarına yerleştirilmektedir (Bottani ve Rizzi, 2006: 587).

Müşteri gereksinimlerinin başlangıç ağırlıklıklarının (önceliklerinin) bulunması: Müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılması, müşteri gereksinimlerinin her birine önem derecesi (ağırlık) atamak anlamındadır. Önem derecelerinin belirlenmesi, müşteri gereksinimleri ile ilgili sayısal değerlendirmelere olanak tanımaktadır. Bu sayısal değerlendirmeler, her müşteri gereksiniminin müşteri memnuniyetini sağlamada katkısını göstermektedir (Park ve Kim, 1998: 573). Önem dereceleri yardımıyla söz konusu gereksinim, “müşteri için ne derece önemlidir?” sorusuna cevap bulunmaktadır. Diğerlerine göre daha önemli olan bir müşteri gereksiniminin, diğer gereksinimlerden daha yüksek önem derecesi alması gerekmektedir. Bu nedenle, müşteri gereksinimlerinin görece önem dereceleri, KFG’nin anahtar girdilerinden biridir (Chen vd., 2006: 1555). KFG’de müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılmasında 5’li, 7’li veya 9’lu ölçek kullanılabilir. Müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılmasında 5’li, 7’li veya 9’lu ölçek kullanılabilir.

Müşteri bazlı rekabet analizinin yapılması: Bu aşamada, işletmenin ürününün veya hizmetinin durumu ile rakip ürünlerin durumunun araştırılması, müşteri isteklerinin karşılanması halinde bunun, ürünün satılabilirliğini nasıl etkilediği ve ürün üzerinde ne kadarlık bir geliştirmeye ihtiyaç olduğu tespit edilmektedir (Güllü ve Ulcay, 2002: 75). Yapılan bu değerlendirmeler, matris şeklinde kalite evinin sağında yer almakta ve çoğu kaynakta plânlama matrisi olarak adlandırılmaktadır (Doğu ve Özgürel, 2008: 35). Müşteri bazlı rekabet matrisindeki ölçümler için şu kavramlar kullanılmaktadır:

İşletme Bugün: Matrisin “işletme bugün” sütununda, bulunulan zaman içinde müşteriler tarafından işletmenin nasıl görüldüğü belirlenmektedir. Değerlendirme yapılırken 5’li, 9’lu veya 10’lu ölçek kullanılabilir (Ay, 2003: 85).

Rakip İşletme: Matrisin “rakip işletme” sütununda, işletme bugün sütununda yapılan değerlendirme, işletmenin rakiplerinin ürünleri için yapılmaktadır. Burada, tüm rakip işletmelere yer vermek imkânsız olabilmekte, bu durumda matriste işletmenin en büyük rakipleri dikkate alınmaktadır (Ay, 2003: 85).

İşletme Hedef: Bu sütunda, işletmenin bugünü ile rakipleri arasında yapılan kıyaslama sonucunda işletmenin kendisini nasıl görmek istediği, yani firmanın gelecek hedefi gösterilmektedir.

İlerleme Oranı: Bu sütunda, her bir fonksiyonun veya müşteri gereksiniminin ilerleme oranları, fonksiyon veya müşteri gereksinimi için işletme hedefinin işletmenin bugünkü durumuna bölünmesiyle bulunmaktadır (Yalçın, 2005: 139).

$$(\dot{O})_i = \frac{G_i}{U_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.1)$$

Burada G_i , i. müşteri gereksiniminin işletme tarafından belirlenen hedefini gösterirken; U_i , i. müşteri gereksinimi için işletmenin bugünkü durumunu göstermektedir. Bu oran, üzerinde durulması ve geliştirilmesi gereken müşteri gereksinimlerinin tartılı bir ağırlığını vermektedir.

Satış Noktası: Ürünün satışını etkileyecek müşteri gereksinimlerinin belirlenmesini sağlar. Satış noktası için 1,5 – 1,2 ve 1 olmak üzere üç değer kullanılır. Burada “1,5”, ilgili müşteri gereksiniminin satışlarda güçlü derecede ilerleme sağlayacağı; “1,2” , satışlarda orta derecede ilerleme sağlayacağı ve “1” ise, satışlarda hiçbir etki/avantaj yaratmayacağı anlamındadır (Öter ve Tütüncü, 2001: 107).

Müşteri gereksinimlerinin nihaî ağırlığı; müşteri gereksinimleri için hesaplanan başlangıç ağırlığı, ilerleme oranı ve satış noktası puanlarının çarpımından elde edilmektedir (Chan ve Wu, 2005: 121):

$$k_i = w_i \times (\dot{O})_i \times S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.2)$$

Burada k_i , i. müşteri gereksiniminin nihaî ağırlığını; w_i , i. müşteri gereksinimi için hesaplanan başlangıç ağırlığı; $(\dot{O})_i$, i. müşteri gereksiniminin ilerleme oranını; S_i ise, i. müşteri gereksiniminin satış noktası puanını göstermektedir.

Teknik gereksinimlerin belirlenmesi: Teknik gereksinimler, müşteri gereksinimlerinin nasıl gerçekleştirileceğine veya başarılacağına ilişkin temel tasarım özellikleri olup işletmenin ürününe veya hizmetine ilişkin ölçülebilir özellikleridir (Bottani ve Rizzi, 2006: 587).

Teknik gereksinimlerin kendi arasında korelasyonlarının kurulması: Bu aşamada bir teknik gereksinimin, diğerini nasıl etkilediği araştırılmaktadır. Pozitif ilişki, bir teknik gereksinimin diğerini tamamladığını veya pozitif etkilediğini göstermektedir (Bottani ve Rizzi, 2006: 588). Teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonu, kalite evinin çatısında gösterilmektedir.

Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında ilişkilerin kurulması: Bu aşamada, müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında ilişki kurulmaktadır. Bu ilişki, müşteri gereksinimlerinin karşılanmasında, teknik gereksinimlerin nasıl bir etkiye sahip olduğunu veya katkısını göstermektedir (Park ve Kim, 1998: 573). Bu ilişkiler, genel olarak zayıf, orta ve güçlü olmak üzere üç sözel terim ile belirtilirken bunlara karşılık gelen klâsik ölçek, 1-3-9, 1-3-5, 1-5-9, 1-2-4 veya 1-6-9 olabilmektedir (Bottani ve Rizzi, 2006: 588). İlişki matrisindeki her eleman, her teknik gereksinimin müşteri gereksinimlerini ne kadar etkilediğini göstermekte olup (Shen vd., 2001: 69), teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılmasında güçlü ve doğrudan bir etkiye sahiptir (Park ve Kim, 1998: 570). İlişki matrisinde boş bir hücre, ilgili teknik gereksinimin müşteri gereksinimi üzerinde etkisi olmadığını göstermektedir (Chen vd., 2006: 1555).

Teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılması (önceliklendirilmesi): Teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılması, teknik gereksinimlerin her birine önem derecesi (ağırlık) atamak anlamındadır. Teknik gereksinimlerin önem derecesi, karar vermede, kaynakların dağıtımında ve KFG'nin diğer aşamalarında kullanılmaktadır (Shen vd., 2001: 69).

KFG'de teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılmasında şu formül kullanılmaktadır:

$$AW_j = \sum_{i=1}^m k_i R_{ij} \quad (1.3)$$

Burada

AW_j , j. teknik gereksinimin mutlak (teknik) önem derecesini ($j = 1, 2, \dots, n$),

k_i , i. müşteri gereksiniminin ağırlığını ($i = 1, 2, \dots, m$),

R_{ij} , i. müşteri gereksinimi ile j. teknik gereksinim arasındaki ilişki derecesini göstermektedir.

Hesaplanan AW_j derecesi, Eşitlik (1.4) ile normalize edilerek görece önem derecesi (RW_j) hesaplanmaktadır:

$$RW_j = \frac{AW_j}{\sum_{j=1}^n AW_j} \quad (1.4)$$

Burada daha yüksek RW_j değerine sahip teknik gereksinim, daha yüksek öneme sahip teknik gereksinim anlamına gelmektedir (Park ve Kim, 1998: 571).

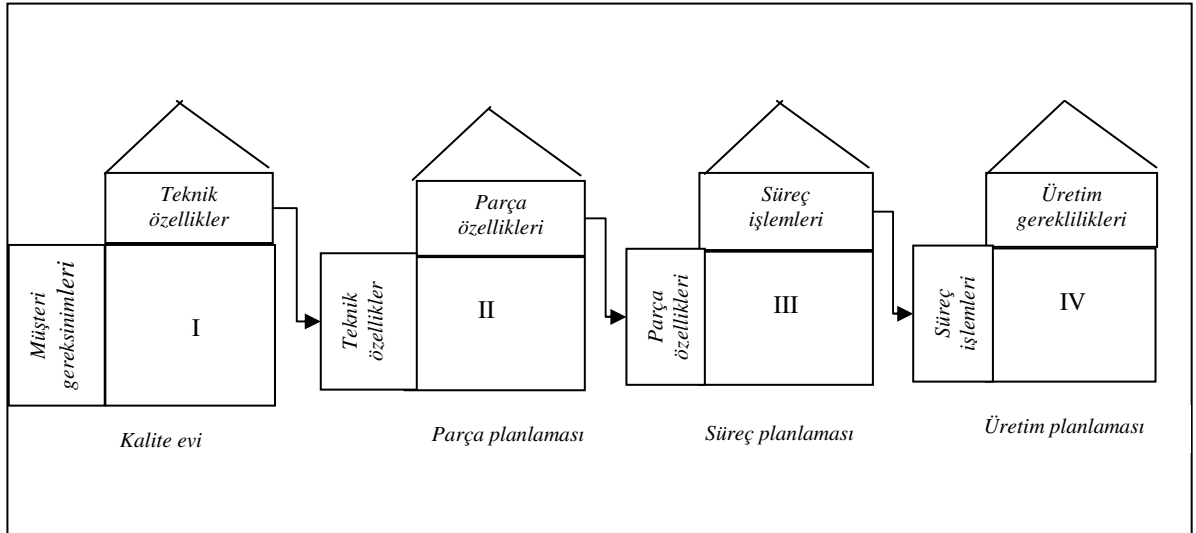
Teknik bazlı rekabet analizinin yapılması: Teknik gereksinimlerin piyasadaki farklı ürünler üzerindeki etkilerinin gözlenmesi için oluşturulan ve kalite evinin giriş katında bulunan matristir. Müşteri bazlı rekabet değerlendirmesinde olduğu gibi, matrisin bu kısmında, teknik gereksinimlerin rakiplerle kıyaslanması, kendi aralarında önceliklendirilmeleri ve hedef belirlemede veri sağlamak söz konusudur. Müşteri bazlı rekabet matrisindeki ölçümler için şu kavramlar kullanılmaktadır:

Ölçü birimi: Her bir teknik gereksinimin sübjektif olarak ifade edilmesinde kullanılan global ölçü birimidir.

İşletme bugün: Bu satırda, söz konusu teknik gereksinimde işletmenin ürününün ölçüm birimi cinsinden ne durumda olduğu gösterilmektedir.

Rakipler: Bu satırda, her bir teknik gereksinim bazında işletmenin rakiplerinin durumu gösterilmektedir.

İşletme hedef: Bu satırda, işletmenin rakipleri ile teknik kıyaslamaları sonucunda her bir teknik gereksinimde kendine hedef olarak koyduğu değerler bulunmaktadır (Ay, 2003: 86-88).



Şekil 1.4: Dört aşamalı KFG uygulaması

Kaynak: Hauser, J. R. ve Clausing, D. (1988) "The House of Quality", *Harvard Business Review*, c. 66, s. 73.

Daha önce de belirtildiği gibi KFG, ürünün (tasarımın), parçaların, üretim sürecinin ve üretimin plânlanması olmak üzere dört aşamayı kapsamaktadır. Bu uygulama, matris dönüşümleri ile sağlanmaktadır. Şekil 1.4'ten de görüldüğü gibi, KFG'nin her aşaması birbirine benzeyen yapıda olup aynı analiz sürecini gerektirmektedir. Her aşamada, ne'ler ile nasıl'lar bulunmakta ve her aşama, matristeki bilgilere dayanarak ne'ler ile nasıl'lar arasındaki öncelik analizine dayanmakta olup (Zhai vd., 2008: 613, 614), tasarımdan üretime kadar üretim sürecinin farklı aşamalarını plânlamakta kullanılmaktadır. Bu aşamalar kısaca şöyledir:

Ürünün plânlanması : Bu matrisin girdileri, müşteri gereksinimleri iken çıktıları ise, ürünün teknik gereksinimleridir. Teknik gereksinimler için hesaplanan önem dereceleri, bir sonraki matrisin girdileridir.

Parçaların plânlanması: Bu matrisin girdileri, teknik gereksinimler olurken, çıktıları ise, ürünün parçalarıdır (Korayem ve Iravani, 2008: 474-477). Ürün parçaları için hesaplanan önem dereceleri, hangi parça özelliklerinin ve hangi parçaların müşteri doyumunu sağlamada daha önemli olduğu konusunda yol göstermekte olup (Akbaba, 2005: 45), bir sonraki matrisin girdileridir.

Sürecin plânlanması: Bu matrisin girdileri, ürünün parçaları olurken, çıktıları ise, ürünün istenen kalitede üretilmesi için gerekli olan üretim sürecinin aşamaları

olmaktadır (Korayem ve Iravani, 2008: 477). Bu aşamada, ikinci aşamada belirlenen ürün parçalarını oluşturacak üretim süreci belirlenmekte (Chan ve Wu, 2005: 119) ve üretim süreçlerine ilişkin hesaplanan önem dereceleri, bir sonraki matrisin girdileri olmaktadır.

Üretimin plânlanması: Bu matris, tasarım veya üretim süreci esnasındaki kontrol faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu kontrollerin amacı, üretim sürecinin en iyi şekilde yapılıp yapılmadığını kontrol etmektir (Korayem ve Iravani, 2008: 478). Bu aşamada, kalite kontrol, operatör eğitimi, bakım-onarım faaliyetleri gibi anahtar süreç faaliyetleri belirlenmektedir (Hauser ve Clausing, 1988: 73). Bu anlamda son matrisin amacı, önemli gereksinimlerin sürekli olarak karşılanabilmesini sağlamak için önem taşıyan üretim kontrol, bakım gereklilikleri ve gerekli eğitimin belirlenmesi ve bu şekilde tutarlı bir ürünün üretilmesidir (Akbaba, 2005: 45).

Altı Sigma: Altı sigma, kalitesizliği azaltmak, israfı yok etmek, üretim faaliyetlerinin performansını geliştirmek, müşteri memnuniyetini sağlamak (Öztürk vd., 2009: 4,5) gibi amaçları dikkate alan ve sıfır hata ile bir ürünün ilgili işletme tarafından üretilme olasılığını ölçen bir yöntemdir. Bu anlamda, altı sigma ile müşteri gereksinimlerini tam olarak anlayan, işletmenin kritik başarı faktörlerini ortaya çıkaran ve sürdüren, istatistiksel analizleri kullanarak süreçlerdeki değişimi sürekli ölçerek azaltan, süreçleri etkin bir şekilde yöneten ve sürekli iyileştiren, bu şekilde her ürünlerdeki, hizmetteki ve süreçteki hataları veya kusurları ortadan kaldıran bir sistemin oluşturulması hedeflenmektedir (Durakbaşa vd., 2008: 1; Antony ve Banuelas, 2002: 21).

Altı sigma, ilk kez 1980'lerde Motorola tarafından uygulanmış ve daha sonra, tüm işletmelere yayılmıştır (Behara vd., 1995: 9). Bu yöntemde, süreç performansını ölçen "sigma" (Durakbaşa vd., 2008: 1), süreç ortalamasındaki değişkenliği gösteren istatistiksel bir terim olup (Antony ve Banuelas, 2002: 21), bir sürecin mükemmelliğe ne kadar yaklaştığını ifade etmektedir. Bir sürecin standart sapma sayısı ne kadar düşükse, sigma seviyesi o kadar yüksektir (Aksoy ve Dinçmen, 2008: 99). Başka bir deyişle, sigma sayısının altıya doğru artması, hataların azalması anlamına gelmektedir (Çalışkan, 2006: 65).

Altı sigma yönteminde kullanılan geliştirme modeli, *tanımlama* (iyileştirmeye ihtiyaç duyulan ürünün veya sürecin, iyileştirme programına alınacak grup üyelerinin, süreçteki müşterilerin, müşterilerin ihtiyaçlarının ve beklentilerinin tanımlanması ve iyileştirilecek süreç veya ürün için plânların çıkarılması), *ölçme* (süreci etkileyen kritik faktörlerin belirlenmesi ve bunların nasıl ölçüleceğine karar verilmesi), *analiz etme* (iyileştirilecek faktörlerin analiz edilmesi), *iyileştirme* (en uygun çözümün tasarlanması ve uygulanması) ve *kontrol etme* (iyileştirmenin başarılı olup olmadığının belirlenmesi ve iyileştirmenin sürdürülebilirliğinin sağlanması) olmak üzere beş ana bölümden oluşmaktadır (Çalışkan, 2006: 66; Andersson vd., 2006: 287).

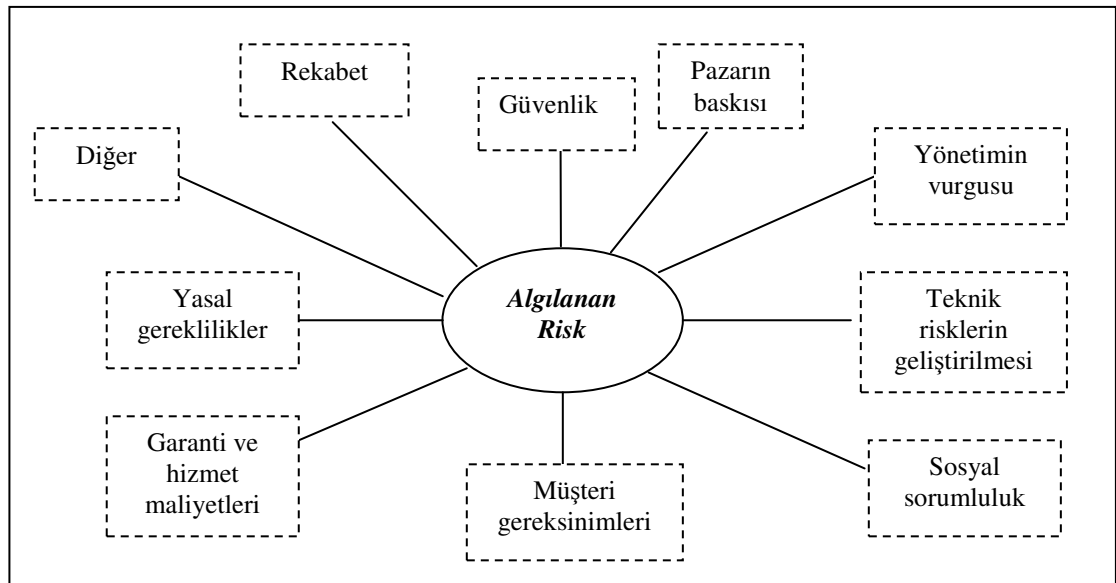
Poka-Yoke: Hata önleyici anlamına gelen Poka-Yoke, Shingo (1961) tarafından geliştirilmiş olup kusurlu ürüne yol açan atanabilir nedenleri bulup önlemek veya her ürünün kontrolünü düşük bir maliyetle yapmak için süreçteki ekipmanları, etkin bir şekilde kullanmaya yönelik bir yöntemdir (Tsou ve Chen, 2008: 1057). Shingo bu yöntemde, bir hata ile yanlışlık arasındaki fark olduğunu belirterek, çalışanların yoğun bir dikkatle sürekli çalışmasının veya işleri ile ilgili tüm sorumluluklarının tam olarak anlaşılmasının güç olması nedeniyle yanlışların, önlenemeyeceğini düşünmektedir. Shingo'ya göre önlenebilir olan, yanlışlıklardan kaynaklanan hataların, müşteriye ulaşmamasıdır (Fisher, 1999: 264). Bu anlamda Poka-Yoke'nin altında yatan temel düşünce, çalışanların dikkatsizliklerini azaltmak, hata bulunur bulunmaz süreci durdurarak, hatanın nedenini bulmak, bu nedene etki eden faktörleri belirlemek ve hatanın yeniden oluşmasını önlemektir (Bendell vd., 1995: 48).

Poka Yoke'ye göre tasarlanan üretim araçları, hata oranının sıfır olması temelli olup, hata nedenlerinin yeniden ortaya çıkarak hatalı ürünün tekrarlanma riskini oldukça düşürmektedir (Tsou ve Chen, 2008: 1057). Pahalı olmayan ve oldukça basit olan bu tasarımlar, hatayı ortadan kaldırmak için ekipmana eklenmektedir. Etkin Poka-Yoke tasarımları sayesinde kontrole ayrılan süre ve maliyet giderek azalmaktadır (Anderson, 2002: 3). Poka-Yoke her ne kadar üretim sistemleri için tasarlansa da, Poka-Yoke'nin üretim sistemleri dışında diğer sistemlerde de başarılı uygulamaları bulunmaktadır.

1.2 HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Yoğun rekabet ortamında, işletme içinde işleyen tüm sistemlerini etkin bir şekilde kuran ve yöneten, verimliliğe ve sürekli gelişmeye, analize ve iyileştirmeye önem veren işletmeler ayakta kalabilmektedir. Bu anlamda, işletmeler, rekabet edebilmek, kaliteyi devamlı hale getirebilmek, ürünlerini yüksek güvenilirlikte üretebilmek için birçok faaliyeti gerçekleştirmekte ve bu faaliyetleri gerçekleştirirken de beklenmeyen durumlarla başka bir deyişle, risklerle karşılaşmaktadır.

Risk ve risk yönetimi, günümüzde işletme plânlamasının önemli bir konusu haline gelerek birçok işletme için rekabet aracı olarak düşünülmekte ve endüstriler tarafından, faaliyet alanlarındaki farklılık nedeniyle farklı algılanabilmektedir. Örneğin, sigorta ve finansal endüstriler, riski para birimi cinsinden görürken; kimya veya uzay endüstrisindeki üretim işletmeleri riski, insan yaralanmaları ile sonuçlanan ürün hataları olarak görmektedir (Davie, 2008: 1).



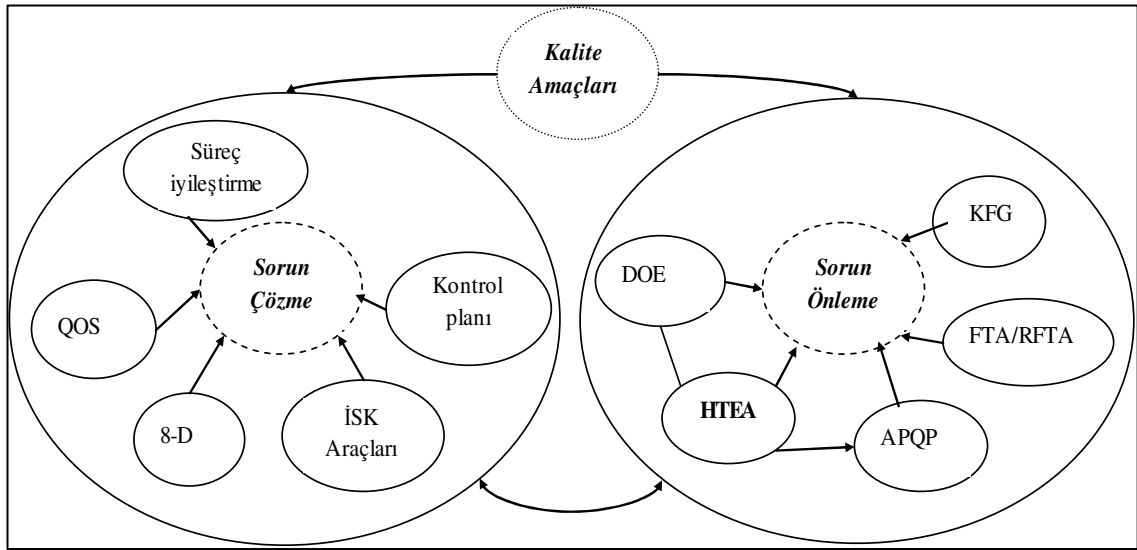
Şekil 1.5: Risk algılamasına neden olan baskılar

Kaynak: Stamatis, D. H. (2003) *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory and Execution* (2. Basım), ASQ Quality Press: Milwaukee, s. 25.

Şekil 1.5'te görüldüğü gibi günümüzde rekabet aracı olarak görülen ve sistemin güvenilirliğini ve performansını geliştirmek için riskin tanımlanmasını ve analiz edilmesini gerektiren birçok neden bulunmaktadır (Stamatis, 2003: 27). Bu nedenleri

dikkate alarak riskin tanımlanması ve değerlendirilmesi başka bir deyişle, riskleri ortaya çıkarabilecek hataların araştırılması ve teşhisi, işletmeler tarafından hem tasarımda hem de üretimde önemli bir problem olarak görülmektedir. Bu anlamda, hataların erken teşhisi, üretim kayıplarını azaltmakta ve ölüm, yaralanma gibi daha ciddi sonuçlarla karşı karşıya getirecek hataları önlemektedir (Terkesli, 2006: 1). Bu nedenle, yeni bir ürünün veya hizmetin tasarım aşamasında veya mevcut bir süreç veya sistem değişikliğinde başarılı olmak için karşılaşılabilecek potansiyel hataları olabildiğince azaltmak gerekmektedir. Bu gereklilik ise, analiz yapmayı zorunlu kılmaktadır. Önleyici kalite yöntemlerinden biri olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan ve çoğu endüstri tarafından kabul gören yaygın yöntemlerden biridir.

HTEA, üzerinde durulan ürünler, hizmetler, süreçler, sistemler veya alt sistemler ile ilgili riskleri değerlendirmek üzerine kurulan bir analizdir. HTEA uygulamalarının temel nedeni, TKY'nin de temel hedefi ve felsefesi olan sürekli iyileştirme ve geliştirme ihtiyacıdır (Eleren, 2007: 8). “Hataların önlenmesi” kavramı, TKY’de sürekli iyileştirmeyi gerçekleştirmek için kullanılan temel kavramların başında gelmekte bu anlamda, hataların önlenmesi temelli HTEA ise, kalitede sürekli iyileştirmeyi gerçekleştirebilmek için hataları tanımlamak ve bunları düzeltmek için kullanılan bir yöntem olup TKY uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Devadasan vd., 2003: 551).



Şekil 1.6: Hata türü ve etkileri analizinin kalite yönetim sistemi içindeki rolü

Kaynak: Yılmaz, B. S. (2000) “Hata Türü ve Etki Analizi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 2, s. 4, s. 136.

Şekil 1.6’da kalite plânlamasında ve güvenilirlik tahminlerinde endüstri tarafından oldukça sık kullanılan HTEA’nın (Teng ve Ho, 1996: 9), kalite yönetim sistemi içinde sorun çözmeye (süreci iyileştirmeye yönelik araçlar, kontrol plânları, istatistiksel süreç kontrol araçları (İSK), problem çözmeye sekiz disiplin (8-D), hizmet kalitesi (QOS) vb.) ve sorunu önlemeye (deneysel tasarım (DOE), KFG, hata ağacı analizi/tersine hata ağacı analizi (FTA/RFTA), ileri ürün kalite plânlaması (APQP) vb.) yönelik diğer kalite yöntemleri ile ilişkisi görülmektedir.

HTEA, bazı kaynaklarda “hata türü ve etkisi analizi”, “hata türleri ve etkileri analizi”, “hata şekli ve etkileri analizi”, “hata modu ve etkileri analizi”, “hata türü, etkileri ve kritiklik analizi”, “hata modu, etkileri ve kritiklik analizi” olarak da kullanılmaktadır. HTEA’nın literatürde farklı tanımlamaları olmasına rağmen bu bölümde en çok karşılan birkaç tanımına yer verilmektedir.

HTEA, “sistem, tasarım, süreç veya hizmette oluşabilecek hataların (problemler, yanlışlıklar, riskler vb.) değerlendirmesini yapan özel bir metodolojidir” (Akın, 1998: 12).

HTEA, “müşteriye gitmeden önce sistemden, tasarımdan, süreçten ve/veya hizmetten kaynaklanan bilinen ve/veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışların

tanımlanmasına, belirlenmesine ve giderilmesine yarayan bir mühendislik yöntemidir” (Stamatis, 2003: 21).

HTEA, “ürünün tasarımını ve montaj süreçlerinin değişkenliklerini daha iyi kontrol altına alabilmek veya ortadan kaldırabilmek için kullanılan güçlü bir kalite aracıdır” (Musubeyli Erginel, 2004: 18,19).

Tanımlardan da anlaşıldığı gibi HTEA'nın temelinde, bir üründeki, hizmetteki veya süreçteki mevcut veya potansiyel hataları önceden belirleme ve ortadan kaldırma düşüncesi yer almaktadır. Bu düşüncenin de temelinde, müşteri memnuniyetini sağlamak yatmaktadır. Bu anlamda HTEA; hataları, müşteriye ulaşmadan önce tahmin etmeye yarayan, hataların ortaya çıkması durumunda etkilerini tahmin eden ve değerlendiren önleyici bir analizdir (Baysal ve Başkan, 1999: 148, Baysal vd., 2002: 83). HTEA, potansiyel hatalar değerlendirilirken aşağıdaki soruların cevaplarını bulmalarında mühendislere, kendi sübjektif değerlendirmelerini ve deneyimlerini aktarmalarına olanak sağlayan bir yöntem olarak görülmektedir (Kara-Zaitri vd., 1991: 248).

- Neler yanlış gidebilir?
- Bu yanlışlara neler neden olabilir?
- Bu yanlışların etkisi ne olacaktır?

HTEA, kimi zaman tasarımın kâğıtlara aktarılmış şekli olarak düşünülse de aslında bundan daha önemli olarak, hataların ortaya çıkma olasılığını ve etkisini olabildiğince azaltmaya çalışan ve bir hata durumunda bunları telâfi etmeye yönelik faaliyetleri bulmayı hedefleyen bir yöntem olarak düşünülmelidir (Pelaez, 1994: 8). Ayrıca, HTEA potansiyel hata türlerini kâğıt üzerine dökmekle kalmayıp aynı zamanda takım çalışması olmasından dolayı konu ile ilgili tüm sorumlu kişilerin birbirleri ile iletişimini sağlamaktadır (Musubeyli Erginel, 2004: 19). Bu anlamda, başarılı bir HTEA çalışması; tasarımdaki eksikliklerin daha hızlı görülmesi, bir işletmeye daha yüksek ürün güvenilirliği, daha az tasarım değişikliği, daha iyi bir kalite plânlaması, ürün ve süreç tasarımında sürekli gelişme, üretim sırasında daha az değişiklik ve daha düşük üretim ve geliştirme maliyetleri gibi yararlar sağlamaktadır (Teng ve Ho, 1996: 9, Wirth vd., 1996: 220).

Başarılı bir HTEA için uygulama henüz başlamadan aşağıda belirtilen dört koşulun işletmeler tarafından iyi bilinmesi gerekmektedir (Stamatis, 2003: 26; Eryürek, 2004: 49):

- İşletme içinde tüm problemler birbirinin aynısı olmayıp, problemlerin önem derecelerine göre öncelikleri farklı olabilmektedir.
- Analiz edilecek müşterinin başka bir deyişle, hedef müşterinin tam olarak tanımlanması gerekmektedir.
- Asıl iyileştirmek veya geliştirmek istenen ürün, hizmet, fonksiyon veya süreç tam olarak tanımlanmalı ve bunlara ilişkin amaç ve kurallar, tam olarak bilinmelidir.
- Uygulanan analizin TKY'nin bir parçası olduğu düşünüldüğünde analiz, sürekli iyileştirmeye yönelik olmalı ve bu nedenle, bir seferde tamamlanıp kaldırılması düşünülmemelidir ve işletmenin önleyici hedeflerine yönelik olmalıdır.

Bir HTEA uygulamasının başlatılması için müşteri istekleri, düzenleyici ve kanunî gereklilikler, ürün tasarım gereklilikleri, iyileştirme ve geliştirme ihtiyacı ve süreç ayarlamaları gibi nedenler yeterli olmaktadır (Davie, 2008: 2). Bir işletme tarafından HTEA, genel olarak şu durumlarda kullanılabilir (Stamatis, 2003: 24; Eleren, 2007: 8):

- Yeni bir sistem, ürün, hizmet, süreç, yöntem tasarımına ihtiyaç olduğunda,
- Mevcut sistemde, üründe, hizmette, süreçte, yöntemde nedenine bakılmaksızın bir değişiklik yapılmak istendiğinde, bir geliştirme veya iyileştirme ihtiyacı hissedildiğinde ve yeni uygulamalar bulunduğunda.

Daha önce de belirtildiği gibi HTEA uygulamalarının asıl amacı, müşteriler tarafından tanımlanan zorunlu ihtiyaçlar, ürün kalitesi ve güvenilirliği, ürün kalitesinin ve güvenilirliğin sürekli iyileştirilmesi ihtiyacı, ürün ve süreç iyileştirilmesi, üretim sorumluluğu ve güvenlik konuları, geri alma, garanti vaatlerinin ve müşteri şikâyetlerinin azaltılması olabilmektedir. Bu anlamda HTEA uygulaması ile işletmenin gerçekleştirmek istediği amaçlar, kısaca şunlar olmaktadır (Yılmaz, 2000: 140):

- Üründe veya süreçte oluşabilecek potansiyel hataları, tasarım aşamasında önceden belirlemek, bu hataların oluşmasını engellemek ve onları, ortadan kaldırmak veya etkilerini olabildiğince azaltmak için düzeltici önlemler almak,

- Ürünün plânlanan tasarım karakteristiklerini analiz etmek, bunların üretime uygunluğunu kontrol ederek nihaî ürünün, öngörülen ihtiyacı karşılmasını sağlamak,
- Tasarımdan satış sonrasına kadar tüm faaliyetleri yazılı hale getirerek süreçlerin geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini ortaya koyabilmektir.

HTEA, daha çok ürünün ve sürecin geliştirilmesine odaklanarak, ürünlerin veya süreçlerin tasarımını sistematik olarak gözden geçiren bir yöntem olarak günümüzde hemen hemen tüm üretim ve hizmet işletmeleri tarafından uygulanmaktadır (Yılmaz, 2000: 140). Başarılı bir HTEA'nın tamamlanması için belirlenmiş kesin bir süre olmamakla birlikte gerekli süre, işletmenin analize ilişkin durumuna, amaçlarına veya incelenecek sistemin karmaşıklığına, bilgisine, sahip olduğu eğitilmiş çalışanına bağlı olmaktadır (Stamatis, 2003: 38).

1.2.1 Hata Türü ve Etkileri Analizinin Tarihsel Gelişimi

HTEA'nın geçmişi, çok uzun yıllara dayanmamakla birlikte günümüzde oldukça etkin bir şekilde kullanılmakta ve birçok uluslararası standardın bir parçası olarak kabul görmüş kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olmaktadır. Askerî prosedür olan MIL-P-1629 Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi'nin bir parçası olan HTEA, Amerikan ordusu tarafından ekipmanların ve askerî çalışmaların başarısının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir (Davie, 2008: 5). HTEA, ABD'de ilk kez 1950'li yıllarda uçuş sistemlerinin kontrolünde kullanılmıştır. 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından aya insan indirme (Apollo) projesinde kullanılmış ve yaklaşık 10 yıl boyunca askerî sır olarak tutulmuş (Eryürek, 2004: 24), 1965 yıllarında ABD Silahlı Kuvvetleri askerî standartlarına girmiştir.

Endüstride 1970-1975 yılları arasında kullanılmış, 1975'te bilgisayar üretiminde ve Japon NEC firmasında uygulanmıştır. 1977'de otomobil endüstrisinde faaliyet gösteren Ford, 1985'de Fiat firmalarında olmak üzere özellikle, otomotiv endüstrisinde yaygınlaşmıştır. Bu uygulamalardan sonra otomotiv endüstrisinde Chrysler ve General Motors'da uygulamaları yapılmıştır (Musubeyli Erginel, 2004: 18). Böylelikle, Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi, özel sektör tarafından geliştirilmiş, revize edilmiş ve HTEA olarak geliştirilmiş, kritiklik sayısının yerini risk öncelik sayısı (RÖS) almıştır. Hatta çoğu endüstri, bu analizi gerçekleştirmek için Automotive Industry Action Group

(AIAG, 1993), The US Department of Defense (MIL-STD-1629A, 1984), the Society of Automobile Engineers (SAE J1739, 1994), the Verband der Automobileindustrie, Germany (VDA 96, Heft4, Teil 2,1996) gibi kendi standartlarını oluşturmuştur (Davie, 2008: 5). Otomotiv endüstrisinde, ISO 9001 temeli üzerine kurulan ve TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi adı verilen özel bir sistem kurulmuş olup, bu sistem ile ortaya çıkacak her tür hatanın daha önceden araştırılması, bulunması ve ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır (Atmaca ve Keskin, 2005: 209).

1.2.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Günümüzde HTEA'nın otomotiv, kimya, beyaz eşya, gıda gibi üretim sektörlerinde ve sağlık, eğitim gibi hizmet sektörlerinde başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Bu konu ile ilgili yabancı literatürde en kapsamlı çalışma Stamatis tarafından 1995'te kaleme alınan "Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution" adlı kitap olup bu konuya ilişkin her çalışmada yararlanılmaktadır. Günümüzde yabancı veri tabanları tarandığında HTEA'ya ilişkin birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Ayrıca, günümüzde kalite iyileştirme yöntemleri tek başlarına kullanılmayıp, birden fazla yöntem ile etkileşimli olarak bir arada kullanılmakta ve böylece, daha etkin sonuçlar alınmaktadır. Bu nedenle, literatürde HTEA'yı, KFG, hata ağacı analizi, veri zarflama analizi, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Analitik Ağ Süreci (AAS) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), doğrusal programlama, bulanık mantık, yapay sinir ağları, gri teori gibi yöntemlerle birleştiren çalışmalar bulunmaktadır.

HTEA ile ilgili yapılan ilk çalışmalar, HTEA'nın daha çok üretim işletmelerinde yapılan uygulamalarını kapsamaktadır. Bu uygulamalarla birlikte HTEA'nın bir kalite iyileştirme yöntemi olarak yararları gündeme gelmiştir. Bu anlamda, Dale ve Shaw (1990), İngiltere'de motor endüstrisinde HTEA'nın kullanımına ilişkin bir çalışma yapmış ve bu çalışmada, işletmelerin HTEA çalışması ile ulaşmak istedikleri amaçları, HTEA uygulamalarında karşılaştıkları zorlukları, bu zorlukların temel nedenlerini, işletme çalışanlarının HTEA'ya bakış açılarını, HTEA ile elde ettikleri yararları araştırmıştır. Kara-Zaitri, Keller ve Fleming (1992), hata türlerinin tespit aşaması ile risk öncelik göstergelerinin hesaplanması adımlarının birleştirilmesi esnasında hataların

ilgili parçayı veya tüm sistemi etkilemesinin de analizini yaparak lokal ve global öncelik göstergeleri hesaplamıştır. Bu şekilde hatanın ağırlıklandırılması yapılarak karar verme süreci daha hassas hale getirilmiştir.

Sonraki yıllarda HTEA uygulamalarına bazı eleştiriler getirilmiş, HTEA'nın eksikliklerini gidermek ve sonuçlarını daha etkin bir şekilde kullanmak amacıyla farklı modeller veya karar destek sistemleri önerilmiştir.

Bowles (1998), hata türlerinin kritiklik sıralamasında çok kriterli Pareto sıralamasının kullanılmasını önermiştir. Çok kriterli Pareto sıralaması için yatay ekseninde, hatanın şiddeti sınıflarının ve dikey ekseninde ise, hatanın ortaya çıkma olasılığının bulunduğu bir matris kullanmıştır. Bu matrise yerleştirilen hata türlerini, şiddet ve ortaya çıkma özellikleri bakımından birbirlerine baskın olmaları durumlarına göre öncelik kümelerine ayırmıştır. Bu kümeleri, birbirinden farklı olacak şekilde oluşturmak, yöntemin zorluğu ve başarısı olarak belirtilmiştir.

Sankar ve Prabhu (2001), RÖS hesaplamasında değişiklik önermiş ve klâsik RÖS'e dayanan yeni bir ölçek tanımlamıştır. Buna göre 1-1000 arasındaki tam sayılar, 1000 tane olası şiddet-ortaya çıkma-tespit kombinasyonlarının artan riskini göstermiş ve bu sayı, "risk öncelik derecesi" olarak adlandırılmıştır. Önerilen bu sistem, uzman bilgisine dayandırılmış ve "eğer-ise" biçiminde durumsal cümleler kullanılmıştır. Önerilen yöntem, soğutma sisteminde uygulanmış ve risk öncelik derecesinin sıralanmasında, "sıralı matris" yöntemi kullanılmıştır. Bu matris yardımıyla farklı hata türlerinin ortak özelliklerinin, yüksek şiddete ve riske sahip hata türlerinin kolaylıkla görüldüğü belirtilmiştir.

Puente, Pino, Priore ve Fuente (2002), HTEA'daki RÖS yerine "risk öncelik sınıflarını veya kategorilerini" kullanan sezgisel karar destek sistemi kullanmıştır. HTEA'da kullanılan faktörlerin tamamı için ortak sözel terimler tanımlanmıştır. Şiddet, ortaya çıkma ve tespit faktörleri ile birlikte oluşturulan kural tabanı ile risk öncelik sınıflarına karar verilmiştir. Böylelikle niteliksel karar kuralları şeklinde uzman bilgisine dayanan bir sistem önerilmiştir. Önerilen yöntemde, şiddet faktörüne daha çok ağırlık verilmiştir.

Devadasan, Muthu, Samson ve Sankaran (2003), "toplam HTEA" adı altında yeni bir yöntem sunmuştur. Buradaki toplam sözcüğü, bir işletmedeki sadece tasarım ve üretim hatalarını değil, organizasyondaki tüm hataları içermektedir. Önerilen yöntemin,

analizle ilgili olarak yönetimin bilgilendirilmesi/eğitilmesi ve analizin uygulanması olmak üzere iki aşaması bulunmaktadır. Yöntem, daha önce HTEA uygulaması yapmamış bir elektronik motor ve pompa üreticisi bir işletmede uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

HTEA, bazı çalışmalarda çok kriterli karar verme yöntemleri ile kullanılmıştır. Braglia (2000), HTEA’da hatanın olasılığını, hatanın tespit edilememe olasılığını, hatanın şiddetini, beklenen maliyetini dikkate alan bir yöntem önermiştir. Hatanın nedenlerini etkin bir şekilde sıralayabilmek için AHS kullanmıştır. Böylece yöntem, “çok kriterli hata türü analizi” adını almış ve bir buzdolabı üretim sürecine uygulanmıştır. Hata nedenlerini önceliklendirme sürecinde, analize katılan kişilerin nitel ve sübjektif değerlendirmeleri dikkate alınmıştır. Su ve Chou (2008), bir işletme için risk değerlendirmesini altı sigma projesi seçim problemine uygulamıştır. Bu seçim probleminde, AHS ile her projenin ağırlığı hesaplanmış ve her proje, daha alt sistemlere, alt sistemler, daha alt sistemlere bölünerek risk değerlendirilmesi yapılmış, hesaplanan alt sistemlerin riski, RÖS’ün geometrik ortalaması alınarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç, projelerin ağırlıkları ile çarpılarak her projenin toplam riski hesaplanmış ve işletmeye, seçim için karar desteği oluşturulmuştur. Sachdeva, Kumar ve Kumar (2008), bir parçanın veya alt sistemin hatası ve bakımı ile ilgili olarak farklı faktörlerin kritikliklerini birleştiren yeni bakım karar stratejileri geliştirmek amacıyla HTEA ile AHS yöntemini birleştirmiştir. Önerilen yöntem, bir kâğıt endüstrisi örneğinde gösterilmiştir. Chen (2007), hata türlerini ortadan kaldırmak amacıyla dikkate alınan düzeltici çözümlerin birbirleriyle bağımlı olduklarını, düzeltici tedbirlerin doğru bir sıra ile yerine getirilmesinin analizin başarısını arttıracaklarını düşünerek düzeltici çözümlerin ağırlığını AAS yöntemi ile hesaplamış ve HTEA’daki RÖS’ü, “yarar öncelik sayısı” olarak değiştirmiştir. Önerilen yöntem, bir elektronik montaj işletmesine uygulanmıştır. Chen ve Lee (2007), literatürdeki çalışmaları, hatalar arasındaki ilişkiyi dikkate almaması nedeniyle eleştirerek, bir hata nedeninin birden çok hataya neden olabileceği düşüncesi ile AAS yöntemini kullanmıştır.

Seyed-Hosseini, Safaei ve Asgharpour (2006), HTEA’daki hata türlerini önceliklendirmek için çok kriterli karar analizlerinde kullanılan karar verme denemesi ve değerlendirme l boratuvarı (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL) yöntemini kullanmıştır. Yöntemde veri olarak, hata türleri veya hata

nedenleri arasındaki dolaylı ve dolaysız ilişkiler ve hata etkilerinin şiddeti kullanılmıştır. Yöntem, Xu, Tang, Xie, Ho ve Zhu (2002)'nin çalışmalarındaki örnek ve bir turbo kompresör sistemi üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan dolaylı ilişkilerin analiz edilebilmesi, çok sayıda hata türünü içeren karmaşık sistemlerde alternatiflerin kümelenebilmesi, her alternatife tek derecenin verilebilmesi ve alternatiflerin birbirleri ile şiddet ilişkilerine karar verebilmesi yazarlar tarafından yöntemin avantajı olarak sayılmıştır.

Chin, Wang, Poon ve Yang (2009), analizi gerçekleştirirken oluşturulan HTEA takımındaki karar vericilerin değerlendirmelerdeki bilgi ve tecrübe farklılığını ve belirsizliği dikkate almak için yeni bir risk öncelik modeli önermiştir. Bu modelde yazarlar, çok kriterli karar analizlerinden olan kanıtsal sonuçlama yöntemini kullanmıştır. Önerilen yöntem, Pillay ve Wang (2003)'ün çalışmalarındaki örneğe uyarlanmıştır. Çalışmada, risk faktörlerine ve takımdaki karar vericilere ağırlıklar atanmış, karar vericilerin hata türleri için yaptıkları bireysel değerlendirmeler, grup değerlendirmelerine daha sonra toplam değerlendirmeye çevrilerek hata türleri için beklenen riskler hesaplanmıştır. Çalışma ile farklı karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerdeki farklılıklar ve belirsizlikler yansıtılabilmiş ve yöntem ile modellenilebilmiştir.

HTEA bazı çalışmalarda diğer kalite iyileştirme yöntemleri ile kullanılmıştır. Hsiao (2002), kalitenin iyileştirilmesi ve ürün maliyetlerinin düşürülmesi için KFG ile birlikte HTEA ve montaj için tasarım yöntemini kullanmayı önermiş ve önerilen yöntem, bir oyuncak tasarımına uygulanmıştır. Wang ve Chang (2007), yeni ürün tasarımında KFG, TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Tekniği - Inventive Problem Solving Technique) ve HTEA'yı birlikte kullanmayı önermiştir. Chen, Huang, Yang, Lin ve Chen (2007), ürün veri yönetimi sistemi sürecini analiz etmek için HTEA uygulaması yapmıştır. Bunun için akış şemaları ile hata türleri bulunmuş ve RÖS'ler hesaplanmıştır. Daha sonra risk faktörleri ile bu sistemin yararlarını birleştirmek için KFG uygulanmıştır. Başarı faktörlerinin kritikliği, hata türlerinin RÖS'e göre değerlendirilmiştir. Korayem ve Iravani (2008), HTEA ile KFG'yi, üretimde kullanılan robotların tasarımında kullanmıştır. HTEA, robotların tasarımında ortaya çıkabilecek potansiyel hataların sıralanmasında kullanılırken; KFG, bu sonuçlara göre robot tasarımının iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Almannai, Greenough ve Kay (2008),

üretim otomasyonu karar probleminin erken aşamalarında çalışanları, organizasyonu ve teknolojiyi işaret ederek bir karar destek yönetimi veren ve KFG ile HTEA'yı birleştiren bir yöntem göstermiştir. Bu yöntemde KFG, en uygun üretim otomasyon alternatifinin tanımlanmasında; HTEA ise, üretim sistem tasarımında ve uygulama aşamasında riskleri tahmin etmede kullanılmıştır. Shahin (2004), HTEA'yı müşteri gözünden gerçekleştirmiş ve bu amaçla HTEA'daki şiddet faktörü ile ilgili olarak yöntemi, Kano modeli ile birleştirmiş ve RÖS hesaplamada yeni bir formül kullanmayı önermiştir. Önerilen formülde, bir düzeltme indeksi tanıtılmış ve bu indeksin kritik faaliyetlere karşılık düzeltici faaliyetler için kolaylık getireceği savunulmuştur. Önerilen yöntem, bir seyahat şirketine uygulanmış, RÖS ile kritiklik arasındaki ve hata türleri kümesini önceliklendirmede müşteri ile yöneticiler arasındaki açığa dikkat çekmiştir. Yöntem, üretim öncesinde ve sonrasında da uygulanabileceği için klâsik HTEA'dan daha avantajlı bulunmuştur.

HTEA bazı çalışmalarda çok değişkenli analiz yöntemleri ve simülasyon ile birlikte kullanılmıştır. Arunajadai, Uder, Stone ve Tumer (2004), HTEA ile kümeleme analizini birleştirerek kavram tasarım aşamasında potansiyel hataların tanımlanmasında kümeleme analizinin kullanılmasını önermiştir. Buradaki hipotez, üretim ve parçaların fonksiyonları üzerindeki farklı hata türleri arasında benzerliklerin olduğudur. Bu yöntem yardımıyla hata türleri kümelenecek hangi hata türlerine öncelik verilmesi gerektiği bulunmuştur. Narayanagounder ve Gurusami (2009), RÖS'ü eleştirerek bunun yerine birbirine eşit iki RÖS olduğunda "risk öncelik kodu" adı altında başka bir sayı önermiştir. Bu yeni yöntemde hata türlerinin sıralanmasında şiddet, ortaya çıkma ve tespit edilebilirlik değerlerinde bir problem yaşandığında RÖS değerlerinin ortalamalarını karşılaştırmak için ANOVA analizi önerilmektedir. Bevilacqua, Braglia ve Gabbrielli (2000), HTEA ile Monte Carlo simülasyonunu birleştirerek, RÖS hesaplanmasının ölçümü esnasında ağırlık ataması testinde bir yöntem önermiştir. Önerilen RÖS hesaplaması için, güvenlik, süreç için makine önemi, bakım maliyetleri, hata sıklığı, duraklama zamanı ve operasyon durumları olmak üzere altı parametrenin ağırlıklı toplamı, yedinci parametre olan makine ulaşım güclüğü ile çarpılmaktadır. Yöntemde altı parametrenin ağırlığı, ikili karşılaştırmalar ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonucun duyarlılığı Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen

yöntemin uygulaması ile bütçe kısıtlarını dikkate alan en iyi bakım stratejisi seçilmektedir.

HTEA'ya maliyet kavramı eklenerek birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan biri olan Gilchrist (1993), HTEA'da kullanılan RÖS yerine, hatanın beklenen maliyeti modelini önermiştir. Bu modele göre, bir hatanın ortaya çıkma olasılığı ile tespit edilememe olasılığının çarpımı, müşteri tarafından hatalı ürünün kabul edilme olasılığını vermektedir. Elde edilen bu olasılık, üretilen parça sayısı ve her hatanın maliyeti ile çarpıldığında hatanın beklenen maliyeti elde edilmektedir. Gilchrist tarafından önerilen bu model, daha sonraki yıllarda hatanın etkisini dikkate almadığı ve kullanılan olasılıkları belirlemenin zorluğu nedeniyle eleştirilmiştir. Daya ve Raouf (1996), RÖS hesaplamasında tüm faktörlere eşit önem verilmesini eleştirerek, hatalı ürünün müşteriye ulaşma olasılığını etkilediği için ağırlığın, hatanın ortaya çıkma olasılığına verilmesi gerektiğini savunmuştur. Bunun için hatanın ortaya çıkma olasılığında kullanılan aralığı büyütmüş ve Gilchrist (1993) tarafından önerilen hatanın beklenen maliyeti modeli ile birleştirmiştir. Rhee ve Ishii (2003), yaşam çevrim maliyeti temelli HTEA'yı yani riski, maliyet cinsinden ölçmeyi önermiştir. Önerilen yöntemin, belirli bir sistemin toplam maliyetini azaltmak için tasarım alternatifleri arasında karşılaştırma ve seçim yapmak için oldukça yararlı olduğu savunulmuştur. Ahsen (2008), hatanın maliyetini yansıtmadığı için HTEA'nın yetersiz olduğunu ve kalite iyileştirme sürecinde maliyetin de dikkate alınması gerektiğini düşünerek, HTEA'yı kalite maliyetleri açısından değerlendirmiş ve Gilchrist (1993) tarafından önerilen maliyet tabanlı HTEA'ya dayanan yeni bir karar destek sistemi oluşturmuştur. Önerilen yöntemde kalite maliyetleri, işletme içinde ve dışında hatayı fark etmenin maliyeti olarak ikiye ayrılmış ve RÖS, maliyet tabanlı hesaplanmıştır. Bu sayının hesaplanmasında, ortaya çıkma olasılığı, teslimattan önce tespit edilememenin olasılığı, maliyet değerleri dikkate alınmıştır. Önerilen yöntemin bir otomobil tedarikçisi uygulamasında, maliyet tabanlı RÖS ile klâsik RÖS, hataları sıralamada farklılık göstermiştir. Maliyet tabanlı RÖS'ün, klâsiğe göre işletmedeki optimizasyon faaliyetleri açısından daha avantajlı olduğu düşünülmektedir.

Ülkemizde yapılan çalışmalara bakıldığında, kalite eğitim ve danışmanlık kuruluşlarının çoğunun, "hata türü ve etkileri analizi" başlıklı eğitim ve seminer programları bulunmaktadır. Ayrıca, Türkiye'deki bazı üniversitelerin yüksek lisans

programlarında da “hata türü ve etkileri analizi” adı altında dersler bulunmaktadır. Türkiye’de bu konuda yapılan akademik çalışmalara bakıldığında ise, bu konuya ilişkin ulusal dergilerde yayınlanan makalelere, ulusal sempozyumlarda sunulan bildiri özetlerine ve bu sempozyumlarda sunulan bildirilerin tam metinlerinden oluşan bildiri kitaplarına erişilebilmektedir. Bu çalışmalarda HTEA, hem üretim hem de hizmet işletmelerinde uygulanmıştır. Ayrıca, ulusal tez veritabanında bu konuya ilişkin yüksek lisans tezleri bulunmakta ve bu tezlerde yapılan çalışmaların çoğu, farklı sektörlerde HTEA uygulaması içermektedir. Ülkemizde bu konudaki yapılan doktora tezlerinin sayısı ise, oldukça azdır.

1.2.3 Hata Türü ve Etkileri Analizinin Çeşitleri

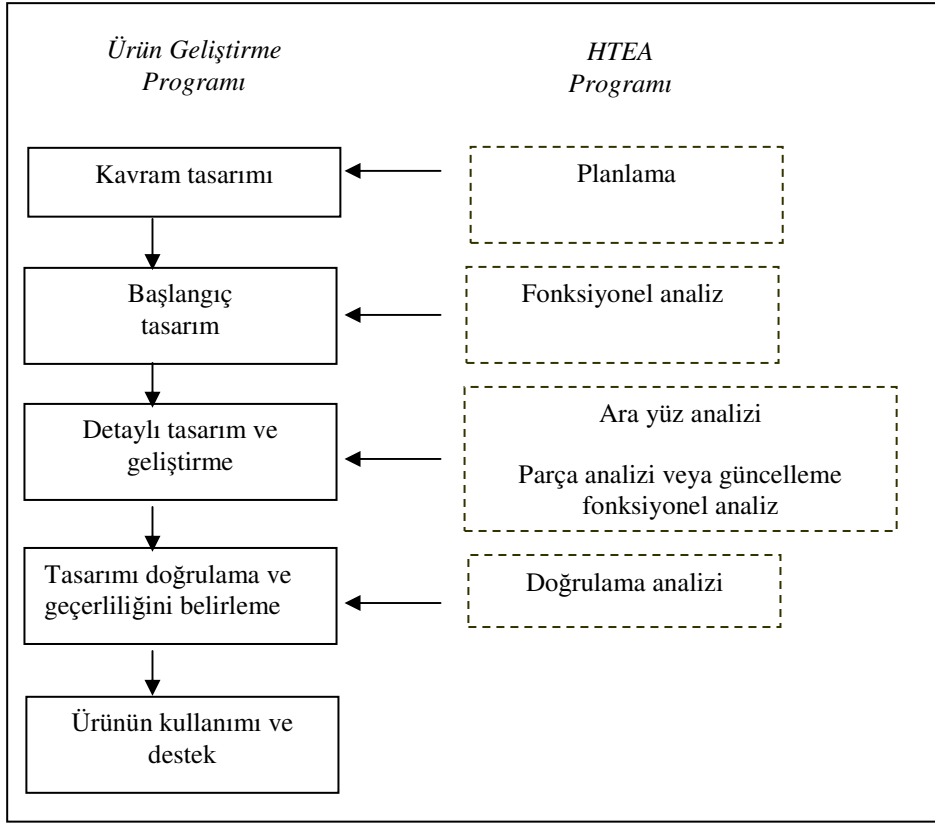
Günümüzde HTEA çalışmalarını, endüstrinin birçok alanında farklı uygulamalar ile görmek mümkün olmaktadır. Bu uygulamaları, parçaların veya alt sistemlerin tasarımı, üretim ve montaj süreçleri, global sistem fonksiyonlarına odaklanan sistemler, hizmet fonksiyonları şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Rivera ve Leod, 2009: 1). Bu uygulamalar temel alınarak HTEA’nın çeşitleri konusunda literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. Bazı kaynaklarda HTEA, temel olarak tasarım HTEA ve süreç HTEA olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bazı kaynaklarda ise, Sistem HTEA, Tasarım HTEA, Süreç HTEA ve Hizmet HTEA olmak üzere dört çeşit HTEA olduğu kabul edilmektedir.

Bu dört çeşit HTEA, ürünün veya hizmetin kavramsal geliştirme aşamasından tasarımına, testine kadar sistem tasarımının ve süreç geliştirmenin önemli bir parçası olmaktadır (Pelaez, 1994: 4).

1.2.3.1 Sistem Hata Türü ve Etkileri Analizi

Sistem HTEA, bir ürün ile ürünün sisteme uyumu arasındaki durumu sistematik olarak inceleyen HTEA türü olup bazı kaynaklarda, “kavram HTEA” olarak da geçmektedir. Sistem HTEA, daha çok ürünün kavram aşamasında ve tasarım aşamasında kullanılmaktadır (Breiing ve Kunz, 2002: 519). Başka bir deyişle, sistem HTEA ile tasarım ve kavramların ön aşamalarında sistem ve alt sistemler analiz edilerek, eksiklikleri ve uygunsuzlukları belirlemek, sistemin belirlenen ve

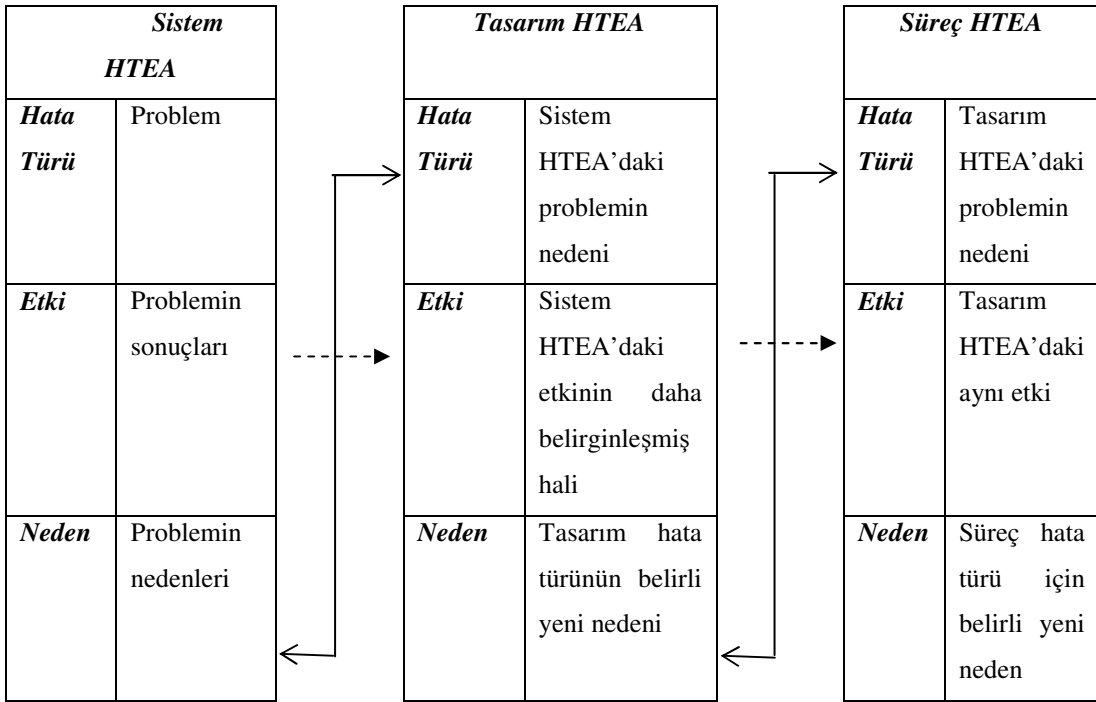
gerçekleştirmesi gereken fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır (Baykasoğlu vd., 2003: 158).



Şekil 1.7: Ürün geliştirme döngüsü ve HTEA programı

Kaynak: Bowles, J. B. (1998) "The New SAE FMECA Standard", *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 19-22 January, ss. 48-53, Anaheim, California, USA, s. 48.

Şekil 1.7'de ürün geliştirme döngüsü ve HTEA programı görülmektedir. Kavram tasarımı ve başlangıç tasarım aşamasında HTEA, ilk olarak sistem gerekliliklerinin uygunluğunu doğrulamak için kullanılmaktadır. Detaylı tasarım aşamasında, gereklilikler ile detaylı tasarım uygunluğunun kontrolünde kullanılmaktadır. Doğrulama ve geçerliliği belirleme aşamasında ise, tasarım değişikliklerinin bütünlüğü sağlayıp sağlamadığını kontrol etmektedir. Son olarak ürün kullanımı ve destek aşamasında ise, analizin doğruluğunun araştırılmasında, veri toplamada, hata bulma ve onarım programlarının geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçları gerçekleştirmek için kullanılan fonksiyonel analiz, ara yüz analizi ve parça analizi, ürün geliştirme analizinin her aşamasındaki tasarımı değerlendirmek için kullanılan araçlardır (Bowles, 1998: 49).



Şekil 1.8: Sistem, tasarım ve süreç HTEA arasındaki ilişki

Kaynak: Stamatis D. H. (2003) *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory and Execution (2. Basım)*, ASQ Quality Press: Milwaukee, s. 108.

Sistem HTEA'da müşteri istekleri, beklentileri veya ihtiyaçları, operasyonel ve ekonomik faktörler arasında belirli bir dengeyi bulmak ve bu dengeyi sürdürmek için kullanılmaktadır. Başarılı bir sistem HTEA'nın çıktısı, belirlenen gereklilikleri detaylı nitel ve nicel tasarımlara ve süreç karakteristiklerine çevirmek için fonksiyonel spesifikasyonlar ve temel biçimler ile başlangıç tasarımlar olmaktadır (Stamatis, 2003: 108, 109). Ayrıca, sistem HTEA'nın çıktıları, diğer HTEA çeşitleri için girdi olmaktadır. Bu durum, Şekil 1.8'de gösterilmektedir.

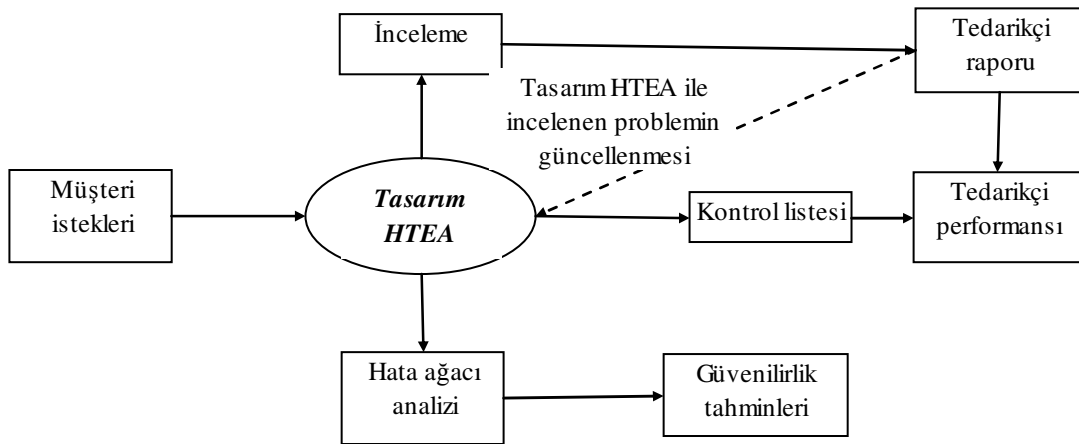
Sistem HTEA ile elde edilecek başlıca yararları şu şekilde sıralamak mümkündür (Akın, 1998: 21):

- Henüz tasarım aşamasında sistem ve alt sistemler analiz edilerek potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar belirlenip, bu alanlar daraltılmakta veya tamamen ortadan kaldırılmaktadır.
- Sistemde hata veya hata nedenleri teşhis programları için bir plân oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

- Sistemlerde ve alt sistemlerde israfa neden olan alanların belirlenmesine yardım etmektedir.
- Sisteme ilişkin tasarım alternatifleri içinde en iyi olanların seçilmesine yardım etmektedir.

1.2.3.2 Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi

Tasarım HTEA, ürünlerin üretimi henüz başlamamış iken ürünlerin tasarımlarının analizinde kullanılan bir HTEA çeşidi (Bluvband vd., 2004: 31) olup bazı kaynaklarda, “ürün HTEA” olarak da geçmektedir. Tasarım HTEA, tasarım tam olarak tamamlanmadan doğru malzemenin kullanılıp kullanılmadığını, müşteri isteklerinin doğrulanmasını, kanunî gerekliliklerinin yerine getirilmesini tanımlayan bir süreçtir (Teng ve Ho, 1996: 12).



Şekil 1.9: Tasarım HTEA diyagramı

Kaynak: Teng, S. H. ve Ho, S. Y. (1996) “Failure Mode and Effects Analysis: An Integrated Approach for Product Design and Process Control”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 13, s. 5, s. 23.

Tasarım HTEA, tasarım eksikliklerinden kaynaklanan ve ürünün fonksiyonları ile ilgili potansiyel hata türleri üzerine odaklanmakta olup (Bluvband vd., 2004: 31), uygulanmasındaki asıl amaç, ürün henüz üretilmeyip tasarım aşamasında iken potansiyel hataların belirlenmesi, önceliklendirilmesi, bu hataların gerçekleşmeden nedenlerinin saptanarak ortadan kaldırılması ve müşteriye ulaşmasının engellenmesi (Musubeyli Erginel, 2004: 18) ve müşteriler ve sistem HTEA tarafından tanımlanan

fonksiyonel gereksinimlere çözümler bulunabilmesidir (Stamatis, 2003: 131). Tasarım HTEA'nın gerçekleştirilmesi, bilgilerin tasarım aşamasında tam olmadığı veya işletmelerin veri tabanlarının yeterli olmadığı düşünüldüğünde süreç HTEA'dan daha zor olmaktadır. Tasarım HTEA için izlenen adımlar, Şekil 1.9'da gösterilmiştir.

Tasarım HTEA gerçekleştirilirken cevaplarının bilinmesi gereken sorular şunlar olmaktadır (Stamatis, 2003: 132, 133):

- İncelenen ürün hangi amaçla kullanılmaktadır?
- Ürün, fonksiyonlarını nasıl gerçekleştirmektedir?
- Ürünü oluşturan ham maddeler, parçalar ve ürünler nelerdir?
- Ürün, ne şekilde ve nasıl diğer ürünler ile karşı karşıya gelmektedir?
- Ürün nasıl kullanılır, ürüne nasıl bakılır, nasıl onarılır ve ömrünü tamamladığında nasıl elden çıkarılır?
- Ürünün üretim aşamaları nelerdir ve bu üretim aşamasında hangi enerji kaynaklarına gerek vardır?
- Ürünün kullanıcıları kimlerdir ve bu kullanıcıların yetenekleri veya sınırlılıkları nelerdir?

Tasarım HTEA'da kullanılan veriler, müşterilerden sağlanan bilgiler ve müşteri gereksinimleri olmakla birlikte (Teng ve Ho, 1996: 20), işletmeye ilişkin giriş kalite kontrol kayıtları, yardımcı sanayi kontrol sonuçları, üretim/montaj hata oranları kayıtları, ürünün arıza oranları kayıtları, ürünün servis kayıtları vb. kayıtlardan da elde edilebilmektedir (Musubeyli Erginel, 2004: 24).

1.2.3.3 Süreç Hata Türü ve Etkileri Analizi

Süreç HTEA, geliştirilmiş veya mevcut sürecin analizinde kullanılmaktadır. Süreç HTEA, hem sürecin güvenliği ve etkinliği ile hem de süreçteki problemlerden kaynaklanan ürün fonksiyonları ile ilgili potansiyel hata türleri ile ilgilenmekte olup (Bluvband, 2004: 31), hizmetin sunumu veya üretim esnasında spesifikasyonlara uymamanın sonucu olarak nelerin yanlış gidebileceği üzerine odaklanmaktadır (Kara-Zaitri vd., 1991: 248). Süreç HTEA çalışmalarının, tüm süreçle ilgilendiği ve işgücü, makine, yöntem, materyal, ölçüm ve çevresel faktörler gibi farklı faktörleri içerdiği düşünüldüğünde, diğer HTEA çalışmalarından daha karmaşık ve zaman alıcı olmaktadır.

Süreç HTEA, üretim ve montaj sürecinin analizine yardımcı olmakta, düzeltici faaliyetlerin önceliklerini belirlemekte, sürece ilişkin kritik veya önemli olan fonksiyonları belirlemekte, kontrol plânı oluşturmaya yardımcı olmakta, süreç esnasında ortaya çıkabilecek hatalar ve düzeltici faaliyetler ile ilgili plânlar belirlemektedir (Akın, 1998: 22).

Süreç HTEA çalışmaları yürütülürken aşağıdaki sorular önemli olmaktadır (Stamatis, 2003: 160):

- Sürecin hedef performansı veya etkinliği nedir?
- Süreç, fonksiyonlarını nasıl yerine getirmektedir?
- Süreçte kullanılan ham maddeler ve parçalar nelerdir?
- Süreç, ne şekilde ve nasıl diğer süreçlerle karşı karşıya gelmektedir?
- Süreç nasıl kullanılmakta, nasıl sürdürülmekte, nasıl onarılmakta ve gerektiğinde nasıl ortadan kaldırılmaktadır?
- Üretim sürecinin aşamaları nelerdir ve bu süreçte hangi enerji kaynakları, nasıl kullanılmaktadır?
- Süreç, maliyet açısından etkin midir?

Süreç HTEA, başlangıç ve tanımlama, analiz ve değerlendirme ve karar aşaması olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. Başlangıç ve tanımlama aşamasında, HTEA takımı kurulup, süreç tanımlanırken; analiz ve değerlendirme aşamasında, hata türleri ve bu hata türlerine ilişkin özellikler belirlenmektedir. Son aşamada ise, risk öncelik veya kritiklik sayısına göre hata türleri önceliklendirilerek düzeltici tedbirler alınmaktadır (Baykasoğlu vd., 2003: 158-161).

1.2.3.4 Hizmet Hata Türü ve Etkileri Analizi

Kalitenin öncü isimlerinden Deming, hizmetteki hataların veya şikâyetlerin, hizmet faaliyetlerindeki değişkenlerin ve algılamaların çokluğu nedeniyle kaçınılmaz olduğunu düşünmektedir (Bosch ve Enriquez, 2005: 31). Hizmet HTEA ise, hizmetlerde kaçınılmaz olan bu hataları, önceden tahmin ederek onları ortadan kaldırmaya veya etkilerini azaltmaya çalışmaktadır. Hizmet HTEA, ürünlerin sunumunu analiz etmektedir. Örneğin, hem bakım konuları ile ilgili hem de üretilen ürünlerin çalışma alanlarına ilişkin hatalar ile ilgili potansiyel problemler üzerine odaklanmaktadır (Bluvband, 2004: 31). Bu anlamda, hizmet HTEA, hizmet faaliyetlerindeki potansiyel

hata türlerini analiz etmekte ve aynı zamanda bakım onarım faaliyetlerini de içermektedir. Analizin asıl odağı, hizmetin asıl amaçlanan fonksiyonunu yerine getirirken hangi hatalarla karşılaşılabilceğinin tahmin edilebilmesidir. Bu analiz ile sağlanacak yararları şu şekilde sıralamak mümkündür (Akın, 1998: 23):

- Hizmet, henüz müşteriye sunulmamışken hizmete ilişkin potansiyel hata türleri ve bunlara ilişkin düzeltici tedbirler tanımlanmaktadır.
- İş akışının, sistem ve süreç analizinin etkin bir şekilde yapılması sağlanmaktadır.
- İşteki hataların, memnuniyetsizliğin ve kritik işlerin belirlenmesine ve kontrol plânlarının oluşturulmasında yol göstermektedir.
- Hizmetin, beklentileri karşılamama olasılığı azaltılmaktadır.

1.2.4 Hata Türü ve Etkileri Analizinde Kullanılan Temel Kavramlar

1.2.4.1 Hata

Hata, bir sistemin, bir ürünün veya bir birimin sahip olması gereken özelliklerinde sapma veya istenen/beklenen fonksiyonunu yerine getirmeme veya eksik yerine getirme durumudur (Boran, 1996: 8). Hata ile ilgili çeşitli tanımlamalar şu şekilde verilebilmektedir (Öndemir, 2004: 24):

- Bir ürün için belirlenmiş özelliklerin, ilgili şartnamelerde, standartlarda veya resimlerde belirlenen durumlardan herhangi birine ölçü veya özellik yönünden uymamasıdır.
- İlgili parametrelerde sınırları önceden belirlenen işlevini yapma veya yapmama yetersizliğidir.
- Ürünün istenen işlevi yerine getirmek için işlevsel yeteneklerinin ortadan kalkmasıdır.

TKY’de hata, sadece ürün hataları ile sınırlı iken günümüzde ise, tasarımlardan, ürünlerden, süreçlerden, hizmetlerden ve sistemlerden kaynaklanan hatalar akla gelmektedir (Devadasan vd., 2003: 552). Bu anlamda hatalar, şu nedenlerden kaynaklanmaktadır (Hsiao, 2002: 46):

- Tam veya uygun olmayan tasarımlar,
- Uygun olmayan üretim yöntemleri veya yanlış montaj,
- Kötü kalite yönetimi,

- Üretim esnasındaki yanlış işlemler,
- Güvenlik tasarımlarında gözden kaçırılan durumlar.

Hataları, oluşum aşamalarına göre hatalar (tasarım hatası, üretim hatası, kullanıcıdan kaynaklanan hata), niteliklerine göre hatalar (önemsiz hata, küçük hata, büyük hata, kritik hata), oluşum zamanına göre hatalar (ani hata, kademeli hata), nedenlerine göre hatalar (malzeme hatası, makine ve alet hatası, ölçme hatası, muayeneciden kaynaklanan hata, muayenede örnekleme hatası), organizasyonda yapılan hatalar (insan hatası, yönetim hatası) olmak üzere farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür (Boran, 1996: 9).

1.2.4.2 Hata Türü

Hata türü (hata şekli, hata modu), bir ürünün, bir hizmetin, bir parçanın, bir alt sistemin, bir sistemin veya bir sürecin tasarım aşamasında belirlenen niyeti veya fonksiyonu karşılayamama durumu (Wang vd., 2009: 1195) veya fonksiyonlarının normalden farklı bir şekilde işlenmesi olup hatanın görünme şeklidir (Baysal vd., 2002: 84).

Bir sisteme veya parçaya ilişkin hata türlerinden tamamen arınmış işlemler gerçekleştirilmek istense de beklenmedik durumlar nedeniyle mekanik sistemlerde veya parçalarda hata türleri ile karşılaşmamak neredeyse imkânsız olmaktadır (Sharma vd., 2007b: 526). Bu anlamda, herhangi bir mekanik sisteme veya parçaya ilişkin karşılaşılabilecek hata türleri ekipman ve enerjiye göre temel olarak beş sınıfa ayrılabilir (Hawkins ve Woollons, 1998: 376):

- Akışkanlara ilişkin ekipmanlar (sızıntı veya bozuk akış),
- Yapısal sistemler (kırılma veya aşırı bükülme),
- Termodinamik sistemler (aşırı ısınma veya etkinlik kaybı),
- Kinematik sistemler (katlanma hareketi veya hareketlerin etkinliğinin azalması),
- Malzemenin özelliği (doğru olmayan malzeme veya konum).

Bir işletmenin amacı kısa dönemde, eğer hata türlerini tamamen ortadan kaldıramıyorsa bunların etkisini en aza indirmek; uzun dönemde ise, bu hata türlerini tamamen ortadan kaldırmak olmalıdır (Stamatis, 2003: 38). Hata türünün belirlenebilmesi için aşağıda belirtilen bilgiler kullanılabilir (Baysal vd., 2002: 85):

- Analiz edilen ürüne veya hizmete ilişkin garanti verileri,
- Analiz edilen ürüne veya sürece ilişkin test raporları,
- Müşteri şikâyet raporları,
- Benzer ürün ve sistem verileri,
- Benzer ürünler için daha önceden yapılmış HTEA çalışma sonuçları,
- Benzer ürünü üreten diğer işletmelerden alınan bilgiler,
- Simülasyon çalışmalarının sonuçları.

Bir ürünü, hatalı olarak değerlendirebilmek veya hata türünü bünyesinde barındırdığını söyleyebilmek için aşağıda belirtilen durumların bulunması öngörülmektedir (Eryürek, 2004: 52):

- Ürünün, üretici veya satıcı tarafından hedeflenen özelliklerinden sapma göstermesi,
- Ürüne ilişkin üretim işlemlerinin doğru yapılmasına rağmen tasarım işlemlerinden gelen uygunsuzluklar nedeniyle ürünün hedeflenen/beklenen performansı yerine getirememesi,
- Üründe bulunması gereken işaretleme ve ikazların yapılmaması nedeniyle ürünün müşteri için tehlike olasılığı taşıması.

1.2.4.3 Hata Nedeni

Hata nedeni, ürünlerin, hizmetlerin ve sistemlerin tasarımları veya işleyişleri sırasında hataları ortaya çıkaran faktör (Baysal vd., 2002: 85) veya teknolojik uygunsuzluktur (Eryürek, 2004: 46). Neden-sonuç diyagramı, hata nedenlerini bulabilmek için kullanılan en yaygın araçtır (Baysal vd., 2002: 85). HTEA çalışmalarının başarısının önemli bir parçası, mevcut veya potansiyel hata türlerinin nedenlerinin doğru ve anlaşılabilir şekilde tanımlanmasından ve bu nedenlerin ortadan kaldırılmasından geçmektedir (Musubeyli Erginel, 2004: 23). Bununla birlikte, bazı endüstrilerin oldukça karmaşık olması veya sistemin tamamının analiz edilmesi gerekliliği gibi nedenlerle, hata nedenlerine karar verilmesi çok kolay olmamaktadır. Bu nedenle, bazı endüstriler için aşırı yüklenme, yanlış hammadde kullanımı gibi tipik hata nedenleri tanımlanmıştır (Eubanks, 1996: 10).

1.2.4.4 Hata Etkisi

Hatanın etkisi, bazı kaynaklarda hatanın ağırlığı veya hatanın şiddeti olarak da adlandırılmaktadır. Hata etkisi, ürüne, hizmete veya sürece ilişkin bir hata ortaya çıktığında müşterinin karşı karşıya kaldığı veya yaşadığı durum (Baysal vd., 2002: 85), fonksiyonel uygunsuzluk (Eryürek, 2004: 46) veya müşterinin neyin farkında olacağı veya dikkatini çeken durum olarak tanımlanmaktadır (Kara-Zaitri, 1991: 249). Burada bahsedilen müşteri, nihaî kullanıcı yani dış müşteri veya iç müşteri de olabilmektedir (Baysal vd., 2002: 85).

Hizmet sistemlerinde veya donanımda hata türleri, hata oranları veya hata etkileri genellikle birbirine benzemektedir. Eğer kullanılan bu hizmete ilişkin tasarım tek ise, önceki verilerden yararlanılamayacağı için yapılacak olan analizde, analizi yapacak olan kişinin varsayımları gerekmektedir. Analizin geçerliliği ve analize dayanarak yapılacak olan değişikliklerin daha da maliyetli olmaması için bu varsayımların, testlerle doğrulanması önerilmektedir (Pelaez, 1994: 6).

Çizelge 1.3: Hatanın etkisini değerlendirmek için kullanılan HTEA ölçeği

<i>Etki</i>	<i>Etki</i>	<i>Derece</i>
Müşteri, hatanın farkında değildir.	Çok düşük	1
Küçük bir problem vardır.	Düşük	2
		3
		4
Müşterinin memnuniyetsizliği söz konusudur.	Orta	5
		6
		7
Müşterinin memnuniyetsizlik derecesi oldukça yüksektir.	Yüksek	8
		9
Müşterinin güvenliği açısından ciddi sonuçlar söz konusudur.	Çok yüksek	10

Kaynak: Puente, J., Pino, R., Priore, P. ve Fuente, D. (2002) "A Decision Support System for Applying Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 19, s. 2, s. 141; Pillay, A. ve Wang, J. (2003) "Modified Failure Mode and Effects Analysis using Approximate Reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, c. 79, s. 1, s. 71.

Çizelge 1.4: Hatanın etkisini değerlendirmek için kullanılan alternatif HTEA ölçeği

<i>Etki</i>	<i>Derece</i>	<i>Ölçüt</i>
Etkisi yok	1	Ürünün üzerinde hiçbir etki yoktur.
Çok önemsiz	2	Ürünün üzerinde önemsiz şiddette etki söz konusudur. Hata, müşteri tarafından fark edilmez.
Önemsiz	3	Ürünün üzerinde önemsiz şiddette etki söz konusudur. Hata, müşteri tarafından fark edilir.
Küçük	4	Ürünün üzerinde küçük şiddette etki söz konusudur. Hata, müşteri tarafından fark edilir.
Orta	5	Ürünün üzerinde orta şiddette etki söz konusudur. Müşteri, ürünü kullanırken rahatsızlık duyar.
Önemli	6	Parçanın yeniden işlenmesine neden olur. Ürünün performans derecesi düşer.
Büyük	7	Ürün üzerinde büyük bir etki söz konusudur. Ürün kullanılamaz. Müşteri, hoşnutsuzluk duyar.
Çok büyük	8	Ürünün tümü hurdaya ayrılabilir. Hata, bir ikazla meydana gelir.
Ciddi	9	Emniyetle ilgili yasalarla uyumsuz bir arıza söz konusudur. Hata, bir ikaz ile meydana gelir.
Tehlikeli	10	Emniyetle ilgili bir arıza söz konusudur. Hata, bir ikaz olmadan meydana gelir.

Kaynak: Öndemir, Ö. (2004) *Hata Türü ve Etkilerinin Bulanık Kümeler Yardımıyla Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul, s. 62.

Hatanın ürün kullanıcısı üzerindeki veya kullanıcı tarafından fark edilen etkisi, bir hata türünün bir sonraki üretim parçası, sistem veya müşteri üzerindeki etkisinin ciddiyetine göre sıralanmaktadır (Sankar ve Prabhu, 2001: 327). Belirlenen hatanın etki derecesi, 9 ve daha üzerinde ise, bu hata, oldukça kritik olmakla birlikte müşterinin can güvenliğini yüksek derecede tehlikeye atma olasılığına sahip olacağından diğer kriterlerine bakılmaksızın bir an önce iyileştirilmesi gerekmektedir (Musubeyli Erginel, 2004: 24).

Hataların etkilerini değerlendirmek için kullanılan kriterler, işletmeye veya ürüne göre değişmektedir. Tek tanımsal sözcük kullanmak yerine hata şiddetinin farklı seviyelerine ilişkin detaylı kriterler kullanmak, HTEA takımı açısından daha avantajlı olmaktadır (Davie, 2008: 17, 18). Bir hatanın etki derecesini değerlendirmek için HTEA takımı tarafından kullanılan, farklı kaynaklarda farklı ölçütler bulunmaktadır. Derecelendirme için 1-10 veya 1-5 ölçeği kullanılmakta ve 1-10 ölçeğinden daha yüksek bir ölçeklendirme, uygun olmayan etkiye neden olması (Aydın Keskin ve Özkan, 2009: 647), yorum zorluğu ve etkinliğin azalması bakımından tavsiye edilmemektedir (Stamatis, 2003: 30). Literatürdeki çalışmaların çoğu, 1-10 ölçeğini

tercih etmektedir. Bu ölçütlerden en çok karşılaşılan iki tanesi, Çizelge 1.3 ve 1.4'te verilmektedir.

1.2.4.5 Hatanın Ortaya Çıkma Durumu

Hatanın ortaya çıkma durumu, bazı kaynaklarda hatanın frekansı, hatanın sıklığı veya hatanın olasılığı olarak da adlandırılmaktadır. Hatanın ortaya çıkma olasılığı ile ilgili derecelendirmeler yapılırken, analiz altındaki sistemin geçmiş performanslarından, benzer faaliyetleri gerçekleştiren sistemlerden, işletme tarafından toplanan gözlemlerden veya faaliyet gösterilen sektörün yayınlarından yararlanılabilmektedir (Davie, 2008: 20). Çizelge 1.5'te hatanın ortaya çıkma olasılığını gösteren bir derecelendirme bulunmaktadır.

Çizelge 1.5: Hatanın ortaya çıkma olasılığı için HTEA ölçeği

<i>Hata Olasılığı</i>	<i>Derece</i>	<i>Ortaya çıkma olasılığı</i>
Çok düşük	1	< 1 / 20000
Düşük	2	1 / 20000
	3	1 / 10000
Orta	4	1 / 2000
	5	1 / 1000
	6	1 / 200
Yüksek	7	1 / 100
	8	1 / 20
Çok yüksek	9	1 / 10
	10	1 / 2

Kaynak: Puente, J., Pino, R., Priore, P. ve Fuente, D. (2002) "A Decision Support System for Applying Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 19, s. 2, s. 140.

1.2.4.6 Hatanın Tespiti

Hatanın tespiti, bazı kaynaklarda hatanın saptanabilirliği veya hatanın keşfedilebilirliği olarak da adlandırılmaktadır. Hatanın tespiti, hatalı ürünün müşteriye ulaşmama olasılığı veya hatalı ürün müşteriye ulaşmadan işletme tarafından fark edilmesi olarak tanımlanabilmektedir (Musubeyli Erginel, 2004: 24). Başka bir deyişle,

bir parçanın veya montajın potansiyel zayıflıklarının üretimden çıkmadan önce belirlenebilmesi için önerilen tasarımın yeteneğinin (Sankar ve Prabhu, 2001: 328) veya işletmedeki mevcut kontrollerin yeteneklerinin değerlendirmesidir (Dong, 2007: 959). Ürün, müşteriye ulaşmadan hataların yakalanabilmesi için temel yöntem kontrol olmakla birlikte ürün, henüz tasarım aşamasında iken ürünle ilgili yapılmış hesaplamalar, testler, denemeler de hatanın tespitinde önemli rol oynamakta (Baysal vd., 2002: 85) ayrıca, ürünün geçmiş verilerinin analizinden, benzer ürünlerden, mevcut ürünlerin üretimleri için kullanılan süreçlere ilişkin süreç yeterlilik çalışmalarından da yararlanılabilmektedir (Davie, 2008: 22). Bir süreçte hatanın tespit edilebilirliği yeterince sağlanıyorsa bu, kontrol yöntemlerine ayrılan maliyetin ve zamanın fazla olduğunun göstergesi de olabilmektedir. Bu nedenle, hatanın ortaya çıkma olasılığını azaltıcı çalışmalara yönelmek, işletme için daha akılcı olabilmektedir (Musubeyli Erginel, 2004: 25).

Çizelge 1.6: Hatanın tespit edilemeyebilirliği için HTEA ölçeği

<i>Hatanın tespit edilemeyebilirliği</i>	<i>Derece</i>	<i>Tespit edilememe olasılığı (%)</i>
Çok düşük	1	0-5
Düşük	2	6-15
	3	16-25
Orta	4	26-35
	5	36-45
	6	46-55
Yüksek	7	56-65
	8	66-75
Çok yüksek	9	76-85
	10	86-100

Kaynak: Pillay, A. ve Wang, J. (2003) "Modified Failure Mode and Effects Analysis using Approximate Reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, c. 79, s. 1, s. 71.

Çizelge 1.7: Hatanın tespit edilebilirliği için HTEA ölçeği

<i>Hatanın tespit edilebilirliği</i>	<i>Derece</i>	<i>Ölçüt</i>
Hemen hemen kesin	1	Tasarım kontrolleri, hata türünü veya hata türünün nedenini belirler.
Çok yüksek	2	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirleme olasılığı, çok yüksektir.
Yüksek	3	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirleme olasılığı, yüksektir.
Orta üstü	4	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirleme olasılığı, orta seviyeden daha yüksektir.
Orta	5	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirleme olasılığı, ortadır.
Az	6	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirleme olasılığı, azdır.
Çok az	7	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirlemesi olasılığı, çok azdır.
Zor	8	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirlemesi, zordur.
Çok zor	9	Tasarım kontrollerinin hata türünü veya hata türünün nedenini belirlemesi, çok zordur.
İmkânsız	10	Tasarım kontrolleri, hata türünü veya hata türünün nedenini tespit edemez veya tasarım kontrolü yoktur.

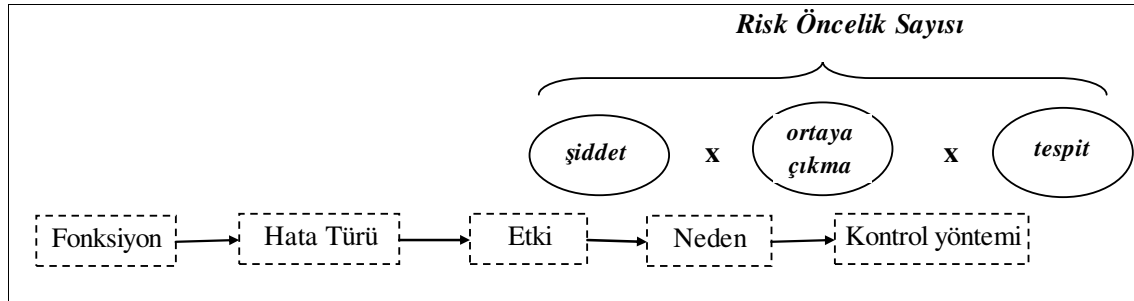
Kaynak: Sankar, N. R. ve Prabhu, B. S. (2001) "Modified Approach for Prioritization of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 18, s. 3, s. 328.

Hatanın tespit edilebilirliğine ilişkin kullanılacak derecelendirme örnekleri, Çizelge 1.6 ve 1.7'de görülmektedir.

1.2.4.7 Risk Öncelik Sayısı

Bazı kaynaklarda RÖS, risk öncelik göstergesi, risk öncelik katsayısı olarak da adlandırılmaktadır. Bir sistem, tasarım, ürün veya hizmet farklı ve çok sayıda hata türüne, nedenine veya etkisine sahip olabildiği için kritikliklerine göre değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme aşamasında HTEA, RÖS'ü kullanmaktadır (Wang vd., 2009: 1195). RÖS, parçanın veya alt sistemin hata oranını, hata türünü,

hatanın etkisini, ortaya çıkma olasılığını ve tespit edilebilirliğini içermekte olup hangi parçanın veya alt sistemin analize veya yeniden tasarıma ihtiyacı olduğunu belirlemektedir (Eubanks, 1996: 9; Rivera ve Leod, 2009: 1).



Şekil 1.10: HTEA’da risk öncelik sayısı hesaplaması

Kaynak: Mohammed, A. S. (2004) “Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) – A Comprehensive Quality Tool”, *The 2nd Seminar on Development of Modular Products*, 13-14 December, Dalarna, Sweden, s. 4.

RÖS hesaplaması için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar; hata türünün etkisi, hata türünün ortaya çıkma olasılığı ve hatanın tespit edilebilirliğine ilişkin derecelerin toplamı veya çarpımıdır (Kara-Zaitri vd., 1991: 249). Uygulamada en çok kullanılan yöntem ise, çarpımdır. Buna göre ilgili hata türünün RÖS’ü; hata türünün etkisi, hata türünün ortaya çıkma olasılığı ve hatanın tespit edilebilirliğine ilişkin derecelerin çarpımından oluşmaktadır. Şekil 1.10’da RÖS’ün hesaplaması gösterilmektedir.

RÖS, HTEA’da kullanılan, başka bir anlamı olmayan, sadece ilgili hata türlerini önceliklendirmek için kullanılan sayı olup 1 ile 1000 arasında (eğer 1-10 ölçeği kullanılırsa) değişmektedir. RÖS için tüm endüstriler tarafından kabul edilen standart bir değer olmayıp, seçilen ölçeğe veya karar vericilerin seçtikleri güven seviyesine veya eşik değere göre değişmektedir (Stamatis, 2003: 30). Bu anlamda eşik değer belirlenmesi, HTEA takımının sorumluluğundadır. HTEA takımı, bu eşik değerini belirlerken işletmenin ve ürünün piyasada bulunduğu yer, ürünün kullanım yerinin kritikliği, oluşabilecek hataların giderilebilme kolaylığı veya zorluğu gibi faktörleri de dikkate almalıdır (Eryürek, 2004: 61).

HTEA çalışmalarında asıl amaç, RÖS değerini 1’e doğru azaltmaktır (Baysal vd., 2002: 86). RÖS belirlendikten sonra elde edilen risk de kendi içinde küçük, normal,

yüksek ve kritik olmak üzere dörde ayrılmaktadır. Buna göre, küçük risk altında, herhangi bir düzeltici faaliyete gerek yoktur. Normal risk altında, bazı tedbirler alınabilmekte; yüksek risk altında ise, hatanın özelliğine göre belirli düzeltici tedbirler alınmaktadır. Kritik risk altında, düzeltici tedbirler alınıp hatanın kaynağı ortadan kaldırıldıktan sonra sistemde, tasarımda, üründe, süreçte veya hizmette köklü değişiklikler yapılmaktadır (Stamatis, 2003: 34).

1.2.4.8 Kritiklik Sayısı

Eğer HTEA, hataların kritikliğini – hatanın etkisinin ve ortaya çıkma sıklığının değerlendirilmesi – dikkate alırsa, analizin adı hata türü, etkileri ve kritiklik analizi olarak değişmektedir (Pelaez, 1994: 2). Hata türü, etkileri ve kritiklik analizi, kritiklik sayısını kullanmaktadır. Kritiklik sayısının asıl amacı, hata türünün etkisini ve hata türünün ortaya çıkma olasılığını dikkate alarak HTEA’da tanımlanan her hata türünü kritiklik derecesine göre sıralamaktır. Kritiklik sayısı öncelikle, hata türünün etkisini sınıflamakta, daha sonra kritiklik sıralaması yapmaktadır (Pelaez ve Bowles, 1994: 449).

Kritiklik sayısı aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$CN_i = \alpha_i \beta_i \lambda_p t \quad (1.5)$$

Bu formülde β , hata etkisinin olasılığını; α , hata türü oranını; λ , parçanın hata oranını ve t ise, faaliyet zamanını göstermektedir (Braglia vd., 2003b: 426).

Her montajın veya sistemin kritiklik sayısı ise, her hata etkisi kategorisine göre hesaplanmaktadır. Bu kritiklik sayısı, her etki kategorisindeki hata türlerinin kritiklik sayılarının toplamı olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$CN_r = \sum_{i=1}^m (\alpha \beta \lambda_p t)_i \quad (1.6)$$

Burada m , her etki kategorisindeki hata türünün sayısını göstermektedir.

RÖS, daha çok otomobil endüstrisi gibi üretim ve süreç endüstrilerinde kullanılırken; kritiklik sayısı ise, yüksek risk taşıyan askerî, uzay, nükleer ve kimyasal endüstrilerde kullanılmaktadır (Bowles, 1998: 51; Sharma vd., 2005: 989).

1.2.4.9 Düzeltici Faaliyetler

Düzeltici faaliyetlerin uygulanacağı hata türlerine, RÖS'e göre karar verilmektedir. Hata türünün potansiyel nedenlerini tam olarak tespit etmek ve önlemek için düzeltici faaliyetler tanımlanmalıdır (Puente vd., 2002: 139). RÖS değeri belli bir sayının üzerinde olan hata türleri, kritik hata türleridir ve mutlaka düzeltici faaliyetleri gerektirmektedir. Düzeltici faaliyetin başlatılması için minimum RÖS değeri, kuruluşa göre ve kuruluşun belirlediği güven seviyesine göre değişebilmektedir. RÖS değeri 100'den büyük hata türleri (eğer güven seviyesi % 90 ise) için mutlaka düzeltici faaliyetler başlatılmalıdır. RÖS değeri yüksek olan her bir hata sebebi için, RÖS'ü azaltmak için yapılacak faaliyetler belirlenmeli ve bu faaliyetler, açıkça tanımlanmalıdır (Atmaca ve Keskin, 2005: 210). Düzeltici tedbirlerin alınması ve buna göre ürün veya süreç tasarımında değişiklik yapılması, HTEA çalışmalarının sonuçları olup bir işletme için oldukça önemlidir ve HTEA çalışmalarının asıl amacının sonuçları olmaktadır.

Düzeltici tedbirler alınırken iki veya daha fazla hata türü için aynı RÖS elde edilirse, bu hata türlerini önceliklendirmede dikkate alınması gereken faktörler, hataların şiddeti ve tespit edilebilirliğidir. Hatanın ortaya çıkma olasılığı yerine hatanın şiddetinin ve tespit edilebilirliğinin dikkate alınmasının sebebi, hatanın şiddetinin, hatanın etkisini göstermesi; hatanın tespit edilebilirliğinin ise, müşteri odaklı olması yani, müşterinin eline geçmeden hatanın tespitini belirtmesidir (Stamatis, 2003: 34).

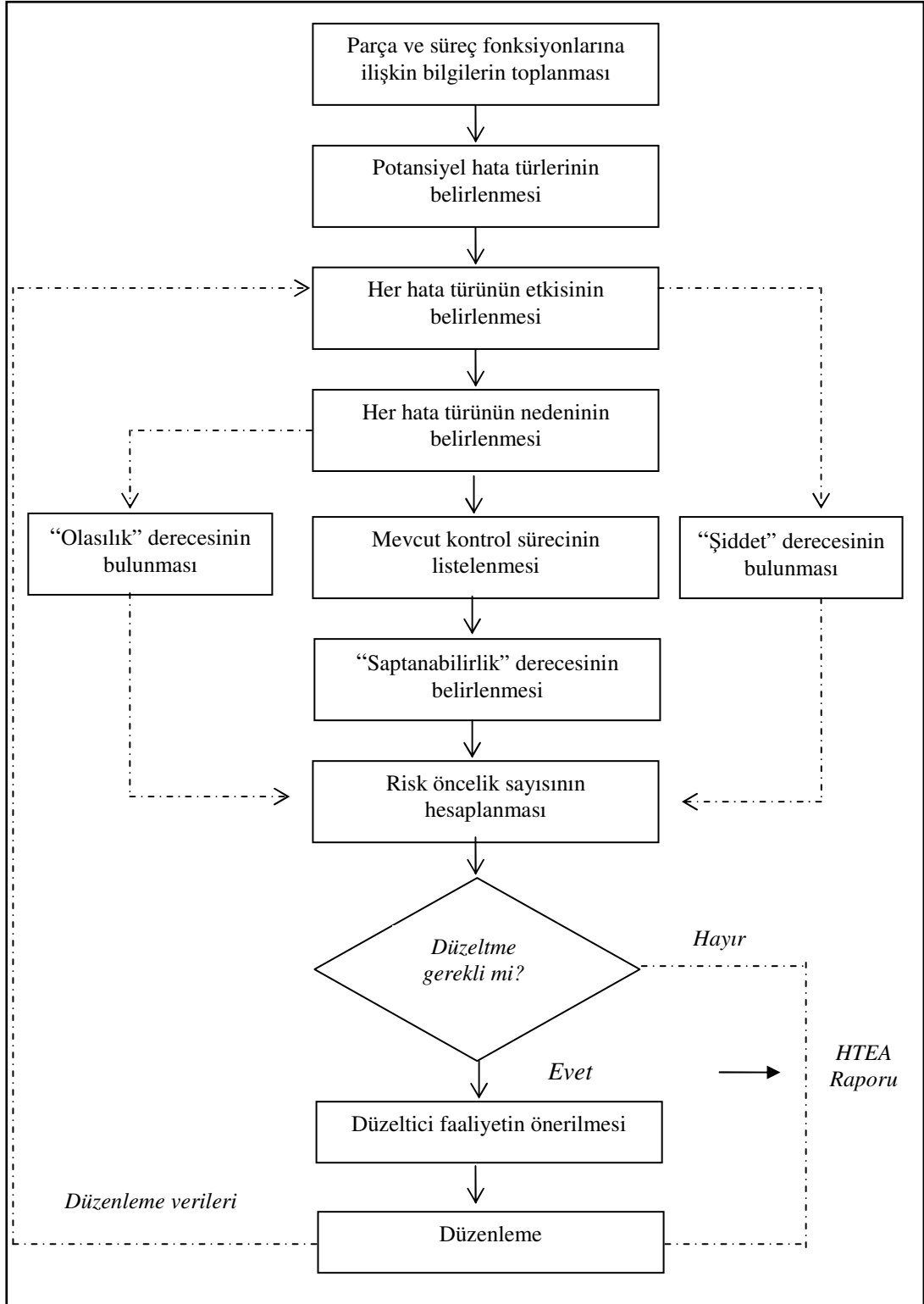
1.2.4.10 Hata Türü ve Etkileri Analizi Takımı

HTEA, bireysel olarak gerçekleştirilen bir faaliyet değildir. Analizi gerçekleştirecek olan takım (ekip, grup), analize konu olan ürün, hizmet veya süreç ile doğrudan ilgili kişilerden oluşmalıdır (Eryürek, 2004: 55). Başka bir deyişle, HTEA, bir sistemde veya süreçte mevcut veya potansiyel hataları ortaya çıkarmak için beyin fırtınası oturumlarına dayanan bir yöntem olduğu için (Aydın Keskin ve Özkan, 2009: 647) oluşturulacak takımın, analizin başarısında önemi büyüktür. Bu nedenle, HTEA için oluşturulan takım, farklı bölümlerden gelen karar vericilerden oluşmalıdır. Farklı bölümlerden gelen karar vericiler, sisteme değişik açılardan, sorumluluklardan ve deneyimlerden bakarak analizin perspektifinde değişiklik yapmaktadır (Davie, 2008: 7). Eğer müşteriler veya tedarikçiler tarafından hata türleri belirlendiyse HTEA takımı, HTEA'da gerekli adımları sırasıyla uygulamaktadır. Eğer hatalar, tam olarak

belirlenmediyse beyin fırtınası, ilgi diyagramı, neden-sonuç diyagramı, nominal grup tekniği gibi yöntemler yardımıyla öncelikle problemler belirlenmelidir (Stamatis, 2003: 36). Ayrıca, oluşturulan takım, RÖS için eşik veya güven seviyesi belirlemede, her parçayı veya alt sistemi değerlendirerek bir rapor hazırlamakta ve bu raporda, hangi düzeltici tedbirlerin alınacağı/alındığı veya hata türlerinin ortadan kaldırılması veya etkisinin azaltılması için hangi tedbirlere devam edileceği belirtilmektedir (Wirth vd., 1996: 220). Tüm bu faaliyetlerin başarılı bir şekilde yerine getirilebilmesi, HTEA takımının üzerinde çalıştığı sistemi, tasarımı, süreci veya hizmeti iyi bir şekilde anlamasından ve problemlerin yerini tam olarak tespit etmesinden geçmektedir.

1.2.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi Sürecinin Adımları

HTEA'nın tanımı düşünüldüğünde genel olarak analiz, hata türlerinin ve bunların etkilerinin tanımlanması, başka bir deyişle, verilerin toplanması ve hata türlerinin risklerine karar vermek için kritiklik analizlerinin veya hesaplamaların yapılması olmak üzere iki aşamalıdır (Teng ve Ho, 1996: 9). Bu iki aşamaya paralel olarak HTEA; sistemi parçalara ayırarak, ayrılan her parçanın hataya sebep olabilecek yönlerinin belirlenmesi, belirlenen bu hataların yarattığı veya yaratabileceği tehlikelerin derecelendirilmesi, sistemin her bir parçası için potansiyel hataların incelenmesi ve bu hataların etkilerinin ne olabileceğinin bulunması olmak üzere dört temel aşamayı içermektedir (Baysal vd., 2002: 83).



Şekil 1.11: HTEA sürecindeki adımlar

Kaynak: Teng, S. H. ve Ho, S. Y. (1996) "Failure Mode and Effects Analysis: An Integrated Approach for Product Design and Process Control", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 13, s. 5, s. 10.

Bu dört temel aşamada izlenmesi gereken ve Şekil 1.11’de gösterilen adımlar şu şekilde verilebilmektedir :

- Tüm kalite yönetim sistemlerinde olduğu gibi öncelikle sistem düzenli olarak çalıştığında, sistemin işleyişi tam olarak anlaşılmalı ve sistemde ne yapılmasının istendiği yani amaç, tam olarak belirlenmeli ve HTEA’ya başlamadan önce HTEA çalışmalarının plânlanması gerekmektedir.
- Plânlama aşamasında HTEA yürütülürken kullanılacak özel prosedürler, kurallar ve kriterler belirlenmelidir.
- Parçaların araştırılma yerlerinin tespiti için sistem, alt sistemlere, montajlara, faaliyetlere bölünmelidir. Sistemin daha detaylı bir şekilde tanımlanabilmesi için gerekli bilgi, beyin fırtınası oturumlarından ve neden-sonuç diyagramlarından da elde edilebilmektedir. Bu diyagramlar, sonraki adımlarda her fonksiyon için analizlerde ve potansiyel hata türleri ile etkileri arasındaki ilişkileri tanımlamada da kullanılabilir (Puente vd., 2002: 138).
- Sistemde bölünen her parçanın tanımlanabilmesi ve diğer parçalarla olan ilişkilerinin görülebilmesi için hata ağacı, görev ve güvenilirlik şemaları gibi şemaların oluşturulması gerekmektedir. Aynı amacı gerçekleştirmek için fonksiyonel blok diyagramları, sistem ve tasarım HTEA için uygun olurken; süreç akış şemaları ise, süreç ve hizmet HTEA için kullanılabilir.
- Sistemi etkileyen operasyonel veya çevresel faktörler belirlenmeli ve bu faktörlerin her parçayı nasıl etkilediği açığa çıkarılmalıdır.
- Her parça için mevcut veya potansiyel hata türleri tanımlanmalıdır. Hata türleri belirlenirken neden-sonuç diyagramı, KFG, istatistiksel kalite kontrol, diğer HTEA çalışmalarının sonuçları, matematiksel modelleme, simülasyon, güvenilirlik analizleri gibi işletmede daha önceden yapılan çalışmaların sonuçlarından yararlanılabilmektedir (Stamatis, 2003: 37).
- Her hata türünün montaja, alt sistemlere, tüm sisteme ve müşterilere etkisi değerlendirilmelidir.
- Her hata türü için şiddet ve olasılık değerleri belirlenmelidir.
- İşletmenin niteliğine göre RÖS veya kritiklik sayısı hesaplanmalıdır.
- RÖS’e veya kritiklik sayısına göre düzeltici tedbirlerin alınıp alınmayacağına karar verilmelidir.

- Düzeltici tedbirin alınması gerekiyorsa hataları önleyecek ve kontrol edecek önlemler tanımlanmalı ve bu önlemlerin etkileri değerlendirilmelidir.
- Son adımda yapılan analiz özetlenmeli ve belgelendirilmelidir (Yılmaz, 2000: 141; Pillay ve Wang, 2003: 70).

Çizelge 1.8: HTEA formu

HTEA'nın tanımı, türü ve amacı																
					Mevcut durum							Sonuçlar				
Parça numarası	Parçanın fonksiyonu	Parçadaki hata türü	Hatanın potansiyel etkisi	Hatanın asıl nedeni	Mevcut kontrol mekanizması	Sıklık	Şiddet	Tespit edilebilirlik	Risk öncelik sayısı	Tavsiye edilen durum ve tedbir	Hatanın düzeltilmesinden sorumlu kişi	Alınan önlem	Sıklık	Şiddet	Tespit edilebilirlik	Risk öncelik sayısı

Kaynak: Puente, J., Pino, R., Priore, P. ve Fuente, D. (2002) "A Decision Support System for Applying Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 19, s. 2, s. 139.

HTEA'ya konu olan hata türlerinin, bu hataların nedenlerinin ve RÖS'ün bileşenlerinin daha kolay takibi için işletmelerde kullanılan bir HTEA formu bulunmaktadır. Bu form, Çizelge 1.8'de görülmektedir. Bu formda analize tabi tutulan parçanın adı, parçanın amacı veya fonksiyonu, parçanın ortaya çıkardığı hata türü, hata türünün nedeni ve hatanın nasıl ortaya çıkarılabileceği, hata türünün bir sonraki parçaya veya müşteriye olan etkileri, hata türünün ortaya çıkma olasılığı ve hataya ilişkin RÖS veya kritiklik sayısı, hata türünün ortadan kaldırılması veya azaltılması için çözüm önerileri gibi bilgiler bulunmaktadır. Bazı formlarda, düzeltici faaliyeti yerine getirecek olan kişinin adı ve soyadı, düzeltici faaliyetin gerçekleştirileceği/gerçekleştirildiği tarih ve faaliyetler sonucunda sağlanan değişiklikler de bulunmaktadır.

Günümüzde kalitenin kendileri için rekabet aracı olduğunu anlayan ve bu nedenle, mevcut kalite düzeylerini sürekli geliştirmeyi ve iyileştirmeyi hedefleyen işletmeler için HTEA sonuçları, mutlaka ilgili işletme için iyileştirme programlarına dönüştürülmelidir. Ayrıca bu analiz, iyileştirmeleri ve düzeltici faaliyetleri sürekli

kılmaya ve ölçmeye yönelik olmalı (Atmaca ve Keskin, 2005: 210) ve RÖS değerleri, sürekli iyileştirmenin bir gereği olarak işletmenin belirlediği bir zaman sonunda tekrar hesaplanmalı ve her hata nedeni için uygulanan daha önceki düzeltici tedbirlerin etkinliği mutlaka kontrol edilmelidir. Bu anlamda işletmeler, HTEA sürecini tamamladıktan sonra “Yeni durum, eskisinden daha mı kötü veya daha mı iyi?” veya “Yeni durum, eskisi ile aynı mı?” sorularının cevaplarına göre analizin başarısını veya başarısızlığını değerlendirmelidir (Stamatis, 2003: 38).

1.2.6 Hata Türü ve Etkileri Analizinin Yararları

HTEA'nın uygulanmasında işletme, ürünü veya süreci hakkında farklı kaynaklardan birçok bilgi edindiği için analiz, tam olarak uygulandığında, işletmedeki sistem ve üretim süreci hakkında oldukça fazla bilgi vermektedir. Bu anlamda aslında elde edilen HTEA raporları, bir işletmenin işleyişi hakkında yönetim için bilgi kaynakları olmaktadır (Wirth vd., 1996: 220). HTEA, ürün ve süreç tasarımlarında kullanılmak üzere temel bilgileri sağlamakta ve işletmeler için hayati öneme sahip güvenilirlik tahminlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca HTEA, hizmet sonrasında veya üretimin ilerleyen aşamalarında hatta tasarım aşamasında düzeltici faaliyetlerin gerçekleştirilmesinin oldukça maliyetli olduğu ve üretim süreçlerinde yüksek güvenilirliğe ihtiyaç duyulduğu üretim süreçlerinde oldukça önemli olmakta bu anlamda da işletmeye malî kazançlar sağlamaktadır (Puente vd., 2002: 137). İşletmeler için oldukça önemli olan HTEA'nın yararları kısaca şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Ürünlerde, süreçlerde ve hizmetlerde hataların oluşturacağı olumsuz etkileri en aza indirmek için potansiyel veya mevcut hata türlerini belirlemekte, sistematik olarak incelemekte, bu hataların etkilerini tanımlamakta, kullandığı faktörler yardımıyla bu hata türlerini, risklerine göre sıralamakta ve düzeltici tedbirlerin alınmasına yol göstermektedir (Yılmaz, 2000: 137). Bu anlamda kalite plânlamasında rehber olmaktadır.
- Bu analiz ile işletmede ürün içindeki hatalar, henüz ürün iç ve dış müşteriye ulaşmadan bulunmakta, bu durumda da garanti işlemleri, hurda, israf gibi daha sonraki aşamalarda karşılaşılabilecek maliyetlere veya yeniden işleme faaliyetlerine engel olunmaktadır (Teng ve Ho, 1996: 9).

- İç ve dış müşterileri etkileyerek onların hayatlarını tehlikeye atan veya ekipmana zarar veren kritik parçalar belirlenebilmekte ve ortadan kaldırılabilmektedir .
- Analizi gerçekleştiren sistem tasarımcıları, analiz esnasında sistem faaliyetleri hakkında hata oranları, bakım oranları vb. değerlendirmeleri kullanan yöntemlere göre daha detaylı bilgi edinmekte böylece sonuçlar, daha sağlıklı olmakta ve anlamlı düzeltici tedbirlerin alınması sağlanmaktadır (Bowles, 1998: 51).
- Ürünün veya sürecin tasarım aşamasına odaklanarak, bu aşamayı en ince ayrıntısına kadar analiz etmekte bu anlamda, tasarımda anahtar karakteristikleri belirlemekte bu nedenle de ürünlerin veya süreçlerin tasarım süresini kısaltmaktadır (Tay ve Lim, 2006: 1048).
- Ürünlerde veya hizmetlerde rakiplere kıyasla belirgin fark yaratabilecek önceliklerin saptanmasına yardımcı olmakta (Eryürek, 2004: 50), böylece, rekabet avantajı sağlamaktadır.
- Montaj, montaj öncesinde, üründe ve süreçte hataların oluşum olasılığını ve bunun nereden kaynaklanabileceğini (tasarım, operasyon, vb.) belirlemekte ve diğer kaynaklardan elde edilmesi mümkün olmayan hata oranlarını ve türlerini tanımlayarak gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlamaktadır.
- Güvenilirliğin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlamakta ve yüksek riskli bileşenlerin güvenilir hale getirilebilmesi için alternatifler tanımlamaktadır.
- Bir ürün için düşünülen potansiyel değişikliklerin potansiyel etkilerini tanımlamakta böylece, karar vericiye bir karar destek sistemi sunulmaktadır.
- Hizmet veya ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini, şirket imajını, rekabet avantajını, müşteri tatminini arttırmaktadır (Yılmaz, 2000: 138).

Bununla birlikte, eğer işletmelerin HTEA çalışmalarını uygulamalarındaki amaçları, sadece müşteri memnuniyetini sağlamak ve onların taleplerini karşılamak ise, HTEA'nın sayılan bu yararları azalacak ve HTEA için yapılan maliyetler, analizi uygulamanın getireceği müşteri memnuniyeti dışındaki yararları karşılamayacaktır (Teng ve Ho, 1996: 9). HTEA ile elde edilen sonuçlar ise, geliştirilmiş güvenilirlik, fonksiyonel fazlalığın giderilmesi ve önleyici bakım ve onarım faaliyetlerini içeren birçok alanda kullanılabilecek görüşler sağlamaktadır (Eubanks, 1996: 9).

1.2.7 Hata Türü ve Etkileri Analizine Yöneltilen Eleştiriler

HTEA, bir üründeki, hizmetteki ve süreçteki potansiyel hataları belirleyen ve bu hataların etkilerini ve diğer parçalarla ilişkilerini tahmin etmek için yaygın olarak üretim ve hizmet sektörlerinde kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, bu analize yapılan eleştiriler de bulunmaktadır. Bu analizin eleştiriye açık veya zayıf yönlerini şu şekilde sıralamak mümkündür:

- TKY, bir felsefe olarak bir organizasyondaki tasarımdan satış sonrası hizmete kadar tüm faaliyetleri dikkate almaktadır. Yapılan çalışmalarda ise, HTEA, genellikle tasarım ve üretim süreçlerine uygulanmıştır. HTEA'nın, TKY'nin bir parçası olduğu düşünüldüğünde hataya ilişkin tüm parametrelerin işletmedeki tüm faaliyetler için gerçekleştirilebilir olması gerekmektedir (Devadasan vd., 2003: 553).
- HTEA'nın genel anlamıyla bir kalite iyileştirme yöntemi olduğu düşünülürse, analizin bir kez tamamlandıktan sonra bırakılması, işletmeye yarar yerine zarar getireceği için mutlaka analizin belirli dönemlerde tekrarlanması gerekmektedir.
- HTEA uygulamaları, ürün/süreç tasarım aşamalarında HTEA'nın doğru zamanda uygulanması, eğitilmiş ve deneyim sahibi kişilerden oluşan HTEA takımının kurulması, HTEA raporu hazırlanırken farklı bölümler arasında işbirliğinin kurulması, tüm bölümler tarafından ürün/süreç tasarımının geliştirilmesi için HTEA raporunda görüş birliğine varılması gibi problemleri içermektedir (Teng ve Ho, 1996: 12).
- RÖS analizi, farklı değerdeki şiddet, ortaya çıkma ve tespit değerlerinin uygulama sonucunda aynı RÖS değerine sahip birden fazla hata türü ile sonuçlanabilmektedir. Bu durumda, farklı risk önceliklerine sahip hata türlerine aynı şekilde davranılmaktadır. Bu şekildeki bir davranış, gerçekte riskleri tamamen birbirinden farklı olan yüksek risk değerine sahip hataların gözden kaçmasına neden olmaktadır (Sharma vd., 2008b: 98). Bu durum, kaynak ve zaman israfına veya bazı durumlarda yüksek riskli bir olayın fark edilmemesine ve ölüm, yaralanma gibi daha ciddi problemlere yol açabilmektedir (Pillay ve Wang, 2003: 72; Öndemir, 2006: 90).
- RÖS analizi, risk faktörlerinin ağırlıklarını eşit kabul etmekte ve hesaplamalarda risk faktörlerinin önemlerinin farklı olabileceğini ihmal etmektedir. Gerçek

uygulamalarda ise, bu faktörler arasında işletmenin yapısına bağlı olarak önemli farklılıklar bulunabilmektedir (Sharma vd., 2008b: 95, Puente vd., 2002: 142).

- HTEA titizlikle uygulansa dahi analiz edilen sistem veya alt sistemdeki hatalar hakkında bilgiler vermekle birlikte hareket noktalarına karar vermek için tanımlanmış bir yöntemin olmaması ve birbirinin içine girmiş, bağlı hataların kaçırılmasının söz konusu olması gibi zayıflıkları söz konusudur (Wirth vd., 1996: 220).

Çizelge 1.9: RÖS'e ilişkin ölçeğin istatistiksel verileri

<i>Doğru olmayan varsayımlar</i>	<i>Gerçek istatistiksel veriler</i>
Tüm RÖS değerlerinin ortalaması yaklaşık 500'dür.	RÖS değerlerinin ortalaması, 166'dır.
RÖS değerlerinin yaklaşık %50'si, 500'ün üzerindedir (Medyan, yaklaşık 500'dür)	Medyan yaklaşık 105'tir.
1000 tane olası RÖS değeri vardır.	120 tane tek RÖS değeri vardır.

Kaynak: Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N. ve Asgharpour, M.J. (2006) "Reprioritization of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis by Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Technique", *Reliability Engineering and System Safety*, c. 91, s. 8, s. 873.

- HTEA için kullanılan ölçek, bazı varsayım hatalarını düşündürmektedir. Seyed – Hosseini, Safaei ve Asgharpour (2006) tarafından belirtilen varsayım hataları, Çizelge 1.9'da belirtilmektedir. Örneğin, her faktöre ait değerler, 1'den başlayıp, 10'da bitirse, bu durumda 1000 tane RÖS değerinin olduğu düşünülebilir. Oysaki 120 tane RÖS değeri elde edilmektedir (Seyed-Hosseini vd., 2006: 873).
- HTEA, diğer risk analizi yöntemleri gibi, girdi olarak sayısal verilere (olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik) ihtiyaç duymakta ancak, pek çok durumda bu faktörlere ilişkin hazır bilgi bulunmamakta veya bulunan veriler de yeterli ve güvenilir olmamaktadır. Bu durumda, çoğu kez sayısal veriler uzman yargısına başvurularak tahmin edilmekte bu nedenle, HTEA'daki RÖS hesaplama yöntemi, uzman yargısına dayanmakta ve sübjektiflik taşımaktadır (Aran, 2006: 25; Pillay ve Wang, 2003: 72).
- HTEA'daki faktörlerin olasılık değerlerinin belirlenmesi sübjektiflik taşımaktadır.

- Kimi zaman hatanın ortaya çıkma sıklığı ve hatanın şiddeti çok yüksek olsa bile, hesaplanan RÖS, bu durumu yansıtamamaktadır. Örneğin, hatanın oluşmasını sağlayan nedenin ortaya çıkma olasılığı çok düşük ama ortaya çıktığında da meydana gelen sonucu bir müşterinin can güvenliğini tehlikeye atacak şekilde ise, bu hatanın hata türü sıralamasında öncelikli olması gerekmektedir. Bu tür hataların kontrolü için diğer yöntemlere başvurmak gerekmektedir (Puente vd., 2002: 139).
- HTEA’da hesaplanan RÖS değeri, HTEA’yı karmaşık bir analiz yapmakla birlikte hata türlerinin ve hataların etkisinin hassasiyetini tahmin etmede bir fikir vermemektedir (Devadasan vd., 2003: 553).
- Hesaplanan RÖS değeri, önerilen düzeltici faaliyetlerin etkinliğini ölçmemektedir (Puente vd., 2002: 142).
- Hesaplanan RÖS değeri, üretilen ürün miktarını dikkate almamaktadır (Puente vd., 2002: 142).
- Yüksek şiddet değerli, düşük ortaya çıkma olasılığı olan ve yüksek tespit edilebilirlik değerine (örneğin sırasıyla 9, 3 ve 2 olsun) sahip ve mutlaka düzeltilmesi gereken bir hata türü daha düşük RÖS değerine (54) sahipken, tüm faktörleri normal (4, 5 ve 6) ve RÖS değeri (120) olan bir hata türünden sıralamada daha geride yer almaktadır.
- RÖS hesaplaması esnasında bir faktöre atanan değerde oldukça küçük bir değişiklik, RÖS üzerinde büyük değişikliklere neden olabilmektedir. Örneğin, bir hata türünün ortaya çıkma sıklığına ve tespit edilebilirliğine atanan değer, 10 ve şiddet değeri 9 iken, bu hata türünün RÖS değeri, 900 olmaktadır. Hata türünün şiddet değeri 8’e düşürüldüğünde RÖS değeri, 100 puan birden düşmektedir (Chin vd., 2009: 1769).
- HTEA, bir hatadan kaynaklanan maliyetlerin sonuçlarını yansıtmamaktadır. Uygulamalarda, hataların maliyetlerinin veya iyileştirme faaliyetlerinde maliyet bilgisinin dikkate alınmaması doğru olmamaktadır.
- HTEA, hataların işletme içindeki etkisini dikkate almamaktadır. Ancak, bir hatanın tespit edilebilme olasılığı yüksek ise, ilgili hata türünün RÖS değeri düşük olacaktır. Ayrıca HTEA, hata türlerinin ve etkilerinin birbirleri ile olan bağımlılıklarını dikkate almamaktadır (Xu vd., 2002: 17).

İKİNCİ BÖLÜM

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

Kalite iyileştirme yöntemleri, kalitenin ölçümüne ve analizine yöneliktir (Guiffrida ve Nagi, 1998: 10). Bu temel analizlerden olan güvenilirlik ve hata analizinde, ekipmanların durumlarının gözlemlenmesi, bakım görevlerinin plânlanması, güvenilirlik programlarının temel parçalarıdır. Bu temel parçalar da tedarik, tasarım, üretim, montaj, depolama, bakım gibi birçok faaliyetten etkilenmektedir (Sharma vd., 2008b: 96). Bu şekilde birçok faaliyet ile bağlantılı programların yürütülebilmesi için klâsik analitik yöntemler, kesin sayısal olasılıkları ve parçaların fonksiyonel bilgilerini gerektiren matematiksel ve istatistiksel modellere ihtiyaç duymakta (Fonseca ve Knapp, 2001: 453), bu modeller ise, incelenen ürüne veya sürece ilişkin birçok bilgiyi gerektirmektedir.

Karmaşık ve büyük sistemlere ilişkin bu analizler gerçekleştirilirken sistem parametrelerinin elde edilmesi, birçok kesin bilginin bulunması, bunların analizlere aktarılması veya her hataya ilişkin değişkenlere kesin değerler atanması oldukça zor olmaktadır (Pelaez ve Bowles, 1996: 198; Braglia vd., 2003a: 513). Çünkü hata ve güvenilirlik analizlerindeki güvenilirlik tahminleri, karmaşık sistemler için farklı kaynaklardan birçok bilginin toplanmasını gerektirmekte ve bu süreç ise, üretim süreçleri, tasarım parametreleri gibi farklı faktörlerdeki değişkenlik nedeniyle kesin olmayış veya belirsizlik içermektedir (Yadav vd., 2008: 746). Bununla birlikte, sisteme ilişkin toplanan geçmişe ait bilgiler de ürünlerin, süreçlerin veya sistemlerin gelecekteki durumlarını tahmin etmede yetersiz kalmaktadır (Sharma vd., 2007a: 320). Ayrıca, bir sistemde hatanın ortaya çıkmasına neden olan faktörler, kesin olmayıp belirsizlik gösterebilmekte (Pandey vd., 2009: 792), bu durum da karar vericileri, analizlerde belirsizlik problemi ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bu nedenle, kesin değerler atamak yerine, yaklaşık değerleri kullanmak daha gerçekçi olmaktadır. Başka bir deyişle, yaklaşık düşünme yöntemleri, belirsizliğe belirlilik katmak için kullanılmaktadır. Bunlar arasında bulanık küme teorisi ve bulanık mantık, belirsizliğin bulunduğu durumlarda sistemin davranışını modellemek için kullanılmaktadır. Bu anlamda,

bulanık kümeler, diğer birçok alanda kullanıldığı gibi güvenilirlik ve hata analizlerinde ekipmanların durumlarının, makinelerin arızalarının tahmininde, parçaların risk analizlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir (Fonseca ve Knapp, 2001: 453).

2.1 BULANIK MANTIK

Günümüzde karşılaşılan ve çözüm bekleyen çoğu problemde, objektif ve sübjektif olmak üzere iki türlü bilgi bulunmaktadır. Objektif bilgi, matematiksel modeller gibi mühendislik problemlerinde sürekli kullanılırken; sübjektif bilgi ise, kurallar, uzman bilgisi veya tasarım gereklilikleri gibi klâsik matematiğin yetersiz veya tanımlamasının olanaksız olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Mendel, 2001: 3). Ayrıca, yaşanan çevrede karmaşıklık, genel olarak belirsizlikten veya kesin kararlar verilememesinden kaynaklanmakta ve birçok konuda sahip olunan bilginin eksik veya yetersiz oluşundan dolayı belirsizlikler ile her zaman karşılaşmaktadır. Gerçek bir olayın insan bilgisinin sonucunda tam anlamı ile kavranması mümkün olmadığından bu gibi olaylar, yaklaşık olarak düşünülerek yorumlanmaktadır (Şen, 2004: 7).

Bahsedilen ve kaçınılmaz olan belirsizlik, günümüz piyasalarında da işletmeler için bir problem teşkil etmektedir. İşletmelerin piyasalarda bir yer edinebilmesi, yüksek kaliteli, düşük maliyetli ürünlerin veya hizmetlerin gerçekleştirilebilmesine bağlı olmakta ve bu durum da, bir işletme stratejisi olarak araştırma konusu haline gelmektedir. Bununla birlikte, günümüzde karmaşık ve belirsiz sistemlerde problem çözümlerinde kullanılan klâsik yöntemler, işletmelerinin başarısını arttırmak için tek başlarına yeterli olamamaktadır. Bu yöntemlerin tek başlarına yeterli olamamalarının nedenlerini şu şekilde sıralamak mümkündür (Meziane vd., 2000: 218):

- Süreçlerin doğasında bulunan ve engellenemeyen değişkenlik,
- Eksik veya gereğinden fazla bilgi,
- Tam olarak tanımlanmamış süreçler,
- Müşteri ihtiyaçlarına veya teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli değişen süreçler ve günlük problemler.

Ayrıca klâsik yöntemler, sayısal olmayan bilgileri gerektiren, insanların yargılarından ve algılarından etkilenen sistemler için de yeterli olamamaktadır (Jang vd., 1997: 54). Bu nedenle, sistemlerdeki belirsizlikler ve karmaşıklık nedeniyle matematiksel olarak formülasyonu kurulamayan veya çözülmesi mümkün olmayan

karmaşık problemler, sezgisel yöntemlerle bilgisayarlar yardımıyla çözülebilmektedir. Bilgisayarlara, bu özellikleri kazandıran ve bu yeteneklerin gelişmesini sağlayan çalışmalar ise, “yapay zekâ” olarak bilinmektedir (Öztemel, 2003: 13). Yapay zekâ, insan zekâsının anlama, yorumlama ve çıkarımda bulunma özelliklerini içeren makineler üretmeyi amaçlayan (Bulgurcu, 1995: 1), zeki davranışların otomasyonunu inceleyen bilgisayar biliminin bir dalı olmaktadır. Yapay zekânın, uzman sistemler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, zeki birimler, robotikler, bilgisayarlı görme, doğal dil işleyicileri ve bulanık mantık olmak üzere birçok yöntemi bulunmakta ve günümüzde oldukça sık kullanılmaktadır (Öztürk ve Sönmez, 2004: 582). Bu yöntemler arasında bulanık mantık, endüstri tarafından kabul edilen ve oldukça fazla uygulama alanı bulan bir disiplin olarak düşünülmektedir.

Bulanık mantık, bulanık küme teorisinden geliştirilen ve çoğu problemde bulunan belirsizliği, matematiksel olarak modellemek ve çözmek için araçlar geliştirmektedir (Chin vd., 2008: 638). Belirsizlik ile ilgilenen ve bu belirsizliği modellemeye çalışan “Bulanık Mantık” kavramındaki sözcüklere bakıldığında “bulanık” sözcüğü, ilk defa Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış olup, “belirsiz, kesin olmayan, hayal meyal” anlamındadır (Türkbey, 2003: 84). “Mantık” ise, “düşünmek, akıl yürütmek, yargılarda bulunarak çıkarım yapmak, yorum yapmak” anlamında kullanılmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004a: 9).

Temelinde belirsizliğin yattığı bulanık mantığın ana amacı, herhangi bir problemde tam ve kesin olmayan yani eksik bilgiler var olduğunda, insanlara doğru ve tutarlı bilgiler verebilmek ve onlara, karar destek sistemi sağlamaktır (Türkbey, 2003: 82). Bu anlamda bulanık mantık, önermelerin doğruluk dereceleri ile ilgilenmektedir. Başka bir deyişle, bir önermenin doğruluğu, doğru olan önerme hakkında kesinliğin derecesine bağlı olmaktadır. Her ne kadar kesinliğin derecesi, olasılığı andırsa da bunlar, birbirinden farklı kavramlardır (Öztürk ve Sönmez, 2004: 582). Bulanıklık ile olasılık arasındaki ayırım oldukça açıktır. Bulanıklık, bir olaydaki veya bir önermedeki belirsiz veya kesin olmayan anlatım iken (Zadeh ve Kacprzyk, 1992: 74); olasılık, bir olayın oluşundaki belirsizliği ifade etmektedir (Ross, 2004: 16). Bulanıklık derecesinin göstergesi olan bulanık üyelik derecesi ile olasılık arasındaki farklar, şu şekilde belirtilebilmektedir (Nabiyev, 2005: 670):

- Sonlu bir evrensel kümede bir olaya ilişkin olasılıklar toplamının 1'e eşit olması gerekirken, bir olaya ilişkin bulanık üyelik derecelerinde böyle bir gereklilik yoktur.
- Bir olaya ilişkin olasılık, ayrıık değerlere sahip olurken; bulanık kümenin bireye ilişkin üyelik dereceleri, süreklilik taşımaktadır.
- Klâsik olasılık hesapları, bireylerin tamamının temeline dayalıdır. Bulanık küme teorisinde ise, bireyin üyelik derecesi, diğer bireylerin tamamının temeline ilişkin olmamakta, üyelikler bakımından farklar görülmektedir.

Temelini bulanık mantığın oluşturduğu bulanık sistemler, bulanık mantık yaklaşımını kullanan süreçlerin oluşturulması, performanslarının değerlendirmesi ve gözlemlenmesi için geliştirilen sistemler olup, "eğer-o halde" biçimdeki bulanık kurallardan oluşan bilgi tabanlı veya kural tabanlı sistem olarak adlandırılabilir (Pillay ve Wang, 2003: 75). Genel olarak bulanık sistemler, davranışları tam olarak modellenememiş oldukça karmaşık sistemlerin modellenmesi ve problemlerden yaklaşık ve hızlı sonuçlar alınmak istenmesi durumlarında kullanılabilir (Ross, 2004: 8). Bulanık mantığın birçok karmaşık sistemlerin veya problemlerin çözümünde kullanılmasının nedenlerini kısaca şu şekilde özetlemek mümkündür (Yılmaz ve Arslan, 2005: 515):

- Anlaşılması kolay olup dayandığı matematiksel teori basittir.
- Doğaldır ve işlemler esnasında insanların günlük hayatta kullandığı dili kullanmaktadır.
- Eksik veya yetersiz bilgilerle işlemler yapabilmektedir.
- Karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonları modelleyebilmekte ve diğer yöntemlerle birlikte kullanılarak bulanık modeller oluşturabilmektedir.
- Uzman kişilerin görüş ve tecrübelerini modele dâhil edebilmekte ve sayısal olmayan bu verilerle işlem yapabilmektedir.

Oldukça fazla uygulama alanı olan bulanık mantığın geçmişi 1900'lu yıllara J. Lukasiewicz'e kadar dayanmaktadır. Lukasiewicz, üç değerli mantığı önermiş ve belirsizliğin temellerini atmıştır (Baykal ve Beyan, 2004a: 17). Lukasiewicz'in ardından kuantum fizikçisi Max Planck (1930) belirsizlik mantığını ortaya atmış, Kaplan ve Schott (1958) ise, belirsizlik mantığını geliştirmiştir (Demirel, 1999: 80).

Berkeley Üniversitesi'nde öğretim üyesi olan L. Zadeh (1965), yayınladığı “Bulanık Kümeler” adlı makalesinde belirsizlik mantığını bulanık mantık olarak adlandırıp bulanık mantığın temellerini atmış, bulanık mantığa ilişkin temel kavramları tanıtmıştır.

Zadeh'in bu çalışmasından sonra bulanık mantık, literatürdeki yerini almış, endüstri tarafından kabul edilmiş ve bulanık mantığın endüstriyel uygulamaları başlatılmıştır. Mamdani ve Assilian (1975), bir buhar makinesinin kontrolünü bulanık mantık ile gerçekleştirmiştir. Bu gelişmelerden sonra özellikle, Japonya'da şehir metrosunun kontrolü, asansörler gibi bulanık kontrolün birçok endüstriyel uygulaması yapılmıştır (Şen, 2004: 9). Çizelge 2.1'de bulanık mantığın ve sistemlerinin bugünkü durumunu almasındaki temel olaylar görülmektedir.

Çizelge 2.1: Bulanık sistemlerin gelişmesinde temel olaylar

<i>Bulanık Sisteme İlişkin Olay</i>	<i>Olay Sahibi</i>
Bulanık sistemlere ilişkin ilk çalışma	Zadeh, 1965
Sözel yaklaşım	Zadeh, 1973
Bulanık mantık tabanlı kontrol	Assilian ve Mamdani, 1975
Bulanık mantığa dayalı ısı değiştirici kontrolü	Ostergaard, 1977
Bulanık mantığın ilk endüstriyel uygulaması (çimento ocağı kontrolü)	Homblad ve Ostergaard, 1982
Kendi kendini örgütleyen bulanık kontrolcü	Procyk ve Mandani, 1979
Bulanık örüntü tanıma	Bezdek, 1981
Tokyo otobanlarında bulanık kontrol	Hitachi, 1984
Bulanık çipler	Togai ve Watanabe, 1986
Takagi-Sugeno tipi bulanık modelleme	Takagi ve Sugeno, 1985
Hibrid sinirsel bulanık sistemler	Kosko, 1992

Kaynak: Pappis, C. P. ve Siettos, C. I (2005) “Fuzzy Reasoning” *Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*, Derl: E. K. Burke ve G. Kendall (Springer: New York), s. 438.

Bulanık mantık uygulamaları, 1990 yılından sonra üretimden, finans, pazarlama, tıp, ekonomi, mühendislik uygulamaları ve diğer karar problemlerinin çözüm alanlarına kadar hızlı bir şekilde artmıştır. Ulusal ve uluslararası veri tabanları incelendiğinde, tüm mühendislik ve diğer bilim dallarındaki uygulamalarda bulanık mantık, bulanık küme

teorisi ve bulanık kontrole ilişkin uygulamaların yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

2.1.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi; az, sık, orta, düşük, çok, birçok gibi sözel (dilsel) terimleri kullanarak verileri dereceli olarak modelleyen ve böylece, olaylardaki belirsizliklerin modellenmesinde daha gerçekçi ve doğala yakın sonuçların elde edilmesini sağlayan bir teoridir (Nabiyev, 2005: 668). Bu anlamda sayısal değişkenlerin yerine sözel değişkenlerin kullanılması, bulanık küme teorisini klâsik küme teorisinden ayıran en önemli özelliğdir (Atacak ve Bay, 2004: 206). Sözel değişkenler, değer olarak, sözcükleri veya cümleleri alan değişkenler olup sayısal değişkenler ile sözel değişkenler arasındaki en önemli ayrım; sayısal değişkenlerin değer olarak sayıları, sözel değişkenlerin değer olarak doğal dil sözcüklerini almasıdır (Türkbey, 2003: 87). Sözel değişkenler, klâsik yöntemler ile tam olarak tanımlanamamış ve karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkili olmaktadır. Bu anlamda sözcüklerin veya cümlelerin yani, sözel değişkenlerin kullanım amacı, sözel değişkenlerin sayısal değişkenlerden daha az belirli olmasıdır. Örneğin, “Ali, gençtir.” cümlesi, “Ali, 25 yaşındadır.” cümlesinden daha az belirlidir (Zadeh, 1975a: 201).

Bir sözel değişken, $(x, T(x), U, G, M)$ olmak üzere beşli ile ifade edilmektedir. Bu beşlide x , değişkenin adını göstermektedir. $T(x)$, değişkenin içerdiği sözel terimlerin kümesidir. U , temel değişkenler için evrensel kümedir. $G, T(x)$ 'de terim üreten dizimsel gramerdir. M ise, U 'daki bulanık kümelerle karşılık gelen $T(x)$ terimlerinin semantik kurallarıdır (Zadeh, 1975b: 314; Baykal ve Beyan, 2004a: 44).

Bulanık küme teorisi ile klâsik küme teorisi arasındaki temel fark, kümedeki bir elemanın kümeye ait olmasının klâsik kümelerdeki gibi “evet (1)” veya “hayır (0)” gibi kesin (keskin) olmayıp, evet veya hayır arasında başka bir deyişle, 0 ile 1 arasında değerler alabilmesi ve bunun, sürekli bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilebilmesidir (Yılmaz ve Arslan, 2005: 514). Bulanık küme teorisini klâsik küme teorisinden ayıran bu temel fark, karşılaşılan belirsizlikleri tanımlamada önemli bir yere sahiptir. Bu anlamda, bulanık küme teorisi, belirsizliğin ölçülmesinde etkili ve anlamlı araçlar kullanarak günlük dilde ifade edilen belirsiz kavramlara belirlilik kazandırmakta (Sarı

vd., 2005: 78) ve uzun, kısa, büyük, küçük, az, çok gibi insan düşüncesindeki ara değerlerle işlem yapmaktadır (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007: 3).

Bulanık küme teorisi, bulanık mantığı veya bulanık işlemcileri uygulamalarda kullanılabilir hale dönüştürmekte başka bir deyişle, bulanık işlemcileri oluşturmak için gerekli alt yapıyı sağlamaktadır (Altaş, 1999: 83). Bu anlamda, bulanık kümeler, bulanık mantık kavramlarını uygulamaya taşıyan önemli araçlardır (Çağman, 2006: 5). Bulanık kümelerdeki yumuşak veya esnek geçiş, üyelik fonksiyonları ile sağlanmakta ve “su, sıcaktır” veya “sıcaklık, yüksektir” gibi sözel ifadeler kullanılarak bulanık kümelere esneklik kazandırılmaktadır (Jang vd., 1997: 13). Bu anlamda bulanık küme teorisi, bulanık mantığın dar görünüşünden daha geniştir ve bulanık mantığı da içeren çeşitli dallara sahiptir. Bu dallar arasında bulanık aritmetik, bulanık matematiksel programlama, bulanık topoloji, bulanık grafik teorisi ve bulanık veri analizi gibi dallar bulunmaktadır (Zadeh, 1994: 78).

2.1.1.1 “Bulanık Küme” ve “Üyelik Fonksiyonu” Kavramları

Bulanık kümeler, bulanık sistemlerin temel elemanı olup farklı üyelik (ait olma) derecelerine sahip elemanlardan oluşan, üyelikten (aitlikten) üye olmamaya (ait olmamaya) geçişin ani veya kesin olmayıp, dereceli olduğu bir küme türüdür (Bellman ve Zadeh, 1977: 106).

Bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları (karakteristik fonksiyon, ayırım fonksiyonu veya belirleyici fonksiyon) ile gösterilmektedir. Bir E evrensel kümesinde tanımlı bulanık A kümesi (\tilde{A}), $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonu ile tanımlanmakta ve şu şekilde bir eşleme ile gösterilmektedir:

$$\mu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0,1] \quad (2.1)$$

Burada $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değeri, x elemanının üyelik değerini veya üyelik derecesini göstermektedir. Üyelik derecesi ise, x elemanının, \tilde{A} kümesine ait olma derecesini göstermektedir (Tanaka, 1997: 10). Bu anlamda üyelik derecesi, herhangi bir elemanın üyelik fonksiyonundan aldığı değer olarak tanımlanmaktadır (Acar vd., 2008: 30). Üyelik derecesinin 0 ve 1 olan değerleri, kesin kümelerde olduğu gibi üye olmayı ve olmamayı gösterirken; 0 ve 1 aralığındaki değerler, bulanık kümelerdeki kısmi üyeliği göstermektedir.

Üyelik fonksiyonlarının farklı gösterim şekilleri bulunmaktadır. Bu gösterimleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Mendel, 2001: 21):

- E evrensel kümesindeki \tilde{A} kümesi, x elemanından ve bu elemanın üyelik fonksiyonundan oluşan sıralı ikililer şeklinde gösterilebilmektedir:

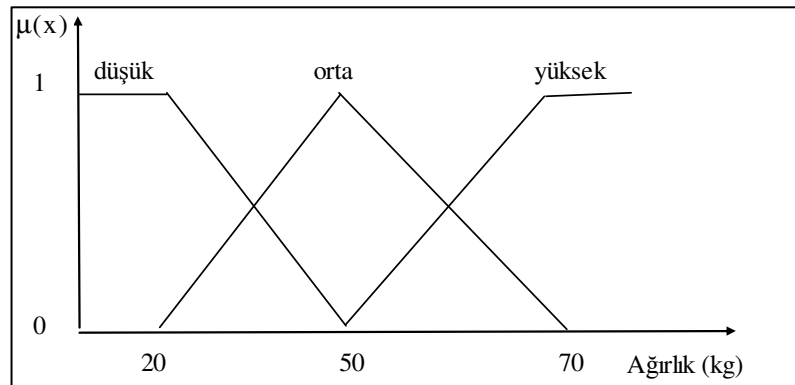
$$\tilde{A} = \{x \in E \mid (x, \mu_{\tilde{A}}(x))\} \quad (2.2a)$$

- Eğer E evrensel kümesi sürekli ise, fonksiyon şu şekilde gösterilebilmektedir:

$$\tilde{A} = \int_x \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (\text{sürekli biçim}) \quad (2.2b)$$

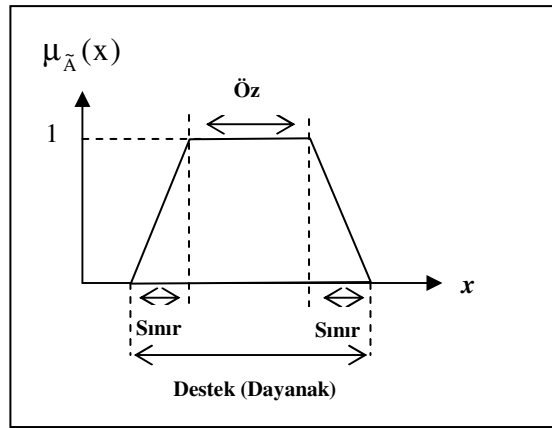
- Eğer E evrensel kümesi kesikli (ayrık) ise, fonksiyon şu şekilde gösterilebilmektedir:

$$\tilde{A} = \sum_{x_i \in E} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \quad (\text{ayrık biçim}) \quad (2.2c)$$



Şekil 2.1: "Ağırlık" sözel değişkeni

Bulanık kümeler, kesin çizgilerle gösterilemeyeceği için Venn şeması yerine üyelik fonksiyonlarının grafiğiyle gösterilmektedirler. Şekil 2.1'de örnek olarak, "insan ağırlığı" sözel değişkeni için düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç sözel terim tanımlanmakta ve bu terimlerin üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimleri verilmektedir.



Şekil 2.2: Üyelik fonksiyonunun kısımları

Bir üyelik fonksiyonu, farklı kısımlara sahip olup genel haliyle yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonu, Şekil 2.2’de görüldüğü gibidir. Bu kısımları, şu şekilde özetlemek mümkündür:

- Bir \tilde{A} kümesinin *desteği* (*dayanağı*), $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ olan x elamanlarının tümünden oluşan klâsik bir kümedir. Eğer bir bulanık kümenin desteği, tek bir nokta ise, $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$, bu durum bulanık teklik olarak adlandırılmaktadır.

$$\text{Destek}(\tilde{A}) = \{x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (2.3)$$

- Bir \tilde{A} kümesinin *özü*, üyelik derecesi 1’e eşit olan elamanlardan oluşan kümedir.

$$\text{Öz}(\tilde{A}) = \{x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (2.4)$$

- Bir \tilde{A} kümesinin *sınırları*, üyelik dereceleri 0’a veya 1’e eşit olmayan elemanların oluşturduğu kısımlardır.

$$\text{Sınır}(\tilde{A}) = \{x \in E \mid 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\} \quad (2.5)$$

Bir bulanık üyelik fonksiyonu farklı özelliklere sahiptir. Bu özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Zimmermann, 1992: 14, 15; Baykal ve Beyan, 2004a: 84-86):

- Eğer bir bulanık kümede $\sup_{x \in E} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ durumu var ise, bu bulanık küme *normal* bir bulanık küme olmaktadır (Mendel, 2001: 25). Başka bir deyişle, bir bulanık kümenin özü, boş küme değilse, bulanık küme normaldir.

- Bulanık kümenin *yüksekliği*, üyelik derecesinin en büyük olduğu öğeye karşılık gelmektedir. Normal bulanık kümenin yüksekliği, 1'e eşittir.
- Bir \tilde{A} kümesinin *geçiş noktası*, üyelik derecesinin 0,5'e eşit olduğu elemanların oluşturduğu kümedir.

$$\text{Geçiş } (\tilde{A}) = \{x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 0,5\} \quad (2.6)$$

- Bir \tilde{A} kümesinde üyelik derecesi en az α derecesine eşit olan elemanlardan oluşan kesin küme, α *kesim kümesidir*.

$$\text{Zayıf } \alpha \text{ kesmesi: } A_{\alpha} = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \quad \alpha \in (0,1]$$

$$\text{Güçlü } \alpha \text{ kesmesi: } A_{\alpha} = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > \alpha\}, \quad \alpha \in [0,1) \quad (2.7)$$

Zayıf α kesmeleri, kimi zaman α -seviye kümeleri olarak da adlandırılmaktadır.

- Bir \tilde{A} kümesi aşağıdaki koşulu sağlıyor ise, *konvektir (dışbükeydir)*:

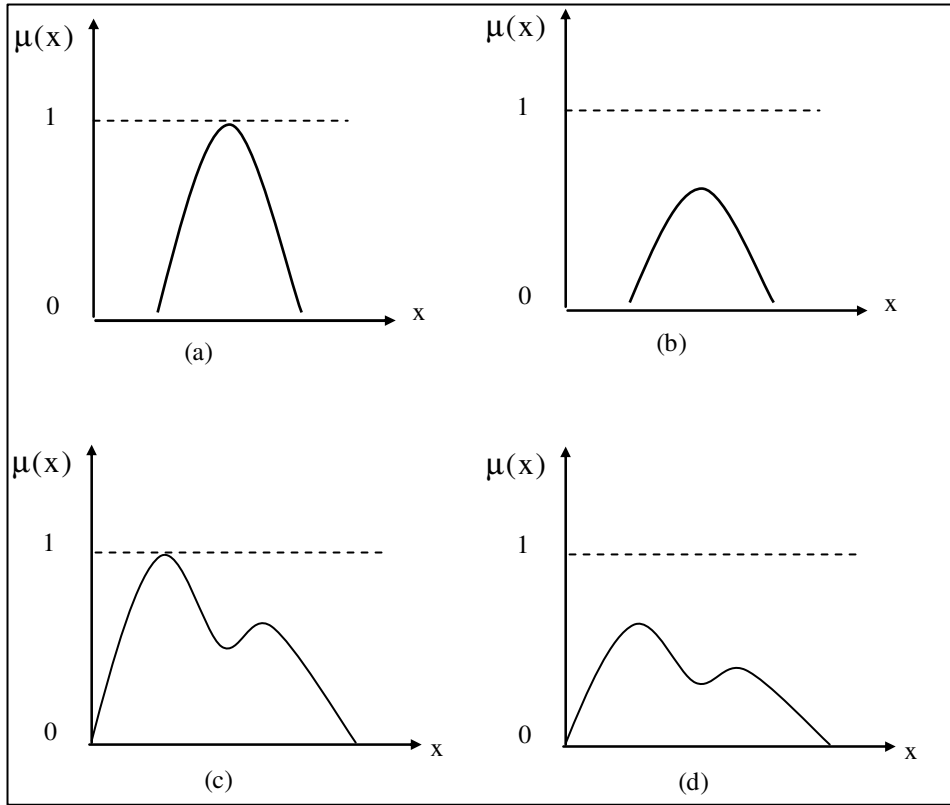
$$\forall x_1, x_2 \in E \text{ ve } \forall \lambda \in [0,1] \text{ koşulu ile}$$

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)) \quad (2.8)$$

- Bir \tilde{A} kümesinin üyelik fonksiyonu, $x = c$ noktası için aşağıdaki koşulu sağlıyor ise, \tilde{A} kümesi simetriktir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x + c) = \mu_{\tilde{A}}(c - x), \quad \forall x \in E \quad (2.9)$$

Şekil 2.3'te farklı bulanık kümeler görülmektedir.



Şekil 2.3: a) Konveks ve normal bulanık küme b) Konveks ve normal olmayan bulanık küme c) Konveks olmayan ve normal bulanık küme d) Konveks olmayan ve normal olmayan bulanık küme

Kaynak: Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (1995) *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, World Scientific: Singapore, s. 120.

2.1.1.2 Üyelik Fonksiyonu Çeşitleri

Literatürde üçgensel, yamuksal, Gaussian, çan eğrisi, sigmodial, S, π gibi farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu üyelik fonksiyonları arasında uygulamalarda hesaplama kolaylığı açısından üçgensel, yamuksal, Gaussian ve çan eğrisi üyelik fonksiyonlarına sıkça rastlanmaktadır. Uygulamalarda hangi fonksiyonun daha uygun olup olmayacağına veya hangisinin kullanılması gerektiğine, üzerinde durulan uygulama alanından elde edilen verilere göre karar verilmektedir. Literatürde sıkça karşılaşılan üyelik fonksiyonlarının parametreleri ve denklemleri, şu şekilde yazılabilmektedir (Yen ve Langari, 1999: 62-64; Baykal ve Beyan, 2004a: 78-80):

Üçgensel üyelik fonksiyonu: Bu üyelik fonksiyonu, $\{a_1, a_2, a_3\}$ olmak üzere üç parametre ile tanımlanmaktadır. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_{\bar{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 & \text{ise,} \\ (x-a_1)/(a_2-a_1) & , a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise,} \\ (a_3-x)/(a_3-a_2) & , a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise,} \\ 0 & , x > a_3 & \text{ise,} \end{cases} \quad (2.10)$$

Minimum ve maksimum ifadeleri kullanılarak yukarıdaki denklem, farklı olarak şu şekilde yazılabilmekte ve üyelik derecesi bulunabilmektedir (Jang vd., 1997: 25):

$$\text{Üçgensel}(x; a_1, a_2, a_3) = \max\left(\min\left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}, \frac{a_3-x}{a_3-a_2}\right), 0\right) \quad (2.11)$$

Yamuksal üyelik fonksiyonu: Bu üyelik fonksiyonu, $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ olmak üzere dört parametre ile tanımlanmaktadır. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_{\bar{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 & \text{ise,} \\ (x-a_1)/(a_2-a_1) & , a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise,} \\ 1 & , a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise,} \\ (a_4-x)/(a_4-a_3) & , a_3 \leq x \leq a_4 & \text{ise,} \\ 0 & , x > a_4 & \text{ise,} \end{cases} \quad (2.12)$$

Yamuksal üyelik fonksiyonunda ikinci ve üçüncü parametre birbirine eşit olduğunda ($a_2=a_3$), yamuksal üyelik fonksiyonu, üçgensel üyelik fonksiyonu haline gelmektedir. Minimum ve maksimum ifadeleri kullanılarak yukarıdaki denklem, şu şekilde yazılabilmektedir (Jang vd., 1997: 25):

$$\text{Yamuksal}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \max\left(\min\left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}, 1, \frac{a_4-x}{a_4-a_3}\right), 0\right) \quad (2.13)$$

Gaussian üyelik fonksiyonu: Bu üyelik fonksiyonu, $\{m, \sigma\}$ olmak üzere iki parametre ile gösterilmektedir. Bu parametrelerden m , fonksiyonun merkezini gösterirken; σ ise, fonksiyonun genişliğini göstermektedir. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x; m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right\} \quad (2.14)$$

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu: Bu üyelik fonksiyonu, $\{a_1, a_2, a_3\}$ olmak üzere üç parametre ile tanımlanmaktadır. Bu parametrelerden a_1 ve a_3 , fonksiyonun merkezini ve genişliğini değiştirmek; a_2 ise, geçiş noktalarındaki eğimi ayarlamak için kullanılmaktadır. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - a_3}{a_1}\right|^{2a_2}} \quad (2.15)$$

Çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bu üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi, Şekil 2.4'te görülmektedir. Şekillerdeki bulanık kümeler, sürekli, normal ve konvektir.

Üyelik fonksiyonunun		
Adı	Matematiksel ifadesi	Grafiksel şekli
Üçgensel üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \end{cases}$	
Yamuksal üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \end{cases}$	
Gaussian üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right\}$	
Çan şekilli üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left \frac{x - a_3}{a_1} \right ^{2a_2}} \right\}$	

Şekil 2.4: Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları

2.1.1.3 Bulanık Kümelerde İşlemler

Klâsik kümelerde tanımlanan birçok işlem, bulanık kümelerde de tanımlanabilmektedir. E, evrensel kümeyi göstermek üzere bulanık kümelerdeki temel işlemleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Zadeh, 1965: 340, 341):

- Bir bulanık kümedeki tüm elemanların üyelik fonksiyonları 0 ise, bulanık küme, boş bir bulanık kümedir.
- Eğer iki bulanık küme, $\tilde{A} = \tilde{B}$ şeklinde yazılıyor ise, $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x)$ 'tir. Bu durumda iki bulanık küme, birbirine eşittir.

- Bir \tilde{A} kümesinin tümleyeni, \tilde{A}' ile gösterilmekte ve $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A}'}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$ ile tanımlanmaktadır. Tümleme ile ilgili işlemler, klâsik küme tümleme işleminden farklılık göstermektedir. Bu farklılıkları şu şekilde belirtmek mümkündür (Nabiyev, 2005: 673):
 - \tilde{A} kümesinin, tümleyeni ile birleşimi evrensel küme değildir.
 - \tilde{A} kümesinin, tümleyeni ile kesişimi boş küme değildir
- Eğer $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$ ise, \tilde{B} kümesi, \tilde{A} kümesini (veya \tilde{A} kümesi, \tilde{B} kümesinin alt kümesi ise veya \tilde{A} kümesi, \tilde{B} kümesine eşit veya \tilde{B} kümesinden küçükse) kapsamaktadır.

Matematiksel olarak yazmak gerekirse,

$$A \subset B \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x) , \forall x \in E \quad (2.16)$$

- \tilde{A} ve \tilde{B} kümelerinin $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ üyelik fonksiyonları ile birleşimi, \tilde{C} kümesini oluşturmaktadır. $\tilde{C} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ olarak yazılabilmekte ve yeni kümenin üyelik fonksiyonu, \tilde{A} ve \tilde{B} kümelerine bağlı olarak şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \text{Max} [\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)] , x \in E$$

Daha kısa bir yazılışla,

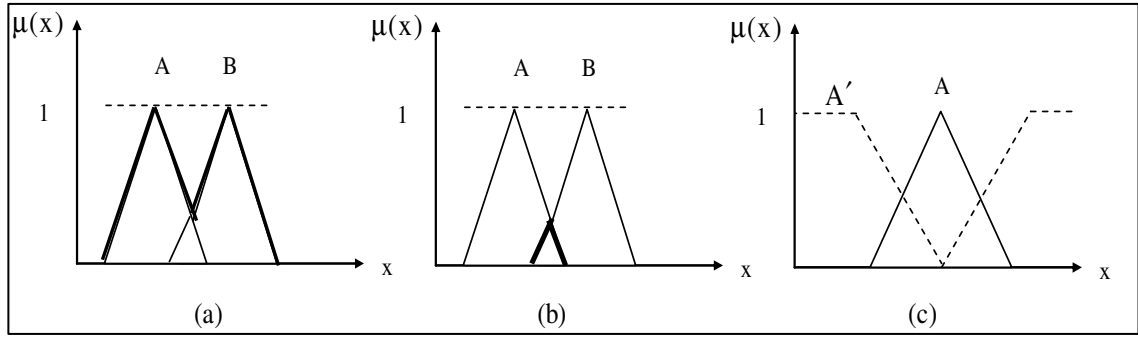
$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.17)$$

- \tilde{A} ve \tilde{B} kümelerinin $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ üyelik fonksiyonları kesişimi, yeni bir \tilde{C} kümesini oluşturmaktadır. $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ olarak yazılabilmekte ve yeni kümenin üyelik fonksiyonu, \tilde{A} ve \tilde{B} kümelerine bağlı olarak şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \text{Min} [\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)] , x \in E$$

Daha kısa bir yazılışla,

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.18)$$



Şekil 2.5: Bulanık kümelerde a) birleşim işlemi b) kesişim işlemi c) tümlleme işlemi

Şekil 2.5'te iki bulanık kümenin kesişimi, birleşimi ve tümlleme işlemleri grafiksel olarak gösterilmektedir.

2.1.1.4 Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, daha kolay hesaplama açısından dikkate alınan bulanık kümelerdir (Tanaka, 1997: 37). Kesin olmayan bilginin sayısal gösterimi olan bulanık sayıların kullanılması ile gerçek hayattaki problemlerin belirsiz yapısının modellenmesinde kullanılacak yeni matematiksel yöntemler geliştirilmiştir.

Bir bulanık sayı, bu bulanık sayıyı gösteren üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, bulanık bir sayı, kendi üyelik fonksiyonu ile aynıdır (Bojadziev ve Bojadziev, 1995: 29). Reel sayılar evrensel kümesinde tanımlanmış bir \tilde{A} kümesi aşağıdaki durumları sağlar ise A , bir bulanık sayıdır (Tanaka, 1997: 37):

- A , konveks bulanık küme olmalıdır,
- x_0 elemanı, bir kez $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1$ durumunu sağlamalıdır,
- $\mu_{\tilde{A}}$, sürekli bir aralıkta bulunmalıdır.

Bulanık sayılar arasında üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Üçgensel bulanık sayı, a_1 , a_2 ve a_3 olmak üzere üç değer ile gösterilmektedir.

$$A(a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 & \text{ise} \\ (x-a_1)/(a_2-a_1) & , a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise} \\ (a_3-x)/(a_3-a_2) & , a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise} \\ 0 & , x > a_3 & \text{ise} \end{cases} \quad (2.19)$$

Burada $[a_1, a_3]$ aralığı, üçgensel bulanık sayının destek aralığı olmakta, a_2 değeri ise, bulanık sayının en yüksek noktası olmaktadır (Bojadziew ve Bojadziew, 1995: 35).

Yamuksal bulanık sayı ise, a_1, a_2, a_3 ve a_4 olmak üzere dört değer ile gösterilmektedir.

$$A(a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 & \text{ise} \\ (x-a_1)/(a_2-a_1) & , a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise} \\ 1 & , a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise} \\ (a_4-x)/(a_4-a_3) & , a_3 \leq x \leq a_4 & \text{ise} \\ 0 & , x > a_4 & \text{ise} \end{cases} \quad (2.20)$$

Üçgensel $A = (a_1, a_2, a_3)$ ve $B = (b_1, b_2, b_3)$ sayıları ile yamuksal $C = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $D = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ sayıları düşünüldüğünde bu sayılar ile yapılabilen temel işlemler aşağıda verilmiştir (Kaufmann ve Gupta, 1988: 28, 33; Gülbay, 2006: 55-56).

Toplama : $A + B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$

$$C + D = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \quad (2.21)$$

Çıkarma: $A - B = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$

$$C - D = (a_1 - b_4, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_1) \quad (2.22)$$

Bir Sayı ile Çarpma: $\forall k > 0, k \in \mathbb{R}, k.A = (k.a_1, k.a_2, k.a_3)$

$$k.C = (k.a_1, k.a_2, k.a_3, k.a_4)$$

$$\forall k < 0, k \in \mathbb{R} \quad k.A = (k.a_3, k.a_2, k.a_1)$$

$$k.C = (k.a_4, k.a_3, k.a_2, k.a_1) \quad (2.23)$$

Çarpma: $A > 0, B > 0 \quad A.B = (a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3)$

$$C > 0, D > 0 \quad C.D = (a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3, a_4.b_4)$$

$$A < 0, B > 0 \quad A.B = (a_1.b_3, a_2.b_2, a_3.b_1)$$

$$\begin{aligned}
C < 0, D > 0 & \quad C.D = (a_4.b_1, a_3.b_2, a_2.b_3, a_1.b_4) \\
A < 0, B < 0 & \quad A.B = (a_3.b_3, a_2.b_2, a_1.b_1) \\
C < 0, D < 0 & \quad C.D = (a_4.b_4, a_3.b_3, a_2.b_2, a_1.b_1)
\end{aligned} \tag{2.24}$$

$$\text{Bölme: } A > 0, B > 0 \quad \frac{A}{B} = \left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1} \right)$$

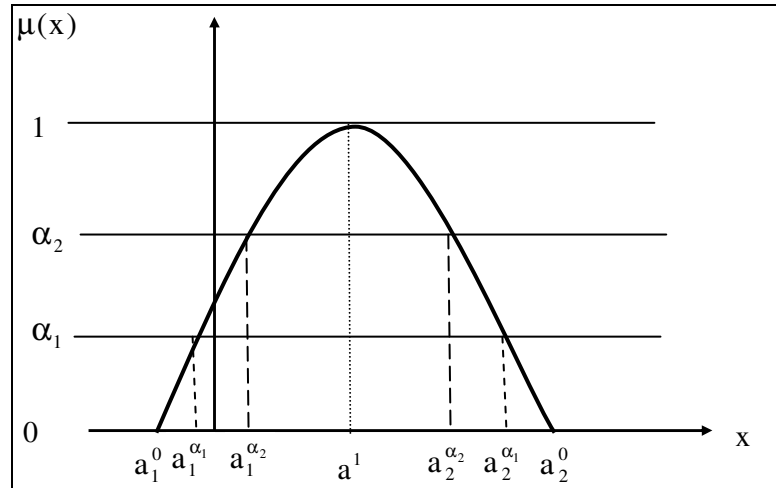
$$C > 0, D > 0 \quad \frac{C}{D} = \left(\frac{a_1}{b_4}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_4}{b_1} \right)$$

$$A < 0, B > 0 \quad \frac{A}{B} = \left(\frac{a_3}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_1}{b_1} \right)$$

$$C < 0, D > 0 \quad \frac{C}{D} = \left(\frac{a_4}{b_4}, \frac{a_3}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_1}{b_1} \right)$$

$$A < 0, B < 0 \quad \frac{A}{B} = \left(\frac{a_3}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_1}{b_3} \right)$$

$$C < 0, D < 0 \quad \frac{C}{D} = \left(\frac{a_4}{b_1}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_1}{b_4} \right) \tag{2.25}$$



Şekil 2.6: Normal ve konveks bulanık bir sayı ve farklı α kesmeleri

Kaynak: Kaufmann A. ve Gupta M. M. (1988) *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, Elsevier Science Publishers Company: Amsterdam, s. 21.

Bulanık kümeler α kesim kümesi kavramına dayanarak, çoklu klâsik küme olarak, yani α kesim kümeleri olarak belirlenebilmektedir. Her α kesmesi, bir üyelik fonksiyonunun kesitine karşılık gelmektedir (Baykal ve Beyan, 2004a: 87). α değeri arttıkça, α kesimiyle oluşturulan klâsik kümedeki eleman sayısı azalmaktadır (Özkan, 2003: 42). Şekil 2.6’da bir bulanık küme ve bulanık kümenin farklı α kesim seviyeleri görülmektedir.

Eğer bir bulanık kümenin α kesmesi, kapalı aralık şeklinde verilmişse, bu bulanık sayı işlemleri gibi düşünülüp aralık işlemleri yapılabilmektedir. A ve B bulanık sayılarının α kesmesi olarak verildiği düşünüldüğünde şu işlemler yapılabilmektedir (Kaufmann ve Gupta, 1988: 22):

$$\forall a_1, a_3, b_1, b_3 \in \mathbb{R}^+$$

$$A = [a_1, a_3] \text{ ve } B = [b_1, b_3] \text{ ise,}$$

$$[a_1, a_3] + [b_1, b_3] = [a_1 + b_1, a_3 + b_3] \quad (2.26a)$$

$$[a_1, a_3] - [b_1, b_3] = [a_1 - b_3, a_3 - b_1] \quad (2.26b)$$

$$[a_1, a_3][b_1, b_3] = [a_1 \cdot b_1, a_3 \cdot b_3] \quad (2.26c)$$

$$[a_1, a_3] \div [b_1, b_3] = [a_1 \div b_3, a_3 \div b_1] \quad (2.26d)$$

2.1.2 Bulanık Çıkarım Sistemleri

Endüstride bulanık mantık sistemleri, genellikle kontrol alanına odaklanmış olup (Türkbey, 2003: 83) çoğu kaynakta, bulanık kontrol adı altında anılmaktadır (Guimaraes ve Lapa, 2004: 195). Bulanık kontrol (bulanık mantık denetleyici, bulanık çıkarım sistemleri, bulanık kontrolörler), doğrusal olmayan ve güvenilir analitik modeli kurulamayan sistemler için önemli yaklaşımlardan bir tanesidir. Bu anlamda, bulanık kontrole dayanan çıkarım, insan düşüncesinin benzetimi olarak düşünülebilmektedir (Pappis ve Siettos, 2005: 438).

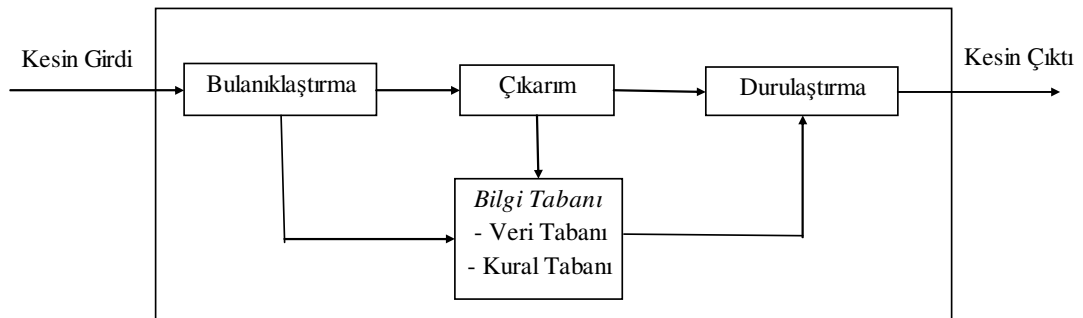
Klâsik kontrol sistemleri, sistemin matematiksel modelinin oluşturulmasını gerektirirken; bulanık kontrol sistemlerinde, modelin tam olarak bilinmesine gerek kalmamaktadır. Sistemin oluşturulması, uzmanların veya karar vericilerin deneyimlerine ve sözel kurallara bağlıdır (Demirel, 1999: 80). Bu tür kurallarla yapılan kontroller, kimi zaman “Kural Tabanlı Denetim” veya “Akıllı Denetim” olarak da adlandırılmaktadır (Çiftçi, 2001: 3). Bulanık mantık kontrollü sistemlerin tasarımı,

kontrol kurallarının tasarımını içermekte başka bir deyişle, operatörün davranışlarına göre “eğer-o halde” kuralları elde edilmektedir (Tanaka, 1997: 122).

Kural tabanlı sistemlerin avantajları, doğrusal olmayan, iyi tanımlanmamış ve zamanla içinde değişiklik gösteren sistemlerde kolaylıkla işlemesi (Bolat, 2006: 23), kuralların kolay bir şekilde oluşturulması ve yorumlanması, sistemin kolay bir şekilde esnetilmesi ve düzenlenmesi, kolay bir çıkarım tekniği olması olarak sıralanabilmektedir (Perfileva, 2007: 174).

Kural tabanlı sistemlerin dezavantajları ise,

- Farklı kurallar arasındaki ilişkinin tam olarak açık olmaması,
- Verilerin işlenmesi ve çıkarımı esnasındaki düşük esneklik (Perfileva, 2007: 174),
- Uzmanların kişisel bilgilerini ve deneyimlerini bulanık sistemin veritabanına ve kural tabanına aktarımında kullanılabilir standart bir yöntemin bulunmaması,
- Oluşturulan bulanık çıkarım sonucunda elde edilen çıktının, hata ölçümlerini en aza indirebilmek ve etkinliğini arttırabilmek için üyelik fonksiyonlarının tam olarak ne olması gerektiğine ilişkin bir yöntemin bulunmaması (Efendigil, 2008: 55),
- Oluşturulan sistemde birden fazla giriş değişkeni varsa gerçekleştirilecek çıkarımın daha da zorlaşması (Çiftçi, 2001: 3) olarak sıralanabilmektedir.



Şekil 2.7: Bir bulanık sistemin genel yapısı

Şekil 2.7’de bir bulanık sistemin genel yapısı görülmektedir. Buna göre bir bulanık sistem, temel olarak bulanıklaştırma, çıkarım ve durulaştırma birimlerinden oluşmaktadır.

2.1.2.1 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, sistemden alınan kesin giriş verilerinin, sözel değişkenlere dönüştürme işlemidir. Bu aşamada, belirlenen üyelik fonksiyonlarından yararlanarak giriş bilgileri, ait olduğu bulanık küme/kümeler ile eşleştirilmekte ve üyelik derecesi belirlenerek sözel değişkenler belirlenmektedir (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007: 5). Başka bir deyişle, giriş değerlerinin daha önceden belirlenen üyelik fonksiyonlarından hangisine ve ne derecede (üyelik derecesi) ait olduğu belirlenmektedir (Efendigil, 2008: 56).

Bulanıklaştırma sürecinde şu işlemler gerçekleştirilmektedir (Bolat, 2006: 18):

- Giriş değişkenlerinin ölçüsü başka bir deyişle, değişkenin alabileceği değer aralığı belirlenir.
- Sözü edilen uzaya karşılık gelen ve giriş değişkenlerinin oranına dönüştüren performans ölçeklemesi yapılır.
- Belirlenen üyelik fonksiyonları ile giriş verileri ölçek değişikliğine başka bir deyişle, uygun sözel değişkenlere dönüştürülür ve diğer adımlara aktarılmak üzere bulanık veriler hazırlanır.

2.1.2.2 Kurallar

Girişler bulanıklaştırıldıktan sonra, sistemin yapısına göre kural tabanı belirlenmektedir. Kural tabanındaki bulanık “eğer - o halde” kuralı, “eğer - o halde” ifadeleri ile verilen ve ifadelerde kullanılan sözcüklerin sürekli bir üyelik fonksiyonu tarafından karakterize edildiği cümlelerdir (Pillay ve Wang, 2003: 75). Bulanık “eğer-o halde” kuralları kimi zaman bulanık kural, bulanık akıl yürütme veya bulanık durum cümleleri olarak da adlandırılmaktadır. Günlük hayatta kullanılan “eğer-o halde” kurallarına şu şekilde örnekler vermek mümkündür (Jang vd., 1997: 59):

- Eğer yol kaygan ise, o halde trafik, tehlikelidir.
- Eğer domates kırmızı ise, o halde domates, olgundur.

Bulanık “eğer-o halde” kuralları, genellikle belirsiz ortamda karar vermede kişisel yargıları yansıtmakta olup (Efendigil, 2008: 55), kesin giriş değerlerini bulanık yapıya aktarmakta ve bunları, kontrol sisteminin bir parçası haline getirmektedir (Sağlam, 2007: 5). Bir modeldeki girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki, “eğer-o halde” kuralları ile sağlanmaktadır (Yadav vd., 2008: 750).

Bir bulanık kural,

Eğer x, \dots, X_1 ise, o halde Y, \dots, G 'dir şeklindedir.

Sonuca sebep olan giriş değişkenleri, gözlemler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, öncül kısımda bulunurken, giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç veya harekete neden olan değişkenler ise, soncul kısımda bulunmaktadır (Acar vd., 2008: 30). Kurallar, kendi arasında eksik veya tamamlanmamış kurallar, karma kurallar, bulanık cümle şeklindeki kurallar, karşılaştırmalı kurallar, şartlı kurallar, niceleyici kurallar olmak üzere altı gruba ayrılabilir (Mendel, 2001: 133,134).

Kurallar, x ve y değişkenleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Başka bir deyişle, bulanık eğer-o halde kuralları, ikili bulanık ilişki olarak tanımlanabilmektedir (Jang vd., 1997: 60). Verilen bir kuralın öncül kısmı, birden fazla bölüme sahipse başka bir deyişle, karma bir kural söz konusu ise, bu kuraldan tek bir sayı elde etmek için bulanık operatörler kullanılmaktadır. Bu operatörler sonucu elde edilen sayı, daha sonra çıkış fonksiyonunda kullanılmaktadır. Bu anlamda, bulanık operatörün girişi, bulanıklaştırılmış giriş değişkenlerinden elde edilen iki veya daha fazla üyelik değeri olurken; kurallardan belirlenen çıkış değerlerinin toplamı, bulanık küme olmaktadır (Efendigil, 2008: 56).

Bazı kural cümlelerinin sonuna parantez içinde yazılan herhangi bir "a" sayısı (0 ile 1 arasında "a" ağırlığı) bulunmakta ve kurallar üzerinde uzmanların belirsizliğini tanımlamak için kullanılmaktadır (Xu vd., 2002: 20). Ayrıca, bulanık kural tabanı oluşturulurken şu üç özellik göz önünde bulundurulmalıdır (Sağlam, 2007: 5, 6):

- Kurallar, tam olmalıdır yani, olası koşullar atlanmamalıdır.
- Kurallar, tutarlı olmalıdır yani, çelişkili sonuçlar barındırmamalıdır.
- Kurallar, fazla veya eksik olmamalıdır.

2.1.2.3 Çıkarım

Bulanık çıkarım kimi zaman bulanık çıkarım motoru, bulanık kural tabanlı sistem, bulanık uzman sistem, bulanık model, bulanık ilişkiyel hafıza, bulanık denetleyici veya bulanık sistem adı altında da incelenmektedir (Jang vd., 1997: 73). Aslında çıkarım veya yaklaşık çıkarım olarak adlandırılan bu süreç, girdiler ile çıktının eşleştirildiği başka bir deyişle, bilginin işlendiği süreçtir (Yadav vd., 2008: 750).

Bulanık çıkarım sisteminde uzmanların bilgileri, bulanık kurallardan oluşan

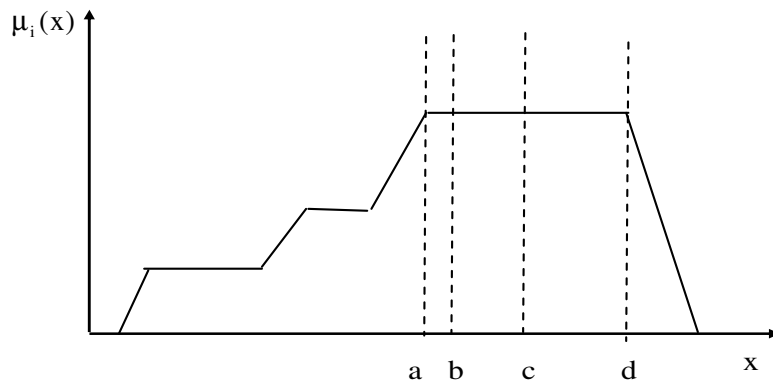
kural tabanı ile gösterilmektedir (Tay ve Lim, 2006: 1050). Literatürde Mamdani ve Takagi ve Sugeno çıkarımları yaygın olarak kullanılan çıkarım yöntemleridir.

2.1.2.4 Durulaştırma

Çıkarım biriminden gelen bulanık verilerin, gerçek sistemde kullanılabilmesi için gerçek veya kesin değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bulanık değerlerin gerçek değerlere çevrilmesi işlemi, durulaştırma olarak adlandırılmaktadır (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007: 5). Durulaştırma işlemi, bulanık çıkarım sisteminin son adımını oluşturmaktadır. Durulaştırma işlemi için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Uygulamalarda uygun durulaştırma yöntemi seçilirken dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır (Sharma vd., 2005: 996):

- Elde edilecek sonucun belirsiz olmaması (tek bir değer vermesi),
- Elde edilecek sonucun makul olması (belli bir alanın yaklaşık olarak ortasında bulunması),
- Seçilen yöntemin hesaplama açısından kolay olması.

Bulanık kontrol alanında; en büyük üyelik derecesi, en büyüklerin ortalaması yöntemi, iki bölge yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, yükseklik yöntemi, düzenlenmiş yükseklik yöntemi, kümelerin merkezi yöntemi olmak üzere birçok durulaştırma yöntemi tanıtılmıştır. Şekil 2.8'de farklı durulaştırma yöntemlerine göre elde edilecek değerler görülmektedir. Bu yöntemler arasında ağırlık merkezi yöntemi ve en büyüklerin ortalaması yöntemi literatürde sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 2.8: Durulaştırma yöntemleri a) maksimum değerlerin en düşüğü yöntemi b) ağırlık merkezi yöntemi c) maksimum değerlerin ortalaması yöntemi d) maksimum değerlerin en büyüğü yöntemi

En büyüklerin ortalaması yöntemi: Bu yöntem, bulanık kontrolde tanımlanan üyelik fonksiyonlarının ulaştığı en büyük değerlerin ortalamasını vermektedir (Baykal ve Beyan, 2004b: 223). Bu yöntem için gerekli formül aşağıdaki gibidir:

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n (z_j)}{n} \quad (2.27)$$

Burada z_j , üyelik fonksiyonlarının aldığı en yüksek üyelik derecesine karşılık gelen değerleri gösterirken; n , en yüksek değer sayısını göstermektedir.

Ağırlık merkezi yöntemi: Bulanık kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sonucu elde edilen sonuç, bulanık bir küme olan A 'nın olabilirlik dağılımının çekim noktasını vermektedir (Baykal ve Beyan, 2004b: 223). Başka bir deyişle, yöntem ile elde edilen sonuç, tüm olabilirlik dağılımını dikkate almaktadır. Yöntemde gerçekleştirilen hesaplamaların yoğunluğu ve zorluğu, yöntemin dezavantajı olarak görülmektedir (Yen ve Langari, 1999: 121). Bu yöntem için gerekli formül aşağıdaki gibidir:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(Y_i) \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(Y_i)} \quad (2.28)$$

Burada Y_i , i . kuraldan çıkan bulanık çıktı kümesinin fonksiyon değeri; $\mu_i(Y_i)$ ise, i . kuraldan çıkan üyelik derecesidir (Pappis ve Siettos, 2005: 452).

2.2 BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan analizlerinden biri olan HTEA, “müşteriye gitmeden önce sistemden, tasarımdan, süreçten ve/veya hizmetten kaynaklanan bilinen ve/veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışların tanımlanmasına, belirlenmesine ve giderilmesine yarayan bir yöntemdir” (Stamatis, 2003: 21). Bu yöntemde, sınırlı insan gücü ve kaynaklar düşünüldüğünde tüm hata türleri arasından en önemli hata türlerini seçmek ve seçilen bu hata türünü ortadan kaldırmak veya hata türünün etkisini olabildiğince azaltmak, bir işletme için oldukça önemli olmaktadır (Ran vd., 2006: 1702). Bu nedenle, kullanılan yöntemin etkinliği de önemli bir konu olarak düşünülmelidir. HTEA'nın endüstrideki kullanım alanları başka bir deyişle, endüstri uygulamaları arttıkça elde edilen sonuçlar, HTEA'nın gerçek uygulamalarda birtakım eksikliklerinin olduğunu göstermektedir. Belirlenen bu eksiklikler, bilimsel yayınlarda gerekçeleri ile belirtilmektedir. Bu eksiklikler, detaylı bir şekilde birinci bölümde verilmiştir. HTEA'nın en önemli eksikliklerini şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Her hata türünün riskini belirlemek ve risklerine göre hataları önceliklendirmek için kullanılan RÖS değeri, aslında gerçekçi sonuçlar vermemektedir. Çünkü her ne kadar RÖS'ü oluşturan faktörlerin değerleri farklı olsa da, hesaplama sonucunda aynı RÖS değerine sahip birden fazla hata türü çıkabilmektedir. Böyle bir durumda hata şiddetleri yani, hatanın etkileri farklı olsa da hatalar, aynı sıralamaya sahipmiş gibi değerlendirilebilmekte ve yüksek şiddet değerine sahip herhangi bir hata türü, dikkatten kaçabilmektedir (Pillay ve Wang, 2003: 72; Tay ve Lim, 2006: 1050).
- Aynı RÖS değerine sahip birden fazla hata türünün ortaya çıkmamasının bir yolu, RÖS değerini oluşturan faktörlere ağırlık vermek olabilmektedir. HTEA, hatanın ortaya çıkma sıklığı, şiddeti ve tespit edilebilirliği faktörlerine eşit ağırlık vermektedir (Tay ve Lim, 2006: 1050; Braglia vd., 2003a: 504, Wang vd., 2009: 1196; Sharma vd., 2005: 989)
- Risk faktörlerinin değerleri belirlenirken önceden hazırlanmış değerlendirme tablolarından yararlanılmaktadır. Bu tablolardaki derecelendirmeleri belirlemek ve bu derecelendirmelere göre hata türlerine kesin değerler atamak kolay olmamaktadır (Chang vd., 1999: 1074).

- Diğer kalite güvenilirlik analizlerinde olduğu gibi HTEA’da da performans, güvenilirlik, emniyet gibi önemli kavramlara kesin değerler atamak kolay değildir (Xu vd., 2002: 17; Braglia vd., 2003a: 503; Wang vd., 2009: 1196; Sharma vd., 2005: 991).
- HTEA’da RÖS hesaplaması esnasında karar vericiler, her potansiyel problem üzerinde dururken kişisel deneyimlerini ve yargılarını kullanmak durumundadır (Rivera ve Leod, 2009: 2). Bu şekilde, HTEA takımına katılan karar vericiler arasındaki bilgi ve deneyim farklılıkları da HTEA’nın sonuçlarını etkileyen önemli bir konu olmaktadır.

HTEA’nın bu eksikliklerini gidermek için literatürde HTEA üzerinde birçok değişiklik yapılmış veya diğer yöntemler ile birleştirilerek kullanılmıştır. Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi de bu yöntemlerin başında gelmektedir. HTEA’nın bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile birleştirilerek bulanık HTEA olarak uygulamalarının yapılmasının ana sebeplerini şu şekilde sıralamak mümkündür:

- RÖS’ü oluşturan risk faktörlerine verilecek olan ağırlık için kabul görmüş kesin bir değer bulunmamaktadır. Bu ağırlıklar da belirsiz olup, dikkate alınan ürüne, hizmete, sürece veya sisteme göre farklılık göstermektedir (Tay ve Lim, 2006: 1050).
- Hata türlerindeki risk faktörlerinin değerleri belirlenirken tablolardaki derecelendirmelere kesin değerler atamak yerine, “az”, “çok”, “önemli”, “yüksek” gibi doğal dildeki sözel terimleri kullanmak, daha kolay ve gerçekçi olmaktadır (Xu vd., 2002: 17; Chang vd., 1999: 1079).
- HTEA takımına katılan karar vericilere, bilgi ve deneyimlerine göre ağırlık vermek, analizin doğruluğunu olumlu yönde etkileyecektir. Karar vericilere atanacak bu ağırlıklar da kesin olmayıp, belirsiz olabilmekte ve yaklaşık olarak ifade edilebilmektedir.

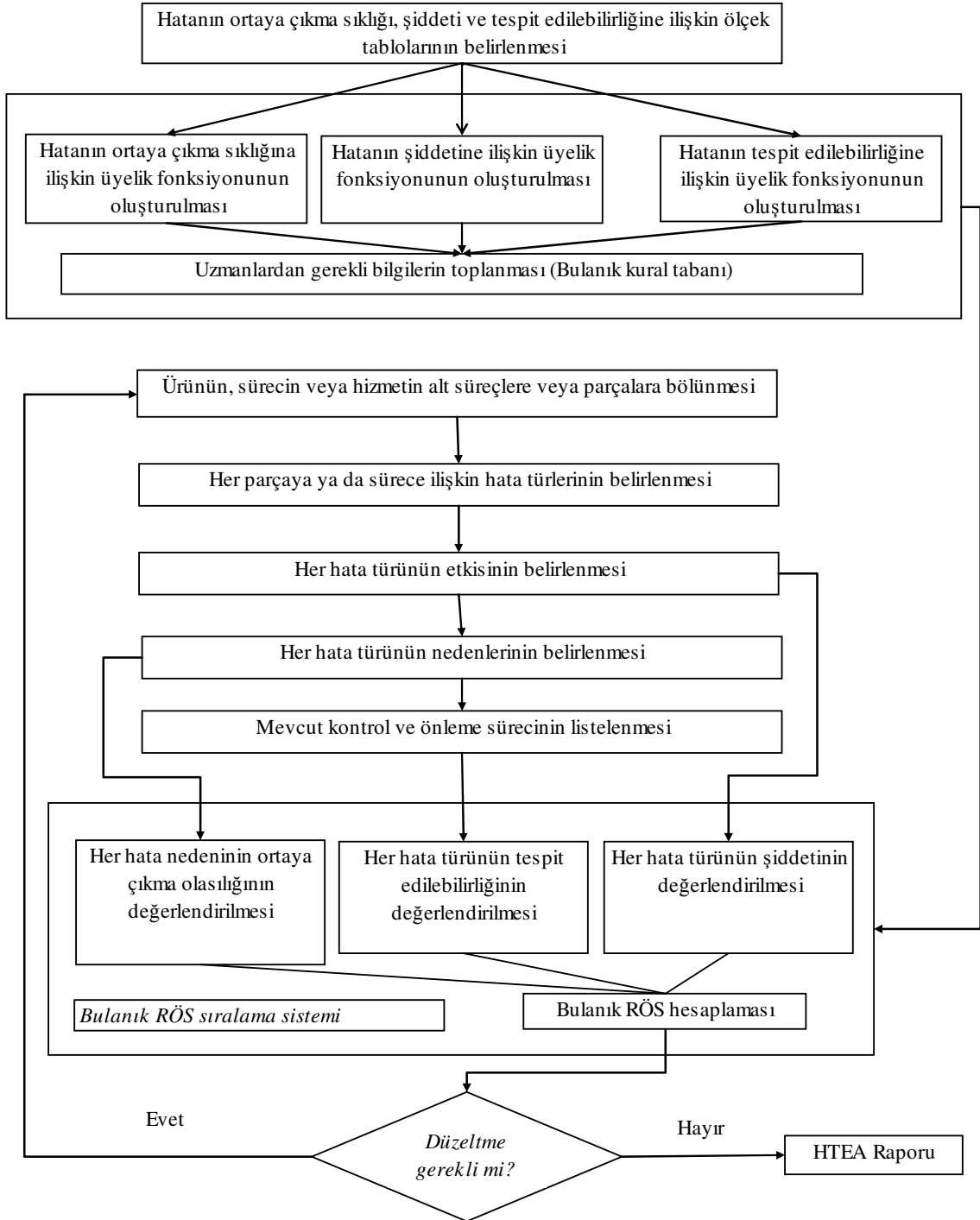
Bu anlamda HTEA’da kullanılan birçok bilgi, bulanık mantığın yapısına daha uygundur (Xu vd., 2002: 18). Başka bir deyişle, kullanılacak bilgileri, sayılar ile ifade etmek yerine, sözel terimler yardımıyla ifade etmek, hem analizi gerçekleştiren hem de analize katılanlar açısından daha anlaşılır ve kolay olmaktadır. Bu anlamda bulanık mantık, kritiklik ve risk değerlendirmesi yapılırken sözel terimleri bir araç olarak kullanmakta ve bu şekilde, bir parçadaki hata türlerindeki riski değerlendirmede doğal

dil sözcüklerinden yararlanılmaktadır. Hata türüne ilişkin bilgi, belirsiz veya niteliksel olsa bile bulanık mantık yardımıyla düzeltici tedbirler ile hata türünün etkisi azaltılabilmekte veya tamamen ortadan kaldırılabilmektedir (Pelaez ve Bowles, 1994: 449). Bu anlamda, bulanık HTEA'da hem sayısal veriler hem de kesin olarak ifade edilemeyen sözel veriler bir arada kullanılabilir (Sharma vd., 2005: 1000).

HTEA, kimi zaman ürünlerin, hizmetlerin veya süreçlerin tasarım aşamasında kullanılabilir. Sistem bilgisinin eksik olduğu, güvenilir veya hiç olmadığı bu aşamada bulanık mantık çalışabilmekte ve karar vericilere, bir karar destek sistemi sağlayabilmektedir (Pillay ve Wang, 2002: 84; Guimaraes ve Lapa, 2004: 203). Ayrıca, geçmiş verilere başvurmayıp yaklaşık değerler ile analiz yapıldığı için sistemlerin davranışları, daha anlamlı bir şekilde modellenip tahmin edilebilmektedir (Sharma vd., 2008a: 579).

Bulanık mantık yardımıyla, uzman bilgisine daha çok başvurulmakta ve uzmanların görüşleri doğrultusunda farklı hata türleri arasında ilişkiler tanımlanabilmektedir (Xu vd., 2002: 28). Başka bir deyişle, uzmanların deneyimleri, bulanık mantık yardımıyla HTEA'da hata türlerinin risklerinin değerlendirilmesi ve sıralanması sürecine aktarılmaktadır (Tay ve Lim, 2006: 1064).

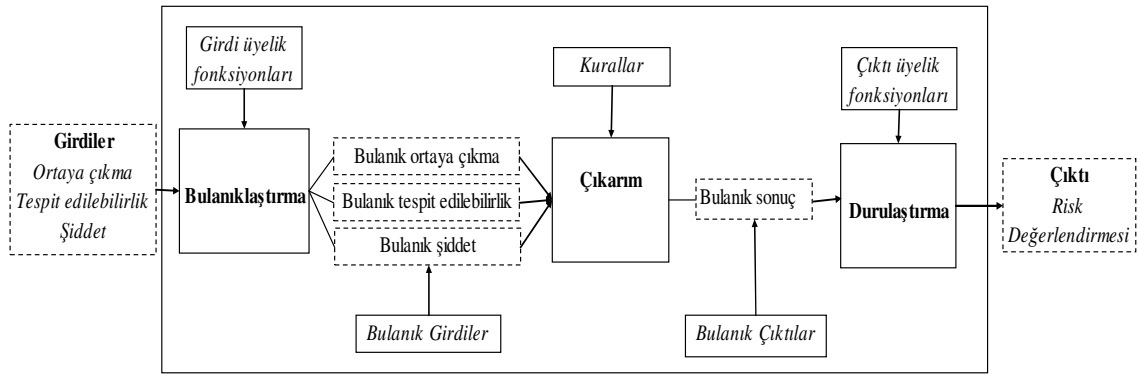
Ayrıca, risk faktörlerine farklı ağırlıklar atamak ile hata türleri arasındaki risk farklılıkları belirgin bir şekilde ortaya çıkmakta, böylece, kaynak ve zaman harcamalarında tasarruf sağlanmaktadır. Hata türleri için sadece ortaya çıkma sıklığı, şiddeti ve tespit edilebilirliği faktörleri kullanılmayıp, işletmenin ihtiyacına göre hataya ilişkin farklı bilgiler de analize aktarılabilmektedir (Wang vd., 2009: 1205). Bununla birlikte, HTEA için oluşturulan kural tabanları, ürünler veya hizmetler hakkında daha çok bilgi elde edildiğinde (Xu vd., 2002: 28) veya ürünlerde ve süreçlerde değişiklikler yapıldığında uzmanlar tarafından kolay bir şekilde güncellenip değiştirilerek yeni risk sıralamaları yapılabilmektedir (Guimaraes ve Lapa, 2004: 203).



Şekil 2.9: Bulanık HTEA sisteminin adımları

Kaynak: Tay, K. M. ve Lim, C. P. (2006) "Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 23, s. 8, s.

HTEA’da bulanık mantık uygulamaları, daha çok bulanık kontrol üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu anlamda, bulanık kontrole dayalı HTEA için oluşturulan bulanık kural tabanlarının farklı endüstrilerde uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. HTEA için oluşturulan bulanık kontrol modellerine değinmeden önce, bunun HTEA uygulamasında bir adım olduğu düşünülerek HTEA uygulamasının adımlarına tekrar değinmek gerekmektedir. HTEA’nın adımları, Şekil 1.11’de olduğu gibidir. Bu adımlara bulanık mantığın dâhil edilmesiyle, bulanık HTEA’nın adımlarını, Şekil 2.9’daki gibi yeniden tanımlamak mümkün olmaktadır.



Şekil 2.10: Bulanık risk değerlendirme sistemi

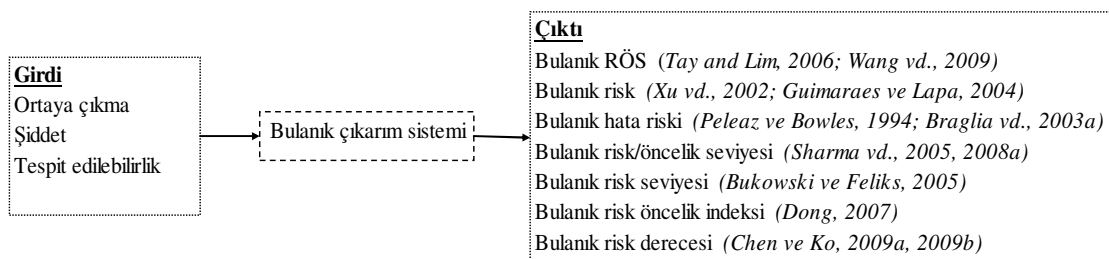
Kaynak: Chin, K. S., Chan, A. ve Yang, J. B. (2008) “Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 36, s. 7-8, s. 638.

Şekil 2.9’daki bulanık mantığa ilişkin adımlar için genel olarak Şekil 2.10’da olduğu gibi bir model kurmak mümkün olmaktadır. Şekil 2.10’a göre ilk olarak incelenen ürüne, hizmete veya sürece ilişkin bilgiler toplanmakta ve daha sonra hata türleri, bunların nedenleri ve diğer gerekli veriler belirlenmektedir. Bu verilerin belirlenmesinin ve ifadesinin zorluğu nedeniyle başvuru bulanık mantık yardımıyla her faktöre ilişkin sözel terimler ve sözel terimlere karşılık gelen bulanık üyelik fonksiyonları tanımlanmaktadır. Bu sözel terimlerin ve üyelik fonksiyonlarının ne olacağı, nasıl tanımlanacağı ve şekli ile ilgili bilgiler, konunun uzmanı karar vericiler tarafından belirlenmektedir. Bu durum ise, uzmanların analize kendi deneyimlerini aktarmasında ilk adım olmaktadır. Üçgensel (Pillay ve Wang, 2002; Braglia vd., 2003a; Guimaraes ve Lapa, 2004; Sharma vd., 2007a, 2008a; Chin vd., 2008; Wang vd., 2009; Chen ve Ko, 2009a, 2009b) ve yamuksal üyelik fonksiyonları (Pelaez ve Bowles, 1994;

Fonseca ve Knapp, 2001; Xu vd., 2002; Sharma vd., 2005; Bukowski ve Feliks, 2005), bulanık HTEA uygulamalarında hesaplama kolaylığı açısından yaygın olarak kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonları yardımıyla sistemden elde edilen gerçek veriler bulanıklaştırılarak bulanık ortaya çıkma, bulanık şiddet ve bulanık tespit edilebilirlik değerleri oluşturulmakta ve bir sonraki adıma aktarılmaktadır.

Kural tabanı, girdi değişkenlerinin her kombinasyonundaki riski göstermektedir. HTEA için oluşturulan kural tabanındaki bu kurallar, farklı hata türleri ve etkileri arasındaki ilişkiyi tanımlamakta ve uzmanın bilgisini ve deneyimini de içermektedir (Chin vd., 2008: 642; Xu vd., 2002: 20). Sözel değişkenlere dayanan kural tabanı, sayısal RÖS değerinden veya kritiklik sayısı hesaplanmasından daha doğal ve ifadesi kolay olmaktadır. Bu kurallar, hatanın olasılığı gibi nicel verilerin ve şiddet veya tespit edilebilirlik gibi niteliksel ve yargıya dayanan verilerin, tek bir cümle içinde kullanılmasına izin vermektedir (Chin vd., 2008: 642). Oluşturulan kural tabanlarındaki kurallar, tek tek çıkarım motorunda işlenmekte ve hatanın riskine ilişkin bulanık sonuçlar elde edilmektedir.

Son adım olan durulaştırma, çıkarım sürecine giren ve işlem gören bulanık girdilerin, bulanık çıktı olarak işlem görme sürecidir. Başka bir deyişle, durulaştırma sonucu, dikkate alınan hata türlerinin değerlendirilmesi yapılarak risk veya kritiklik seviyelerine ilişkin sayılar elde edilmekte (Braglia vd., 2003a: 515) ve elde edilen sonuçlara göre, düzeltici tedbirler alınmaktadır (Sharma vd., 2005: 996; Pelaez ve Bowles, 1994: 454).



Şekil 2.11: Bulanık çıkarım sisteminin temel girdileri ve çıktıları

Durulaştırma sonucunda RÖS, literatürdeki uygulamalarda bulanık RÖS (Tay and Lim, 2006; Wang vd., 2009), bulanık risk (Xu vd., 2002; Guimaraes ve Lapa, 2004), bulanık hata riski (Pelaez ve Bowles, 1994; Braglia vd., 2003a), bulanık risk/öncelik seviyesi (Sharma vd., 2005, 2008a), bulanık risk seviyesi (Bukowski ve Feliks, 2005), bulanık risk öncelik indeksi (Dong, 2007), bulanık risk derecesi (Chen ve Ko, 2009a, 2009b) gibi farklı adlarla anılmaktadır. Bu anlamda Şekil 2.11’de görüldüğü gibi bulanık çıkarım sistemi, temel girdilerin ve çıktılarının birleşimi olarak düşünülebilmektedir.

Bulanık HTEA’da hata türlerinin risklerine göre önceliklendirilmesi için bulanık kontrol modelinin kullanılması esnasında karşılaşılan zorluklardan biri, kural tabanında oluşturulan kural sayılarının fazla olmasıdır. Çok sayıda kuralın uzmanlar tarafından oluşturulması, hem zaman alıcı hem de yorucu olmakta (Tay ve Lim, 2006: 1048), bu da analizin doğruluğunu etkilemektedir. Ayrıca, tanımlanan üyelik fonksiyonlarının incelenen ürüne, hizmete veya sürece uygun bir şekilde tanımlanabilmesi, dikkat edilmesi gereken diğer bir konudur.

2.3 BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bulanık mantık yaklaşımı ile HTEA’nın birleştirilmesi, 1990’lı yıllara dayanmaktadır. Ancak, konuya ilişkin çalışmalar incelendiğinde çoğunun 2000’li yıllarda gerçekleştirildiği görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi çalışmaların çoğu, bulanık kontrol odaklıdır. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalarda bulanık HTEA, diğer kalite iyileştirme yöntemleri veya diğer alanlardaki yöntemler ile birleştirilmektedir.

Boran (1996) tarafından tamamlanan doktora tezinde, bulanık HTEA ile bir çamaşır makinesinin motorunun sabit olmasını sağlayan destek parçası üzerinde durulmuştur. Bu parçaya ilişkin dört hata türü ile yedi hata nedeni belirlenerek, bunlara atanan sözel değişkenlerin çarpımı ile hata nedenleri, risklerine göre sıralanmıştır.

Türkiye’de bu konuda tamamlanan yüksek lisans tezlerine bakıldığında Öndemir (2004), bir tekstil firmasındaki üç hata türüne odaklanarak bu hata türlerinin risklerini bulanık kural tabanından elde etmiş ve sonuçları, klâsik HTEA ile karşılaştırmıştır. Bulanık kural tabanı yardımıyla Bilgin (2006), yeni bir TV ana şasesi üretiminde çıkan

hata türlerini; Öztürk (2008), bir kamu hastanesinin satın alma biriminde ortaya çıkacak hata türlerini risklerine göre sıralamıştır. Canpolat (2008), bulanık analitik ağ süreci ve HTEA yöntemlerini birleştirerek bir alüminyum tesisindeki hata türlerinin risklerini hesaplamıştır.

Pelaez ve Bowles (1994), hata türü ve kritiklik analizinde hata türlerinin kritiklerine karar vermede sayısal ölçümlere ihtiyaç olduğunu ama bunun da gerçekte sözel değerlendirmeler ile gerçekleştirileceğini belirterek bulanık mantık kullanmayı önermiştir. Bulanıklaştırma, “eğer-o halde” kuralları ve durulaştırmadan oluşan bulanık kritiklik değerlendirme sistemi, bir su tankının vanasındaki hata türleri üzerinde bir uygulama ile gösterilmiş ve bir tasarımın riskini etkileyen niteliksel ve niceliksel faktörler etkin bir şekilde birleştirilmiştir.

Pelaez ve Bowles (1996), karmaşık sistemlerdeki hata türlerinin nedenlerini ve etkilerini ortaya çıkarmak için bulanık bilişsel haritalama yöntemini kullanmıştır. Önerilen yöntem, bir su tankının seviye sisteminde gösterilmiştir. Model kurulduktan sonra sistem tasarımı değiştirildiğinde hata türlerinde ve etkilerinde ne gibi değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir.

Chang, Wei ve Lee (1999), HTEA'nın bir yarar fonksiyonuna ihtiyaç duyması ve hatanın ortaya çıkma sıklığı, şiddeti ve tespit edilebilirliği faktörlerinin ağırlıklarını eşit kabul etmesi eksikliklerini giderebilmek için bulanık ve gri teoriyi birlikte kullanan bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemde risk faktörleri, sözel terimler ile değerlendirilmiş, hataların potansiyel nedenlerinin risk önceliklerini belirlemek için ise, gri teori kullanılmıştır. Gri teoride, faktörlerin en küçük değerleri, standart seri; her hata türünün sözel terimler ile ifade edilen değerleri, karşılaştırmalı seri olarak kullanılmıştır. Önerilen yöntem, bir uygulama ile gösterilmiştir. Bu seriler yardımıyla her hata türü için elde edilen gri ilişki derecelerine göre hata türleri önceliklendirilmiştir. Yöntem ile HTEA'nın belirtilen eksikliklerinin giderildiği ve etkin bir şekilde potansiyel hataların ve nedenlerinin bulunduğu ve böylelikle ürünün ve sürecin istikrarının sağlandığı belirtilmiştir.

Fonseca ve Knapp (2001), bulanık akıl yürütmeyi dikkate alarak hata türü incelemesine ve hataya neden olan faktörlerin etkilerinin bulanıklaştırılmasına dayanan bir metodoloji önermiştir. Önerilen yöntemde göre, her hata türüne neden olan kritik, önemli ve ilgili olmak üzere üç faktör bulunmakta olup bu faktörlere karşılık gelen

yamuksal bulanık sayılar tanımlanmaktadır. Yöntemde, sistemden alınan veriler ile atanan bulanık sayının üyelik derecesini ve her faktörün ağırlığını içeren “olabilirlik katsayısı” hesaplanmış ve bulunan “olabilirlik katsayısının” önceden belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılması ile hata türü dikkate alınmış veya önemsiz sayılmıştır. Önerilen yöntem, bir makinenin tıkanmış borusundaki bir hata türünde gösterilmiştir.

Xu, Tang, Xie, Ho ve Zhu (2002), hata analizi sırasında hata türleri arasındaki ilişkinin belirsiz olduğunu ve tam olarak bilinemeyeceğini belirterek bulanık mantık tabanlı bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntem, tasarım HTEA olarak mekanik bir sisteme uygulanmıştır. Önerilen yöntem için, uzman bilgi tabanı, girdi ve çıktı modülleri olmak üzere üç ana modülden oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Hata türleri ve etkileri arasındaki ilişkiler, “eğer-o halde” kuralları şeklinde kurulmuştur. Kullanılan değerlendirme sistemi; hata türleri oluşumu, çıkarım, hata etkisinin şiddeti ve hata kritikliği çıkarım kural tabanı olmak üzere dört kural tabanı üzerine kurulmuştur. Çalışmada, yamuksal bulanık sayılar kullanılmış ve bulanık HTEA sonuçları, klâsik HTEA ile karşılaştırılmıştır.

Braglia, Frosolini ve Montanari (2003a), bulanık HTEA için kurulan modelde, uzmanlar tarafından kuralların kolay bir şekilde hesaplanması için bir risk fonksiyonunun kullanılmasını önermiştir. Bu nedenle, girdi ve çıktılardan oluşturulan bulanık modelin, kural tabanı üzerinde durulmuştur. Önerilen risk fonksiyonu, uzmanların riske karşı olan subjektif tutumlarını ölçebilecek şekilde olmakta ve doğrudan “eğer-o halde” kurallarının soncul kısmındaki risk değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Önerilen yöntem, un tüketimi için kullanılan bir değirmende uygulanmıştır. Yöntemin, kesin değerler istememesi, kural tabanını oluşturmanın zorluğunu gidermesi, uzmanların elde edilen fonksiyon üzerinde risk tutumlarına göre değişiklik yapabilmesi bakımından kullanılabilir olduğu savunulmuştur. Braglia, Frosolini ve Montanari (2003b), çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan ve en iyi alternatifin, ideal çözüme en yakın ve ideal olmayan çözüme en uzak olması varsayımına dayanan TOPSIS yöntemini bulanık teori ile birleştirerek bulanık TOPSIS yöntemi ile hata nedenlerini, hesaplanan bulanık kritiklik sayısına göre sıralamayı önermiştir. Önerilen yöntem, bir buzdolabı üreticisi firmada uygulanmıştır. Önerilen yöntemde, bulanık mantığın gerektirdiği kural tabanına gerek kalmamıştır. Ayrıca, yapılan duyarlık analizleri de yöntemin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Pillay ve Wang (2003), bulanık kural tabanına ve gri ilişki teorisine dayanan HTEA kullanmayı önermiştir. Çalışmada önerilen yöntemler; yapı, itme, elektrik ve yardımcı sistemlerden oluşan “balık teknesi” sistemine uyarlanmıştır. Her alt sistem için belirlenen hata türleri, klâsik HTEA ile risklerine göre sıralanmıştır. Kurulan bulanık model için 125 kural üretilmiş, daha sonra diğer çalışmalardan farklı olarak kural sayısı 35’e düşürülmüş, bulanık kural tabanı çalıştırılmış ve hata türleri, “bakım için öncelik” değerlerine göre sıralanmıştır. Gri teoride ise, diğer çalışmalardan farklı olarak hatanın ortaya çıkma sıklığı, şiddeti, tespit edilebilirliği faktörlerine kesin ağırlıklar atanmış ve her hata türü, gri ilişki derecesine göre sıralanmıştır. Çalışmada klâsik HTEA, bulanık kural tabanı ve gri teori ile elde edilen sıralamalar karşılaştırılmıştır. Klâsik HTEA’da farklı risk faktörü değerlerinden hesaplanan aynı RÖS değerine sahip hata türleri arasındaki fark, diğer yöntemlerde ortaya çıkmıştır. Bulanık kural tabanı ve gri teori, aynı sonuçları verirken; bulanık kural tabanının tehlikeyi gözleme aşamasında, gri teorisinin ise, riskleri tahmin etme aşamasında kullanılması önerilmiştir.

Guimaraes ve Lapa (2004), bulanık HTEA’yı nükleer güç tesisi uygulaması olarak yedi alt sistemden oluşan bir kimyasal ve debi kontrol sistemine uygulamıştır. Uygulamada sistemin temel parçalarından biri olan ve belirli kaza durumları esnasında devreye giren yüksek basınç enjektörü üzerinde durulmuştur. Uygulama için seçilen uzman, bu parçaya ilişkin hata türlerini belirlemiş ve klâsik HTEA’yı uygulamıştır. Bulanık HTEA için ise, bulanık çıkarım sistemi kurulmuş, belirlenen 125 “eğer-o halde” kuralı, 14’e düşürülerek hata türleri için bulanık risk değerleri elde edilmiştir. Çalışmada klâsik HTEA ile elde edilen RÖS değerleri ile bulanık HTEA’dan çıkan durulaştırılmış risk değerleri karşılaştırılmış ve her iki yöntemden farklı sıralama elde edilmiştir. Yazarlar tarafından, güvenlik verilerinin tam veya güvenilir olmadığı durumlarda uzman bilgisinin ve deneyiminin önemi vurgulanmış ve bulanık çıkarım sisteminin nükleer güvenilirlik problemi için uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Guimaraes ve Lapa (2007), HTEA’da bulanık çıkarım sistemini Lofaro ve Subudhi (1994) tarafından yapılan nükleer enerji yapılarındaki çevreleme soğutma sistemi uygulamasına uyarlamıştır. Çalışmada, klâsik HTEA sonuçları ile uzman görüşlerinden elde edilen bulanık RÖS sonuçları karşılaştırılmıştır.

Garcia, Schirru ve Melo (2005), hata türlerinin sıralanmasında HTEA’yı bulanık mantık ve veri zarflama analizi ile birleştirmiştir. HTEA’da hata türlerine ilişkin risk

faktörlerinin değerlendirilmesi uzman görüşlerinden elde edilmiş ve sözel değişkenler şeklinde ifade edilmiştir. Önerilen yöntem, nükleer güvenlik sistemlerine uygulanmıştır. Veri zarflama analizi ile her hata türü için hangi parametrenin daha önemli olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Sharma, Kumar ve Kumar (2005), bulanık HTEA için bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım sistemi ve durulaştırma parçalarından oluşan bulanık model kurmuş ve kurdukları modeli, bir kâğıt fabrikasının temel parçalarından biri olan ve üç alt sisteme sahip “besleme sistemine” uygulamıştır. Girdi ve çıktı değişkenleri, birbirine “eğer-o halde” kuralları ile bağlanmış ve durulaştırma işleminin sonucunda, ilgili sisteme ait hata türlerinin potansiyel nedenleri, risklerine göre sıralanmıştır. Elde edilen sıralama, klâsik HTEA ile elde edilen sıralamadan farklı olmuş ve uzmanların bilgileri ve deneyimleri de kurulan modele dâhil edilmiştir.

Zafiroopoulos ve Dialynas (2005), bir hata türü için hata türünün etki olasılığı, hata türü oranı, ilgili parçanın hata oranı ve toplam işlem zamanından oluşan kritiklik indeksine, hata türünün şiddetini de ekleyerek bulanık HTEA kullanmayı önermiştir. Bulanık HTEA için kurulan modelde kritiklik sayısını oluşturan parametreler, bulanık modelin girdisi olurken; “bulanık hata türü risk indeksi” adı verilen sayı ise, bulanık modelin çıktısı olmaktadır. Önerilen model, “SMPS” adı verilen ve güç sağlayan bir elektronik aygıt için uygulanmıştır. Cihaza ilişkin 33 hata türü belirlenmiş ve her hata türüne ilişkin bulanık hata türü risk indeksi hesaplanmıştır. Klâsik HTEA ile elde edilen kritiklik sayıları, bulanık hata türü risk indeksi ile karşılaştırılmıştır. İki yöntem ile elde edilen sonuçlar, birbirine yakın olup; yöntemler, parçalardaki aynı hata türlerini kritik olarak değerlendirmiştir.

Ran, Sun, Guo ve Zhang (2006), telekom veri merkezinin “co2AFS” adı verilen yangın sistemindeki hata türlerinin riskini niceliksel olarak değerlendirmek için bulanık HTEA kullanmayı önermiştir. Kurulan modelin her girdisinin sözel terimleri belirlenmiş ve oluşturulan “eğer-o halde” kurallarından elde edilen çıkarımlar, ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırılmış ve niteliksel olan analiz, niceliksel olarak yapılmış ve analizin, şehrin yangın riskini niceliksel değerlendirmede bir yöntem olarak uygulanabilirliği savunulmuştur.

Tay ve Lim (2006), oluşturulan bulanık çıkarım modelinde girdilere, diğer çalışmalardan farklı olarak Gaussian üyelik fonksiyonları atamış ve bulanık sistemde,

180 tane “eğer-o halde” kuralı oluşturmuştur. Çalışmada, bulanık RÖS’ü hesaplamada kullanılan bulanık kuralların sayısını azaltmak için bir sistem önerilmiş ve bu, bir yarı iletken üreticisi firmaya uygulanmış ve bulanık sistemde hangi kuralların gerekli, hangi kuralların gereksiz olduğunu belirleme yol gösterici olmuştur. Yazarlar, kural sayısını azaltarak bulanık RÖS modelini oluştururken kuralları oluşturma sürecindeki vakit kaybını ve karmaşıklığı da azaltmıştır.

Dong (2007), klâsik HTEA’nın hatadan kaynaklanan maliyeti dikkate almadığını düşünerek fayda maliyeti tahminine dayanan bulanık HTEA kullanmayı önermiştir. Önerilen yöntemde, hatanın ortaya çıkma olasılığı, şiddeti ve tespit edilebilirliği parametrelerinin ölçümü için kullanılan sıralı ölçeğin her birine maliyet değerleri atanmış, bu maliyet değerleri ile fayda değerleri elde edilmiştir. Uygulamalarda karar verici sayısının artmasının, hata türlerinin sıralamasını değiştirebileceği düşünülmüş ve bulanık fayda teorisi kullanılarak elde edilen fayda değerleri, gerçek sayılar yerine üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Önerilen yöntem, iki farklı uygulama ile gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar, klâsik HTEA’nın hatalardan kaynaklanan gerçek maliyet değerlerini yansıtmadığını, önerilen yöntemin hata analizlerinde maliyet odaklı bir araç olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Sharma, Kumar ve Kumar (2007a), sistemin hata (arıza) davranışlarının daha tutarlı bir şekilde analizini, olasılıkçı olmayan yöntemler ile gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için, hem niceliksel hem de niteliksel teknikleri kullanan bir çerçeve önerilmiştir. Yöntem, birçok fonksiyonel birimi olan bir kâğıt fabrikasındaki karmaşık bir sistemin “yıkama” birimine uygulanmıştır. Niceliksel yöntem olarak sistemin hata ağacından Petri ağları kurulduktan sonra, hata ve onarım verilerinin bulanık sentezleri yapılmıştır. Niteliksel kısımda ise, klâsik HTEA ve bulanık HTEA yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, klâsik HTEA ile bulanık HTEA’dan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve elde edilen sıralamanın farklı olduğu, klâsik HTEA’nın aynı sıraya koyduğu hata nedenlerinin, bulanık HTEA’da farklı risk derecelerine göre sıralandığı görülmüştür.

Hu, Hsu, Kuo ve Wu (2008) ve Hsu, Hu ve Wu (2008), HTEA’nın RÖS hesaplarken tüm risk faktörlerine eşit ağırlık vermesini eleştirerek, bu risk faktörlerini çalışmalarında gösterdikleri uygulama alanı ile ilgili kriterler olarak düşünmüştür. Bu kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde ise, bulanık AHS yöntemi kullanılmıştır.

Önerilen yöntem, teknoloji ürünlerinin montajını yapan bir işletmede, tehlikeli içeriği olan maddelerin yeşil içeriklerinin riskini bulmak için kullanılmıştır.

Sharma, Kumar ve Kumar (2008a), bir kâğıt fabrikasındaki karmaşık bir sistemin “kâğıt hamuru yapma” birimine, hem niteliksel hem de niceliksel teknikleri uygulamıştır. Niceliksel yöntem olarak sistemin Petri ağları kurulduktan sonra, hata ve onarım verilerinin bulanık sentezleri yapılmıştır. Niteliksel kısımda ise, klâsik HTEA yöntemi, bulanık HTEA ve gri ilişki analizi ile birleştirilmiştir. Bulanık karar verme sistemi için belirlen 125 kural, 30 kurala düşürülmüş ve elde edilen durulaştırılmış değerler ile hata nedenleri sıralanmıştır. Gri teori ile gerçekleştirilen HTEA’da faktörlerin ağırlıklarına, AHS ile karar verilmiş ve her hata nedeni, elde edilen gri ilişki katsayısına göre sıralanmıştır. Çalışmanın sonunda klâsik, bulanık ve gri teoriden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Nepal, Yadav, Monplaisir ve Murat (2008), ürün geliştirme sürecinin başlangıç aşamasında yapılacak değişikliklerin oldukça önemli olduğunu belirterek SFC (yapısal-fonksiyonel-kısıt) modelini oluşturmuştur. Oluşturulan SFC modelinin HTEA ile birleştirilmesiyle, düşük maliyetle daha esnek bir tasarım mühendisliğinin gerçekleştirildiği düşünülmüştür. Bu nedenle, modele üç aşamalı HTEA modülü eklenerek, bir ürünü oluşturan parçalar ve fonksiyonel elemanlar arasındaki bağlantılardan kaynaklanan hata türleri ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada önerilen yöntem, yeni geliştirilen bir kahve pişiricisi ürününe uygulanmıştır. Uygulamada öncelikle, 30 hata türü belirlenmiştir. Çalışmada, bulanık Mamdani modeli kurularak her hata türüne ilişkin bulanık RÖS ve kritiklik sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bulanık RÖS ve kritiklik sayıları yardımıyla hata benzerlik matrisleri hesaplanmış ve kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. RÖS değerine göre yapılan kümeleme analizinde, hata türleri dokuz kümeye ayrılırken; kritiklik sayısına göre yapılan analizde, üç kümeye ayrılmıştır. Çalışmanın sonunda önerilen yöntemde, hata davranışları uzman yargısı ile birleştirilmiş ve nitel ve nicel hesaplamalarla hata davranışlarının anlaşılması kolaylaşmış ve yeni ürün tasarımında veya var olan yeni ürünlere yeni fonksiyonların eklenmesinde oldukça önemli olduğu belirtilmiştir.

Yang, Bonsall ve Wang (2008), HTEA’nın eksikliklerini gidermek için bulanık Bayes ağını kullanmayı önermiştir. Önerilen modelde, öncelikle sistemdeki hata türleri için bulanık model kurularak kural tabanı oluşturulmuştur. Kural tabanındaki kuralların

ateşlenmesi, Bayes çıkarım mekanizması ile yapılmış ve hata türleri sıralanmıştır. Önerilen modelin doğruluğu, kıyaslama ve duyarlık analizleri ile test edilmiştir. Önerilen yöntem, gerçek bir uygulama üzerinde gösterilmiştir.

Chin, Chan ve Yang (2008), bir ürünün tasarım aşamasında özellikle, “kavram tasarımı” aşamasında HTEA’nın önemli bir araç olduğunu belirtmiş ve çalışmalarında HTEA’yı desteklemek için “bilgi tabanlı sistem teknolojisini” (tasarımın tüm aşamalarında karar vermeyi desteklemek için) ve “bulanık küme teorisini” (kavram tasarımında ürüne ilişkin bilginin olmadığı zamanlarda niceliksel çalışmalar veya matematiksel hesaplamalar yapmanın zorluğunu gidermek için) kullanmıştır. Bu amaçla “uzman ürün geliştirme sistemi” (EPDS) geliştirilmiştir. Bu sistemin birinci aşamasında (EPDS-1), materyal ve parça seçiminin kalite ve güvenilirlik değerlendirmesinde HTEA kullanılmıştır. Bu aşamada müşteri gereklilikleri, tasarım bilgileri, uzman düşünceleri belirsiz ve hata türleri arasındaki ilişkiler de karmaşık, sübjektif ve niteliksel olduğu için çalışmada bulanık HTEA’nın kullanılması önerilmiştir. Bu aşamada, parçalar ve materyaller için kritiklik değerlendirmesi yapılarak, riski “önemli ve çok önemli” olan parçalar seçim aşamasından çıkarılmış, kalan parçalar için hesaplanan kritiklik değeri, sistemin sonraki aşamalarında seçim kriteri olarak kullanılmıştır. Önerilen yöntem, bir motor üreticisine uygulanmıştır.

Wang, Chin, Poon ve Yang (2009), klâsik HTEA’nın eksiklerini gidermek için bulanık HTEA’yı önermiştir. Önerilen yöntem, bulanık HTEA literatürdeki diğer çalışmalardan “eğer-o halde” kurallarının kullanılmaması bakımından farklıdır. Önerilen yöntem için beş uzmandan oluşan HTEA takımı ile yedi hata türü, belirlenen sözel terimler ile hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın şiddeti ve hatanın tespit edilebilirliği bakımından değerlendirilmiştir. Farklı karar vericilerden elde edilen bulanık değerler, yazarlar tarafından önerilen bulanık ağırlıklı geometrik ortalama yöntemi ile birleştirilerek farklı α kesmelerinde bulanık RÖS elde edilmiştir. Elde edilen bulanık RÖS, yazarlar tarafından önerilen yeni bir ağırlık merkezi formülü ile durulaştırılmış ve hata türleri için risk öncelik sıralaması yapılmıştır. Önerilen yöntem ile klâsik HTEA’nın eksiklikleri giderilmeye çalışılmış, risk faktörlerine ağırlık verilmiş, bulanık kural tabanına gerek kalmadan değerlendirme yapılmıştır.

Erginel (2009), bir ürünün tasarım sürecinde bulanık KFG’yi, HTEA ile birleştirerek, bulanık KFG hata matrisi oluşturmayı önermiştir. Bu matriste satırlarda,

hata türleri yer alırken; sütunlarda ise, ürüne ilişkin kalite özellikleri yer almaktadır. Hata türlerinin ağırlığı için, tasarım HTEA'dan elde edilen RÖS kullanılmıştır. Bulanık çok amaçlı programlama ile kaynak kısıtlarına ilişkin farklı amaçlar birleştirilmiştir. Kalite karakteristiklerinin ağırlıklarını maksimize etmek, bütçe ile zaman kısıtlarını dikkate alan teknik zorluk derecelerini minimize etmek amaçları altında ürüne ilişkin uygun kalite karakteristiklerini seçmek amaçlanmıştır.

Chen ve Ko (2009a), bulanık KFG ile HTEA'yı birleştirerek ürünlerin tasarımları için yeni bir model önermiştir. Bu modelin KFG aşamasında, müşteri ve teknik gereksinimler ve bunlar arasındaki ilişkiler, bulanık sayılar ile değerlendirilmiştir. Teknik gereksinimlerin tasarım aşamasında ortaya çıkabilecek riskleri, bulanık HTEA ile ölçülmüştür. KFG, iki aşamalı gerçekleştirilmiş ve iki aşamanın verileri, bulanık doğrusal programlama ile birleştirilmiştir. Önerilen yöntem, turbo termal tekerlek ızgara tepsisinin yarı iletken ambalaj kutusunun tasarımında gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yeni ürünlerin tasarım ve geliştirme aşamalarında müşteri ve teknik gereksinimlerin yerine getirilme seviyelerini ölçmek ve tasarım risklerini azaltmak bakımından belirsizlik ortamında anlamlı sonuçlar vermiştir.

Chen ve Ko (2009b), bulanık HTEA ile KFG'yi birleştirdikleri önceki çalışmalarına (2009a), Kano yöntemini eklemiştir. Kano yöntemi ile teknik gereksinimlerin sınıflandırılması sağlanmıştır. Bulanık HTEA, KFG'de tasarım aşamasında kullanılan teknik gereksinimlerin risklerini belirlemek için kullanılmıştır. Çalışmada KFG, iki aşamalı gerçekleştirilmiş ve iki aşamanın verileri, bulanık doğrusal olmayan programlama ile birleştirilmiştir. Bu aşamalarda bulanık HTEA, teknik gereksinimlerin risklerini belirlemede kullanılmış ve oluşturulan modelde, bir kısıt olarak yer almıştır. Önerilen yöntem, bir yarı iletken ambalaj kutusunun tasarımında gösterilmiştir.

Liu (2009), bulanık KFG ve HTEA'yı birleştirmeyi önermiş ve bu yöntemi, evlerde kullanılacak vakumlu araçlar üreten bir işletme üzerinde göstermiştir. KFG'nin birinci aşamasında, teknik gereksinimlerin önem dereceleri; ikinci aşamasında ise, parçaların önem dereceleri farklı α kesmelerinde hesaplanmıştır. İkinci aşamada elde edilen sonuçlara göre parçalar, kendi aralarında yüksek, orta ve düşük zorluk derecelerine göre sınıflandırılmış ve yüksek derecede zor olan parçalar için kural

tabanına dayanan bulanık HTEA uygulanmıştır. Bulanık HTEA ile yüksek zorluktaki parçalarda meydana gelebilecek hata türleri, risklerine göre belirlenmiş ve sıralanmıştır.

Aydın Keskin ve Özkan (2009), bulanık uyarlamalı rezonans teorisini (fuzzy ART), HTEA'ya uygulamış ve elde edilen RÖS değerlerini, bulanık uyarlamalı rezonans teorisi kullanarak kümelemiştir. Önerilen birleştirme, uluslararası bir motor şirketinin amortisör üretim hattı üzerinde bir uygulama ile gösterilmiştir. Uygulamada belirlenen 29 hata türü, hem klâsik HTEA hem de bulanık uyarlamalı rezonans teorisi ile risklerine göre sıralanmıştır. Bulanık uyarlamalı rezonans teorisinde, klâsik HTEA'da kullanılan risk eşiği yerine, kümelere ve kümelerin üyelik fonksiyonlarına karar veren çaprazlama fonksiyonu kullanılmıştır. Bu kümeler yardımıyla hata türleri, eşik değerine göre değil, benzerliklerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, önerilen yöntem ile düzeltici faaliyet gerektiren hata türü sayısı azaltılmıştır.

Rivera ve Leod (2009), bulanık kural tabanına dayanan HTEA ile bir biyoyakıt için kurulan damıtma tesisindeki hata türlerini risklerine göre sıralamış ve elde edilen sonuçları, klâsik HTEA ile karşılaştırmıştır.

Liu ve Yang (2009), karmaşık sistemler için oluşturulan simülasyon sistemlerinin tanımlanması, geçerliliği ve denkliği plânlarının optimal tasarımı için önerilen modelde, bulanık HTEA ile simülasyon sistemlerinin riskini ölçmüştür. Elde edilen risk ve simülasyon sisteminin arasındaki ilişki, bulanık regresyon ile belirlenmiş ve bulanık doğrusal programlama ile optimal tasarım hesaplanmıştır. Bulanık HTEA ile simülasyon sisteminin riskini hesaplamak için bulanık kural tabanı oluşturulmuştur.

2.4 KALİTE İYİLEŞTİRMEDE ETKİLEŞİMLİ BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

HTEA, belirli bir ürün veya süreç içindeki hata türlerini, bunların nedenlerini ve ortaya çıkma sıklıklarını belirleyen bir güvenilirlik aracı olarak düşünülmektedir (Aydın Keskin ve Özkan, 2009: 648). Günümüzde işletmelerin rekabet edebilirlikleri, piyasadaki veya teknolojilerindeki değişiklikler nedeniyle bünyelerinde ortaya çıkan işlemlerdeki farklılıklarda meydana gelebilecek hataları önlemeleri veya risklerini olabildiğince azaltmaları ile ilgilidir. Bu anlamda işletmelerin, meydana gelebilecek hataları belirlemeleri ve önlemeye yönelik bir sistemi etkin bir şekilde kullanmaları kaçınılmaz olmaktadır (Çivitcioğlu Karakuş, 2001: 21). Buradan da işletmelerin başarılı

olmalarının aynı anda hem kalite hem de güvenilirlik kavramlarını birlikte yürütebilmelerine bağlı olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Bu şekilde düşünüldüğünde işletmeler için kaliteyi oluşturmak ve devam ettirebilmek, etkin bir kalite yönetimini gerektirmektedir. Bu kalite yönetimi ile tanımlanan müşteri talep ve beklentileri ile uyumlu kalite düzeyine ulaşılması, bu düzeyin korunması, geliştirilmesi ve hata oluşumuna izin vermeyecek bir kalite güvence sistemi sağlanmaktadır (Sarıkaya, 2003: 7, 10). Bu nedenle, istenilen kalite düzeyi kavramının tam olarak anlaşılabilmesi ve başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için işletmeler tarafından aşağıda belirtilen üç ana noktanın anlaşılabilmesi gerekmektedir (Eryürek, 2004: 1):

- Ürüne veya hizmete ilişkin pazarın veya müşterilerin taleplerinin anlaşılması başka bir deyişle, müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bunların, teknik bir dille ifade edilebilmesi,
- Belirlenmiş olan taleplere veya ihtiyaçlara karşılık gelen tasarımların oluşturulması,
- Üretim kalitesinin yani ürünün, üretimden müşterinin ürünü kullanmayı bırakana kadar geçen süre içinde fonksiyonunu sorunsuzca yerine getirebilmesi başka bir deyişle, ürün güvenilirliğinin sağlanması.

Bu anlamda yukarıda sayılan üç ana noktadan hareket edilerek bu tez çalışmasında müşteri gereksinimlerine yönelik bir ürün oluşturulması ve bunların teknik dille ifade edilebilmesinde bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) yönteminden yararlanılmıştır.

Bir ürün için tasarımı tamamlamak, sadece parçaların veya üretim süreçlerinin tasarımından geçmemektedir. Aynı zamanda ürünün güvenilirliğinin de bu aşamada dikkate alınması ve tasarlanması gerekmektedir. Bu anlamda tasarımı tamamlanmış bir üründe, ürün güvenilirliğinin sağlanabilmesi için ürünün üretimi esnasında çıkabilecek hatalar ve bunların etkileri, bulanık HTEA ile tespit edilip; belirlenen bu hatalar, risklerine göre sıralanmıştır. Kalitenin genel anlamıyla kendi sözcük anlamında ve içinde barındırdığı belirsizlik kavramı (Guiffreda ve Nagi, 1998: 10), ürünün başlangıç aşamasında hata, arıza vb. kavramlarla ilgili yeterli bilginin bulunmayışı, işletmedeki karar vericilerin subjektif görüşleri, bu görüşlerin analize aktarılması vb. durumlar bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile desteklenmiş ve gerekli işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde kalite iyileştirme yöntemlerinden olan KFG ve HTEA,

bulanık mantık yaklaşımı ile birleştirilmiştir. Bu bölümde, her iki yöntemin uygulama aşamasında izlenecek adımları ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.4.1 Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi ile Bir Ürünün Geliştirilmesi

KFG’de karar verme sürecinde sübjektif yargılar ve değerlendirmeler kullanılmakta (Shiplely vd., 2004: 295), başka bir deyişle, sübjektif ve belirsiz olan insan yargısı, müşteri gereksinimlerinin önem derecesi veya girdilerin birbirleri ile ilişkilerinin değerlendirilmesi gibi birçok giriş bilgisi kullanılmaktadır (Shen vd., 2001: 65). Kalite evindeki bu bilgilerin çoğu, “düşük önemli”, “yüksek önemli”, “güçlü ilişki” gibi belirsiz ve kesin olmayan ifadeler şeklinde dile getirilmektedir (Zhai vd., 2008: 615). KFG’de bu değişkenlerin, kesin olduğu kabul edilmekte ve sayısal değerler ile ifade edilmektedir. Oysaki, sözel değişkenler kolay bir şekilde değerlendirilemeyeceği için bunlara kesin değerler ile yaklaşmak yerine, belirsiz değerler ile yaklaşmak daha doğru olmaktadır (Shen vd., 2001: 65,67). Ayrıca, ürünlerin tasarım aşamasında, karar vericilerin elinde ürüne ilişkin hiç bilgi bulunmayabilmekte veya sınırlı bilgi bulunabilmektedir. Bu nedenle, belirsizlik kaçınılmaz olmaktadır (Chen vd., 2006: 1554). Bu belirsizliği yok etmek için literatürde birçok yazar, çalışmalarında KFG’yi, bulanık mantık ile birleştirerek bulanık KFG uygulaması yapmıştır.

Bu çalışmada bulanık KFG uygulaması, dört aşamalı gerçekleştirilmektedir. Bu dört aşamanın ilk adımında, ürün genel hatları ile geliştirilmekte ve kalite evi oluşturulmaktadır. İkinci aşamada, genel olarak geliştirilen ürün, ürün parçalarına dönüştürülmekte ve ürün parça matrisi oluşturulmaktadır. Üçüncü aşamada, ürün parçalarını gerçekleştirecek olan üretim süreçleri belirlenerek üretim süreci matrisi oluşturulmaktadır. Son aşamada ise, üretim esnasında yapılması gereken kontroller belirlenerek üretim matrisi oluşturulmaktadır.

Bu matrislerin oluşturulması esnasında izlenecek adımlar, KFG uygulaması olarak birinci bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Birinci bölümde bahsedilen adımlara sadık kalınarak, bulanık KFG’nin ilk matrisi olan kalite evinin oluşturulmasındaki adımlar ve diğer KFG matrislerinde kullanılan formülasyonlar şu şekildedir:

Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi: KFG'de olduğu gibi bulanık KFG'de de ilk adım, müşteri gereksinimlerinin belirlenmesidir. Oluşturulan KFG takımı belirlenen müşteri gereksinimlerini, kalite evinin satırlarına yerleştirmekte, böylelikle, kalite evinin ilk girdisi oluşturulmaktadır.

Müşteri gereksinimlerinin başlangıç ağırlıklarının bulunması: Müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılması ile söz konusu gereksinim, müşteri için ne derece önemlidir veya gereksinimlerin önem derecelerine göre sıralaması nasıldır gibi sorulara cevaplar bulunmaktadır. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda müşteri gereksinimlerinin önceliklendirilmesinde, T.L. Saaty tarafından geliştirilen, insan doğasında var olan ikili karşılaştırmalara dayanan, bu ikili karşılaştırmalar ile seçeneklerin ve kriterlerin birbirlerine göre ne kadar önemli, tercih edilir veya baskın olduğunu değerlendiren (Özgörmüş vd., 2005: 112) çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmaktadır. AHS ile her bir müşteri gereksinimi, diğerleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmekte ve müşteri gereksinimleri önceliklendirilmektedir (Savaş ve Ay, 2005: 84).

Bu çalışmada müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılmasında bulanık AHS yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu bölümde kısa bir şekilde AHS ve bulanık AHS yöntemlerinin adımlarına değinilmektedir. AHS, hesaplama kolaylığı nedeniyle nitel verileri ve birden çok kriteri içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntemdir (Günden ve Miran, 2008: 196). AHS'de karar vericiler, alternatifleri değerlendirirken kesin yargılarda bulunamadıkları, başka bir deyişle, belirsizliği yansıtamadıkları için AHS, bulanık kümeler ile birleştirilmiş ve ikili karşılaştırma matrisinde bulanık sayılar ve bulanık işlemler kullanılmıştır (Güngör vd., 2009: 642). Literatürde farklı yazarlar tarafından önerilen pek çok bulanık AHS yöntemi uygulaması (Van Laarhoven ve Pedrytcz (1983), Buckley (1985), Chang (1996), Cheng (1996), Leung ve Cao (2000)) bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında Buckley (1985) tarafından önerilen bulanık AHS yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin adımları şu şekildedir:

Adım 1: Hiyerarşik sistem içinde tüm elemanlar/kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. İkili karşılaştırmalar için daha önceden belirlenen sözel terimler kullanılmakta ve iki elemandan veya kriterden, birinin

diğerinden ne kadar daha fazla önemli olduğu ortaya çıkarılmaktadır (Hsieh vd., 2004: 576).

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Bu şekilde oluşturulan \tilde{A} ikili karşılaştırma matrisinde (Eşitlik (2.29)) \tilde{a}_{ij} , karar vericinin bir kriteri diğerinden ne kadar tercih ettiğini gösteren ikili karşılaştırmadır (Cebeci, 2009: 8907). Bu tercihi, şu şekilde de göstermek mümkündür (Hsieh vd., 2004: 577):

$$\tilde{a}_{ij} \begin{cases} \tilde{a}_{ij} & , \quad i. \text{ kriter, } j. \text{ kriterden daha önemlidir.} \\ 1 & , \quad i = j \\ \tilde{a}_{ij}^{-1} & , \quad i. \text{ kriter, } j. \text{ kriterine göre daha az önemlidir.} \end{cases} \quad (2.30)$$

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisi yardımıyla her alternatifin/kriterin/elemanın ağırlıklarının bulunması için bulanık geometrik ortalama yöntemi kullanılmaktadır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n} = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right)^{1/n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.31)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (2.32)$$

Burada \tilde{a}_{ij} , i. kriterin j. kriterle olan bulanık karşılaştırma değerini gösterirken; \tilde{r}_i , i. kriterin diğer kriterlerle olan bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamasını; \tilde{w}_i , i. kriterin bulanık ağırlığını göstermektedir (Hsieh vd., 2004: 577). İkili karşılaştırmalarda sözel terimler için üçgensel bulanık sayılar kullanıldığında \tilde{a}_{ij} , üçgensel bulanık sayının alt, orta ve üst değerleri sırasıyla $a_{iL,j}$, $a_{iM,j}$, $a_{iU,j}$ olarak yazılabildiği için Eşitlik (2.31) şu şekli almaktadır:

$$r_{iL} = \left(\prod_{j=1}^n a_{iL,j} \right)^{1/n} \quad (2.33a)$$

$$r_{iM} = \left(\prod_{j=1}^n a_{iM,j} \right)^{1/n} \quad (2.33b)$$

$$r_{iU} = \left(\prod_{j=1}^n a_{iU,j} \right)^{1/n} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.33c)$$

Her alternatif/eleman/kriter için ağırlıkların alt, orta ve üst değerleri, Eşitlik (2.34a), (2.34b) ve (2.34c) yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$w_{iL} = \frac{r_{iL}}{\sum_{i=1}^n r_{iU}} \quad (2.34a)$$

$$w_{iM} = \frac{r_{iM}}{\sum_{i=1}^n r_{iM}} \quad (2.34b)$$

$$w_{iU} = \frac{r_{iU}}{\sum_{i=1}^n r_{iL}} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.34c)$$

Hesaplanan bu değerler, i. kriterin bulanık ağırlığını vermekte ve her kriter için bulunan ağırlık şu şekilde yazılabilmektedir (Güngör vd., 2009: 644):

$$\tilde{w}_i = (w_{iL}, w_{iM}, w_{iU}) \quad (2.35)$$

AHS uygulamalarında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta ise, tutarlılık oranıdır. Tutarlılık oranı ile karar vericilerin, ikili karşılaştırma matrislerindeki düşüncelerinde ne kadar tutarlı oldukları bulunmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri ve hesaplanan ağırlıklar (göreceli önemler) yardımıyla tutarlılık oranları hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada ilk olarak, ikili karşılaştırmalar matrisi ve elde edilen ağırlık vektörü çarpılmakta ve yeni bir vektör elde edilmektedir. Elde edilen bu yeni vektör, ağırlık vektörüne bölünmektedir. Başka bir deyişle, yeni bulunan vektörün birinci elemanı, bulunan ağırlık vektörünün birinci elemanına, ikinci elemanı ikinciye vb. bölünmekte ve bir üçüncü vektör elde edilmektedir. Bu son vektörün elemanları toplanıp, toplam eleman sayısına (n) bölünürse, en büyük öz değer (λ_{max}) için yaklaşık bir tahmin değeri elde edilmektedir. λ_{max} , ne kadar n değerine yakın ise, sonuç da o kadar tutarlı olmaktadır. Tutarlılık göstergesi (CI), aynı zamanda tutarlılıktan sapmayı temsil eden $(\lambda_{max}-n)/(n-1)$ 'dir. Tutarlılık göstergesinin rassallık göstergesine (RI) bölünmesiyle elde edilen orana da, tutarlılık oranı (CR) denilmektedir (Öz, 2007: 29). Bu anlamda,

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.36)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.37)$$

olarak hesaplanmaktadır. n, matrisin boyutunu göstermek üzere rassallık göstergesi (RI) için kullanılacak sayılar, Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.2: Rassallık göstergesi

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Rassallık göstergesi</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Yapılan hesaplamalar sonucu tutarlılık oranı (CR), 0,10 ve daha küçük çıktığında ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu tez çalışmasında ise, tutarlılık oranı hesaplanırken, ikili karşılaştırma matrisinde yer alan bulanık sayılar ve her kriter/alternatif için bulunan bulanık ağırlıklar, Eşitlik (2.38) yardımıyla ile bulanık olmayan tek değere çevrilmektedir. Burada a_1 , üçgensel bulanık sayının alt değerini, a_2 , orta değerini ve a_3 ise, üst değerini göstermektedir. Bu formül ile üçgensel bulanık sayıyı temsil eden üç değer ağırlıklı ortalaması alınmaktadır. Burada orta değere, daha çok ağırlık verilirken; alt ve üst değerlere, eşit ağırlık verilmektedir:

$$(a_1+4a_2+a_3)/6 \quad (2.38)$$

Elde edilen tutarlılık oranı, 0,1’den küçükse, oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri kabul edilmektedir.

Müşteri bazlı rekabet değerlendirmelerinin yapılması: Bu aşamada müşteriler, her bir müşteri gereksinimi için işletmenin bugünkü durumunu ve rakiplerin durumunu değerlendirmektedir. Ayrıca, bu aşamada müşteri gereksinimi bazında işletmenin hedefi de belirlenmektedir. Bu çalışmada, bu değerlendirmeler esnasında sözel terimler ve bu sözel terimlere atanan üçgensel bulanık sayılar kullanılmaktadır. Buna göre her müşteri gereksinimi için üçgensel bulanık sayı olarak ilerleme oranı ($\tilde{I}\tilde{O}$) şöyle bulunmaktadır:

$$\tilde{I}\tilde{O}_i = \frac{\tilde{G}_i}{\tilde{U}_i} \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (2.39)$$

Burada \tilde{G}_i , i. müşteri gereksinimi için bulanık sayı olarak ifade edilen hedefi; \tilde{U}_i ise, i. müşteri gereksiniminin işletme içindeki bugünkü durumunu bulanık sayı olarak göstermektedir.

Bu aşamada işletme ayrıca, her müşteri gereksiniminin satışlara olan katkısını değerlendirerek satış noktası değerlendirmesi yapmaktadır. Bu değerlendirmeler de sözel terimler ve bunlara atanan üçgensel bulanık sayılar yardımıyla yapılmaktadır. Bulanık AHS ile elde edilen müşteri gereksinimlerinin başlangıç ağırlıkları, ilerleme oranı ve satış noktası değerlendirmeleri ile her müşteri gereksinimi için nihaî ağırlık (önem derecesi) şöyle bulunmaktadır:

$$\tilde{k}_i = \tilde{w}_i \times \tilde{I\ddot{O}}_i \times \tilde{S}_i \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (2.40)$$

Burada \tilde{k}_i , i. müşteri gereksiniminin nihaî bulanık ağırlığını; \tilde{w}_i , i. müşteri gereksiniminin bulanık AHS ile hesaplanan başlangıç bulanık ağırlığını; $\tilde{I\ddot{O}}$, i. müşteri gereksiniminin bulanık ilerleme oranını; \tilde{S}_i ise, i. müşteri gereksiniminin bulanık satış noktası değerlendirmesini göstermektedir. Her gereksinim için nihaî bulanık ağırlıklar bulunduktan sonra bunlar, Eşitlik (2.38) ile bulanık olmayan tek değere çevrilmektedir.

Teknik gereksinimlerin belirlenmesi: Teknik gereksinimler, müşteri gereksinimlerinin nasıl gerçekleştirileceğine ilişkin temel tasarım özellikleri olup işletme tarafından müşteri gereksinimlerinin ölçülebilir değerlere çevrilebilmesi olarak da düşünülebilmektedir.

Teknik gereksinimler arasındaki korelasyonların kurulması: Teknik gereksinimler arasındaki korelasyonlar için başka bir deyişle, kalite evinin çatısındaki ilişkiler için güçlü, orta, zayıf olmak üzere üç sözel terim kullanılmaktadır.

Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında ilişkilerin kurulması: Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler için zayıf, orta ve güçlü olmak üzere üç sözel terim kullanılmaktadır. KFG’de kalite evinin çatısında teknik gereksinimler arasındaki korelasyonlar hesaplanmasına rağmen, hesaplanan bu değerler müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimlerin arasındaki ilişki değerinde dolayısıyla, teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılmasında kullanılmamaktadır. Daha tutarlı bir hesaplama için teknik gereksinimlerin arasındaki korelasyonların da dikkate alınması gerekmektedir (Liu, 2009: 11135). Birbiri ile bağımlı iki teknik gereksinim (örneğin, bir teknik gereksinimin seviyesi değiştirildiğinde, diğer teknik gereksinimin

seviyesinin de değıştirilmesi gerekiyor olabilir), aynı anda seçildiğinde bunların aynı anda ürüne işlenmesi, maliyetlerde değışiklik yaratabilmektedir. Bu nedenle, teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki ilişkilerin, mutlaka teknik gereksinimlerin ağırlığının (önem derecelerinin) hesaplanmasında kullanılması gerekmektedir (Park ve Kim, 1998: 571). Literatürde bu konuda Wassermann (1993) ve Khoo ve Hoo (1996) tarafından önerilen hesaplamalar bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Wassermann (1993)'ın normalize edilmiş ilişki formülünün, Chen ve Weng (2003) tarafından düzenlenmiş şekli kullanılmaktadır. Kullanılacak ilişki formülü, Eşitlik (2.47a) ve (2.47b)'de verilmektedir. Bu bölümde, formüllerin nasıl elde edildiği kısaca açıklanmaya çalışılmaktadır. Buna göre Wassermann (1993) tarafından önerilen normalize edilmiş ilişki formülü, Eşitlik (2.41)'deki gibidir:

$$R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \sum_{j=1}^n R'_{ij} = 1 \quad (2.41)$$

Bu formülde R_{ik} , i. müşteri gereksinimi ile k. teknik gereksinim arasındaki ilişki derecesini gösterirken; r_{kj} , k. teknik gereksinim ile j. teknik gereksinim arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Bulanık KFG'de bu formülde kullanılan ve ilişkiyi gösteren sayılar, bulanık sayılar olarak ifade edildiğinde Eşitlik (2.41), Eşitlik (2.42)'deki şekli almaktadır:

$$\tilde{R}'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \tilde{R}_{ik} \tilde{\gamma}_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \tilde{R}_{ik} \tilde{\gamma}_{kj}} \quad (2.42)$$

Burada \tilde{R}_{ik} , i. müşteri gereksinimi ile k. teknik gereksinim arasındaki bulanık ilişki derecesini gösterirken; $\tilde{\gamma}_{kj}$, k. teknik gereksinim ile j. teknik gereksinim arasındaki bulanık ilişkiyi göstermektedir. Formülde yer alan \tilde{R}_{ik} ve $\tilde{\gamma}_{kj}$ değerleri, [0,1] aralığında tanımlandığı için, \tilde{R}'_{ij} değeri de aynı aralıkta olacaktır. \tilde{R}'_{ij} 'nin üyelik fonksiyonu, α kesmesi ve Zadeh'in genişletme prensibi ile bulunabilmektedir. Bu şekilde bulanık sayılar, farklı α kesmeleri ile şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$(\tilde{R}_{ik})_{\alpha} = \left[\min_{R_{ik}} \{ R_{ik} \in \tilde{R}_{ik} \mid \mu_{\tilde{R}_{ik}}(R_{ik}) \geq \alpha \}, \max_{R_{ik}} \{ R_{ik} \in \tilde{R}_{ik} \mid \mu_{\tilde{R}_{ik}}(R_{ik}) \geq \alpha \} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= [(R_{ik})^L, (R_{ik})^U] \\
(\tilde{\gamma}_{kj})_\alpha &= \left[\min_{r_{kj}} \{ r_{kj} \in \tilde{\gamma}_{kj} \mid \mu_{\tilde{\gamma}_{kj}}(r_{kj}) \geq \alpha \}, \max_{r_{kj}} \{ r_{kj} \in \tilde{\gamma}_{kj} \mid \mu_{\tilde{\gamma}_{kj}}(r_{kj}) \geq \alpha \} \right] \\
&= [(\gamma_{kj})_\alpha^L, (\gamma_{kj})_\alpha^U]
\end{aligned} \tag{2.43}$$

Burada $\alpha \in [0,1]$ olmak üzere $\mu_{\tilde{R}_{ik}}(R_{ik}) \in [0,1]$ ve $\mu_{\tilde{\gamma}_{kj}}(r_{kj}) \in [0,1]$, R_{ik} ve r_{kj} 'nin üyelik dereceleridir. Aynı şekilde genişletme prensibi ile \tilde{R}'_{ij} 'nin de üyelik derecesi,

$$\mu_{\tilde{R}'_{ij}}(R'_{ij}) = \sup \min \left\{ \mu_{\tilde{R}_{ik}}(R_{ik}), \mu_{\tilde{\gamma}_{kj}}(r_{kj}), \forall k, j \mid R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}} \right\} \quad \text{şeklinde}$$

tanımlanabilmektedir. Buradan \tilde{R}'_{ij} üyelik fonksiyonu, α kesmeleri yardımıyla bulunabilmektedir. \tilde{R}'_{ij} 'nin farklı α kesmelerinde alt ve üst değerleri, (2.44a) ve (2.44b)'de verilen modeller yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu hesaplama esnasında Chen ve Weng (2003), Kao ve Liu (2000)'nun yöntemini kullanmıştır.

$$(R'_{ij})_\alpha^L = \min R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}} \tag{2.44a}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kısıtlar} \quad (R'_{ik})_\alpha^L &\leq R_{ik} \leq (R'_{ik})_\alpha^U, \quad \forall k \\
(\gamma_{ik})_\alpha^L &\leq r_{ik} \leq (\gamma_{ik})_\alpha^U, \quad \forall k, j
\end{aligned}$$

$$(R'_{ij})_\alpha^U = \max R'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n R_{ik} r_{kj}} \tag{2.44b}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kısıtlar} \quad (R'_{ik})_\alpha^L &\leq R_{ik} \leq (R'_{ik})_\alpha^U, \quad \forall k \\
(\gamma_{ik})_\alpha^L &\leq r_{ik} \leq (\gamma_{ik})_\alpha^U, \quad \forall k, j
\end{aligned}$$

(2.44a) ve (2.44b)'de verilen modellerin kısaltılması ile,

$$(R'_{ij})_\alpha^L = \frac{\sum_{k=1}^n (R_{ik})_\alpha^L (\gamma_{kj})_\alpha^L}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (R_{ik})_\alpha^U (\gamma_{kj})_\alpha^U} \tag{2.45a}$$

$$(\mathbf{R}'_{ij})_{\alpha}^U = \frac{\sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kj})_{\alpha}^U}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kj})_{\alpha}^L} \quad (2.45b)$$

(2.45a) ve (2.45b)'de verilen eşitlikler elde edilmektedir. Bu eşitliklerden normalize edilmiş ilişki değerinin, her α kesmesindeki uç değerleri elde edilmektedir. Bu değerler, gerçekten daha geniş bir aralık verebilmektedir. Bu durumu değiştirebilmek için bulanık olmayan normalize edilmiş \mathbf{R}'_{ij} değeri şu şekilde verilebilmektedir:

$$\mathbf{R}'_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kj}} = \frac{\sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kj}}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kl} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kj}} \quad (2.46)$$

$$0 \leq (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L \leq \mathbf{R}_{ik} \leq (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U \leq 1, \quad \forall k, i = 1, \dots, m$$

$$0 \leq (\gamma_{ik})_{\alpha}^L \leq r_{ik} \leq (\gamma_{ik})_{\alpha}^U \leq 1, \quad \forall k, j$$

Bu formülde $\phi = \sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kj}$ ve $\varphi = \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n \mathbf{R}_{ik} r_{kl}$ olduğu düşünüldüğünde Eşitlik (2.46),

$f(\phi) = \frac{\phi}{\varphi + \phi}$ olarak yazılabilmektedir. Bu fonksiyonun türevi alındığında

$f'(\phi) = \frac{\varphi}{(\varphi + \phi)^2} \geq 0$ çıkması, bu fonksiyonun artan bir fonksiyon olduğunu

göstermektedir. Bu yüzden $\sum_k (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kj})_{\alpha}^L \leq \phi \leq \sum_k (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kj})_{\alpha}^U$ yazılabilmektedir.

Bu durumda fonksiyonun minimum ve maksimum değeri için

$$\min f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma)_{\alpha}^L}{\varphi + \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma)_{\alpha}^L} \quad \text{ve} \quad \max f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma)_{\alpha}^U}{\varphi + \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma)_{\alpha}^U}$$

yazılabilmektedir. Burada da $\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kl})_{\alpha}^L \leq \varphi \leq \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kl})_{\alpha}^U$ olduğu için

$\tilde{\mathbf{R}}'_{ij}$ değerinin, düzenlenmiş ve farklı α kesmelerindeki uç değerleri, Eşitlik (2.47a) ve (2.47b) ile elde edilebilmektedir.

$$m(\mathbf{R}'_{ij})_{\alpha}^L = \min f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kj})_{\alpha}^L}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kl})_{\alpha}^U + \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kj})_{\alpha}^L} \quad (2.47a)$$

$$m(\mathbf{R}'_{ij})_{\alpha}^U = \max f(\phi) = \frac{\sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kj})_{\alpha}^U}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kl})_{\alpha}^L + \sum_{k=1}^n (\mathbf{R}_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kj})_{\alpha}^U} \quad (2.47b)$$

Bu formüllerden elde edilen değerler, daha önceki formülden elde edilen değerden daha kısa ve tutarlı bir aralık vermektedir (Chen ve Weng, 2003: 561-563).

Teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılması: Teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılması, teknik gereksinimlerin her birine ağırlık (önem derecesi) atamak anlamındadır. Literatürde yapılan çalışmalarda, teknik gereksinimlerin ağırlığı belirlenirken, genellikle sadece her müşteri gereksiniminin ağırlığı ile bu müşteri gereksinimlerinin teknik gereksinimler ile olan ilişki değerleri kullanılmaktadır. Bu şekilde yapılan hesaplamada kullanılan değerler, bulanık sayı olarak ifade edildiğinde her teknik gereksinimin bulanık ağırlığı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\tilde{W}_j = (\tilde{k}_1 \otimes \tilde{R}_{1j}) \oplus (\tilde{k}_2 \otimes \tilde{R}_{2j}) \oplus \dots \oplus (\tilde{k}_i \otimes \tilde{R}_{ij}) \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (2.48)$$

Burada,

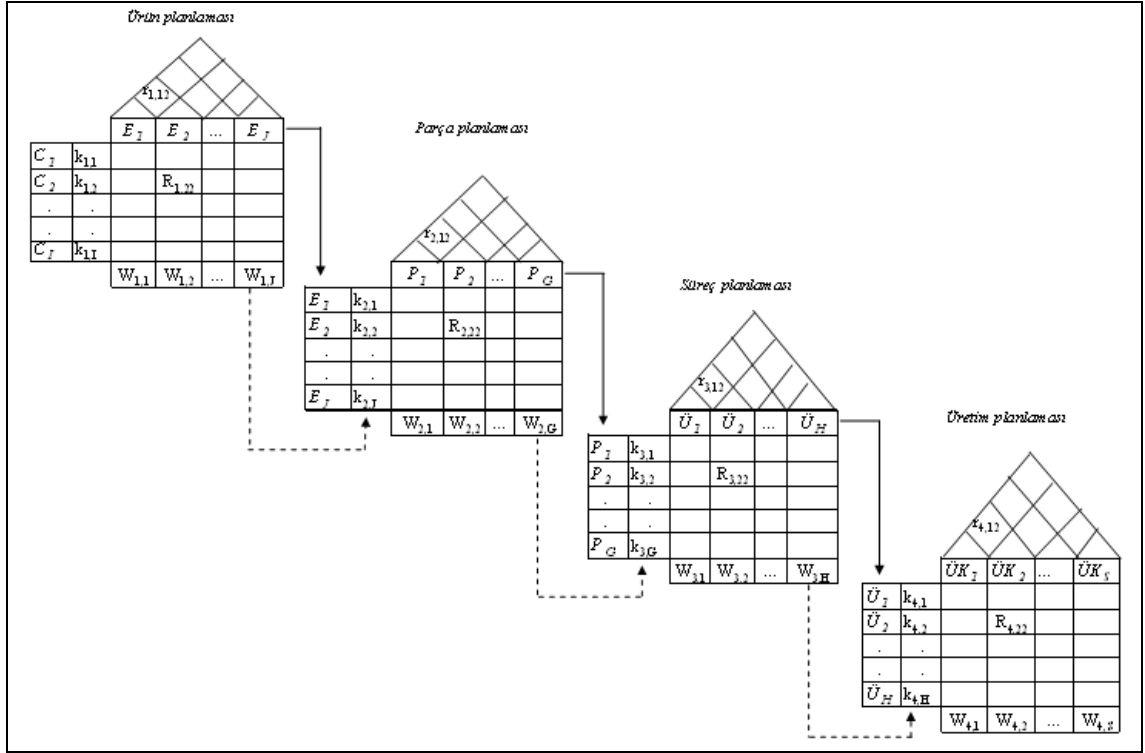
\tilde{W}_j , j. teknik gereksinimin ağırlığını,

\tilde{R}_{ij} , i. müşteri gereksinimi ile j. teknik gereksinim arasındaki ilişkiyi,

\tilde{k}_i , i. müşteri gereksiniminin ağırlığını,

\oplus , bulanık toplama işlemini,

\otimes , bulanık çarpma işlemini göstermektedir (Lin vd., 2004: 225).



Şekil 2.12: Dört aşamalı KFG sürecindeki ilişki matrisleri

Bu çalışmada ise, teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılmasında, hem teknik gereksinimler ile müşteri gereksinimleri arasındaki ilişkiyi hem de teknik gereksinimlerin arasındaki korelasyonu dikkate alan normalize edilmiş ilişkiler, müşteri gereksinimlerinin ağırlığı için ise, nihaî bulanık ağırlıkların bulanık olmayan (durulaştırılmış) ağırlık değerleri, diğer aşamalarda ise, bir önceki matrisin çıktıları kullanılmaktadır. Bu durum, Şekil 2.12'de gösterilmektedir. Bu şekilde j , teknik gereksinimi göstermek üzere, her teknik gereksinimin ağırlığı şöyle bulunmaktadır:

$$\tilde{W}_j = \sum_{i=1}^m k_i \cdot \tilde{R}'_{ij} \quad (2.49)$$

Burada k_i , i . müşteri gereksiniminin ağırlığını gösterirken ($i = 1, 2, \dots, m$); \tilde{R}'_{ij} , i . müşteri gereksinimi ile j . teknik gereksinim arasındaki normalize edilmiş ilişki derecesini göstermektedir. Bu formül farklı α kesmeleri için hesaplandığında, teknik gereksinimlerin her α kesmesindeki alt ve üst değerleri şu şekildedir (Chen ve Weng, 2003: 564):

$$(\tilde{W}_j)_\alpha = [(W_j)_\alpha^L, (W_j)_\alpha^U] = \left[\sum_{i=1}^m k_i \cdot m(R'_{ij})_\alpha^L, \sum_{i=1}^m k_i \cdot m(R'_{ij})_\alpha^U \right] \quad (2.50a)$$

Şekil 2.12’de görüldüğü gibi KFG uygulamasının dört aşamalı gerçekleştirildiği düşünüldüğünde Eşitlik (2.50a)’daki \tilde{W}_j değeri, Eşitlik (2.50b)’deki $\tilde{W}_{u,j}$ şekliyle yazılabilmektedir ($u = 1, 2, 3, 4$):

$$(\tilde{W}_{u,j})_\alpha = [(W_{u,j})_\alpha^L, (W_{u,j})_\alpha^U] = \left[\sum_{i=1}^m k_{u,i} \cdot m(R'_{u,ij})_\alpha^L, \sum_{i=1}^m k_{u,i} \cdot m(R'_{u,ij})_\alpha^U \right] \quad (2.50b)$$

Burada u , KFG’deki aşama sayısını; $\tilde{W}_{u,j}$, u . aşamadaki j . sütun elemanının ağırlığını; $k_{u,i}$, u . aşamadaki i . satır elemanının ağırlığını ($i = 1, 2, \dots, m$); $\tilde{R}'_{u,ij}$, u . aşamadaki i . satır elemanı ile j . sütun elemanı arasındaki normalize edilmiş ilişki derecesini göstermektedir (Chen ve Ko, 2010: 621).

Teknik Bazlı Rekabet Analizinin Yapılması: Bu aşamada işletme, her teknik gereksinim için ilk olarak bir ölçü birimi belirlemektedir. Daha sonra bu ölçü birimi cinsinden her teknik gereksinim için kendi durumunu ve rakiplerin durumunu değerlendirmektedir. Ayrıca işletme, her müşteri gereksinimi için kendine hedefler koymaktadır. İşletme tarafından yapılan bu değerlendirmeler, belirlenen ölçü biriminde üçgensel bulanık sayılar şeklindedir.

Teknik bazlı rekabet analizinin yapılması ile KFG’nin ilk matrisi olan kalite evi tamamlanmaktadır. Böylece ilk aşama olan kalite evinin oluşturulmasından sonra, ikinci aşama olan ürün parça matrisine geçilmektedir. Bu matrisin satırlarında, bir önceki kalite evindeki teknik gereksinimler ve teknik gereksinimlerin ağırlıkları yer alırken; sütunlarında ise, ürün parçaları yer almaktadır. Bu matrisin satırları ile sütunları arasında ilişkiler ile matrisin sütunlarının kendi aralarındaki ilişkileri kurulduktan sonra, Eşitlik (2.47a) – (2.47b) ile normalize edilmiş ilişki değerleri hesaplanmaktadır. Matris satırlarının ağırlığı, matrisin satırları ve sütunları arasında hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri ve Eşitlik (2.50b) yardımıyla ürün parçalarının ağırlıkları hesaplanarak ürün parça matrisi tamamlanmaktadır.

Üçüncü aşamada ürün parçaları, üretim süreçlerine dönüştürülmektedir. Bu matrisin satırlarında, bir önceki matrisin sütunlarında bulunan ürün parçaları ve ürün parçalarının ağırlıkları yer alırken; sütunlarında ise, üretim süreçleri yer almaktadır. Bu

matriste, satırlardaki ürün parçaları ile sütunlardaki üretim süreçleri arasında ilişkiler ve üretim süreçlerinin kendi aralarındaki ilişkileri kurulduktan sonra, Eşitlik (2.47a) – (2.47b) ile normalize edilmiş ilişki değerleri hesaplanmaktadır. Ürün parçalarının ağırlıkları, ürün parçaları ve üretim süreçleri arasında hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri ve Eşitlik (2.50b) kullanılarak, üretim süreçlerinin ağırlıkları hesaplanmakta ve üretim süreçleri matrisi tamamlanmaktadır.

Dördüncü ve son aşamada üretimi dolayısıyla ürünü kontrol altında tutan üretim kontrolleri belirlenmekte ve üretim matrisi oluşturulmaktadır. Bu matrisin satırlarında, bir önceki matrisin sütunlarında bulunan üretim süreçleri ve üretim süreçlerinin ağırlıkları yer alırken; sütunlarında ise, üretim kontrolleri yer almaktadır. Bu matriste, satırlardaki üretim süreçleri ile sütunlardaki üretim kontrolleri arasındaki ilişkiler ve üretim kontrollerinin kendi aralarındaki ilişkileri kurulduktan sonra, Eşitlik (2.47a) – (2.47b) ile normalize edilmiş ilişki değerleri hesaplanmaktadır. Üretim süreçlerinin ağırlıkları, üretim süreçleri ve üretim kontrolleri arasında hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri ve Eşitlik (2.50b) kullanılarak, üretim kontrollerinin ağırlığı hesaplanmakta ve üretim matrisi tamamlanmaktadır.

2.4.2 Hata Türlerinin Bulanık Veriler ile Ele Alınması

Üzerinde çalışılacak ürün seçilip, ürüne ilişkin bulanık KFG uygulamasından sonra Bulanık HTEA uygulamasına geçilmektedir. Bu çalışmada tasarlanan ürüne ilişkin hata türleri belirlenirken bulanık KFG’de oluşturulan matrislerden yararlanılmaktadır. Literatürde KFG ve HTEA’yı ortak bir şekilde kullanan birçok makalede veya tez çalışmasında kalite evinden elde edilen ve en yüksek ağırlığa sahip teknik gereksinime ilişkin HTEA çalışması uygulanmıştır. Başka bir deyişle, tasarımda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta üzerine odaklanılmış ve bu noktadan hareket edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Bu çalışmada ise, KFG’nin dört matrisinin sütunları arasında sıralama yapıldıktan sonra, sütunlardaki ifadelerin doğrudan işletmeyi ilgilendirdiği düşünülerek, sütunlarda yer alan ifadelerin tamamı dikkate alınmaktadır. Bu anlamda, bulanık KFG’nin dört aşamalı olarak gerçekleştirildiği düşünüldüğünde, ürüne ilişkin temel tasarım özelliklerinde, ürünü oluşturan temel parçalarda, ürünü oluşturan üretim süreçlerinde, üretim esnasında ve sonrasında yapılması gereken kontrollerde ortaya çıkabilecek hatalar veya arızalar belirlenmekte, hata türlerinin

etkileri değerlendirilmekte ve karar vericilerin değerlendirmeleri doğrultusunda hata türleri, risklerine göre sıralanmaktadır. Bu sıralama esnasında Wang, Chin, Poon ve Yang (2009) tarafından önerilen bulanık ağırlıklı geometrik ortalama yöntemi kullanılmaktadır.

2.4.2.1 Hata Türlerinin Belirlenmesi

Bulanık HTEA uygulaması için öncelikle işletme çalışanlarından oluşan bir takım oluşturulmaktadır. Takım oluşturulurken, takımdaki karar vericilerin işletmenin farklı bölümlerinde çalışmalarına ve konuyla ilgili yeterli bilgi ve deneyime sahip olmalarına dikkat edilmektedir. Oluşturulan takımdaki karar vericilerin bilgi ve deneyimlerinin birbirinden farklı olduğu düşünülerek, her karar vericiye ağırlık atanmaktadır. Karar vericilerin ağırlıkları, uygulamanın başından sonuna kadar sabit tutulmamaktadır. Başka bir deyişle, karar vericilere atanan ağırlıklar, KFG'nin aşamalarına paralel olarak belirlenmekte ve hata türlerinin değerlendirilmesinde, karar vericilerin her aşamadaki bilgi ve deneyimlerine göre değiştirilmektedir.

Oluşturulan takım ile birlikte, KFG'nin 4 aşamasında da oluşturulan matrislerde ürüne ilişkin temel tasarım özelliklerinde, ürünü oluşturan temel parçalarda, ürünü oluşturan üretim süreçlerinde, üretim esnasında ve sonrasında yapılması gereken kontrollerde oluşabilecek hata türlerine karar verilmektedir. Hata türlerinin risklerine göre önceliklendirilmesinde hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın tespit edilebilirliği faktörleri kullanılırken hatanın şiddetine ilişkin faktör, ikiye ayrılmaktadır. "Hatanın şiddeti" kavramının tanımına bakıldığında, ürüne, hizmete veya sürece ilişkin bir hata ortaya çıktığında müşterinin karşı karşıya kaldığı veya yaşadığı durum (Baysal vd., 2002: 85), fonksiyonel uygunsuzluk (Eryürek, 2004: 46) veya müşterinin neyin farkında olacağı veya dikkatini çeken durum olarak tanımlanmaktadır (Kara-Zaitri vd., 1991: 249). Burada bahsedilen müşteri, nihaî kullanıcı yani dış müşteri olabileceği gibi iç müşteri de olabilmektedir (Baysal vd., 2002: 85). Bu nedenle, bu çalışmada hatanın şiddeti, hatanın içsel şiddeti ve hatanın dışsal şiddeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Buna göre RÖS, hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın içsel şiddeti, hatanın dışsal şiddeti ve hatanın tespit edilebilirliği faktörlerinin çarpımından oluşmaktadır. Bu anlamda, işletme içinde belirlenen hata türleri, bu dört risk faktörüne göre değerlendirilmektedir.

Bu değerlendirmelerin daha doğru bir şekilde yapılabilmesi için potansiyel hata türleri belirlendikten sonra, ilgili hata türünün nedenleri, içsel şiddetleri, dışsal şiddetleri ve hatanın tespit edilebilme yöntemleri belirlenmektedir.

Bu belirleme esnasında *hata türlerinin nedenlerinin* bulunabilmesinde her hata türü için şu sorulara odaklanılmaktadır (Çivitcioğlu Karakuş, 2001: 30):

- Parçanın, sürecin veya sistemin arıza yapmasına ne veya kim sebep olabilir?
- Hangi koşullar altında parça, süreç veya sistem fonksiyonunu yerine getiremez?
- Belirlenen veya amaçlanan tasarım özelliklerinin gerçekleştirilmesinde parça nasıl veya niçin başarısız olur?

Hatanın içsel şiddeti belirlenirken,

- Eğer bir hammaddede, parçada bir hata veya arıza gerçekleşirse, parçanın çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda ne gibi sonuçlarla karşılaşılır?
- Eğer bir hammaddede, parçada bir hata veya arıza gerçekleşirse, parçanın bulunduğu grubun çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda neler olur?
- Hatanın gerçekleştiği parçanın bulunduğu sistemin çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda neler olur?

sorularına cevaplar aranmaktadır.

Hatanın dışsal şiddeti belirlenirken ise, “Eğer bir parça arıza yaparsa veya hata müşteriye giderse müşteri, ürünün çalışmasında, kullanılmasında emniyetinde ne gibi sorunlarla karşı karşıya kalır veya müşteri ne görür, ne hisseder ve müşterinin başına neler gelir?” sorularının cevapları düşünülmektedir (Çivitcioğlu Karakuş, 2001: 27).

Hatanın tespit edilışinde ise,

- Hata türü veya arıza ortaya çıktığında işletme tarafından fark edilebiliyor mu?
- Eğer hata türü veya arıza nihaî müşteriye ulaşmadan işletme içinde tespit edilebiliyorsa bu durum, işletmenin mevcut hangi kontrol sistemleri, testleri veya deneyleri tarafından tespit ediliyor?

sorularına cevaplar aranmaktadır.

2.4.2.2 Hata Türlerinin Risk Faktörlerine Göre Değerlendirilmesi

HTEA'nın literatürde belirtilen önemli eksikliklerinden biri, risk faktörlerine eşit ağırlık (önem derecesi) vermesidir. Bu nedenle, bu çalışmada her risk faktörüne ağırlık atanmaktadır. Ancak bu ağırlıkların ne olması gerektiğine ilişkin literatürde kabul

görmüş kesin ağırlıklar bulunmamaktadır. Bu durum, her işletmenin yapısının farklı olması veya her işletmenin riske karşı olan tutumlarının farklılığı ile açıklanabilmektedir.

Bu çalışmada risk faktörlerine atanacak ağırlıklar, üçgensel bulanık sayılar olarak alınmaktadır. Böylelikle ağırlık, kesin değer olarak kullanılmayıp, bir aralık olarak ifade edilmektedir. Risk faktörleri için bulanık ağırlıkların bulunabilmesinde, Buckley (1985) tarafından önerilen bulanık AHS yöntemi kullanılmaktadır. Buna göre risk faktörlerine atanacak ağırlıkların karar vericiden karar vericiye değişebileceği düşünülerek, her karar verici, risk faktörleri arasında ikili karşılaştırma yapmak suretiyle risk faktörlerine ilişkin kendi bulanık ağırlığını belirlemektedir. Karar vericiler bazında belirlenen risk faktörlerine ilişkin her farklı bulanık ağırlık, karar vericilerin deneyimlerine göre değerlendirilerek risk faktörlerine ilişkin çalışmada kullanılacak bütünleştirilmiş (birleştirilmiş) bulanık ağırlıklar elde edilmektedir. Buna göre, her karar verici için bulanık AHS ile belirlenen bulanık ağırlıkların bütünleştirilmesi için uygulanması gereken işlemler aşağıda verilmektedir. Bu işlemlerde kullanılacak notasyonlar şu şekildedir:

KV_j ($j = 1, \dots, m$): Karar vericiler

h_j : j. karar verici için atanan ağırlık

\tilde{w}_j^O : j. karar verici tarafından belirlenen ortaya çıkma sıklığının bulanık ağırlığı

$(w_{jL}^O, w_{jM}^O, w_{jU}^O)$: j. karar verici tarafından belirlenen ortaya çıkma sıklığının

bulanık ağırlığının sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerleri

\tilde{w}_j^{IS} : j. karar verici tarafından belirlenen içsel şiddetin bulanık ağırlığı

$(w_{jL}^{IS}, w_{jM}^{IS}, w_{jU}^{IS})$: j. karar verici tarafından belirlenen içsel şiddetin bulanık

ağırlığının sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerleri

\tilde{w}_j^{DS} : j. karar verici tarafından belirlenen dışsal şiddetin bulanık ağırlığı

$(w_{jL}^{DS}, w_{jM}^{DS}, w_{jU}^{DS})$: j. karar verici tarafından belirlenen dışsal şiddetin bulanık

ağırlığının sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerleri

\tilde{w}_j^T : j. karar verici tarafından belirlenen tespit edilebilirliğin bulanık ağırlığı

$(w_{jL}^T, w_{jM}^T, w_{jU}^T)$: j. karar verici tarafından belirlenen tespit edilebilirliğin bulanık

ağırlığının sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerlerini göstermektedir.

Buna göre her karar vericiden elde edilen bulanık ağırlıklar, Eşitlik (2.51)-(2.54) ile bütünleştirilmektedir.

$$\tilde{w}^O = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^O = \left(\sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^O, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^O, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^O \right) \quad (2.51)$$

$$\tilde{w}^{I\mathcal{S}} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^{I\mathcal{S}} = \left(\sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^{I\mathcal{S}}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^{I\mathcal{S}}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^{I\mathcal{S}} \right) \quad (2.52)$$

$$\tilde{w}^{D\mathcal{S}} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^{D\mathcal{S}} = \left(\sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^{D\mathcal{S}}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^{D\mathcal{S}}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^{D\mathcal{S}} \right) \quad (2.53)$$

$$\tilde{w}^T = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^T = \left(\sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^T, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^T, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^T \right) \quad (2.54)$$

Bu eşitliklerdeki \tilde{w}^O , $\tilde{w}^{I\mathcal{S}}$, $\tilde{w}^{D\mathcal{S}}$ ve \tilde{w}^T notasyonları, her risk faktörünün bütünleştirilmiş üçgensel bulanık ağırlıklarını göstermektedir.

Karar vericilerin, belirlenen hata türlerini risk faktörleri bazında değerlendirebilmeleri için sözel terimler belirlenmektedir. Bu anlamda, her karar verici, sözel terimleri kullanarak belirlenen hata türlerini ayrıntılı bir şekilde değerlendirmektedir. Karar vericilerin her birinin yaptığı ayrıntılı değerlendirmelerin, hata türlerinin risklerine göre sıralanmasında kullanılabilmesi için tek bir değere dönüştürülmesi gerekmektedir. Değerlendirmelerin tek bir değerlendirmeye dönüştürülmesinde Eşitlik (2.55)-(2.58) kullanılmaktadır. Bu eşitliklerde kullanılacak girdilere ilişkin notasyonlar şu şekilde verilebilmektedir:

HT_i ($i = 1, \dots, n$): Belirlenen hata türleri

\tilde{R}_{ij}^O : j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen ortaya çıkma sıklığının bulanık derecesi

$(R_{ijL}^O, R_{ijM}^O, R_{ijU}^O)$: j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen ortaya çıkma sıklığının bulanık derecesinin sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerleri

$\tilde{R}_{ij}^{I\mathcal{S}}$: j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen içsel şiddetin bulanık derecesi

$(R_{ijL}^{I\mathcal{S}}, R_{ijM}^{I\mathcal{S}}, R_{ijU}^{I\mathcal{S}})$: j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen içsel şiddetin bulanık derecesinin sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerleri

\tilde{R}_{ij}^{DS} : j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen dışsal şiddetin bulanık derecesi

$(R_{ijL}^{DS}, R_{ijM}^{DS}, R_{ijU}^{DS})$: j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen dışsal şiddetin bulanık derecesinin sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerleri

\tilde{R}_{ij}^T : j. karar verici tarafından i. hata türü için belirlenen tespit edilebilirliğin bulanık derecesi

$(R_{ijL}^T, R_{ijM}^T, R_{ijU}^T)$: j. karar verici tarafından i. hata türü için bulanık tespit edilebilirliğin bulanık derecesinin sırasıyla en kötümser, olası ve en iyimser değerlerini göstermektedir.

Bu notasyonlar kullanılarak karar vericilerin subjektif değerlendirmelerinin tek bir değere dönüştürülmesi için gerekli formüller şu şekilde olmaktadır:

$$\tilde{R}_i^O = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^O = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^O \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (2.55)$$

$$\tilde{R}_i^{IS} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^{IS} = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^{IS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^{IS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^{IS} \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (2.56)$$

$$\tilde{R}_i^{DS} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^{DS} = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^{DS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^{DS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^{DS} \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (2.57)$$

$$\tilde{R}_i^T = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^T = \left(\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^T, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^T, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^T \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (2.58)$$

Bu eşitliklerde \tilde{R}_i^O , \tilde{R}_i^{IS} , \tilde{R}_i^{DS} ve \tilde{R}_i^T , i. hata türü için risk faktörlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerlerini göstermektedir (Wang vd., 2009: 1202).

2.4.2.3 Hata Türlerinin Risklerine Göre Sıralanması

Her hata türü için bütünleştirilmiş değerler bulunduktan sonra, bulanık risk öncelik sayısı (BRÖS) bulunmalıdır. i. hata türü için bulanık RÖS şöyle bulunmaktadır:

$$BRÖS = \left(\tilde{R}_i^O \right)^{(\tilde{w}^O) / (\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T)} \times \left(\tilde{R}_i^{IS} \right)^{(\tilde{w}^{IS}) / (\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T)} \times \left(\tilde{R}_i^{DS} \right)^{(\tilde{w}^{DS}) / (\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T)} \times \left(\tilde{R}_i^T \right)^{(\tilde{w}^T) / (\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T)} \quad (2.59)$$

Eşitlik (2.59)'daki ifade, bulanık ağırlıklı geometrik ortalama kavramına denk düşmektedir. Bu şekilde bulanık ağırlıklı bulanık sayıların bütünleştirilmesi

(birleştirilmesi), bulanık çok kriterli karar verme problemlerinde önemli bir konudur (Chiao, 2000: 311). Bu nedenle, bu bölümde öncelikle bulanık ağırlıklı ortalama kavramından kısaca bahsedilecek daha sonra bulanık ağırlıklı geometrik ortalama kavramına geçilecektir.

Genel itibarıyla bulanık ağırlıklı ortalama fonksiyonu, x_i ve w_i 'nin bir fonksiyonu olarak yazılabilmektedir (Guh, 1998: 69). Buna göre A_1, A_2, \dots, A_n olmak üzere n tane bulanık kriter ve W_1, W_2, \dots, W_n olmak üzere n tane bulanık ağırlık sırasıyla X_1, X_2, \dots, X_n ve Z_1, Z_2, \dots, Z_n evrenlerinde tanımlanmış bulanık sayılardır. Eğer f fonksiyonu, $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \times Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_n$ 'den Y evrenine tanımlanmış ise, buna göre bulanık ağırlıklı ortalama şu şekilde yazılabilmektedir (Lee ve Park, 1997: 39, 40):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, w_1, w_2, \dots, w_n)$$

$$= \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.60)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad x_i \in X_i, \quad w_i \in Z_i, \quad \sum_{i=1}^n w_i > 0$$

Burada x_1, x_2, \dots, x_n , ağırlıklandırılacak bulanık sayıları gösterirken; w_1, w_2, \dots, w_n , bulanık ağırlıkları; y ise, bulanık çıktı değişkeni göstermektedir. Verilen evrende bulanık ağırlıkların ve ağırlıklandırılacak bulanık sayıların üyelik fonksiyonlarının, $\mu_{W_1}(w_1), \mu_{W_2}(w_2), \dots, \mu_{W_n}(w_n)$ ve $\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)$ olduğu düşünüldüğünde Zadeh'in genişletme prensibi gereği bulanık ağırlıklı ortalama şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\mu_B(y) = \max_{\substack{x_i \in X_i, w_i \in Z_i \\ i=1, 2, \dots, n}} \min \{ \mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n), \mu_{W_1}(w_1), \dots, \mu_{W_n}(w_n) \}$$

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (2.61)$$

Bulanık ağırlıklı ortalama konusunda literatürde yapılan ilk çalışma olan *Dong ve Wong (1987)*, bulanık kümelerdeki α kesmelerine ve aralık analizine dayanan bir algoritma önermiştir. Önerilen algoritma, $O(2^n)$ tane hesaplama (adım) gerektirdiği için kullanılan bilgideki belirsizlik arttıkça daha da kullanışsız, zor bir hale gelmektedir (Lee ve Park, 1997: 40). *Liou ve Wang (1992)*, *Dong ve Wong (1987)* tarafından önerilen

algoritmanın bazı adımlarındaki hesaplamalarda, kolaylıklar geliştirerek İyileştirilmiş Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA) algoritmasını önermiştir. Önerilen algoritma, $O(n^2)$ tane karşılaştırma ve aritmetik işlem içermektedir (Lee ve Park, 1997: 40). *Guh, Hon, Wang ve Lee (1996)*, n tane hesaplama gerektiren “max-min çifti eleme yöntemi” adı verilen sezgisel yöntemi önermiştir (Guu, 2002: 412). *Lee ve Park (1997)*, Liou ve Wang (1992) ve Dong ve Wong (1987) tarafından önerilen algoritmaları daha da hesaplama açısından kolaylaştıran ve $O(n \log n)$ tane adımı gerektiren Etkin Bulanık Ağırlıklı Ortalama (EFWA) algoritmasını önermiştir.

Bulanık ağırlıklı ortalama yönteminde matematiksel programlama kullanımı ise, Guh (1998), Guh, Hon ve Lee (2001), Kao ve Liu (2001), Guu (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bulanık ağırlıklı ortalama değerinin (\tilde{Y}), farklı α kesmelerindeki alt ve üst sınır değerleri, kesirli programlama problemi olarak şu şekilde yazılabilmektedir:

$$(Y)_{\alpha}^L = \min y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.62a)$$

$$\text{Kısıtlar } (W_i)_{\alpha}^L \leq w_i \leq (W_i)_{\alpha}^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(X_i)_{\alpha}^L \leq x_i \leq (X_i)_{\alpha}^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(Y)_{\alpha}^U = \max y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.62b)$$

$$\text{Kısıtlar } (W_i)_{\alpha}^L \leq w_i \leq (W_i)_{\alpha}^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(X_i)_{\alpha}^L \leq x_i \leq (X_i)_{\alpha}^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Burada α değeri değiştikçe, \tilde{Y} değerinin alt ve üst sınırları da değişmektedir. Modeller (2.62a) ve (2.62b)'ye bakıldığında verilen α kesmesinde Y'nin en küçük değeri, x_i 'nin en küçük değerinde $((X_i)_{\alpha}^L)$; Y'nin en büyük değeri ise, x_i 'nin en büyük değerinde $((X_i)_{\alpha}^U)$ oluşmaktadır. Bu nedenle, Model (2.62a) ve (2.62b)'deki kesirli programlama modelleri şu şekilde yazılabilmektedir (Kao ve Liu, 2001: 438, 439):

$$(Y)_\alpha^L = \min y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (X_i)_\alpha^L}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.63a)$$

$$\text{Kısıtlar } (W_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (W_i)_\alpha^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(Y)_\alpha^U = \max y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (X_i)_\alpha^U}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.63b)$$

$$\text{Kısıtlar } (W_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (W_i)_\alpha^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Kesirli programlamayı, doğrusal programlamaya çevirmek için Charnes ve Cooper (1962) tarafından önerilen dönüşüm formülleri kullanılmaktadır. Buna göre basit bir kesirli programlama problemi,

$$\begin{aligned} \text{Amaç fonk.} \quad & \min \frac{p^x}{q^x} & (2.64) \\ \text{Kısıtlar} \quad & Ax \leq b \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada p ve q, iki tane n-boyutlu sabit vektörler iken; x, n-boyutlu değişken; A, mxn boyutlu matris; b ise, m-boyutlu sabit vektördür. Doğrusal programlamaya çevirmek için $z = \frac{1}{qx}$, $qx \neq 0$ ve $zx = y$ olduğu kabul edilmekte ve

Model (2.64)'teki amaç fonksiyonunda gerekli dönüşümler yapılarak amaç fonksiyonu, kesirli değerden kurtarılmaktadır. Aynı şekilde kısıtlarda da gerekli dönüşümler yapılarak kesirli programlama, doğrusal programlamaya dönüşmekte ve Model (2.65) yazılabilmektedir (Guh vd., 2001: 159):

$$\begin{aligned} \text{Amaç fonk.} \quad & \min py & (2.65) \\ \text{Kısıtlar} \quad & Ay \leq bz \\ & qy = 1 \\ & y \geq 0 \\ & z \geq 0 \end{aligned}$$

(2.63a) ve (2.63b)'de verilen kesirli programlama modeli, Charnes ve Cooper (1962) tarafından önerilen dönüşüm formülleri ile doğrusal programlama modeline şu şekilde dönüştürülmektedir:

$$t = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{ve} \quad v_i = t(w_i) \text{ ise,}$$

$$\text{Amaç fonk.} \quad (Y)_{\alpha}^L = \min y = \sum_{i=1}^n v_i (X_i)_{\alpha}^L \quad (2.66a)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad t(W_i)_{\alpha}^L \leq v_i \leq t(W_i)_{\alpha}^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1$$

$$t \geq 0$$

$$\text{Amaç fonk.} \quad (Y)_{\alpha}^U = \max y = \sum_{i=1}^n v_i (X_i)_{\alpha}^U \quad (2.66b)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad t(W_i)_{\alpha}^L \leq v_i \leq t(W_i)_{\alpha}^U \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1$$

$$t \geq 0$$

Bu modelden elde edilecek amaç fonksiyonu değeri, verilen α kesmesinde bulanık ağırlıklı ortalama değerinin, $[(Y)_{\alpha}^L, (Y)_{\alpha}^U]$ şeklinde yazılabilen kesin aralığı olmaktadır. Farklı α kesmeleri kullanılarak farklı aralıklar elde edilebilmekte ve böylece, \tilde{Y} 'nin, $\mu_{\tilde{Y}}$ üyelik fonksiyonu bulunabilmektedir (Kao ve Liu, 2001: 439).

Literatürde birçok çalışmada bulanık ağırlıklı ortalama yönteminin uygulamaları bulunmasına rağmen, çok az çalışma bulanık ağırlıklı geometrik ortalama, bulanık ağırlıklı harmonik ortalama gibi diğer ağırlıklı ortalama yöntemlerine yönelmiştir (Wang ve Luo, 2009: 534). Bu tez çalışmasında Wang, Chin, Poon ve Yang (2009) tarafından önerilen bulanık ağırlıklı geometrik ortalama yöntemi kullanılmaktadır. Buna göre bulanık ağırlıkları $\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_n$ olan $\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n$ şeklindeki n tane pozitif bulanık sayının bulanık ağırlıklı geometrik ortalaması (\tilde{y}_G) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\tilde{y}_G = (\tilde{x}_1)^{\frac{\tilde{w}_1}{\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + \dots + \tilde{w}_n}} \cdot (\tilde{x}_2)^{\frac{\tilde{w}_2}{\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + \dots + \tilde{w}_n}} \dots (\tilde{x}_n)^{\frac{\tilde{w}_n}{\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + \dots + \tilde{w}_n}}$$

$$\tilde{y}_G = \prod_{i=1}^n (\tilde{x}_i)^{\frac{\tilde{w}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i}} \quad (2.67)$$

Bu hesaplamalar sonucu hesaplanan \tilde{y}_G değeri, bulanık sayı olup, α kesmeleri ve genişletme prensibi ile hesaplanabilmektedir. Buna göre $(\tilde{y}_G)_\alpha = [(y_G)_\alpha^L, (y_G)_\alpha^U]$ aralığı, \tilde{y}_G bulanık sayısının farklı α kesmelerindeki alt ve üst sınırları olmaktadır. Bu alt ve üst sınırlar, (2.68a) ve (2.68b)'de verilen matematiksel modeller ile çözülmektedir:

$$(y_G)_\alpha^L = \text{Min} \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (2.68a)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad (w_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (w_i)_\alpha^U \quad i = 1, \dots, n$$

$$(x_i)_\alpha^L \leq x_i \leq (x_i)_\alpha^U \quad i = 1, \dots, n$$

$$(y_G)_\alpha^U = \text{Max} \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (2.68b)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad (w_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (w_i)_\alpha^U \quad i = 1, \dots, n$$

$$(x_i)_\alpha^L \leq x_i \leq (x_i)_\alpha^U \quad i = 1, \dots, n$$

Klâsik geometrik ortalama formülü olan $G = \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}}$, başka bir şekilde

$$G = \exp \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{formülü ile yazılabilmektedir. Bu fonksiyonların da artan}$$

fonksiyon olduğu düşünüldüğünde Model (2.68a) ve (2.68b) şu şekilde yazılabilmektedir:

$$(y_G)_\alpha^L = \text{Min} \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln (x_i)_\alpha^L}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (2.69a)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad (w_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (w_i)_\alpha^U \quad i = 1, \dots, n$$

$$(y_G)_\alpha^U = \text{Max} \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln(x_i)_\alpha^U}{\sum_{i=1}^n w_i}\right) \quad (2.69b)$$

$$\text{Kısıtlar } (w_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (w_i)_\alpha^U \quad i = 1, \dots, n$$

Model (2.69a) ve (2.69b)'yi doğrusal programlamaya dönüştürmek için $z = 1/\sum_{i=1}^n w_i$ ve $u_i = z(w_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) olarak alındığında Modeller (2.69a) ve (2.69b), aşağıda verilen Modeller (2.70a) ve (2.70b)'deki gibi yazılabilmektedir:

$$\text{Amaç fonk.} \quad \text{Min } z_1 = \sum_{i=1}^n u_i \ln(x_i)_\alpha^L \quad (2.70a)$$

$$\begin{aligned} \text{Kısıtlar} \quad & u_1 + u_2 + \dots + u_n = 1 \\ & (w_i)_\alpha^L \cdot z \leq u_i \leq (w_i)_\alpha^U \cdot z \quad i = 1, \dots, n \\ & z \geq 0 \end{aligned}$$

$$\text{Amaç fonk.} \quad \text{Max } z_2 = \sum_{i=1}^n u_i \ln(x_i)_\alpha^U \quad (2.70b)$$

$$\begin{aligned} \text{Kısıtlar} \quad & u_1 + u_2 + \dots + u_n = 1 \\ & (w_i)_\alpha^L \cdot z \leq u_i \leq (w_i)_\alpha^U \cdot z \quad i = 1, \dots, n \\ & z \geq 0 \end{aligned}$$

Bu modellerden elde edilen optimal amaç fonksiyonu değerlerinin z_1^* ve z_2^* olduğu düşünüldüğünde, bu değer yardımıyla,

$$(y_G)_\alpha^L = \exp(z_1^*) \quad (2.71a)$$

$$(y_G)_\alpha^U = \exp(z_2^*) \quad (2.71b)$$

elde edilmektedir (Wang vd., 2009: 1200-1201). Burada $(\tilde{y}_G)_\alpha = [(y_G)_\alpha^L, (y_G)_\alpha^U]$ aralığı, \tilde{y}_G bulanık sayısının farklı α kesmelerindeki alt ve üst sınırları olmaktadır.

Eşitlik (2.59)'da verilen bulanık RÖS, Modeller (2.70a) ve (2.70b)'ye göre yazıldığında bulanık RÖS'ün farklı α kesmelerindeki değerlerinin alt ve üst sınırları, Model (2.72a) ve (2.72b)'nin çözümü ile elde edilmektedir.

$$\text{Min } z_1 = u_1 \ln(R_i^O)_\alpha^L + u_2 \ln(R_i^{IS})_\alpha^L + u_3 \ln(R_i^{DS})_\alpha^L + u_4 \ln(R_i^T)_\alpha^L \quad (2.72a)$$

$$u_1 + u_2 + u_3 + u_4 = 1$$

$$(w^O)_\alpha^L \cdot z \leq u_1 \leq (w^O)_\alpha^U \cdot z$$

$$\begin{aligned}
& (w^{iS})_{\alpha}^L \cdot z \leq u_2 \leq (w^{iS})_{\alpha}^U \cdot z \\
& (w^{DS})_{\alpha}^L \cdot z \leq u_3 \leq (w^{DS})_{\alpha}^U \cdot z \\
& (w^T)_{\alpha}^L \cdot z \leq u_4 \leq (w^T)_{\alpha}^U \cdot z \\
& z \geq 0
\end{aligned}$$

$$\text{Max } z_2 = u_1 \ln(R_i^O)_{\alpha}^U + u_2 \ln(R_i^{iS})_{\alpha}^U + u_3 \ln(R_i^{DS})_{\alpha}^U + u_4 \ln(R_i^T)_{\alpha}^U \quad (2.72b)$$

$$\begin{aligned}
& u_1 + u_2 + u_3 + u_4 = 1 \\
& (w^O)_{\alpha}^L \cdot z \leq u_1 \leq (w^O)_{\alpha}^U \cdot z \\
& (w^{iS})_{\alpha}^L \cdot z \leq u_2 \leq (w^{iS})_{\alpha}^U \cdot z \\
& (w^{DS})_{\alpha}^L \cdot z \leq u_3 \leq (w^{DS})_{\alpha}^U \cdot z \\
& (w^T)_{\alpha}^L \cdot z \leq u_4 \leq (w^T)_{\alpha}^U \cdot z \\
& z \geq 0
\end{aligned}$$

Model (2.72a) ve (2.72b)'nin çözümü sonucu elde edilen optimal değerler yardımıyla $(BRÖS_i)_{\alpha}^L = \exp(z_1^*)$ ve $(BRÖS_i)_{\alpha}^U = \exp(z_2^*)$ bulunmaktadır. Bulunan bu değerler, bulanık RÖS değerinin farklı α kesmelerinde alt ve üst sınırlarını vermektedir (Wang vd., 2009: 1202, 1203). Bulanık sayı olarak elde edilen RÖS değerinin, sıralama amaçlı kullanılabilmesi için durulaştırılması yani bulanık olmayan kesin değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bu çevirme esnasında, Eşitlik (2.38) kullanılmakta ve belirlenen hata türleri, risklerine göre sıralanmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Araçlardan haberleşmeye, beyaz eşyadan enerji nakil hatlarına, makineden inşaata kadar birçok alanda kullanılan kablolar, görevleri itibarıyla insan vücudundaki sinirlere benzemektedir. Bu anlamda kablolar, buldukları sistemde iletim görevini yerine getirmektedir (Tuğrul, 2008: 12). Diğer tüm ürünlerde olduğu gibi bir kabloda da kalite ve kaliteye ilişkin güvenilirlik gibi kavramlar oldukça önemlidir. Kabloda güvenilirliğin sağlanamaması veya kablonun fonksiyonunu yerine getirememesi, büyük çaplı yangınlardan insan ölümlerine kadar ciddi problemlere neden olmaktadır. Bu bakımdan kablonun tasarımı, üretimi, son kullanıcı tarafından montajının yapılması ve plânlanan ömrü boyunca kullanımı esnasındaki performansı başka bir deyişle, fonksiyonunu hatasız bir şekilde yerine getirebilmesi oldukça önemli olmaktadır. Bu nedenle, kablo için ürün güvenilirliğinin oluşturulabilmesi, güçlü ve güvenilir tasarıma ve aynı zamanda gerçekleştirilecek olan süreçlerin de güvenilirliğine bağlı olmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde güvenilir bir kablonun geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla kabloya ilişkin temel tasarımlar, dört aşamalı bulanık KFG ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen KFG uygulaması ile kablonun tasarımı esnasında ürün güvenilirliğinin dolayısıyla, müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için gerekli adımları sistematik bir şekilde tanımlanmak ve bu adımların gerçekleştirilmesi için üretim sürecini ve kontrollerini yine sistematik bir şekilde plânlamak amaçlanmıştır.

İşletmenin bu tasarımları gerçeğe dönüştürdüğünde karşı karşıya kalabileceği hata türleri ve bunların riskleri, bulanık HTEA kullanılarak değerlendirilmiştir. KFG uygulamasına paralel bir şekilde yürütülen HTEA, hatalar meydana gelmeden önce bu hataları, ayrıntılı bir şekilde tahmin eden ve riskleri belirleyerek erken uyarı sistemi olarak işletme için bir karar destek sistemi gibi düşünülebilen bir tasarım aracı olarak kullanılmıştır. Bu anlamda, aslında temel düşüncenin kablonun tasarımı esnasında tüm riskleri belirlemek ve hatayı ortaya çıktığında ortadan kaldırmak yerine, “hatanın önlenmesi” olduğu söylenebilmektedir. Bu şekilde yürütülen HTEA çalışmaları ile

- Tasarım faaliyetlerinde kritik ve önemli noktaların önceden belirlenmesi,

- Ürüne ilişkin potansiyel hata türlerinin, ürün tasarım aşamasında iken belirlenmesi,
- Güvenliği tehlikeye atan potansiyel noktaların belirlenerek bunların ortaya çıkmaması için gerekli önlemlerin alınmasının sağlanması,
- Hata ve hataya ilişkin kavramlar açısından ortaya konan detaylı bilgilerin kayıt altına alınması amaçlanmıştır.

Tüm bu amaçları gerçekleştirmek için kullanılan yöntemler, bulanık mantık yaklaşımı ile birleştirilmiştir. Bu anlamda, ürün geliştirilmesi esnasında kesin bilginin bulunmaması veya her hata türüne ilişkin risk faktörlerine kesin değerlerin atanması zorluğu, bulanık mantık yaklaşımı ile giderilmiştir. Ayrıca, tüm değerlendirmeler esnasında risk, karar vericiler tarafından doğal dile dayanan sözel terimler ile değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda, çalışmanın uygulama bölümünde izlenen adımlar özetle şu şekildedir:

- Öncelikle ilgili işletmenin değerlendirmeye alınacak ürünü belirlenmiştir.
- Belirlenen bu ürün ile ilgili bulanık KFG uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için kalite evi, ürün parça matrisi, üretim süreci matrisi ve üretim matrisi oluşturulmuştur.
- Oluşturulan matrisler baz alınarak matris sütunları hayata geçirildiğinde oluşabilecek hata türleri belirlenmiştir. Başka bir deyişle, tasarım HTEA uygulaması yapılmıştır.
- Belirlenen hata türleri, işletme içinden oluşturulan çapraz fonksiyonlu takım tarafından, belirlenen risk faktörlerine göre değerlendirilmiştir.
- Belirlenen tüm hata türleri için risk değerleri elde edilmiş ve hata türlerinin sıralaması yapılarak işletmeye karar destek sistemi sağlanmıştır.

3.1 UYGULAMA ALANI OLAN İŞLETMENİN TANITIMI

Bu tezin uygulama bölümünde incelenen işletme, 1992 yılında kurulan ve Denizli İmalat Sanayi'nde faaliyet gösteren bir kablo üreticisi ve ihracatçısıdır. İşletme, 5300 m²'si kapalı, 2100 m²'si açık alan olmak üzere toplam, 7400 m² alanda faaliyet göstermektedir. İşletmede, toplam 180 kişi çalışmaktadır. İşletme çalışanlarının sorumluluklarını, yetkilerini ve karşılıklı ilişkilerini gösteren organizasyon şeması

merkez ofiste görev yapanlar ve fabrikada görev yapanlar için Ek 1a ve Ek 1b'de verilmektedir. İşletme, hem iç pazar hem de dış pazar için üretim yapmaktadır. Üretiminin % 90'ını ihraç etmektedir. İhracatını gerçekleştirdiği ülkeler arasında İngiltere, İrlanda, Japonya, Hong Kong ve Dubai yer almaktadır.

İşletmenin temel amaçlarından biri, müşteri memnuniyetidir. Bu anlamda işletme, kaliteden ödün vermeyerek ISO 14001-2004, İngiliz standartlarından olan BASEC ve LPCB, Alman standardı VDE'nin sertifikalarına sahiptir. Ayrıca işletme, ISO 9001:2008'e uygun olarak oluşturup sürekli ve etkin olarak uyguladığı kalite yönetim sistemi çerçevesinde çelik tel zırlı bina enerji, tesisat ve kumanda kabloları gibi ulusal ve uluslararası standartlarda veya müşteriye özel farklı tipte kablolar üretmektedir. Bu anlamda, işletmenin ürettiği ürünler, tek damar topraklama kabloları, çift izolasyonlu kablolar, esnek kablolar, 1, 2 ve 3 damarlı yassı kablolar, zırhsız enerji kabloları, zırlı enerji kabloları, sokak aydınlatma kabloları, trafik sinyal kabloları, uzatma grup prizleri ve kabloları olarak sayılabilmektedir. İlgili işletmenin sayılan bu temel ürünlerini ürettiği alan için yerleşim plânı, Ek 2'de; işletmenin genel olarak üretim süreçleri için akış şemaları ise, Ek 3- Ek 9'da verilmiştir.

İlgili işletmenin vizyonu; etik değerlere verdiği önem, kalite ve çevre yönetim sistemlerini uygulamadaki titizlik ve etkinlik, kaliteden ödün vermeyen kararlılık, şeffaf ve gelişime açık organizasyonel yapısı ile çalışanlarını güçlendirerek sağlıklarına, güvenliklerine ve çevreye karşı saygılı, üstün yetenekli ve tecrübeli kadrosu vasıtasıyla rekabet gücü yüksek, güvenilir ve çözüm üretici bir firma olarak önde gelen kablo üreticisi ve ihracatçısı olmaktır. İşletmenin misyonu ise, bu vizyonu gerçekleştirebilmek için teknik ve ticari tecrübelerini kablo endüstrisinde üstün kaliteli ürünlere ve hizmetlere aktararak, müşterilerine, hissedarlarına ve çalışanlarına sürekli artan değerler sağlamaktır. Bu anlamda işletmenin değerleri; sürekli müşteri memnuniyeti, etik davranış, kaliteden ödün vermemek, insana ve doğaya/çevreye saygı, bireyi güçlendirme, takım çalışması ve sürekli iyileştirme olarak sayılabilmektedir.

İşletmenin kalite politikası ise, alçak gerilim bina elektrik, güç, kumanda ve tesisat kablolarının yüksek kalitede ve güvenilirlikte tasarımı, geliştirilmesi, üretimi, pazarlama ve satışlarıdır. Bu anlamda hissedarların, yöneticilerin ve tüm personelin uzmanlıkları ve çabalarıyla ISO 9001:2008 ve diğer standartların gereksinimlerini karşılayarak ve yürürlükteki ilgili kanun ve yönetmeliklere uyarak, ürünlerin ve kalite

yönetim sisteminin gerekliliği dolayısıyla, müşterilerin memnuniyetini sağlamak temel amaç olarak görülmektedir. Bu temel amacı gerçekleştirmek için ilgili işletmede, müşteri odaklılık, liderlik, çalışanların katılımı, süreç yaklaşımı, yönetimde sistem yaklaşımı, sürekli iyileştirme, verilere dayalı karar verme yaklaşımı ve karşılıklı faydaya dayalı tedarikçi ilişkileri gibi kavramlar, uygunluk ve süreklilik açısından periyodik olarak gözden geçirilen hedefleri belirlemede ve geliştirmede kullanılmaktadır.

3.2 UYGULAMA İÇİN ÜRÜNÜN SEÇİMİ

Çalışmaya, işletme içinde farklı bölümlerde çalışan karar vericilerden oluşan bir takımın oluşturulması ile başlanmıştır. Takıma plânlama, kalite kontrol ve üretim bölümlerinden karar vericiler katılmıştır. Takımın oluşturulması esnasında, karar vericilerin ürün ve işletme hakkında yeterince bilgi sahibi olmalarına dikkat edilmiştir. Takımdaki karar vericilere, uygulama ile gerçekleştirilmek istenen amaçlar, izlenecek yöntemler ve yöntemlerin adımları kısaca anlatılmıştır.

Karar vericiler ile uygulama alanı için başka bir deyişle, işletmenin geliştirmek istediği kablonun seçimi yapılmıştır. Kablonun seçimi esnasında işletmenin bir müşterisinin talebinden yola çıkılmıştır. Seçilen kablo, yangına dayanıklı ve enerji iletiminde açık ve kapalı alanlarda kullanılan ve aynı zamanda toprak altı alçak gerilim kablosudur. Seçilen bu kablo için yeniden tasarıma ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Ürün, yangına dayanıklı ve yangın esnasında düşük zehirli duman çıkarıcı özelliğe sahip bir hale getirilmek istenmektedir. Kablonun damar sayısı, kesiti vb. gibi kimliğini belirleyen temel bilgiler oluşturulduktan sonra bulanık KFG uygulamasına geçilmiştir.

3.3 KALİTE EVİNİN OLUŞTURULMASI

Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi: Kalite evinin oluşturulmasında ilk adım olan müşteri gereksinimleri belirlenirken, işletmenin müşteri temsilcileri ile yüz yüze görüşmeler yapılmış ve müşteriden gelen ihtiyaçlar gruplanarak, ortak başlıklar altında toplanmıştır. Bu çalışma için başlangıç adımı olan müşteri gereksinimleri şu şekilde belirlenmiştir:

- *Kablonun bakır ve çelik tel iletkenliği:* Kablonun aslı görevi olan elektrik iletkenliği esnasında gösterdiği performansı, kabloda kullanılan bakır ve çelik telin standart şartlarına uygun olmasına bağlıdır.
- *Kablonun yangın esnasındaki davranışları:* Muhtemel bir yangın durumunda, kabloda meydana gelebilecek değişiklikleri ifade etmektedir. Yangın esnasında kablonun çıkardığı dumanın yoğunluğunun azlığı ve çıkan zehirli gazlar nedeniyle insan hayatını tehlikeye atmaması öngörülmektedir. Ayrıca, yangın durumunda dahi elektrik akımını iletebilme süresinin arttırılması oldukça önemlidir.
- *Kablonun soğuk havaya dayanıklılığı:* Kablonun düşük sıcaklıklarda fiziksel özelliklerini kaybetmemesi, müşteri açısından önemlidir.
- *Kablonun damar ve kılıf rengi:* Kabloda bulunan damar sayısı, birden fazla olduğu için bu damarların ayırt edilebilmesi amacıyla damarlar, standartta belirtilen farklı renkte üretilmektedir. Ayrıca ilgili kablo, alçak gerilim iletim kablosu olduğu ve toprak altında veya tesisatlarda başka amaçlarla kullanılan diğer kablolar ile karıştırılmaması için kablonun dış kılıfında kullanılan renk de önemli olmaktadır.
- *Kablonun yırtılma direnci:* Kablonun, montesi yapıldıktan sonra geçen süre zarfında ortam şartlarının meydana getireceği fiziksel etkiler sonucunda kılıf malzemesinin dayanıklılığı, müşteri açısından önem taşımaktadır.
- *Kablonun esnekliği:* Kablonun montesinde ve yerleşiminde kablonun esnekliği, fiziksel açıdan önem taşımaktadır. Kablonun, köşe ve kıvrımlarda rahat bir şekilde montaj sağlaması ve aynı zamanda kablonun performansından bir şey kaybetmemesi gerekmektedir.
- *Kablonun fiyatı:* Piyasa şartları gereğince kablonun maliyetinin fazlaca yükü olmaması istenmektedir. Kablo, hem tüketiciyi hem de üreticiyi memnun edecek maliyette üretilebilmelidir.

Müşteri gereksinimlerinin başlangıç ağırlıklıklarının bulunması: Her bir müşteri gereksiniminin başlangıç ağırlığını, Buckley (1985) tarafından önerilen bulanık AHS ile hesaplamak için öncelikle ikili karşılaştırmalarda kullanılacak sözel terimler belirlenmiş ve Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu anlamda gereksinimlerin birbirleri ile

karşılaştırılmalarında tam olarak eşit derecede önemli, zayıf derecede önemli, orta derecede önemli, kuvvetli derecede önemli, çok kuvvetli derecede önemli ve mutlak derecede önemli olmak üzere altı sözel terim kullanılmıştır. Daha sonra müşteri gereksinimleri satırlara ve sütunlara yerleştirilerek Çizelge 3.2’de verilen başlangıç ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisinde her bir müşteri gereksinimi birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1: Bulanık önem dereceleri

Sözel Terimler	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Tam olarak eşit derecede önemli	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf derecede önemli	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Orta derecede önemli	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Kuvvetli derecede önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Mutlak derecede önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

Kaynak: Chang, D. Y. (1996) “Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”, *European Journal of Operational Research*, c. 95, s. 3, s. 651.

Çizelge 3.2: Müşteri gereksinimleri için ikili karşılaştırma matrisi

	<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	<i>Soğuk hava dayanıklılığı</i>	<i>Damar ve kılıf rengi</i>	<i>Yırtılma direnci</i>	<i>Esneklik</i>	<i>Fiyat</i>
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	(1 , 1 , 1)	(1 , 1 , 1)	(1 , 3/2 , 2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 3/2 , 2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 3/2 , 2)
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	(1 , 1 , 1)	(1 , 1 , 1)	(1 , 3/2 , 2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 3/2 , 2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 3/2 , 2)
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1 , 1 , 1)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 3/2 , 2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1 , 3/2 , 2)
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1 , 1 , 1)	(1/3 , 2/5 , 1/2)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1/3 , 2/5 , 1/2)
<i>Yırtılma direnci</i>	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(2 , 5/2 , 3)	(1 , 1 , 1)	(1 , 3/2 , 2)	(1 , 3/2 , 2)
<i>Esneklik</i>	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1 , 1 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)
<i>Fiyat</i>	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(2 , 5/2 , 3)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1 , 3/2 , 2)	(1 , 1 , 1)
<i>Tutarlılık oranı: 0,03</i>							

Çizelge 3.2’de verilen ikili karşılaştırma matrisinde, her bir müşteri gereksiniminin ağırlığının bulunması için Eşitlik (2.34a)-(2.34c) kullanılmıştır. Geometrik ortalama yöntemi için matrisin aynı satırında bulunan ve her matris hücresine denk gelen üçgensel bulanık sayıların alt, orta ve üst değerlerinin geometrik ortalamaları alınmıştır. Her satır için başka bir deyişle, her müşteri gereksinimi için elde edilen bulanık geometrik ortalama değerleri, Çizelge 3.3’ün ikinci sütununda verilmiştir. Her müşteri gereksinimi için üçgensel bulanık sayı olarak elde edilen bulanık geometrik değerlerin alt değeri, orta değeri ve üst değeri, sütun toplamının sırasıyla üst değerine, orta değerine ve alt değerine bölünerek bulanık ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler, Çizelge 3.3’ün üçüncü sütununda verilmiştir.

Çizelge 3.3: Müşteri gereksinimleri için elde edilen başlangıç bulanık ağırlıklar

<i>Müşteri gereksinimleri</i>	<i>Geometrik ortalama değerleri</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	(1,1228 , 1,4504 , 1,7487)	(0,1194 , 0,1959 , 0,3041)
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	(1,1228 , 1,4504 , 1,7487)	(0,1194 , 0,1959 , 0,3041)
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	(0,9211 , 1,2190 , 1,5838)	(0,0979 , 0,1647 , 0,2755)
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	(0,4328 , 0,5179 , 0,6507)	(0,0460 , 0,0700 , 0,1132)
<i>Yırtılma direnci</i>	(0,8203 , 1,0757 , 1,4262)	(0,0872 , 0,1453 , 0,2480)
<i>Esneklik</i>	(0,5870 , 0,7306 , 0,9580)	(0,0624 , 0,0987 , 0,1666)
<i>Fiyat</i>	(0,7430 , 0,9580 , 1,2917)	(0,0790 , 0,1294 , 0,2247)
<i>Toplam</i>	(5,7498 , 7,4020 , 9,4078)	

Ayrıca, ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Tutarlılık hesabı şu şekilde yapılmıştır. Öncelikle Çizelge 3.2’de verilen müşteri gereksinimlerinin üçgensel bulanık sayılar ile yapılan değerlendirmeleri, Eşitlik (2.38) ile durulaştırılarak kesin sayılara dönüştürülmüş ve “A” olarak adlandırılan matris elde edilmiştir. Aynı şekilde Çizelge 3.3’ün son sütununda verilen başlangıç bulanık ağırlıklar da Eşitlik (2.38) ile durulaştırılarak kesin sayılara dönüştürülmüş ve “w” olarak adlandırılan matris elde edilmiştir:

$$A = \begin{pmatrix} 1,000 & 1,000 & 1,500 & 2,000 & 1,500 & 2,000 & 1,500 \\ 1,000 & 1,000 & 1,500 & 2,000 & 1,500 & 2,000 & 1,500 \\ 0,694 & 0,694 & 1,000 & 2,000 & 1,500 & 2,000 & 1,500 \\ 0,511 & 0,511 & 0,511 & 1,000 & 0,406 & 0,511 & 0,406 \\ 0,694 & 0,694 & 0,694 & 2,500 & 1,000 & 1,500 & 1,500 \\ 0,511 & 0,511 & 0,511 & 2,000 & 0,694 & 1,000 & 0,694 \\ 0,694 & 0,694 & 0,694 & 2,500 & 0,694 & 1,500 & 1,000 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 0,193 \\ 0,193 \\ 0,165 \\ 0,070 \\ 0,147 \\ 0,100 \\ 0,131 \end{pmatrix}$$

Tutarlılık oranının bulunması için öncelikle, en büyük özdeğerin (λ_{\max}) hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle, ilk olarak A matrisi, w matrisi ile çarpılmış ve yeni bir matris elde edilmiştir. Elde edilen bu matris, tekrar w matrisine bölünmüş ve “z” olarak adlandırılan matris bulunmuştur:

$$z = \begin{pmatrix} 7,203 \\ 7,203 \\ 7,210 \\ 7,344 \\ 7,174 \\ 7,166 \\ 7,165 \end{pmatrix}$$

Elde edilen bu son matrisin elemanları toplanıp ($7,203 + 7,203 + 7,210 + 7,344 + 7,174 + 7,166 + 7,165 = 50,464$), toplam eleman sayısına bölüldüğünde ($50,464 / 7 = 7,209$), çıkan sonuç en büyük özdeğer (λ_{\max}) için yaklaşık bir değerdir. Elde edilen bu değer, Eşitlik (2.36)'da verilen formülde yerine konmuş ve tutarlılık göstergesi (CI), 0,035 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık oranı (CR) için, tutarlılık göstergesinin, rassallık göstergesine (RI) bölünmesi gerekmektedir. Rassallık göstergesi, Çizelge 2.2'den $n = 7$ için 1,32 olarak belirlenmiştir. Buna göre Eşitlik (2.37)'de verilen formüldeki değerlerin yerine konması ile, Çizelge 3.2'de verilen ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı 0,03 olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde Çizelge 3.2'de verilen ikili karşılaştırma matrisinde yapılan değerlendirmenin tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Müşteri Bazlı Rekabet Değerlendirmeleri: Bu aşamada, ürünün kullanıcısı olan müşteri, işletmeyi ve işletmenin rakiplerini değerlendirmiştir. İşletmenin rakibi olarak Denizli ilinde faaliyet gösteren ve işletme ile aynı kalite yönetim sertifikalarına sahip iki

kablo işletmesi belirlenmiştir. Belirlenen bu rakip işletmeler, çalışmada, “Rakip 1” ve “Rakip 2” olarak adlandırılmıştır. Müşterinin işletmeyi, rakiplerini değerlendirmesi ve işletmenin her müşteri gereksinimi bazında hedefini belirlemesi esnasında çok iyi, iyi, orta, zayıf ve çok zayıf olmak üzere beş sözel terim kullanılmıştır. Bu sözel terimlere atanan üçgensel bulanık sayılar, Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4: Müşteri bazlı rekabet değerlendirmesi için sözel terimler

Sözel Terimler	Bulanık Ölçek
Çok iyi (Çİ)	(0,8, 1, 1)
İyi (İ)	(0,6, 0,8, 1)
Orta (O)	(0,4, 0,6, 0,8)
Zayıf (Z)	(0,2, 0,4, 0,6)
Çok Zayıf (ÇZ)	(0, 0, 0,2)

Kaynak: Liu, H.T (2009) “The Extension of fuzzy QFD: From Product Planning to Part Deployment”
Expert Systems with Application, c. 36, s. 11139.

Ayrıca, bu aşamada işletme tarafından her bir müşteri gereksiniminin, ürünün satışına olan etkisi, büyük, küçük ve hiç olmak üzere üç sözel terim ile değerlendirilmiştir. Bu sözel terimlere atanan simgeler ve üçgensel bulanık sayılar Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5: Satış noktası değerlendirmesi için sözel terimler

Sözel Terimler	Bulanık Ölçek
Büyük (⊙)	(1,2, 1,4, 1,6)
Küçük (○)	(1, 1,2, 1,4)
Hiç (→)	(1, 1, 1)

Kaynak: Liu, H.T (2009) “The Extension of fuzzy QFD: From Product Planning to Part Deployment”
Expert Systems with Application, c. 36, s. 11139.

Çizelge 3.6: Müşteri bazlı rekabet değerlendirmesi

	<i>İşletme Bugün</i>	<i>Rakip 1</i>	<i>Rakip 2</i>	<i>Hedef</i>	<i>Satış Noktası</i>
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	İ	O	İ	Çİ	⊙
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	İ	O	O	Çİ	⊙
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	İ	O	O	Çİ	⊙
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	O	O	İ	İ	--
<i>Yırtılma direnci</i>	İ	İ	O	İ	⊙
<i>Esneklik</i>	İ	İ	İ	Çİ	--
<i>Fiyat</i>	İ	O	İ	Çİ	○

İşletme ve müşteri tarafından yapılan tüm değerlendirmeler, Çizelge 3.6'da verilmiştir. Çizelge 3.6'da verilen "işletme bugün", "hedef" değerlendirmeleri ve Eşitlik (2.39) kullanılarak, her müşteri gereksinimi için ilerleme oranları hesaplanmıştır. Her müşteri gereksiniminin nihaî ağırlıkları; hesaplanan ilerleme oranları, müşteri gereksinimlerinin başlangıç ağırlıkları ve satış noktası değerlendirmelerinin çarpımı sonucu (Eşitlik 2.40) bulunmuştur. Bulunan bu değerler, Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Müşteri gereksinimleri için elde edilen bulanık ağırlıklar, bulanık KFG'nin ilk aşamasında girdi değeri olarak kullanılmıştır. Bu ağırlıkların girdi değeri olarak kullanılabilmesi için bulanık olmayan değere çevrilmesi (durulaştırılması) gerekmektedir. Eşitlik (2.38) ile elde edilen bulanık olmayan ağırlıklar ve ağırlıkların normalize edilmiş değerleri, Çizelge 3.8'de verilmiştir. Elde edilen değerler, kalite evinde (Şekil 3.2), müşteri gereksinimlerinin ağırlığını gösteren sütunda yer almıştır.

Elde edilen değerlere bakıldığında, kabloda kullanılan bakırın ve çelik telin iletkenliği dolayısıyla, kablonun akımı iletme performansı ve kablonun yangın esnasındaki davranışları, yeniden tasarımı yapılan kabloda en önemli müşteri gereksinimi olarak belirlenmiştir. Damar ve kılıf rengi ise, diğer gereksinimler arasında en düşük öneme sahiptir.

Çizelge 3.7: Müşteri gereksinimlerinin nihaî bulanık ağırlıkları

	<i>Başlangıç bulanık ağırlıklar (\tilde{w}_i)</i>	<i>İlerleme Oranı ($\tilde{I\ddot{O}}_i$)</i>	<i>Satış Noktası (\tilde{S}_i)</i>	<i>Nihaî ağırlıklar (\tilde{k}_i)</i>
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	(0,1194 , 0,1959 , 0,3041)	(0,800 , 1,250 , 1,667)	(1,2 , 1,4 , 1,6)	(0,1146 , 0,3429 , 0,8110)
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	(0,1194 , 0,1959 , 0,3041)	(0,800 , 1,250 , 1,667)	(1,2 , 1,4 , 1,6)	(0,1146 , 0,3429 , 0,8110)
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	(0,0979 , 0,1647 , 0,2755)	(0,800 , 1,250 , 1,667)	(1,2 , 1,4 , 1,6)	(0,0940 , 0,2882 , 0,7345)
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	(0,0460 , 0,0700 , 0,1132)	(0,750 , 1,333 , 2,500)	(1, 1, 1)	(0,0345 , 0,0933 , 0,2829)
<i>Yırtılma direnci</i>	(0,0872 , 0,1453 , 0,2480)	(0,600 , 1,000 , 1,667)	(1,2 , 1,4 , 1,6)	(0,0628 , 0,2035 , 0,6614)
<i>Esneklik</i>	(0,0624 , 0,0987 , 0,1666)	(0,800 , 1,250 , 1,667)	(1, 1, 1)	(0,0499 , 0,1234 , 0,2777)
<i>Fiyat</i>	(0,0790 , 0,1294 , 0,2247)	(0,800 , 1,250 , 1,667)	(1, 1,2 , 1,4)	(0,0632 , 0,1941 , 0,5242)

Çizelge 3.8: Müşteri gereksinimlerinin bulanık olmayan ağırlıkları

	<i>Bulanık olmayan değer</i>	<i>Normalize edilmiş değer</i>
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	0,383	0,2090
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	0,383	0,2090
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	0,330	0,1803
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	0,115	0,0628
<i>Yırtılma direnci</i>	0,256	0,1400
<i>Esneklik</i>	0,137	0,0747
<i>Fiyat</i>	0,227	0,1241
<i>Toplam</i>	1,832	1,0000

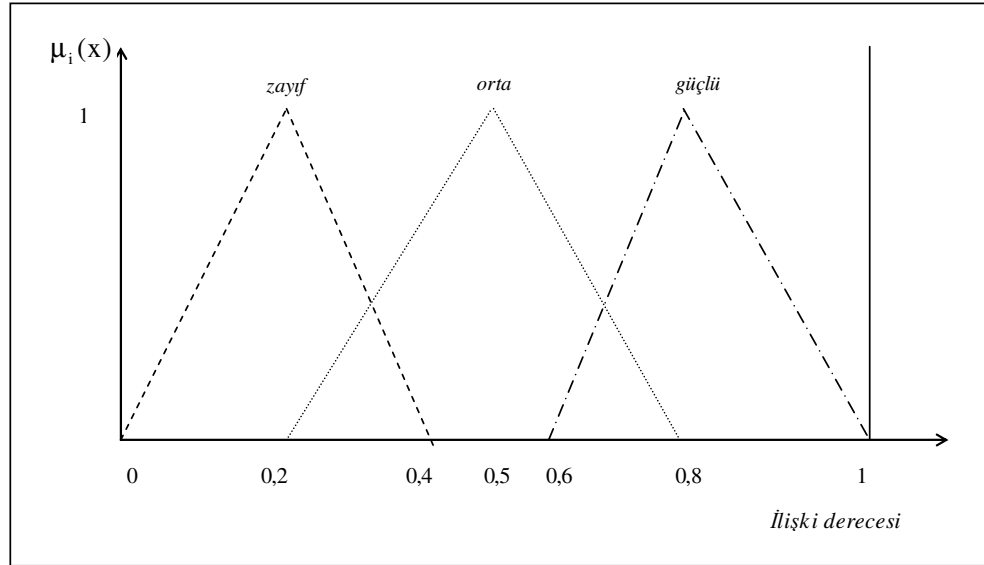
Teknik gereksinimlerin belirlenmesi: Müşteri gereksinimlerini karşılamak için işletme tarafından belirlenen teknik gereksinimler şu şekildedir:

- *Kullanılacak bakır miktarı:* İşletme tarafından belirlenecek olan ve standart şartlarını karşılayacak karakteristik özelliklere sahip minimum ağırlıktaki bakır miktarını ifade etmektedir.
- *Kullanılacak galvanizli çelik tel miktarı:* İşletme tarafından belirlenecek olan ve mukavemet dayanımını arttıracak ve aynı zamanda standart şartları karşılayacak karakteristik özelliklere sahip minimum ağırlıktaki çelik miktarını ifade etmektedir.
- *Kullanılacak mika bant miktarı:* İşletme tarafından belirlenecek olan ve yangına dayanım süresini artıracak şekilde sarım sayısına karşılık gelen ağırlık miktarını ifade etmektedir.
- *Kullanılacak boyanın tipi ve miktarı:* İşletme tarafından belirlenecek olan ve hem müşteri isteğini hem de standartta belirtilen gereksinimi karşılayacak miktarı ifade etmektedir.
- *Kullanılacak kılıf malzemesinin tipi ve miktarı:* İşletme tarafından belirlenecek olan ve yangına dayanıklılık özelliğini ve yırtılma direncini (standartta belirtilen ve müşteri isteği olan fiziksel dayanım) sağlayacak miktarı ifade etmektedir.
- *Kullanılacak dolgu malzemesinin tipi ve miktarı:* İşletme tarafından belirlenecek olan ve yangına karşı dayanıklılık süresini artıracak ve kabloyu, fiziksel şartlara dayanıklı hale getirecek ağırlık miktarını ifade etmektedir.
- *Kullanılacak izolasyon malzemesinin tipi ve miktarı:* Kablodaki iletkeni korumak amacıyla standartta belirtilen izolasyon için gerekli miktarı ifade etmektedir.

Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında ilişkilerin kurulması:

Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında ilişkilerde ve teknik gereksinimlerin kendi arasındaki ilişkilerinde kullanılmak üzere güçlü, orta ve zayıf olmak üzere üç sözel terim belirlenmiştir. Bu sözel terimlere karşılık gelen güçlü (0,6 , 0,8 , 1), orta (0,2 , 0,5 , 0,8) ve zayıf (0 , 0,2 , 0,4) olmak üzere üçgensel bulanık sayılar atanmış ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Sözel terimlere bulanık sayılar atanırken, Shen,

Tan ve Xie (2001) ve Chen ve Ko (2009a) tarafından önerilen bulanık sayılar dikkate alınmış ve bu sayılar, bu çalışmadaki uygulamaya göre yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 3.1: Kalite evindeki ilişkilerde kullanılan sözel terimler ve üyelik fonksiyonları

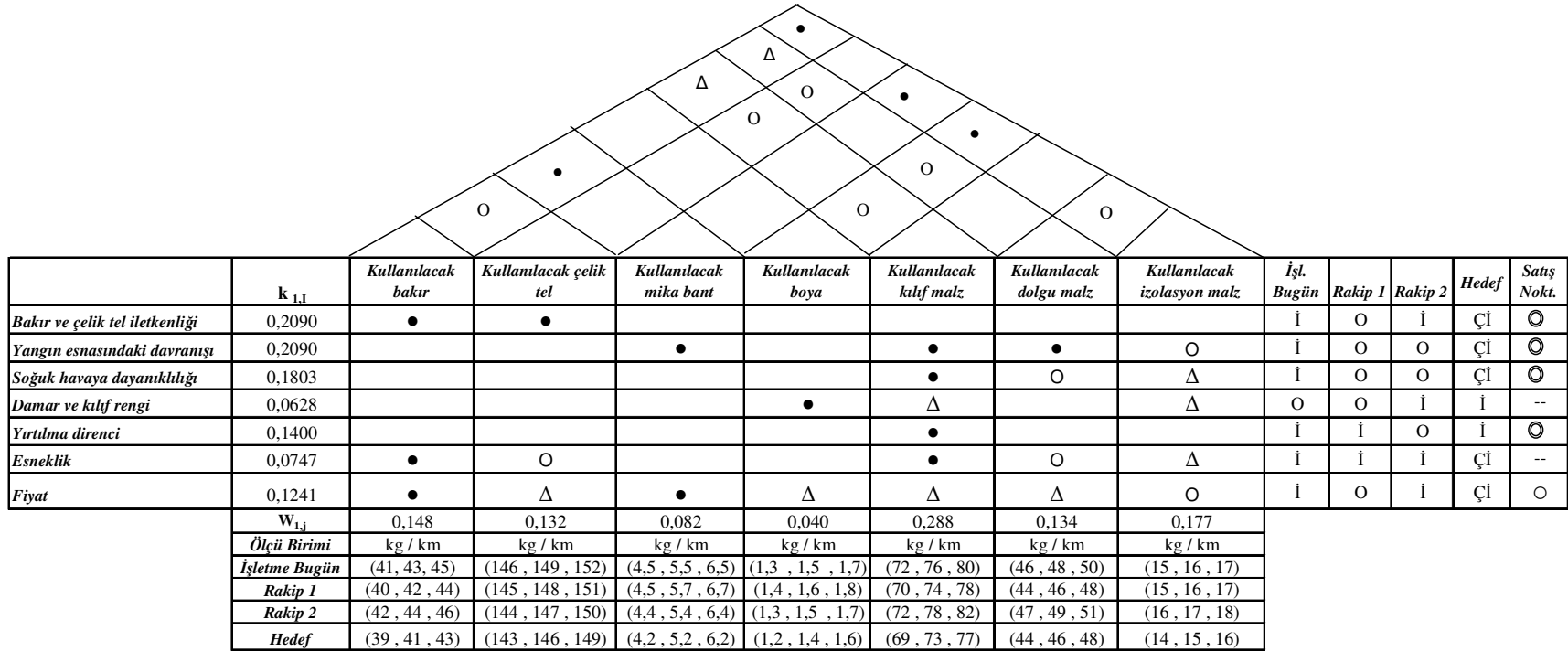
Buna göre belirlenen sözel terimlere ait üyelik fonksiyonlarını, şu şekilde yazabilmek mümkündür:

$$\mu_{\text{zayıf}} = \begin{cases} 5x & , 0 \leq x \leq 0,2 \text{ ise,} \\ 2 - 5x & , 0,2 \leq x \leq 0,4 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 0 \text{ ve } x > 0,4 \text{ ise,} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}} = \begin{cases} 3,33x - 0,67 & , 0,2 \leq x \leq 0,5 \text{ ise,} \\ 2,67 - 3,33x & , 0,5 \leq x \leq 0,8 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 0,2 \text{ ve } x > 0,8 \text{ ise,} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{güçlü}} = \begin{cases} 5x - 3 & , 0,6 \leq x \leq 0,8 \text{ ise,} \\ 5 - 5x & , 0,8 \leq x \leq 1 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 0,6 \text{ ve } x > 1 \text{ ise,} \end{cases}$$

Sözel terimlerin karar vericiler tarafından daha rahat kullanılabilmesi için güçlü (●), orta (O) ve zayıf (Δ) olmak üzere simgeler kullanılmıştır. Oluşturulan KFG takımı yardımıyla müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler arasında ilişkiler ile teknik gereksinimlerin kendi arasındaki ilişkiler, belirlenen sözel terimler yardımıyla değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler, KFG'nin ürün kavramına ilişkin ilk kalite evinin (Şekil 3.2) gövdesine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2: Kalite evi

Kalite evi oluşturulduktan sonra müşteri gereksinimlerinin teknik gereksinimler ile sözel olarak ifade edilen ilişkilerinin sayısal olarak hesaplanmasında Wassermann (1993)'nın normalize edilmiş ilişki formülünün, Chen ve Weng (2003) tarafından düzenlenmiş şekli kullanılmıştır. Eşitlik (2.47a) ve (2.47b) ile kalite evindeki tüm ilişki değerleri, farklı α kesmelerinde hesaplanmıştır. Kalite evi için $\alpha = 1$ ve $\alpha = 0$ 'da hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri, Çizelge 3.9a - 3.9b'de görülmektedir.

Eşitlik (2.47a) ve (2.47b) yardımıyla normalize edilmiş ilişkilerin hesaplanmasına bir örnek vermek gerekirse, Şekil 3.2'de tanımlanan ilişkilerden bakır ve çelik telin iletkenliği ile kullanılan bakır miktarı arasındaki ilişkinin, normalize edilen ilişki değerinin hesaplanması düşünülün. $(R_{11})_{\alpha=1}$ hesaplaması esnasında normalize edilmiş ilişki değeri için alt ve üst değerlerin hesaplanmasına gerek yoktur. Çünkü $\alpha = 1$ 'de üçgensel bulanık sayının tek bir değeri vardır. Bu nedenle, $\alpha = 1$ için Eşitlik (2.47a) ve (2.47b)'den herhangi birini dikkate almak yeterlidir. Bu eşitliklerden herhangi birinin açık bir şekilde yazımı şu şekildedir:

$$(R_{11})_{\alpha=1} = \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17}}$$

$$R_{11} = \frac{R_{11}r_{11} + R_{12}r_{21} + R_{13}r_{31} + R_{14}r_{41} + R_{15}r_{51} + R_{16}r_{61} + R_{17}r_{71}}{(R_{11}r_{11} + R_{12}r_{21} + R_{13}r_{31} + R_{14}r_{41} + R_{15}r_{51} + R_{16}r_{61} + R_{17}r_{71}) + (R_{11}r_{12} + R_{12}r_{22} + R_{13}r_{32} + R_{14}r_{42} + R_{15}r_{52} + R_{16}r_{62} + R_{17}r_{72}) + (R_{11}r_{13} + R_{12}r_{23} + R_{13}r_{33} + R_{14}r_{43} + R_{15}r_{53} + R_{16}r_{63} + R_{17}r_{73}) + (R_{11}r_{14} + R_{12}r_{24} + R_{13}r_{34} + R_{14}r_{44} + R_{15}r_{54} + R_{16}r_{64} + R_{17}r_{74}) + (R_{11}r_{15} + R_{12}r_{25} + R_{13}r_{35} + R_{14}r_{45} + R_{15}r_{55} + R_{16}r_{65} + R_{17}r_{75}) + (R_{11}r_{16} + R_{12}r_{26} + R_{13}r_{36} + R_{14}r_{46} + R_{15}r_{56} + R_{16}r_{66} + R_{17}r_{76}) + (R_{11}r_{17} + R_{12}r_{27} + R_{13}r_{37} + R_{14}r_{47} + R_{15}r_{57} + R_{16}r_{67} + R_{17}r_{77})}$$

Şekil (3.2) incelendiğinde birinci müşteri gereksinimi için, sadece birinci ve ikinci teknik gereksinim arasında ilişki tanımlanmıştır. O halde yukarıdaki açık yazımda sadece R_{11} ve R_{12} bölümlerinde hesaplama yapılmıştır. Buna göre

$$(R_{11})_{\alpha=1} = \frac{(0,8.1) + (0,8.0,5)}{(0,8.1 + 0,8.0,5) + (0,8.0,5 + 0,8.1)} = 0,5 \text{ olarak bulunmuş ve Çizelge 3.9a'da}$$

ilgili hücreye yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.9a: $\alpha = 1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (1. Aşama)

	$k_{I,I}$	Kullanılacak bakır	Kullanılacak çelik tel	Kullanılacak mika bant	Kullanılacak boya	Kullanılacak kılıf malz	Kullanılacak dolgu malz	Kullanılacak izolasyon malz
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	0,2090	0,500	0,500					
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	0,2090			0,261		0,174	0,229	0,336
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	0,1803					0,432	0,324	0,243
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	0,0628				0,424	0,240		0,336
<i>Yırtılma direnci</i>	0,1400					1,000		
<i>Esneklik</i>	0,0747	0,232	0,245			0,191	0,160	0,172
<i>Fiyat</i>	0,1241	0,228	0,090	0,207	0,090	0,063	0,091	0,230

Çizelge 3.9b: $\alpha = 0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (1. Aşama)

	$k_{I,I}$	Kullanılacak bakır		Kullanılacak çelik tel		Kullanılacak mika bant		Kullanılacak boya		Kullanılacak kılıf malz		Kullanılacak dolgu malz		Kullanılacak izolasyon malz	
		L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
<i>Bakır ve çelik tel iletkenliği</i>	0,2090	0,286	0,714	0,286	0,714										
<i>Yangın esnasındaki davranışı</i>	0,2090					0,121	0,484			0,090	0,329	0,106	0,451	0,133	0,570
<i>Soğuk havaya dayanıklılığı</i>	0,1803									0,217	0,806	0,089	0,636	0,019	0,565
<i>Damar ve kılıf rengi</i>	0,0628							0,188	0,782	0,037	0,556			0,110	0,660
<i>Yırtılma direnci</i>	0,1400									1,000	1,000				
<i>Esneklik</i>	0,0747	0,065	0,611	0,051	0,613					0,060	0,537	0,024	0,500	0,038	0,505
<i>Fiyat</i>	0,1241	0,074	0,601	0,008	0,362	0,071	0,551	0,008	0,362	0,000	0,300	0,003	0,385	0,064	0,591

Teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılması: Farklı α kesmelerinde hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerlerinin, her bir müşteri gereksinimlerinin ağırlıkları ile çarpılması ile elde edilen çarpım değerlerinin toplanması, her teknik gereksinime ait ağırlıkları vermektedir. Eşitlik (2.50a) ile hesaplanan teknik gereksinimlerin farklı α kesmelerindeki ağırlıkları, Çizelge 3.10'da görülmektedir.

Çizelge 3.10: Teknik gereksinimlerin farklı α kesmelerinde bulanık ağırlıkları

α	Kullanılacak bakır		Kullanılacak çelik tel		Kullanılacak mika bant		Kullanılacak boya		Kullanılacak kılıf malz.		Kullanılacak dolgu malz.		Kullanılacak izolasyon malz.	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
0	0,074	0,270	0,064	0,240	0,034	0,170	0,013	0,094	0,205	0,466	0,040	0,294	0,049	0,374
0,2	0,086	0,243	0,076	0,216	0,041	0,148	0,016	0,080	0,217	0,422	0,053	0,255	0,068	0,331
0,4	0,100	0,217	0,088	0,193	0,049	0,128	0,020	0,067	0,232	0,383	0,068	0,219	0,091	0,289
0,6	0,115	0,193	0,102	0,172	0,058	0,110	0,025	0,056	0,249	0,348	0,086	0,186	0,116	0,249
0,8	0,132	0,171	0,117	0,152	0,068	0,094	0,031	0,046	0,269	0,318	0,106	0,156	0,145	0,211
1	0,150	0,150	0,134	0,134	0,080	0,080	0,038	0,038	0,292	0,292	0,130	0,130	0,177	0,177

Çizelge 3.10'da verilen ağırlıklar, bir sonraki KFG matrisine aktarılmak üzere Eşitlik (2.38) ile bulanık olmayan değerlere çevrilmiş ve Çizelge 3.11 elde edilmiştir. Elde edilen bulanık olmayan bu değerler, kalite evinin (Şekil 3.2) teknik gereksinimlerin ağırlığı bölümüne yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.11: Teknik gereksinimlerin bulanık olmayan ağırlıkları (1. Aşama)

	Bulanık olmayan değer	Normalize edilmiş değer
<i>Kullanılacak bakır</i>	0,157	0,148
<i>Kullanılacak çelik tel</i>	0,140	0,132
<i>Kullanılacak mika bant</i>	0,088	0,082
<i>Kullanılacak boya</i>	0,043	0,040
<i>Kullanılacak kılıf malz.</i>	0,306	0,288
<i>Kullanılacak dolgu malz.</i>	0,142	0,134
<i>Kullanılacak izolasyon malz.</i>	0,188	0,177
<i>Toplam</i>	1,064	1,000

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, temel teknik gereksinimler arasında en yüksek ağırlığa sahip teknik gereksinim, kullanılacak kılıf malzemesinin tipi ve miktarı

olarak belirlenmiştir. Kılıf malzemesinin ardından yüksek ağırlığa sahip diğer gereksinim ise, izolasyon malzemesinin tipi ve miktarı olarak belirlenmiştir. Teknik gereksinimler arasındaki en düşük ağırlık, boyanın tipi ve miktarı olarak belirlenmiştir.

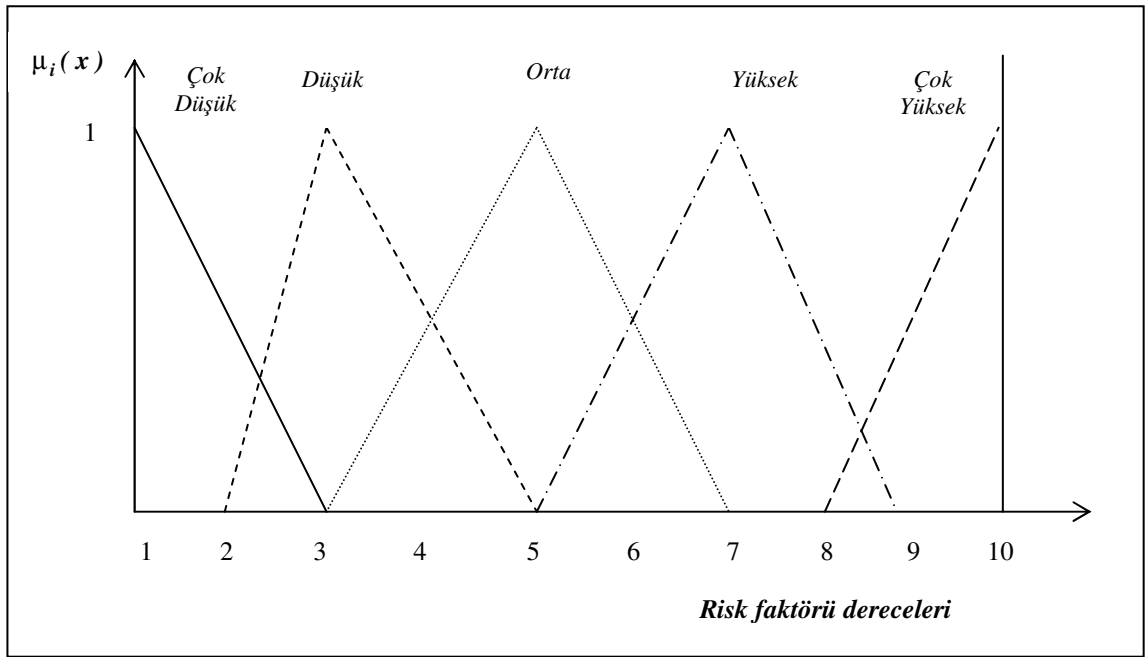
Teknik Bazlı Rekabet Analizinin Yapılması: Bu aşamada işletme, her teknik gereksinim için ölçü birimi belirlemiştir. Daha sonra, bu ölçü birimi cinsinden her teknik gereksinim için kendi durumunu ve rakiplerin durumunu değerlendirerek, hedefler belirlemiştir. Bu değerlendirmeler, belirlenen ölçü biriminde üçgensel bulanık sayılar şeklinde yapılmıştır. Burada üçgensel bulanık sayının orta değeri, her teknik gereksinim için ihtiyaç duyulan miktarın en olası değerini gösterirken; üçgensel bulanık sayının birinci ve üçüncü değerleri, her teknik gereksinim için ihtiyaç duyulan miktarın alt ve üst sınırlarını belirtmektedir. İşletme tarafından her teknik gereksinim için yapılan bu değerlendirmeler, Şekil 3.2’de verilen kalite evinin giriş katında gösterilmiş ve kalite evi tamamlanmıştır.

3.3.1 Hata Türlerinin Değerlendirilmesi için Kullanılacak Sözel Terimlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada hata türlerini, risklerine göre sıralayabilmek için hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın içsel şiddeti ve hatanın dışsal şiddeti ve hatanın tespit edilebilirliği olmak üzere dört risk faktörü kullanılmıştır. Risk faktörleri arasında yer alan ve bazı kaynaklarda hatanın tespit edilebilirliği olarak geçen faktör, “hatanın tespit edilebilirliği” olarak değiştirilmiştir. Böyle bir ifade değişikliği, karar vericilerin diğer risk faktörlerini değerlendirmede kullandıkları sözel terimleri kullanabilmesi için tercih edilmiştir. Bu şekilde, karar vericilerin değerlendirmede zorluk veya karmaşıklık yaşamayacakları düşünülmüştür.

Bu aşamada, verilen hata türlerinin belirlenmesine ve değerlendirmesine geçmeden önce hata türlerini belirlenen risk faktörleri temelinde değerlendirebilmek için değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Buna göre, değerlendirme için çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş sözel terim kullanılmıştır. Sözel terim sayısının yüksek tutulmaması, başka bir deyişle, ara ifadeler yerine karar vericilerin daha rahat bir şekilde değerlendirme yapması, ara ifadeler arasında karmaşıklık yaşamaması amacıyla tercih edilmiştir. Çizelge 3.12’de, risk faktörleri için kullanılan sözel terimlerin açıklamaları yer almaktadır. Belirlenen sözel terimlere

karşılık gelen bulanık sayılar ve üyelik fonksiyonları atanmıştır. Sözel terimlere bulanık sayılar atanırken, Liu (2009) tarafından önerilen bulanık sayılar dikkate alınmış ve bu sayılar, bu çalışmadaki uygulamaya göre yeniden düzenlenmiştir. Üyelik fonksiyonu olarak üçgensel üyelik fonksiyonları, hesaplamada kolaylık sağlaması bakımından tercih edilmiştir. Sözel terimlere atanan üyelik fonksiyonları ve şekilleri, Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3: Risk faktörlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sözel terimler ve üyelik fonksiyonları

Çizelge 3.12: Risk faktörlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sözel terimler

<i>Hatanın ortaya çıkma sıklığı</i>	<i>Hatanın içsel şiddeti</i>	<i>Hatanın dışsal şiddeti</i>	<i>Hatanın tespit edilememesi</i>	<i>Sözel terimler</i>
Hata, oldukça düşük bir olasılıkla ortaya çıkar.	Hatanın, üretim sürecine (hattına) hiçbir etkisi yoktur	Müşteri, hatanın farkında değildir. Hatanın, ürün üzerinde hiçbir etkisi yoktur.	Hata, mutlaka tespit edilir.	Çok düşük (ÇD)
Hata, nadiren ortaya çıkar.	Hata, üretim hattına zarar verir.	Hata, ürün üzerinde önemsiz etkiye sahiptir. Hata, müşteri tarafından fark edilmektedir.	Hatanın tespit edilebilme olasılığı yüksektir.	Düşük (D)
Hata, orta sıklıkta ortaya çıkar.	Hata, üretim hattına zarar verir. Ürün veya parça çalışmasına rağmen, güvenlik ile ilgili konularda arızalar söz konusudur.	Ürünün üzerinde orta şiddette etki söz konusudur. Müşteri, ürünün kullanılması esnasında rahatsızlık duyar.	Hatanın tespit edilebilmesi orta derecededir.	Orta (O)
Hata, sık sık ortaya çıkar.	Hata, üretim hattına zarar verir. Ürünün bir kısmı, yeniden işlenir; bir kısmı, hurdaya ayrılır. Ürün, performansı düşük bir şekilde çalışır.	Müşterinin memnuniyetsizlik derecesi, oldukça yüksektir.	Hatanın tespit edilebilirliği zordur.	Yüksek (Y)
Hata, sürekli ortaya çıkar.	Hata, üretim hattına büyük zarar verir. Ürünün tümü atılabilir veya ürün, bu hata ile kullanılamaz.	Müşterinin güvenliği açısından ciddi sonuçlar söz konusudur. Müşteri tatminsizliği oldukça fazladır.	Hatanın tespit edilebilmesine imkân yoktur.	Çok yüksek (ÇY)

Kullanılan üyelik fonksiyonlarının daha açık bir şekilde parçalı fonksiyon olarak gösterimi şu şekilde verilebilmektedir:

$$\mu_{\text{cok dusuk}} = \begin{cases} 1,5-0,5x & , 1 \leq x \leq 3 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 1 \text{ ve } x > 3 \text{ ise,} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{dusuk}} = \begin{cases} x-2 & , 2 \leq x \leq 3 \text{ ise,} \\ 2,5-0,5x & , 3 \leq x \leq 5 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 2 \text{ ve } x > 5 \text{ ise,} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta}} = \begin{cases} 0,5x-1,5 & , 3 \leq x \leq 5 \text{ ise,} \\ 3,5-0,5x & , 5 \leq x \leq 7 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 3 \text{ ve } x > 7 \text{ ise,} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{yüksek}} = \begin{cases} 0,5x-2,5 & , 5 \leq x \leq 7 \text{ ise,} \\ 4,5-0,5x & , 7 \leq x \leq 9 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 5 \text{ ve } x > 9 \text{ ise,} \end{cases}$$

$$\mu_{\text{cok yüksek}} = \begin{cases} 0,5x - 4 & , 8 \leq x \leq 10 \text{ ise,} \\ 0 & , x < 8 \text{ ve } x > 10 \text{ ise,} \end{cases}$$

Buna göre Şekil 3.3'te verilen sözel terimler kullanılarak karar vericilerden, her hata türünü hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın içsel şiddeti, hatanın dışsal şiddeti ve hatanın tespit edilememesi faktörleri bazında değerlendirmeleri istenmiştir.

Değerlendirmeye katılan karar vericilerin bilgi ve deneyimlerinin birbirinden farklı olduğu düşünülerek, her karar vericiye değerlendirme esnasında ağırlık atanmıştır. Uygulama boyunca karar vericilerin ağırlıkları, belirlenen hata türlerinin değerlendirilmesinde KFG'nin aşamalarına paralel olarak her aşamadaki bilgi ve deneyimlerine göre değiştirilmiştir. 1. aşama için karar vericilerin ağırlıkları, Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13: Karar vericilerin ağırlıkları (1. Aşama)

<i>Karar vericiler</i>	<i>Karar vericilere atanan ağırlıklar</i>
KV_1	% 20
KV_2	% 25
KV_3	% 35
KV_4	% 20

3.3.2 Risk Faktörlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu aşamada, risk faktörlerinin bulanık sayı olarak ifade edilen ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkların bulanık sayı olarak ifade edilebilmesi için çalışmada, karar vericilere sözel terimlere bağlı bir ölçek vermek yerine, karar vericilerden risk faktörlerini birbirleri ile karşılaştırmaları istenmiş ve bu karşılaştırmalar ile her karar verici için başlangıç ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrislerinde bulanık AHS için belirlenen ve Çizelge 3.1'de verilen sözel terimler kullanılmıştır. Oluşturulan başlangıç ikili karşılaştırma matrisleri, Çizelge 3.14a - 3.14d'de verilmiştir. Buckley (1985)'nin yöntemi ile her ikili karşılaştırma matrisinin, bulanık geometrik ortalamaları alınmıştır. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları kontrol edilmiş ve tutarlılık oranları, 0,10'nun altında olduğu için yapılan değerlendirmelerin tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Elde edilen dört ikili karşılaştırma matrisindeki verilerin, hata türlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilmesi için tek bir matriste birleştirilmesi gerekmektedir. Bu birleştirme esnasında karar vericilere atanan ağırlıklar da dikkate alınmış ve Eşitlik (2.51) – (2.54) kullanılmıştır. Buna göre örneğin, birinci risk faktörünün ağırlığı için her karar vericiden elde edilen bulanık geometrik ortalama değerleri, her karar vericinin ağırlığı ile çarpılmış ve elde edilen bu çarpım değerleri toplanarak çalışmada kullanılacak birinci risk faktörünün bulanık ağırlığı elde edilmiştir. Risk faktörlerinin hesaplanan üçgensel bulanık ağırlıkların alt, orta ve üst değerleri, Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.14a: 1. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	<i>İçsel şiddet</i>	<i>Dışsal şiddet</i>	<i>Tespit edilememe</i>	<i>Geo ort.</i>			<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
					<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 3/2, 2)	0,67	0,84	1,08	0,127	0,202	0,329
<i>İçsel şiddet</i>	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(1, 3/2, 2)	1,11	1,46	1,78	0,210	0,349	0,544
<i>Dışsal şiddet</i>	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	0,93	1,19	1,50	0,177	0,285	0,458
<i>Tespit edilememe</i>	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 2/3, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	0,56	0,69	0,90	0,107	0,165	0,277
Tutarlılık oranı: 0,04				Toplam	3,27	4,17	5,25			

Çizelge 3.14b: 2. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	<i>İçsel şiddet</i>	<i>Dışsal şiddet</i>	<i>Tespit edilememe</i>	<i>Geo ort.</i>			<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
					<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 3/2, 2)	0,63	0,78	0,97	0,120	0,178	0,268
<i>İçsel şiddet</i>	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2, 5/2, 3)	1,05	1,26	1,50	0,199	0,286	0,413
<i>Dışsal şiddet</i>	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(2, 5/2, 3)	1,46	1,78	2,08	0,277	0,405	0,575
<i>Tespit edilememe</i>	(1/2, 2/3, 1)	(1/3, 2/5, 1/2)	(1/3, 2/5, 1/2)	(1, 1, 1)	0,49	0,57	0,71	0,092	0,130	0,195
Tutarlılık oranı: 0,04				Toplam	3,62	4,39	5,25			

Çizelge 3.14c: 3. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	<i>İçsel şiddet</i>	<i>Dışsal şiddet</i>	<i>Tespit edilememe</i>	<i>Geo ort.</i>			<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
					<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	(1, 1, 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1/2 , 1 , 3/2)	0,53	0,71	0,90	0,100	0,163	0,258
<i>İçsel şiddet</i>	(3/2 , 2 , 5/2)	(1, 1, 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(3/2 , 2 , 5/2)	0,97	1,19	1,43	0,183	0,274	0,407
<i>Dışsal şiddet</i>	(3/2 , 2 , 5/2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1, 1, 1)	(2 , 5/2 , 3)	1,46	1,78	2,08	0,274	0,409	0,593
<i>Tespit edilememe</i>	(2/3 , 1 , 2)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1/3 , 2/5 , 1/2)	(1, 1, 1)	0,55	0,67	0,90	0,103	0,154	0,258
Tutarlılık oranı: 0,03				Toplam	3,51	4,34	5,32			

Çizelge 3.14d: 4. karar verici için risk faktörlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	<i>İçsel şiddet</i>	<i>Dışsal şiddet</i>	<i>Tespit edilememe</i>	<i>Geo ort.</i>			<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
					<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	(1, 1, 1)	(1/2 , 1 , 3/2)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/3 , 1 , 2)	0,60	0,84	1,19	0,113	0,207	0,382
<i>İçsel şiddet</i>	(2/3 , 1 , 2)	(1, 1, 1)	(1/2 , 1 , 3/2)	(3/2 , 2 , 5/2)	0,84	1,19	1,65	0,157	0,293	0,531
<i>Dışsal şiddet</i>	(3/2 , 2 , 5/2)	(2/3 , 1 , 2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	1,00	1,19	1,50	0,187	0,293	0,480
<i>Tespit edilememe</i>	(1/2 , 1 , 3/2)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	0,67	0,84	1,00	0,125	0,207	0,321
Tutarlılık oranı: 0,07				Toplam	3,11	4,06	5,34			

Çizelge 3.15: Risk faktörleri için bulanık ağırlıklar (1. Aşama)

<i>Risk faktörleri</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
	$(w)^L$	$(w)^M$	$(w)^U$
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	0,11	0,18	0,30
<i>İçsel şiddet</i>	0,19	0,30	0,46
<i>Dışsal şiddet</i>	0,24	0,36	0,54
<i>Tespit edilememe</i>	0,11	0,16	0,26

3.3.3 Ürün Kavramı için Hata Türlerinin Belirlenmesi

Belirlenen ürüne ilişkin ilk kalite evi oluşturulup, üzerinde dikkat edilmesi gereken teknik gereksinime karar verildikten sonra, bu kalite evindeki her sütunun başka bir deyişle, her teknik gereksinimin gerçekleştirilmesi esnasında işletmenin daha önceden karşılaştığı veya karşılaşılabileceği hata türleri belirlenmiştir. Başka bir deyişle, oluşturulan takımın geçmiş tecrübelerinden yararlanılarak hatanın çıkabileceği her noktanın ayrıntılı bir şekilde analizi yapılmış ve hata türleri belirlenmiştir.

Bu aşamada kalite evinde verilen teknik gereksinimler aslında ürünü oluşturan hammaddelerdir. Bu nedenle, hammadde miktarlarının işletme içinde doğru bir şekilde tespit edilmesinden sonra bu hammaddelerin siparişinden işletmeye ulaşıp üretime verilinceye kadar geçen süre içinde ortaya çıkabilecek hata türleri belirlenmiştir. Belirlenen her hata türü, her hammadde için ayrılmadan önce temel gruplara bölünmüştür. Bu temel gruplar, şu şekilde verilebilmektedir:

- Kullanılacak hammaddeye ilişkin siparişin hatalı verilmesi,
- Sipariş edilen hammadde ile işletmeye giriş yapan hammaddenin birbirinden farklı olması,
- Gönderilen hammaddenin lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirini tutmaması,
- Gönderilen hammaddeye ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması,
- Gönderilen hammaddeye ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol lâboratuarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirini tutmaması,
- Verilen sipariş için gönderilen toplam hammadde miktarının yetersiz olması,
- Hammaddenin yüzeyinde bozuklukların olması,
- Gelen hammaddenin ambalajında bozuklukların olması,
- Hammaddenin işletmeye ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar,
- Hammaddeye ilişkin etiketin hatalı olması,
- Gelen hammaddenin işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi.

Hata türlerinin temel gruplar altında toplanmasının ardından, her hata türü belirlenen bakır, galvanizli çelik tel, mika bant, boya, kılıf malzemesi, dolgu malzemesi

ve izolasyon malzemesi başlıklarına ayrı ayrı dağıtılmış ve Çizelge 3.16'nın ilk sütunu oluşturulmuştur.

Her hata türünü risk sıralaması için tek tek değerlendirmeden önce beyin fırtınası yöntemi ile her hata türünün ortaya çıkma nedeni, bu hata faktörü ortaya çıktığında işletmenin ve son kullanıcının karşı karşıya kaldığı durum başka bir deyişle, hatanın iç ve dış müşteriye olan etkisi (şiddeti) ve hatanın işletme içinde tespit edilebilme yöntemleri belirlenerek Çizelge 3.16 tamamlanmıştır.

Çizelge 3.16: Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri

	<i>Hata Türleri</i>	<i>Hatanın Nedenleri</i>	<i>Hatanın İçsel Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Dışsal Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Tespit Yöntemleri</i>
BAKIR	Kullanılacak bakıra ilişkin siparişin, hatalı verilmesi	Siparişin, işletme içinde doğru bir şekilde analiz edilmemesi, plânlama veya satın alma bölümlerinden kaynaklanan dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Sipariş edilen bakır ile fabrikaya giriş yapan bakırın birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gönderilen bakırın lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirini tutmaması	Tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Dış denetimlerinde veya ürünle ilgili bir şikâyet bildirildiğinde işletmenin geriye doğru izlenebilirlik sağlayamaması	Bakıra ilişkin bir şikâyette geriye doğru izlenebilirliğin sağlanamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	Tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçinin yerine getirmesi gereken siparişi doğru bir şekilde analiz etmemesi	Şartnameye uygun olmayan ürünün iadesi, üretim ve sevkiyat programının aksaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü elde edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirini tutmaması	Tedarikçinin üretim, kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçinin yerine getirmesi gereken siparişe ilişkin şartnameyi doğru bir şekilde analiz etmemesi	Standarta veya müşteriye uygun olmayan özellikteki bakırın reddi, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Verilen sipariş için gönderilen toplam bakır miktarının yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin termin tarihine göre ayarlamaması, tedarikçinin plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	İstenen verimlilikte üretimin yapılamaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Bakırın yüzeyinde bozuklukların olması	İç üretimse, üretim esnasında bakırın çizilmesi, bakırın üretimi sonrasında darbe alması, bakırın uygun şartlarda muhafaza edilmemesi; tedarik ise, tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Standarta uygun olmayan ve hasarlı bakırın iadesi, üretimin istenen verimlilikte yapılamaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makarının üst tarafında ise), üretim esnasında yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makarının alt tarafında ise)
	Gelen bakırın ambalajında bozuklukların olması	Tedarikçinin sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Bakırın fiziksel etkenlere maruz kalması, bakırın yüzeyinin belirli bölgelerinde göçme, incelleme olması, üretim kaybı	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller

	Bakırın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, bakırın nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Bakırın makaraya sarımının bozuk yapılması	İç üretimse, üretim esnasında gezdirgenin arızalı olması, operatörün gezdirge ayarlarını yapmaması; tedarik ise, tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Verici makaranın, bakır makarasını açamaması, üretim hızının yavaşlaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Üretim esnasında yapılan kontroller
	Bakıra ilişkin etiketin hatalı olması	İç üretimse, operatörün dikkatsizliği; tedarik ise, tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, yanlış üretim, süre kaybı, ürünün zamanında sevkiyatının yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gelen bakırın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması	Bakırın dış etkenlerden zarar görmesi, kullanılamaz hale gelmesi, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Üretimin başlangıcında operatör tarafından yapılan kontroller
GALVANIZLI ÇELİK TEL	Kablo tasarımı aşamasında belirtilen çelik tel çapının yanlış sipariş edilmesi	Siparişin işletme içinde doğru bir şekilde analiz edilmemesi, tasarım, plânlama veya satın alma bölümlerinden kaynaklanan dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Sipariş edilen çelik tel ile fabrikaya giriş yapan çelik telin birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gönderilen çelik telin lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Dış denetimlerinde veya ürünle ilgili bir şikâyet bildirildiğinde, işletmenin geriye doğru izlenebilirlik sağlayamaması	Kablodaki çelik tele ilişkin bir şikâyette, geriye doğru izlenebilirliğin sağlanamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gönderilen çelik tele ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçinin yerine getirmesi gereken siparişi doğru bir şekilde analiz etmemesi	Şartnameye uygun olmayan ürünün iadesi, üretim ve sevkiyat programının aksaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gönderilen çelik tele ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirinden farklı olması	Tedarikçinin hem üretim hem de kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçinin yerine getirmesi gereken siparişe ilişkin şartnameyi doğru bir şekilde analiz etmemesi	Standarta veya müşteriye uygun olmayan çelik telin reddi, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Verilen siparişe göre gönderilen toplam çelik telin miktar bakımından yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin termin tarihine göre ayarlamaması, tedarikçinin plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin istenen verimlilikte yapılmaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller

	Çelik telin yüzeyinin belirli bölgelerinde bozuklukların olması	Tedarikçinin üretim ve kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Standarda uygun olmayan ve hasarlı çelik telin iadesi, üretimin istenen verimlilikte yapılamaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makaranın üst tarafında ise), üretim esnasında yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makaranın alt tarafında ise)
	Galvanizin, tel yüzeyi boyunca homojen dağılmamış olması	Tedarikçinin üretim ve kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Standarda uygun olmayan ve hasarlı çelik telin iadesi, üretimin istenen verimlilikte yapılamaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makaranın üst tarafında ise), üretim esnasında yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makaranın alt tarafında ise)
	Gelen çelik telin, işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması	Çelik telin dış etkenlerden zarar görmesi, kullanılamaz hale gelmesi, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Üretimin başlangıcında operatör tarafından yapılan kontroller
	Çelik telin makaraya sarımının bozuk yapılması	Tedarikçinin çelik tel üretimi esnasında kullandığı sarım cihazlarındaki arıza, üretim faaliyetlerinin yetersizliği	Üretim hızının yavaşlaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Üretim esnasında yapılan kontroller
	Çelik telin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, çelik tel makarasının nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Çelik tele ilişkin etiketin hatalı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, yanlış üretim, süre kaybı, ürünün sevkiyatının zamanında yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
BOYA	Yanlış ral numaralı boyanın sipariş edilmesi	Siparişin işletme içinde doğru bir şekilde analiz edilmemesi, tasarım, plânlama veya satın alma bölümlerinden kaynaklanan dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Sipariş edilen ile fabrikaya giriş yapan boyanın ral numaralarının birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında, satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Boyaya ilişkin sertifika üzerindeki lot numarası ile ürün üzerindeki lot numarasının birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Dış denetimlerinde veya ürünle ilgili bir şikâyet bildirildiğinde, işletmenin geriye doğru izlenebilirlik sağlayamaması	Boyaya ilişkin bir şikâyette geriye doğru izlenebilirliğin sağlanamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gönderilen boyanın verilen siparişe göre miktar bakımından yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin termin tarihine göre ayarlamaması, tedarikçinin plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin istenen verimlilikte yapılmaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında, satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gelen boyanın ambalajının düzgün olmaması	Tedarikçinin sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Boyanın fiziksel etkenlere maruz kalması, boyanın bozulması, üretim kaybı	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller

	Gelen boyanın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması	Boyanın dış etkenlerden zarar görmesi, kullanılamaz hale gelmesi, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Üretimin başlangıcında operatör tarafından yapılan kontroller
	Boyanın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, boya kutularının nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim almaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Boyaya ilişkin etiketin hatalı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, yanlış üretim, süre kaybı, ürünün zamanında sevkiyatının yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
MIKA BANT	Kullanılacak mika banda ilişkin siparişin hatalı verilmesi	Siparişin işletme içinde doğru bir şekilde analiz edilmemesi, tasarım, plânlama veya satın alma bölümlerinden kaynaklanan dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Sipariş edilen mika bant ile fabrikaya giriş yapan mika bandın birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gönderilen mika banda ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	Tedarikçinin kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçinin yerine getirmesi gereken siparişi doğru bir şekilde analiz etmemesi	Dış denetimlerde veya ürünle ilgili bir şikâyet bildirildiğinde işletmenin geriye doğru izlenebilirlik sağlayamaması	Mika banda ilişkin bir şikâyette geriye doğru izlenebilirliğin sağlanamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gönderilen mika bant miktarının yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin termin tarihine göre ayarlamaması, tedarikçinin plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin istenen verimlilikle yapılmaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Mika bandın yüzeyinde bozuklukların olması	Tedarikçinin üretim ve kalite kontrol faaliyetlerinin yetersizliği	Standarta uygun olmayan ve hasarlı ürünün iadesi, istenen verimlilikte üretimin yapılamaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makaranın üst tarafında ise), üretim esnasında yapılan kontroller (yüzey bozukluğu, makaranın alt tarafında ise)
	Gelen mika bandın ambalajında bozuklukların olması	Tedarikçinin sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Mika bandın fiziksel etkenlere maruz kalması, özelliğini kaybetmesi, üretim kaybı	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Mika bandın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, mika bant kutularının nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Mika banda ilişkin etiketin hatalı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, yanlış üretim, süre kaybı, ürünün zamanında sevkiyatının yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Gelen mika bandın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması	Mika bandın dış etkenlerden zarar görmesi, kullanılamaz hale gelmesi, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansını yerine getirememesi	Üretimin başlangıcında operatör tarafından yapılan kontroller

KILIF MALZEMESİ	Kullanılacak kılıf malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	Siparişin işletme içinde doğru bir şekilde analiz edilmemesi, tasarım, plânlama veya satın alma bölümlerinden kaynaklanan dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Sipariş edilen kılıf malzemesi ile fabrikaya giriş yapan kılıf malzemesinin birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gönderilen kılıf malzemesi miktarının yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin termin tarihine göre ayarlamaması, tedarikçinin plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin istenen verimlilikte yapılmaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gelen kılıf malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	Tedarikçinin sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Kılıf malzemesinin fiziksel etkenlere maruz kalması, özelliğini kaybetmesi, üretim kaybı	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Plastiğin nemli olması	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması, kılıf malzemesinin ambalajının sağlam olmaması	Üretimin hatalı yapılması, ürün yüzeyinde istenen kalitenin elde edilememesi, üretimin aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi, ürünün dış görünüşünde bozukluklar	Üretim esnasında yapılan kontroller, gözle kontrol
	Kılıf malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması, kılıf malzemesinin ambalajının sağlam olmaması	Kılıf malzemesinin homojenliğinin bozulması, üretim esnasında plastik kesilmesi veya kılıfta açıklıklarının meydana gelmesi, üretimin durması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi, ürünün dış görünüşünde bozukluklar	Üretim esnasında yapılan kontroller, gözle kontrol
	Kılıf malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, kılıf malzemesi kutularının nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Kılıf malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, yanlış üretim, süre kaybı, ürünün zamanında sevkiyatının yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
DOLGU MALZEMESİ	Kullanılacak dolgu malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	Siparişin işletme içinde doğru bir şekilde analiz edilmemesi, tasarım, plânlama veya satın alma bölümlerinden kaynaklanan dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Sipariş edilen dolgu malzemesi ile fabrikaya giriş yapan dolgu malzemesinin birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü elde edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gönderilen dolgu malzemesi miktarının yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin termin tarihine göre ayarlamaması, tedarikçinin plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin istenen verimlilikte yapılmaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gelen dolgu malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	Tedarikçinin sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Dolgu malzemesinin fiziksel etkenlere maruz kalması, özelliğini kaybetmesi, üretim kaybı	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller

İZOLASYON MALZEMESİ	Plastiğin nemli olması	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması, dolgu malzemesinin ambalajının sağlam olmaması	Üretimin hatalı yapılması, ürün yüzeyinde istenen kalitenin elde edilememesi, üretimin aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi, ürünün dış görünüşünde bozukluklar	Üretim esnasında yapılan kontroller, gözle kontrol
	Dolgu malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması, dolgu malzemesinin ambalajının sağlam olmaması	Dolgu malzemesinin homojenliğinin bozulması, üretim esnasında plastik kesilmesi veya dolguda açıklıklarının meydana gelmesi, üretimin durması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Üretim esnasında yapılan kontroller, gözle kontrol
	Dolgu malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, dolgu malzemesi kutularının nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Dolgu malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, yanlış üretim, süre kaybı, ürünün zamanında sevkiyatının yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Kullanılacak izolasyon malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	Siparişin işletmede doğru bir şekilde analiz edilmemesi, tasarım, plânlama veya satın alma bölümlerindeki dikkatsizlik	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri
	Sipariş edilen izolasyon malzemesi ile fabrikaya giriş yapan izolasyon malzemesinin birbirinden farklı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği, tedarikçiden kaynaklanan etiket hatası	Üretim programının aksaması, üretime başlanamaması	Müşterinin belirttiği özellikteki ürünü temin edememesi, siparişin zamanında teslim edilememesi	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gönderilen izolasyon malzemesi miktarının yetersiz olması	Tedarikçinin üretim ve sevkiyat programını siparişin terminine göre ayarlamaması, plânlama, üretim ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin istenen verimlilikte yapılmaması, üretim programının yavaşlaması, sevkiyatın gecikmesi	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Siparişin teslimatı esnasında satın alma veya plânlama bölümü tarafından yapılan kontroller
	Gelen izolasyon malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	Tedarikçinin sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	İzolasyon malzemesinin fiziksel etkenlere maruz kalması, özelliğini kaybetmesi, üretim kaybı	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	Plastiğin nemli olması	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması, izolasyon malzemesinin ambalajının sağlam olmaması	Üretimin hatalı yapılması, ürün yüzeyinde istenen kalitenin sağlanamaması, üretimin aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Üretim esnasında yapılan kontroller, gözle kontrol
	İzolasyon malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	Depolama faaliyetlerinin ve şartlarının yetersiz veya uygunsuz olması, izolasyon malzemesinin ambalajının sağlam olmaması	İzolasyon malzemesinin homojenliğinin bozulması, üretim esnasında plastik kesilmesi veya izolasyon açıklıklarının meydana gelmesi, üretimin durması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Üretim esnasında yapılan kontroller, gözle kontrol
	İzolasyon malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	Nakliye firmasının faaliyetlerinin yetersizliği, ulaşım şartları, izolasyon malzemesi kutularının nakliye aracına doğru bir şekilde yerleştirilmemesi	Üretimin malzemesiz kalarak durması, üretim programının aksaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması, ürünün beklenen performansı yerine getirememesi	Siparişin teslimatı esnasında ambar girişinde, ambar görevlisi tarafından yapılan kontroller
	İzolasyon malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	Tedarikçinin kalite kontrol ve sevkiyat faaliyetlerinin yetersizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, süre kaybı, ürünün zamanında sevkiyatının yapılmaması	Müşterinin siparişi zamanında teslim alamaması	Kalite kontrol bölümü tarafından yapılan girdi kontrolleri

3.3.4 Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması

Bu aşamada her karar vericiden belirlenen hata türlerini, hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın içsel ve dışsal şiddeti ve hatanın tespit edilemeyebilirliği faktörleri bazında, belirlenen sözel terimleri kullanarak değerlendirmeleri istenmiştir. Karar vericilerden elde edilen bu değerlendirmeler, Ek 10'da verilmiştir. Hata türleri arasında sıralama yapabilmek için, her karar vericiden elde edilen değerlendirmelerin tek bir değerlendirme haline getirilmesinde başka bir deyişle, bütünleştirilmesinde Eşitlik (2.55) – (2.58) kullanılmıştır. Buna göre karar vericilere atanan ağırlıklar ile karar vericilerin her hata türü için verdikleri sözel terimlere karşılık gelen bulanık sayılar çarpılmış ve bulanık sayı olarak elde edilen bu dört çarpım değeri, toplanarak her hata türü için tek bulanık değere çevrilmiştir. Elde edilen bu toplam, ilgili hata türünün bulanık değerlendirmesi haline gelmiştir. Bu şekilde elde edilen bulanık hata türü değerlendirmeleri, Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Burada yapılan hesaplamalar için bir örnek şu şekilde verilebilmektedir. Birinci hata türüne ait, hatanın ortaya çıkma sıklığı faktörüne ilişkin hesaplama için karar vericiler, bu hata türü ile ilgili şu değerlendirmeleri yapmıştır:

1. karar verici: orta
2. karar verici: düşük
3. karar verici: çok düşük
4. karar verici: düşük

Bu sözel terimler, bulanık sayılara çevrilmiştir:

1. karar verici (0,2): orta ---- (3, 5, 7)
2. karar verici (0,25): düşük --- (2, 3, 5)
3. karar verici (0,35): çok düşük --- (1, 1, 3)
4. karar verici (0,2): düşük --- (2, 3, 5)

Karar vericilerin değerlendirmelerine karşılık gelen bulanık sayılar, karar vericilerin ağırlığı ile çarpılmış ve bu çarpımlar toplandığında birinci hata türüne ait, hatanın ortaya çıkma sıklığı faktörünün bütünleştirilmiş bulanık değeri elde edilmiştir:

1. karar verici : (0,6 , 1 , 1,4)
 2. karar verici : (0,5 , 0,75 , 1,25)
 3. karar verici : (0,35 , 0,35 , 1,05)
 4. karar verici: (0,4 , 0,6 , 1)
- } Bütünleştirilmiş bulanık değer: (1,85 , 2,7 , 4,7)

Çizelge 3.17: Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (1. Aşama)

<i>HATA TÜRLERİ</i>		<i>Ortaya Çıkma Sıklığı</i>			<i>İçsel Şiddeti</i>			<i>Dışsal Şiddeti</i>			<i>Tespit Edilememesi</i>		
		$(R_i^O)^L$	$(R_i^O)^M$	$(R_i^O)^U$	$(R_i^{İŞ})^L$	$(R_i^{İŞ})^M$	$(R_i^{İŞ})^U$	$(R_i^{DS})^L$	$(R_i^{DS})^M$	$(R_i^{DS})^U$	$(R_i^T)^L$	$(R_i^T)^M$	$(R_i^T)^U$
BAKIR	Kullanılacak bakıra ilişkin siparişin, hatalı verilmesi	1,85	2,70	4,70	3,90	5,90	7,90	2,00	3,00	5,00	1,75	2,50	4,50
	Sipariş edilen bakır ile fabrikaya giriş yapan bakırın birbirinden farklı olması	1,65	2,30	4,30	3,20	4,50	6,50	1,65	2,30	4,30	1,20	1,40	3,40
	Gönderilen bakırın lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirini tutmaması	4,25	6,00	8,00	2,00	2,50	4,50	1,25	1,50	3,50	1,90	2,80	4,80
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	3,00	5,00	7,00	3,90	5,90	7,90	3,90	5,90	7,90	1,40	1,80	3,80
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirini tutmaması	2,25	3,50	5,50	4,90	6,90	8,50	3,90	5,90	7,90	1,40	1,80	3,80
	Verilen sipariş için gönderilen toplam bakır miktarının yetersiz olması	2,65	4,30	6,30	4,30	6,30	8,30	2,60	3,70	5,70	1,95	2,90	4,90
	Bakırın yüzeyinde bozuklukların olması	1,80	2,60	4,60	5,60	7,60	9,20	5,00	7,00	9,00	1,40	1,80	3,80
	Gelen bakırın ambalajında bozuklukların olması	1,45	1,90	3,90	2,80	4,60	6,60	2,25	3,50	5,50	1,20	1,40	3,40
	Bakırın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,70	2,40	4,40	4,50	6,50	8,10	3,50	5,50	7,50	1,35	1,70	3,70
	Bakırın makaraya sarımının bozuk yapılması	2,00	3,00	5,00	3,90	5,90	7,90	1,80	2,20	4,20	1,35	1,70	3,70
	Bakıra ilişkin etiketin hatalı olması	2,20	3,40	5,40	4,30	6,30	8,30	2,80	3,70	5,70	1,40	1,80	3,80
	Gelen bakırın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	1,90	2,80	4,80	3,05	4,70	6,70	1,90	2,80	4,80	1,95	2,90	4,90

GALVANİZLİ ÇELİK TEL	Kablo tasarımı aşamasında belirtilen çelik tel çapının yanlış sipariş edilmesi	1,85	2,70	4,70	2,60	3,70	5,70	3,20	4,50	6,50	1,35	1,70	3,70
	Sipariş edilen çelik tel ile fabrikaya giriş yapan galvanizli çelik telin birbirinden farklı olması	1,85	2,70	4,70	3,50	5,50	7,50	2,95	4,40	6,40	2,10	3,20	5,20
	Gönderilen çelik telin lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirinden farklı olması	3,80	5,80	7,80	1,90	2,80	4,80	1,50	2,00	4,00	1,95	2,90	4,90
	Gönderilen çelik telin ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirinden farklı olması	3,50	5,50	7,50	4,30	6,30	8,30	5,00	7,00	9,00	2,25	3,50	5,50
	Gönderilen çelik tele ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirinden farklı olması	3,50	5,50	7,50	3,90	5,90	7,90	3,55	5,20	7,20	3,00	5,00	7,00
	Verilen siparişe göre gönderilen toplam çelik telin miktar bakımından yetersiz olması	3,50	5,50	7,50	5,60	7,60	9,20	3,90	5,90	7,90	1,75	2,50	4,50
	Çelik telin yüzeyinin belirli bölgelerinde bozuklukların olması	4,90	6,90	8,50	4,90	6,90	8,50	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00
	Galvanizin, tel yüzeyi boyunca homojen dağılmamış olması	4,90	6,90	8,50	3,60	4,90	6,90	3,20	4,50	6,50	4,50	6,50	8,50
	Gelen çelik telin, işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	1,70	2,40	4,40	3,05	4,70	6,70	2,45	3,90	5,90	1,90	2,80	4,80
	Çelik telin makaraya sarımının bozuk yapılması	3,00	5,00	7,00	3,95	5,60	7,60	2,30	3,60	5,60	1,35	1,70	3,70
	Çelik telin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,45	1,90	3,90	3,95	5,60	7,60	2,65	4,30	6,30	1,35	1,70	3,70
	Çelik tele ilişkin etiketin hatalı olması	2,65	4,30	6,30	3,15	4,80	6,80	2,45	3,90	5,90	1,40	1,80	3,80
BOYA	Yanlış ral numaralı boyanın sipariş edilmesi	2,45	3,90	5,90	3,90	5,90	7,90	2,80	4,10	6,10	1,35	1,70	3,70
	Sipariş edilen ile fabrikaya giriş yapan boyanın ral numaralarının birbirinden farklı olması	2,45	3,90	5,90	3,00	5,00	7,00	3,15	4,80	6,80	1,25	1,50	3,50
	Boyaya ilişkin sertifika üzerindeki lot numarası ile ürün üzerindeki lot numarasının birbirinden farklı olması	1,75	2,50	4,50	1,40	1,80	3,80	1,35	1,70	3,70	1,80	2,60	4,60
	Gönderilen boyanın verilen siparişe göre miktar bakımından yetersiz olması	1,90	2,80	4,80	4,30	6,30	8,30	2,20	3,40	5,40	4,25	6,25	7,75

	Gelen boyanın ambalajının düzgün olmaması	2,40	3,80	5,80	4,60	6,60	8,60	3,00	5,00	7,00	1,65	2,30	4,30
	Gelen boyanın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	1,90	2,80	4,80	4,30	6,30	8,30	2,65	4,30	6,30	2,00	3,00	5,00
	Boyanın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,90	2,80	4,80	2,95	4,40	6,40	1,90	2,80	4,80	1,25	1,50	3,50
	Boyaya ilişkin etiketin hatalı olması	1,65	2,30	4,30	3,15	4,80	6,80	4,30	6,30	8,30	2,50	4,00	6,00
MİKA BANT	Kullanılacak mika banta ilişkin siparişin hatalı verilmesi	1,85	2,70	4,70	5,00	7,00	9,00	3,50	5,50	7,50	3,20	4,70	6,70
	Sipariş edilen mika bant ile fabrikaya giriş yapan mika bandın birbirinden farklı olması	2,10	3,20	5,20	3,50	5,50	7,50	3,90	5,90	7,90	2,50	4,00	6,00
	Gönderilen mika banta ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	1,70	2,40	4,40	3,10	4,70	6,70	2,35	3,20	5,20	1,75	2,50	4,50
	Gönderilen mika bant miktarının yetersiz olması	1,65	2,30	4,30	3,90	5,90	7,90	2,45	3,90	5,90	3,40	5,40	7,40
	Mika bandın yüzeyinde bozuklukların olması	2,65	4,30	6,30	5,00	7,00	9,00	4,60	6,60	8,60	1,40	1,80	3,80
	Gelen mika bandın ambalajında bozuklukların olması	1,65	2,30	4,30	2,80	4,60	6,60	2,00	3,00	5,00	1,35	1,70	3,70
	Mika bandın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,45	1,90	3,90	2,65	4,30	6,30	1,90	2,80	4,80	1,35	1,70	3,70
	Mika banta ilişkin etiketin hatalı olması	2,10	3,20	5,20	2,25	3,50	5,50	1,70	2,40	4,40	1,55	2,10	4,10
	Gelen mika bandın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	1,90	2,80	4,80	3,00	5,00	7,00	1,90	2,80	4,80	1,35	1,70	3,70
KILIF MALZEMESİ	Kullanılacak kılıf malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	1,45	1,90	3,90	4,30	6,30	8,30	3,50	5,50	7,50	1,35	1,70	3,70
	Sipariş edilen kılıf malzemesi ile fabrikaya giriş yapan kılıf malzemesinin birbirinden farklı olması	1,45	1,90	3,90	4,60	6,60	8,60	5,00	7,00	9,00	1,35	1,70	3,70
	Gönderilen kılıf malzemesi miktarının yetersiz olması	1,65	2,30	4,30	5,00	7,00	9,00	3,40	5,40	7,40	1,40	1,80	3,80
	Gelen kılıf malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	1,45	1,90	3,90	5,00	7,00	9,00	4,60	6,60	8,60	1,35	1,70	3,70
	Plastiğin nemli olması	3,50	5,50	7,50	4,90	6,90	8,50	4,30	6,30	8,30	2,40	3,80	5,80
	Kılıf malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	3,50	5,50	7,50	4,90	6,90	8,50	5,00	7,00	9,00	1,90	2,80	4,80

	Kılıf malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,90	2,80	4,80	2,65	4,30	6,30	3,05	4,70	6,70	1,35	1,70	3,70
	Kılıf malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	1,90	2,80	4,80	3,00	5,00	7,00	2,30	3,60	5,60	2,15	3,30	5,30
DOLGU MALZEMESİ	Kullanılacak dolgu malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	1,85	2,70	4,70	3,90	5,90	7,90	3,40	5,40	7,40	1,80	2,60	4,60
	Sipariş edilen dolgu malzemesi ile fabrikaya giriş yapan dolgu malzemesinin birbirinden farklı olması	2,00	3,00	5,00	4,30	6,30	8,30	3,50	5,50	7,50	1,55	2,10	4,10
	Gönderilen dolgu malzemesi miktarının yetersiz olması	1,45	1,90	3,90	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00
	Gelen dolgu malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	1,45	1,90	3,90	3,00	5,00	7,00	1,90	2,80	4,80	1,35	1,70	3,70
	Plastiğin nemli olması	3,00	5,00	7,00	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00	2,80	4,60	6,60
	Dolgu malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	2,65	4,30	6,30	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00	2,80	4,60	6,60
	Dolgu malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	2,00	3,00	5,00	2,65	4,30	6,30	3,00	5,00	7,00	1,35	1,70	3,70
	Dolgu malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	1,65	2,30	4,30	3,00	5,00	7,00	2,65	4,30	6,30	2,50	4,00	6,00
İZOLASYON MALZEMESİ	Kullanılacak izolasyon malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	2,20	3,40	5,40	5,05	7,05	8,55	3,50	5,50	7,50	1,55	2,10	4,10
	Sipariş edilen izolasyon malzemesi ile fabrikaya giriş yapan izolasyon malzemesinin birbirinden farklı olması	1,55	2,10	4,10	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00	1,55	2,10	4,10
	Gönderilen izolasyon malzemesi miktarının yetersiz olması	2,25	3,50	5,50	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00	3,40	5,40	7,40
	Gelen izolasyon malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	2,00	3,00	5,00	3,50	5,50	7,50	2,80	4,60	6,60	1,35	1,70	3,70
	Plastiğin nemli olması	3,00	5,00	7,00	4,30	6,30	8,30	3,90	5,90	7,90	4,25	6,25	7,75
	İzolasyon malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	2,25	3,50	5,50	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00	4,65	6,65	8,15
	İzolasyon malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	2,00	3,00	5,00	2,65	4,30	6,30	1,65	2,30	4,30	1,65	2,30	4,30
	İzolasyon malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	1,85	2,70	4,70	2,80	4,60	6,60	1,70	2,40	4,40	2,50	4,00	6,00

Çizelge 3.17’de her hata türü için farklı risk faktörleri bazında elde edilen değerlerin, hata türlerinin sıralamasında kullanılması için bu verilerin bulanık RÖS değerine çevrilmesi gerekmektedir. Bulanık RÖS hesaplamasında Çizelge 3.17’de verilen bulanık değerlendirme sonuçları ve Çizelge 3.15’te 1. aşama için hesaplanan risk faktörlerinin bulanık ağırlık değerleri kullanılmıştır. Bu veriler yardımıyla her hata türü için bulanık ağırlıklı geometrik değer, Modeller (2.72a) ve (2.72b) ile hesaplanmış ve bulanık RÖS değerinin farklı α kesmelerindeki değerleri bulunmuştur. Bu çalışmada α değeri için 0 ve 1 kullanılmıştır. Modellerden elde edilen optimal değerlerin üstel fonksiyonlarının alınması ile üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilen bulanık RÖS değerinin alt, orta ve üst değerleri hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar için bir örnek şu şekilde verilebilmektedir. Birinci hata türüne ait $\alpha = 0$ ’da hesaplanan bulanık RÖS değerine ilişkin hesaplama için değerler, Çizelge 3.17’den şu şekilde alınmıştır:

$$R_1^O = (1,85 , 2,7 , 4,7) \text{ ise, } (R_1^O)_{\alpha=0}^L = 1,85 \text{ ve } (R_1^O)_{\alpha=0}^U = 4,7$$

$$R_1^{IS} = (3,9 , 5,9 , 7,9) \text{ ise, } (R_1^{IS})_{\alpha=0}^L = 3,9 \text{ ve } (R_1^{IS})_{\alpha=0}^U = 7,9$$

$$R_1^{DS} = (2 , 3 , 5) \text{ ise, } (R_1^{DS})_{\alpha=0}^L = 2 \text{ ve } (R_1^{DS})_{\alpha=0}^U = 5$$

$$R_1^T = (1,75 , 2,5 , 4,5) \text{ ise, } (R_1^T)_{\alpha=0}^L = 1,75 \text{ ve } (R_1^T)_{\alpha=0}^U = 4,5$$

Çizelge 3.15’ten bulanık ağırlıklara ilişkin değerler ise,

$$\tilde{w}^O = (0,11 , 0,18 , 0,3) \text{ ise, } (w^O)_{\alpha=0}^L = 0,11 \text{ ve } (w^O)_{\alpha=0}^U = 0,3$$

$$\tilde{w}^{IS} = (0,19 , 0,30 , 0,46) \text{ ise, } (w^{IS})_{\alpha=0}^L = 0,19 \text{ ve } (w^{IS})_{\alpha=0}^U = 0,46$$

$$\tilde{w}^{DS} = (0,24 , 0,36 , 0,54) \text{ ise, } (w^{DS})_{\alpha=0}^L = 0,24 \text{ ve } (w^{DS})_{\alpha=0}^U = 0,54$$

$$\tilde{w}^T = (0,11 , 0,16 , 0,26) \text{ ise, } (w^T)_{\alpha=0}^L = 0,11 \text{ ve } (w^T)_{\alpha=0}^U = 0,26 \text{ olarak}$$

hesaplanmıştır.

Modeller (2.72a) ve (2.72b)’nin ayrı ayrı WinQSB paket programı ile çözülmesi ile bulanık RÖS değerinin alt ve üst sınırları hesaplanmıştır:

$$\text{Min } z_1 = u_1 \ln (1,85) + u_2 \ln (3,9) + u_3 \ln (2) + u_4 \ln (1,75)$$

$$= u_1 (0,615) + u_2 (1,361) + u_3 (0,693) + u_4 (0,560)$$

$$u_1 + u_2 + u_3 + u_4 = 1$$

$$0,11z \leq u_1 \leq 0,3z$$

$$0,19z \leq u_2 \leq 0,46z$$

$$0,24z \leq u_3 \leq 0,54z$$

$$0,11z \leq u_4 \leq 0,26z$$

$$z \geq 0$$

$$\text{Max } z_1 = u_1 \ln(4,7) + u_2 \ln(7,9) + u_3 \ln(5) + u_4 \ln(4,5)$$

$$= u_1 (1,548) + u_2 (2,067) + u_3 (1,609) + u_4 (1,504)$$

$$u_1 + u_2 + u_3 + u_4 = 1$$

$$0,11z \leq u_1 \leq 0,3z$$

$$0,19z \leq u_2 \leq 0,46z$$

$$0,24z \leq u_3 \leq 0,54z$$

$$0,11z \leq u_4 \leq 0,26z$$

$$z \geq 0$$

$Z_1 = 0,7464$ ve $Z_2 = 1,8182$ olarak bulunmuştur. Bu amaç fonksiyonu değerlerinin üstellerinin alınması ile ilgili hata türüne ilişkin bulanık RÖS değerinin $\alpha = 0$ 'da alt ve üst değerleri bulunmaktadır. Buna göre,

$$(\text{BRÖS}_i)_{\alpha=0}^L = \exp(0,7464) = 2,1094$$

$$(\text{BRÖS}_i)_{\alpha=0}^U = \exp(1,8182) = 6,1608$$

olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde tüm hata türlerinin farklı α kesmelerinde bulanık RÖS değerleri hesaplanmış, sıralama amaçlı kullanılabilmesi için bulanık olmayan değerlere Eşitlik (2.38) ile çevrilmiş ve Çizelge 3.18 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.18: Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin bulanık RÖS değerleri

	<i>HATA TÜRLERİ</i>	$(BRÖS)_{\alpha=0}^L$	$(BRÖS)_{\alpha=1}$	$(BRÖS)_{\alpha=0}^U$	<i>Bulanık olmayan değer</i>
BAKIR	Kullanılacak bakıra ilişkin siparişin, hatalı verilmesi	2,1094	3,5026	6,1608	3,7134
	Sipariş edilen bakır ile fabrikaya giriş yapan bakırın birbirinden farklı olması	1,7061	2,5984	5,1418	2,8736
	Gönderilen bakırın lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirini tutmaması	1,6606	2,4794	5,1872	2,7942
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	2,6961	4,7360	7,3163	4,8261
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirini tutmaması	2,6350	4,6553	7,3588	4,7692
	Verilen sipariş için gönderilen toplam bakır miktarının yetersiz olması	2,6551	4,2883	6,8346	4,4405
	Bakırın yüzeyinde bozuklukların olması	2,6837	4,8303	7,9019	4,9844
	Gelen bakırın ambalajında bozuklukların olması	1,7416	2,9397	5,4696	3,1616
	Bakırın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	2,2981	4,1280	6,9047	4,2858
	Bakırın makaraya sarımının bozuk yapılması	1,9424	3,0006	5,7927	3,2896
	Bakıra ilişkin etiketin hatalı olması	2,3554	3,8091	6,5084	4,0167
	Gelen bakırın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	2,0481	3,2894	5,6854	3,4818
GALVANİZLİ ÇELİK TEL	Kablo tasarımı aşamasında belirtilen çelik tel çapının yanlış sipariş edilmesi	2,0763	3,3122	5,7133	3,5064
	Sipariş edilen çelik tel ile fabrikaya giriş yapan galvanizli çelik telin, birbirinden farklı olması	2,4206	4,0955	6,5137	4,2194
	Gönderilen çelik telin lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirinden farklı olması	1,8049	2,8437	5,4330	3,1021
	Gönderilen çelik telin ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirinden farklı olması	3,5353	5,8124	8,2128	5,8330
	Gönderilen çelik tele ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirinden farklı olması	3,4308	5,4222	7,5542	5,4456
	Verilen siparişe göre gönderilen toplam çelik telin miktar bakımından yetersiz olması	3,2278	5,4789	7,9209	5,5107
Çelik telin yüzeyinin belirli bölgelerinde bozuklukların olması	4,0177	6,3433	8,2954	6,2810	

	Galvanizin, tel yüzeyi boyunca homojen dağılmamış olması	3,5801	5,2878	7,6530	5,3974
	Gelen çelik telin, işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	2,1398	3,5844	5,9227	3,7334
	Çelik telin makaraya sarımının bozuk yapılması	2,2814	3,8675	6,4786	4,0383
	Çelik telin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,9969	3,4643	6,1731	3,6712
	Çelik tele ilişkin etiketin hatalı olması	2,1913	3,7326	6,0988	3,8701
BOYA	Yanlış ral numaralı boyanın sipariş edilmesi	2,3464	3,9013	6,5130	4,0774
	Sipariş edilen ile fabrikaya giriş yapan boyanın ral numaralarının birbirinden farklı olması	2,2273	3,8869	6,3936	4,0281
	Boyaya ilişkin sertifika üzerindeki lot numarası ile ürün üzerindeki lot numarasının birbirinden farklı olması	1,4376	1,9844	4,1779	2,2588
	Gönderilen boyanın verilen siparişe göre miktar bakımından yetersiz olması	2,5219	4,3553	7,0062	4,4916
	Gelen boyanın ambalajının düzgün olmaması	2,6013	4,5672	7,1585	4,6714
	Gelen boyanın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	2,4422	4,2144	6,8087	4,3514
	Boyanın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,8410	2,9023	5,3372	3,1312
	Boyaya ilişkin etiketin hatalı olması	2,6279	4,5046	7,1178	4,6274
MİKA BANT	Kullanılacak mika banta ilişkin siparişin hatalı verilmesi	2,9859	5,0733	7,6653	5,1574
	Sipariş edilen mika bant ile fabrikaya giriş yapan mika bantın birbirinden farklı olması	2,8174	4,8627	7,2783	4,9244
	Gönderilen mika banta ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	2,0794	3,2779	5,6871	3,4797
	Gönderilen mika bant miktarının yetersiz olması	2,4626	4,2300	6,8415	4,3707
	Mika bantın yüzeyinde bozuklukların olması	2,8933	5,0516	7,9035	5,1672
	Gelen mika bantın ambalajında bozuklukların olması	1,8154	2,9692	5,4417	3,1890
	Mika bantın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,7063	2,7423	5,2013	2,9795
	Mika banta ilişkin etiketin hatalı olması	1,7834	2,7701	5,0153	2,9799
	Gelen mika bantın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	1,8953	3,0768	5,6198	3,3037
KILIF MALZEMESİ	Kullanılacak kılıf malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	2,1712	3,9212	6,8923	4,1247
	Sipariş edilen kılıf malzemesi ile fabrikaya giriş yapan kılıf malzemesinin birbirinden farklı olması	2,3974	4,3366	7,5723	4,5527

	Gönderilen kılıf malzemesi miktarının yetersiz olması	2,3294	4,1984	7,1421	4,3775
	Gelen kılıf malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	2,3876	4,3211	7,5496	4,5369
	Plastiğin nemli olması	3,5544	5,8282	8,0341	5,8169
	Kılıf malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	3,4591	5,7638	8,1866	5,7835
	Kılıf malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	2,0767	3,5434	6,0219	3,7121
	Kılıf malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	2,2441	3,7445	6,1074	3,8883
DOLGU MALZEMESİ	Kullanılacak dolgu malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	2,4564	4,3540	6,9741	4,4744
	Sipariş edilen dolgu malzemesi ile fabrikaya giriş yapan dolgu malzemesinin birbirinden farklı olması	2,4813	4,4035	7,1135	4,5348
	Gönderilen dolgu malzemesi miktarının yetersiz olması	2,5979	4,6464	7,4009	4,7641
	Gelen dolgu malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	1,7473	2,8694	5,4816	3,1178
	Plastiğin nemli olması	3,1208	5,2873	7,5678	5,3063
	Dolgu malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	3,0322	5,1454	7,4738	5,1813
	Dolgu malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	2,1008	3,6675	6,1626	3,8222
	Dolgu malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	2,2842	3,9741	6,3091	4,0816
İZOLASYON MALZEMESİ	Kullanılacak izolasyon malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	2,6335	4,6585	7,2449	4,7521
	Sipariş edilen izolasyon malzemesi ile fabrikaya giriş yapan izolasyon malzemesinin birbirinden farklı olması	2,2127	3,9896	6,7774	4,1581
	Gönd. izolasyon malzemesi miktarının yetersiz olması	2,9859	5,0871	7,4544	5,1314
	Gelen izolasyon malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	2,1793	3,8321	6,4109	3,9864
	Plastiğin nemli olması	3,6726	5,8950	7,9630	5,8692
	İzolasyon malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	3,0725	5,2593	7,6232	5,2888
	İzolasyon malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	1,8259	2,9110	5,3010	3,1285
	İzolasyon malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	1,9609	3,2330	5,6871	3,4300

Çizelge 3.18'e göre

- *Bakır ve galvanizli çelik telde*, bakırın ve çelik telin yüzeyinde bozuklukların olması,
- *Boyada*, gelen boyanın ambalajının düzgün olmaması,
- *Mika bantta*, mika bandın yüzeyinde bozuklukların olması,
- *Dolgu, kılıf ve izolasyon malzemelerinde*, plastiklerin nemli olması riskleri en yüksek hata türleri olarak belirlenmiştir.

3.4 ÜRÜN PARÇA MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Bu aşamada, birinci aşamada oluşturulan ürün kavramı, ürün parçalarına dönüşmüştür. Ürün parça matrisinin satırlarında, bir önceki aşamadaki kalite evinin sütunlarında yer alan teknik gereksinimler yer almıştır. Buna göre bu aşamadaki matrisin satırlarında şunlar yer almaktadır:

- Kullanılacak bakır miktarı,
- Kullanılacak galvanizli çelik tel miktarı,
- Kullanılacak mika bant miktarı,
- Kullanılacak boyanın tipi ve miktarı,
- Kullanılacak kılıf malzemesinin tipi ve miktarı,
- Kullanılacak dolgu malzemesinin tipi ve miktarı,
- Kullanılacak izolasyon malzemesinin tipi ve miktarı.

Artık bu ve bundan sonraki aşamalarda matristeki satırların ağırlıklarını bulmak için ayrıca bir işlem yapılmayıp, 1. aşamadaki sütunların 2. aşamada satırlara aktarıldığı gibi, 1. aşamadaki teknik gereksinimlerin hesaplanan ağırlıkları, 2. aşamadaki satır elemanlarının ağırlıkları olarak matristeki yerini almıştır. Başka bir deyişle, bu aşamanın ilk girdisi, bir önceki kalite evinin çıktısı olan ve Çizelge 3.11'de verilen teknik gereksinimlerin ağırlığıdır.

Ürün parça matrisinin sütunlarında ise, bu aşamada ürünü oluşturan parçalar yer almaktadır. Ürünü oluşturan parçalar,

- Bükülü bakır,
- İzole,
- Dolgu,

- Zırh,
- Dış kılıf

olarak belirlenmiştir. Bir önceki aşamada yapıldığı gibi, oluşturulan ürün parça matrisinde satırlar ile sütunların aralarındaki ilişkiler ile sütunların kendi aralarındaki ilişkileri belirlenmiş ve bu ilişkiler, Şekil 3.4'teki ürün parçalarına ilişkin oluşturulan matristeki ilgili hücrelerde yerlerini almıştır.

Eşitlik (2.47a) ve (2.47b) yardımı ile ikinci aşamada oluşturulan ürün parça matrisi için $\alpha = 1$ ve $\alpha = 0$ 'da hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri, Ek 11a ve Ek 11b'de verilmiştir. Her ürün parçasının ağırlığı (Çizelge 3.19); teknik gereksinimler ile ürün parçaları arasındaki normalize edilmiş ilişki değerleri, bir önceki aşamada hesaplanan teknik gereksinimlerin ağırlık verileri ve Eşitlik (2.50b) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu bulanık değerler, bir sonraki matrise aktarılmak ve bir sonraki aşamada kullanılmak üzere durulaştırılmış ve Çizelge 3.20'deki değerler elde edilmiştir. Elde edilen bulanık olmayan bu değerler, Şekil 3.4'te ürün parçalarının ağırlığı bölümünde yerini almıştır.

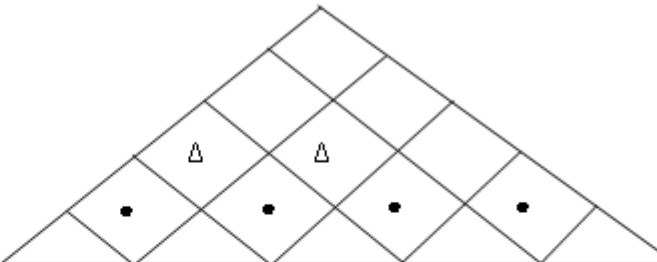
Yapılan hesaplamalar sonucu ilgili ürüne ilişkin belirlenen ürün parçaları içinde dış kılıfın, en yüksek ağırlığa sahip olduğu görülmüştür. Ürün parçalarından dolgu ise, en düşük ağırlığa sahip ürün parçası olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.19: Farklı α kesmelerinde ürün parçalarının bulanık ağırlıkları (2. Aşama)

α	Bükülü bakır		İzole		Dolgu		Zırh		Dış kılıf	
	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>
0	0,098	0,307	0,108	0,337	0,060	0,172	0,072	0,175	0,316	0,383
0,2	0,118	0,288	0,129	0,315	0,070	0,160	0,081	0,164	0,321	0,374
0,4	0,138	0,268	0,151	0,292	0,079	0,147	0,091	0,153	0,326	0,366
0,6	0,159	0,247	0,174	0,269	0,090	0,135	0,100	0,143	0,331	0,358
0,8	0,181	0,225	0,197	0,245	0,100	0,123	0,111	0,132	0,337	0,351
1	0,203	0,203	0,221	0,221	0,111	0,111	0,121	0,121	0,344	0,344

Çizelge 3.20: Ürün parçalarının bulanık olmayan ağırlıkları

	<i>Bulanık olmayan değerler</i>	<i>Normalize edilmiş değerler</i>
<i>Bükülü bakır</i>	0,203	0,202
<i>İzole</i>	0,221	0,220
<i>Dolgu</i>	0,113	0,113
<i>Zırh</i>	0,122	0,121
<i>Dış kılıf</i>	0,346	0,344
<i>Toplam</i>	1,005	1,000



	k_{2J}	<i>Büklüü Bakar</i>	<i>İzole</i>	<i>Dolgu</i>	<i>Zırk</i>	<i>Kıbf</i>
<i>Kull. bakar</i>	0,148	●	○			
<i>Kull. galvanizli çelik tel</i>	0,132			△	●	●
<i>Kull. mika bant</i>	0,082	○	○			
<i>Kull. boya</i>	0,04		●	○		○
<i>Kull. kıbf malz.</i>	0,288					●
<i>Kull. dolgu malz.</i>	0,134			●	●	
<i>Kull. izolasyon malz.</i>	0,177	○	●			
W_{2G}		0,202	0,220	0,113	0,121	0,344

Şekil 3.4: Ürün parça matrisi

3.4.1 Ürün Parçalarındaki Hata Türlerinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, ürünün temel parçaları olan bükülü bakır, izole, dolgu, zırh ve dış kılıf için karşılaşılabilecek olan hata türleri belirlenmiştir. Belirlenen hata türleri, hata türlerinin nedenleri, içsel ve dışsal şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri Çizelge 3.21’de verilmiştir.

2. aşama için çalışmaya katılan karar vericilere atanan ağırlık, 1. aşamadaki ile aynı tutulmuş ve 1. aşamada kullanılan karar vericilerin ağırlıkları (Çizelge 3.13) ile risk faktörlerinin ağırlıkları (Çizelge 3.15) kullanılmıştır.

3.4.2 Ürün Parçalarındaki Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması

Karar vericiler, ürün parçaları için belirlenen hata türlerini sözel terimler (Çizelge 3.12) ile değerlendirmiş ve bu değerlendirmeler, Ek 12’de verilmiştir. Karar vericilerin bu subjektif değerlendirmeleri, karar vericilere atanan ağırlıklar ile işleme alınmış ve bu aşamadaki hata türlerinin belirlenen risk faktörleri bazındaki bulanık değerleri ile Ek 13 oluşturulmuştur.

Hata türleri arasında sıralama yapmak için Ek 13’teki veriler ve Modeller (2.72a) - (2.72b) kullanılmıştır. Farklı α kesmelerinde elde edilen bulanık RÖS değerlerinin, birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için bulanık RÖS değerleri, bulanık olmayan değerlere çevrilmiş ve Çizelge 3.22 elde edilmiştir.

Yapılan hesaplamaların sonucunda (Çizelge 3.22),

- *Bükülü bakır* için, iletken yüzeyinin belirli bölgelerinde damar atlama veya çiziklerin olması,
- *İzole ve dolguda*, ara veya son kontrollerde izoledeki ve dolgudaki iletken direncinin yüksek çıkması,
- *Zırhta*, zırhın yüzeyinin pürüzlü olması,
- *Dış kılıfta* ise, dış kılıflı kablonun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi en riskli hata türleri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.21: Ürün parçalarına ilişkin hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri (2. Aşama)

	<i>Hata Türleri</i>	<i>Hatanın Nedenleri</i>	<i>Hatanın İçsel Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Dışsal Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Tespit Yöntemleri</i>
BÜKÜLÜ BAKIR	Ara veya son kontrollerde, iletken direncinin yüksek çıkması	Vericilerin gerginliklerinin iyi ayarlanmaması, haddenin dar (yanlış) seçimi	Üretimin durdurulması, yarı mamulün bir sonraki sürece geçmemesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç testi
	İletken yüzeyinin belirli bölgelerinde, damar atlaması veya çiziklerin olması	Telin tavlamaının yetersiz olması sonucu sert olması, kompaktlama yapılmaması	İzole sürecinde şişlikler ve spark açıkları	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol, izole aşamasındaki kontroller (damar atlaması, yüzeyde gözüküyorsa)
	İletkenin yüzeyinin kararmış, oksitli olması	Bakırın neme maruz kalması, sıvıyla temas etmesi	Üretimin durdurulması, yarı mamulün bir sonraki sürece geçmemesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	İletken çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	Operatör tarafından yanlış hadde seçimi	Direncin standarttan yüksek çıkması ve yarı mamulün reddi (çap, küçükse), hammaddenin fazla kullanımı (çap, büyükse)	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç ve çap kontrolü
	İletkenin, toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	Gezdirge arızası, operatörün gezdirge switchlerini ayarlamaması	İzole sürecinde bakırın kösmesi, kopması ve direncin yükselmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	İzole aşamasındaki kontroller
	İletkenin, dış etkenlerden zarar görmesi	Bakırın uygun ve sağlıklı ortamlarda saklanmaması sonucu darbe alması	Bakırın üretime alınmaması, hammadde ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	İletken kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, hammadde ve zaman kaybı, hatalı ürünün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç ve çap kontrolü
	İletken kartının yanlış makaraya takılması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, hammadde ve zaman kaybı, hatalı ürünün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç ve çap kontrolü
İZOLE	İzole malzemesinde çapraz bağların oluşmaması	Katalizörün uygun oranda karıştırılmaması, motan cihazının istenen oranda katalizörü vermemesi	Yapılan testlerden katalizörün yetersizliği nedeniyle olumsuz sonuç alınması, üretimin durması, yarı mamulün büküm aşamasına geçmemesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Hot set testi
	İzolenin sentesinin kaymış olması	Operatör tarafından doğru takımın seçilmemesi, seçilen takımın arızalı olması	Minimum et kalınlığı sağlanamadığı için yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Et kalınlığı kontrolü
	İzolenin çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	Çap ölçer cihazının arızalı olması, operatörün çapı kontrol etmemesi	Direncin yüksek çıkması, yarı mamulün reddi (çap, toleransları aşarsa), bundan sonraki tüm süreçlerde fazla malzeme kullanılması (çap, kalınsa)	Ürün teslimatının gecikmesi	Et kalınlığı ve çap kontrolü
	Ara veya son kontrollerde izoledeki iletken direncinin yüksek çıkması	Gerginlik ayarının iyi yapılmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç testi
	İzolenin uzama ve mukavemet değerinin, standart değerden düşük çıkması	Rezistans sıcaklıklarının plastiğe uygun ayarlanmaması, rezistansların arızalı olması, üretim formunun hatalı olması, plastiğin sorunlu olması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Uzama ve mukavemet testi
	İzolenin büzülme testinin olumsuz gelmesi	Çapraz bağların tam oluşmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Büzülme testi

	İzole yüzeyinde pürüzlerin olması	Plastiğin istenen homojenlikte olmaması, sıcaklıkların yanlış olması, izolenin soğutma havuzunda bir yere sürmesi, operatörün yüzey kontrollerini yapmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	İzolede müşterinin isteği rengin sağlanamaması	Motanın arızalı olması, boyanın karışımındaki oranının doğru olmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	İzolenin toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	Gezdirge motorunun arızalı olması, gezdirge switchlerinin ayarlanmamış olması	Yarı mamulün aktarmaya gitmesi, aktarmada düğüm oluştursa izolenin kesilmesi, izole miktarının azalması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	İzolede istenilen uzunluğun sağlanamaması	Makine metrajının arızalı olması, operatör tarafından metrenin yanlış zamanda sıfırlanması	Yekpare uzunluğun bozulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Büküm sonrasındaki kontroller
	İzoleye ilişkin ürün kartının yanlış makaraya takılması	Operatörün dikkatsizliği, ürün kartını zamanında makaraya takmaması	Bu süreçte var olan bir problemin, diğer süreçlere aktarılamaması, sorunun diğer süreçlerde devam etmesi, üretimin yanlış yönlendirilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol
	İzoleye ilişkin ürün kontrol kartının eksik veya hatalı tanımlanmış olması	Operatörün dikkatsizliği, kart üzerine uyarıcı ifadeleri kaydetmemesi, doğru ifadeleri hatalı yazması	Bu süreçte var olan bir problemin, diğer süreçlere aktarılamaması, sorunun diğer süreçlerde devam etmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol
DOLGU	Dolgunun sentesinin kaymış olması	Operatör tarafından doğru takımın seçilmemesi, seçilen takımın arızalı olması	Minimum et kalınlığının sağlanamaması, yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Et kalınlığı kontrolü
	Dolgudaki iletken direncinin yüksek olması	Gerginlik ayarının iyi yapılmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç testi
	Dolgunun uzama ve mukavemet değerinin, standart değerden düşük çıkması	Rezistans sıcaklıklarının plastiğe uygun ayarlanmaması, rezistansların arızalı olması, üretim formunun yanlış olması, plastiğin sorunlu olması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Uzama ve mukavemet testi
	Dolgu yüzeyinde pürüzlerin olması	Plastiğin istenen homojenlikte olmaması, sıcaklıkların yanlış olması, dolgunun soğutma havuzunda bir yere sürmesi, operatörün yüzey kontrollerini yapmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	Dolgunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	Gezdirge motorunun arızalı olması, gezdirge switchlerinin ayarlanmamış olması	Yarı mamulün aktarmaya gitmesi, aktarmada düğüm oluştursa dolgunun kesilmesi, dolgu ürün miktarının azalması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	Dolguda kopukluk olması	Aşırı gerginlik nedeniyle dolgudaki bakırın kopması, bakır kaynağının zayıf olması	Yarı mamulün aktarmaya gitmesi, aktarmada kopan bakıra kaynak yapılması	Ürün teslimatının gecikmesi	Avometre ile kopukluk kontrolü
	Dolguya ilişkin ürün kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	Operatörün dikkatsizliği, kart üzerine uyarıcı ifadeleri kaydetmemesi, doğru ifadeleri hatalı yazması	Dolgudaki bir sorunun zırh operatörü tarafından bilinmemesi, sorunun diğer süreçlere geçmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol
	Dolguya ilişkin proses kontrol kartının yanlış makaraya takılması	Operatörün dikkatsizliği, ürün kartını zamanında makaraya takmaması	Dolgudaki bir sorunun zırh operatörü tarafından bilinmemesi, sorunun diğer süreçlere geçmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol

ZIRH	Zırh teli direncinin, standartların üzerinde olması	Zırh teli sayısının iş emrine uygun olmaması, hatvenin doğru ayarlanmaması, tedarikçiden gelen telin uygun olmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç testi
	Zırhtaki iletken direncinin standartların üzerinde olması	Gerginlik ayarının iyi yapılmaması	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç testi
	Zırh tellerinin uzamasının düşük olması	Zırh tellerinin sert olması	Telin sık sık kopması	Ürün teslimatının gecikmesi	Uzama ve mukavemet testi
	Zırhın yüzeyinin pürüzlü olması	Zırh tellerindeki galvaniz miktarının homojen olmaması	Dolgunun ve dış kılıfın zarar görmesi, delinmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
	Zırhın, dolgunun üzerini tam kaplamaması	Zırh teli sayısının iş emrine uygun olmaması, hatvesinin doğru ayarlanmaması, dolgu çapının iş emrindeki değerden yüksek olarak üretilmesi	Kılıf yüzeyinde tel boşluğunun izinin çıkması	Ürünün görünümüne ve fiziksel şartlara dayanıma ilişkin şikâyetler	Gözle kontrol
	Tel üzerindeki galvaniz miktarının standardın altında olması	Tedarikçinin üretim faaliyetlerinin yetersizliği	Yarı mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi, direncin yüksek çıkması, telin paslanması	Galvaniz ölçüm testi
	Zırhta dirsek oluşması	Ani elektrik kesintisi, makine arızası	Kılıf aşamasının yarıda kalması, üretim programının aksaması	Ürün teslimatının gecikmesi, yekpare uzunluğun bozulması	Gözle kontrol
	Zırhlı kablonun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	Gezdirge motorunun arızalı olması, gezdirge switchlerinin ayarlanmamış olması	Kılıf aşamasında vericinin, makarayı açamaması, zırhın gevşemesi, zırhta düğüm olması	Ürün teslimatının gecikmesi, yekpare uzunluğun bozulması	Gözle kontrol
	Zırha ilişkin proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	Operatörün dikkatsizliği, karta uyarıcı ifadeleri kaydetmemesi, doğru ifadeleri hatalı yazması	Zırhtaki bir sorunun, zırh operatörü tarafından bilinmemesi, sorunun diğer süreçlere geçmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol
	Zırha ilişkin proses kartının yanlış makaraya takılması	Operatörün dikkatsizliği, ürün kartını zamanında makaraya takmaması	Zırhta bir sorun var ise bunun, zırh operatörü tarafından yakalanamaması, sorunun diğer süreçlere geçmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol
DIŞ KILIF	Dış kılıflı kablodaki iletken direncinin, standart değerden yüksek olması	Gerginlik ayarının iyi yapılmaması	Ürünün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Direnç testi
	Dış kılıfın sentesinin kayması	Operatör tarafından doğru takımın seçilmemesi, seçilen takımın arızalı olması	Minimum et kalınlığının sağlanamaması, mamulün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Et kalınlığı kontrolü
	Dış kılıflı kablo çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	Daha önceki süreçlerin herhangi birinde çapın kalın olarak üretilmesi, kılıf yapımı esnasında çap kontrolünün yapılmaması	Mamulün reddi (çap, standartta belirtilen toleransın dışında ise)	Ürün teslimatının gecikmesi	Et kalınlığı ve çap kontrolü
	Dış kılıfın uzama ve mukavemet değerlerinin standart değerden düşük çıkması	Rezistans sıcaklıklarının plastiğe uygun ayarlanmaması, rezistansların arızalı olması, üretim formunun yanlış olması, plastik sorunları	Ürünün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Uzama ve mukavemet testi
	Dış kılıf yüzeyinin bozuk olması	Plastiğin istenen homojenlikte olmaması, sıcaklıkların yanlış olması, dış kılıfın soğutma havuzunda bir yere sürmesi, operatörün yüzey kontrollerini yapmaması	Ürünün reddi	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol

Dış kılıflı kablonun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi	Kısa devrenin nedenleri, izolede açıklıkların olması, izolenin büküm sürecinde ezilmesi, dolgu büküm sürecinde dolgunun nipele sürtmesi, zırh tellerinin dolguya zarar vermesi, darbe gibi harici nedenler Kopukluğun nedenleri, bakır büküm, izole ekstrüzyon ve izole büküm süreçlerinde kaynağının sağlam yapılmaması, vericilerdeki aşırı gerginlik	Ürünün reddi, yekpare uzunluğun bozulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Yüksek gerilim ve kopukluk testi
Dış kılıflı kablonun alev testlerinin olumsuz gelmesi	Mika bant, dolgu, kılıf malzemelerinin test şartlarını karşılayacak yetenekte olmaması	Ürünün reddi	İstenen ürün kalitesinin sağlanamaması, müşteri memnuniyetsizliği	Alev testleri
Ürün uzunluğunun müşteri isteğini karşılamaması	Önceki süreçlerde meydana gelen problemler nedeniyle kablonun kısalması veya metraj hataları	Yekpare uzunluğun bozulması	Yekpare sağlanamadığı için müşteri memnuniyetsizliği, işletmeye ceza uygulaması	Alt ve üst metre kontrolü, gözle kontrol
Sarım sırasında alt ucun makara içinde kalması	Operatör tarafından makara dışına çıkan ucun sağlam bağlanmaması	Gerilim testinin yapılamaması, metrenin okunamaması	Ürün teslimatının gecikmesi	Alt ve üst metre kontrolü, gözle kontrol
Kablo üzerindeki kılıf markalamasının müşterinin veya standardın istediği gibi olmaması	İş emrinin hatalı olması, markalama diskinin hatalı yazılması, operatörün yanlış diski kullanması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
Markalamada kesit, damar sayısı vb. bilgilerin yanlış yazılması	İş emrinin hatalı olması, markalama diskinin hatalı yazılması, operatörün yanlış diski takması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
Markalamada bilgilerin net bir şekilde okunmaması	Operatörün markalama diskini, kabloya tam basacak şekilde ayarlamaması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
Alt ve üst metrelerin yanlış yazılması	Metre sayacının bozuk olması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
Metre mesafesinin tam olarak sağlanmaması	Metre diskinin aşınmış olması, gerekli bakımların yapılmaması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
Dış kılıflı kablonun sarımının bozuk yapılması	Gezdirge motorunun arızalı olması, gezdirge switchlerinin ayarlanmamış olması	Ürünün aktarmaya gitmesi, aktarmada düğüm oluşursa dış kılıflı ürünün kesilmesi, miktarının azalması	Ürün teslimatının gecikmesi	Gözle kontrol
Proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	Operatörün dikkatsizliği, kart üzerine uyarıcı ifadeleri kaydetmemesi, doğru ifadeleri hatalı yazması	İşletme içinde her türlü hata olasılığı	Ürünün dış görünüşüne ilişkin şikâyetler, ürünün iadesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol
Proses kartının yanlış makaraya takılması	Operatörün dikkatsizliği, ürün kartını zamanında makaraya takmaması	İşletme içinde her türlü hata olasılığı	Müşteri tarafından yanlış ürünün teslim alınması, ürünün iadesi	Diğer süreçlerdeki kontroller veya son kontrol

Çizelge 3.22: Ürün parçaları için belirlenen hata türlerinin bulanık RÖS değerleri

	<i>HATA TÜRLERİ</i>	$(BRÖS)_{\alpha=0}^L$	$(BRÖS)_{\alpha=1}$	$(BRÖS)_{\alpha=0}^U$	<i>Bulanık olmayan değer</i>
BÜKÜLÜ BAKIR	Ara veya son kontrollerde iletken direncinin yüksek çıkması	3,2120	5,5113	8,2664	5,5873
	İletken yüzeyinin belirli bölgelerinde damar atlaması veya çiziklerin olması	3,2462	5,5578	8,1572	5,6058
	İletkenin yüzeyinin kararmış, oksitli olması	2,9453	5,1310	7,7578	5,2045
	İletken çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	2,4930	4,4544	7,2914	4,6004
	İletkenin toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	1,9387	3,1525	5,7179	3,3778
	İletkenin dış etkenlerden zarar görmesi	2,5246	4,2682	6,8551	4,4088
	İletken kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	2,3793	4,0560	6,8428	4,2410
	İletken kartının yanlış makaraya takılması	2,6459	4,7209	7,3618	4,8152
İZOLE	İzole malzemesinde çapraz bağların oluşmaması	3,2838	5,4554	7,7850	5,4817
	İzolenin sentesinin kaymış olması	3,3838	5,7921	8,4090	5,8269
	İzolenin çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	2,2049	3,9040	6,3401	4,0268
	Ara veya son kontrollerde izoledeki iletken direncinin yüksek çıkması	3,5121	5,9912	8,4875	5,9941
	İzolenin uzama ve mukavemet değerinin standart değerden düşük çıkması	3,4781	5,8457	8,1605	5,8369
	İzolenin büzülme testinin olumsuz gelmesi	3,1025	5,3260	7,5278	5,3224
	İzole yüzeyinde pürüzlerin olması	3,4100	5,5873	7,8162	5,5959
	İzolede müşterinin isteği rengin sağlanamaması	2,7774	4,8240	7,3950	4,9114
	İzolenin toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	1,6768	2,7874	5,4953	3,0536
	İzolede istenilen uzunluğun sağlanamaması	3,2424	5,6002	8,2639	5,6512
	İzoleye ilişkin ürün kartının yanlış makaraya takılması	2,9568	4,8739	7,4492	4,9836
	İzoleye ilişkin ürün kartının eksik veya hatalı tanımlanmış olması	2,5447	4,3288	7,0435	4,4839
DOLGU	Dolgunun sentesinin kaymış olması	3,0790	5,2409	7,6179	5,2768
	Dolgudaki iletken direncinin yüksek olması	3,1193	5,3602	7,8303	5,3984
	Dolgunun uzama ve mukavemet değerinin standart değerden düşük çıkması	2,7851	4,7922	7,2754	4,8716
	Dolgu yüzeyinde pürüzlerin olması	2,1552	3,5594	5,8667	3,7099
	Dolgunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	1,8931	3,0919	5,6204	3,3135
	Dolguda kopukluk olması	2,6923	4,6529	7,3610	4,7775
	Dolguya ilişkin ürün kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	2,4826	4,2106	6,8353	4,3600

	Dolguya ilişkin ürün kartının yanlış makaraya takılması	2,5569	4,3536	7,0646	4,5060
ZIRH	Zırh teli direncinin standartların üzerinde olması	3,6781	6,1601	8,5540	6,1454
	Zırhtaki iletken direncinin standartların üzerinde olması	3,8049	6,4141	8,6772	6,3564
	Zırh tellerinin uzamasının düşük olması	3,8213	6,1694	8,3187	6,1363
	Zırhın yüzeyinin pürüzlü olması	4,2001	6,6452	8,7487	6,5883
	Zırhın, dolgunun üzerini tam kaplamaması	3,3171	5,5058	7,4098	5,4583
	Tel üzerindeki galvaniz miktarının standardın altında olması	2,9189	4,8317	7,0738	4,8866
	Zırhta dirsek oluşması	3,6715	6,1651	8,3328	6,1108
	Zırhlı kablunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	2,7398	4,6735	7,1242	4,7597
	Zırha ilişkin proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	2,6385	4,6020	7,2689	4,7193
	Zırha ilişkin proses kartının yanlış makaraya takılması	2,5839	4,4584	7,1499	4,5946
DIŞ KILIF	Dış kılıflı kablodaki iletken direncinin standart değerden yüksek olması	3,2602	5,6553	8,2937	5,6959
	Dış kılıfın sentesinin kayması	3,2034	5,5019	7,9106	5,5203
	Dış kılıflı kablo çapının istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	2,9722	4,8964	7,4343	4,9987
	Dış kılıfın uzama ve mukavemet değerlerinin standart değerden düşük çıkması	3,1174	5,3313	7,5663	5,3348
	Dış kılıf yüzeyinin bozuk olması	3,7475	6,2965	8,6098	6,2572
	Dış kılıflı kablunun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi	4,0000	6,7281	8,8410	6,6256
	Dış kılıflı kablunun alev testlerinin olumsuz gelmesi	3,7412	6,5045	8,7076	6,4112
	Ürün uzunluğunun müşteri isteğini karşılamaması	3,3175	5,6894	8,3353	5,7350
	Sarım sırasında alt ucun makara içinde kalması	1,8408	3,0655	6,1196	3,3704
	Kablo üzerindeki kılıf markalamasının müşterinin veya standardın istediği gibi olmaması	3,7841	6,4488	8,6807	6,3767
	Markalamada kesit, damar sayısı vb. bilgilerin yanlış yazılması	3,0462	5,4603	8,2137	5,5168
	Markalamada bilgilerin net bir şekilde okunmaması	3,4178	5,7282	8,1727	5,7505
	Alt ve üst metrelerin yanlış yazılması	3,6339	6,3694	8,6547	6,2943
	Metre mesafesi tam olarak sağlanmaması	3,4670	6,0038	8,4647	5,9912
	Dış kılıflı kablunun sarımının bozuk yapılması	2,6461	4,6062	7,1007	4,6953
	Proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	3,6741	6,1583	8,5361	6,1406
	Proses kartının yanlış makaraya takılması	3,3264	5,8084	8,3645	5,8207

3.5 ÜRETİM SÜRECİ MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Bu aşamada, 2. aşamada oluşturulan ürün parça kavramı, bu parçaları oluşturan üretim süreçlerine dönüştürülmüştür. Üretim süreci matrisinin satırlarında, bir önceki aşamadaki matrisin sütunlarında yer alan ürünün temel parçaları yer almıştır. Buna göre bu aşamadaki matrisin satırlarında,

- Bükülü bakır,
- İzole,
- Dolgu,
- Zırh,
- Dış kılıf yer almaktadır.

Bu aşamada oluşturulan matrisin satır ağırlıkları için, 2. aşamada ürün parçaları için hesaplanan ve Çizelge 3.20’de verilen ağırlık değerleri kullanılmıştır.

Üretim süreci matrisinin sütunlarında ise, ürün parçalarını oluşturan üretim süreçleri yer almıştır. Belirlenen bu üretim süreçleri ve bu süreçlerde gerçekleştirilen işlemler kısaca şu şekilde açıklanabilmektedir:

Tel çekme: 8 mm. filmaşın bakırın 0,53 mm. çapa kadar düşürülmesi için gerekli süreçtir.

İzole ekstrüzyon: Bükümü tamamlanan bakırın üzerine izolasyon malzemesinin kaplama işlemidir.

Dolgu ekstrüzyon: Bükümü tamamlanan izole üzerine dolgu malzemesinin kaplama işlemidir.

Kılıf ekstrüzyon: Zırlı kablo üzerine kılıf malzemesinin kaplama işlemidir.

İzole soğutma: Bakır üzerine kaplanan izolasyon malzemesini, havuzda soğutma işlemidir.

Dolgu soğutma: Bükülü izolelerin üzerine uygulanan dolgu malzemesini, havuzda soğutma işlemidir.

Kılıf soğutma: Zırh üzerine yapılan kaplamanın, havuzda soğutma işlemidir.

Tel bükme: 0,53 mm. çapa kadar düşürülen belirli sayılarda bakır tellerin bükülmesidir.

İzole bükme: Belirtilen sayıda izoleli damarların bükülme işlemidir.

Zırh bükme: Dolgu üzerine çelik tellerin bükülerek kaplanması işlemidir.

Kılıf markalama: Kablonun kimliğini belirten özelliklerin kablonun kılıfına yazılması işlemidir.

Ambalaj, etiketleme ve sevkiyat: Üretimi tamamlanmış kablonun uygun sevk makaralarına sarılması ve etiketlenmesi işlemidir.

Üretim süreçlerinin belirlenmesinin ardından Şekil 3.5'te verilen üretim süreci matrisi oluşturulmuştur. Şekil 3.5'teki üretim süreci matrisi için $\alpha=1$ ve $\alpha=0$ 'da hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri, Ek 14a ve Ek 14b'de verilmiştir. Ürün parçaları ile üretim süreçleri arasındaki normalize edilmiş ilişki değerleri, bir önceki aşamadaki ürün parçalarının ağırlık değerleri ve Eşitlik (2.50b) kullanılarak üretim süreçlerinin ağırlıkları hesaplanmış ve Çizelge 3.23 oluşturulmuştur. Hesaplanan bu bulanık değerler, bir sonraki matrise aktarılmak için durulaştırılmış ve Çizelge 3.24'teki değerler elde edilmiştir. Elde edilen bulanık olmayan bu değerler, Şekil 3.5'te üretim süreçlerinin ağırlığı bölümünde yerini almıştır.

	k_{30}	Tel çekene	Ekstrüzyon			Soğutma			Büleme			Kılıf markalama	Ambalaj ve etiketleme
			İzole	Dolgu	Kılıf	İzole	Dolgu	Kılıf	Tel	İzole	Zarh		
Bükülü bakır	0,202	●	○	Δ					●	○			
İzole	0,220		●	○		●	○		○	●			
Dolgu	0,113		○	●			●	Δ		Δ	●		
Zarh	0,121			●	○		●	●		Δ	●		
Dış Kılıf	0,344			Δ	●		Δ	●			●	●	●
$W_{0,II}$	0,046		0,126	0,12	0,092	0,036	0,102	0,101	0,075	0,092	0,099	0,061	0,051

Şekil 3.5: Üretim süreci matrisi

Çizelge 3.23: Üretim süreçlerinin farklı α kesmelerinde bulanık ağırlıkları

α	Tel çekme		Ekstrüzyon						Soğutma						Bükme						Kılıf markalama		Amb. etiketleme ve sevkiyat	
			İzole		Dolgu		Kılıf		İzole		Dolgu		Kılıf		Tel		İzole		Zırh					
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
0	0,017	0,109	0,042	0,291	0,028	0,318	0,038	0,198	0,013	0,090	0,032	0,249	0,042	0,223	0,024	0,184	0,022	0,243	0,041	0,218	0,027	0,131	0,019	0,117
0,2	0,021	0,094	0,054	0,254	0,039	0,266	0,046	0,174	0,015	0,075	0,042	0,211	0,051	0,193	0,031	0,155	0,030	0,203	0,050	0,189	0,032	0,114	0,024	0,101
0,4	0,026	0,080	0,068	0,218	0,053	0,220	0,056	0,151	0,019	0,063	0,053	0,177	0,061	0,167	0,039	0,130	0,041	0,168	0,060	0,162	0,038	0,099	0,029	0,086
0,6	0,031	0,067	0,085	0,185	0,070	0,180	0,067	0,130	0,023	0,052	0,066	0,147	0,073	0,143	0,048	0,108	0,053	0,137	0,072	0,139	0,045	0,085	0,035	0,073
0,8	0,038	0,056	0,106	0,155	0,091	0,145	0,080	0,111	0,029	0,043	0,082	0,122	0,087	0,122	0,060	0,089	0,069	0,110	0,085	0,119	0,053	0,073	0,043	0,061
1	0,047	0,047	0,129	0,129	0,115	0,115	0,095	0,095	0,035	0,035	0,100	0,100	0,104	0,104	0,073	0,073	0,088	0,088	0,101	0,101	0,062	0,062	0,051	0,051

Çizelge 3.24: Üretim süreçlerinin bulanık olmayan ağırlıkları (3. Aşama)

		<i>Bulanık olmayan değerler</i>	<i>Normalize edilmiş değerler</i>
<i>Tel çekme</i>		0,052	0,046
<i>Ekstrüzyon</i>	<i>İzole</i>	0,141	0,126
	<i>Dolgu</i>	0,134	0,120
	<i>Kılıf</i>	0,105	0,092
<i>Soğutma</i>	<i>İzole</i>	0,040	0,036
	<i>Dolgu</i>	0,114	0,102
	<i>Kılıf</i>	0,113	0,101
<i>Bükme</i>	<i>Tel</i>	0,083	0,075
	<i>İzole</i>	0,103	0,092
	<i>Zırh</i>	0,110	0,099
<i>Kılıf Markalama</i>		0,068	0,061
<i>Ambalaj ve Etiketleme</i>		0,057	0,051
<i>Toplam</i>		1,119	1

Yapılan hesaplamalar ile (Çizelge 3.24), üretim süreçleri arasında izole ve dolgu ekstrüzyon süreçlerinin en yüksek ağırlığa sahip olduğu bulunmuştur.

3.5.1 Üretim Süreçlerindeki Hata Türlerinin Belirlenmesi

Bu bölümde ürünü oluşturan temel üretim sürecindeki gerekli işlemlere ilişkin karşılaşılabilecek hata türleri, hata türlerinin nedenleri, içsel ve dışsal şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri belirlenmiş ve Çizelge 3.25 oluşturulmuştur.

3. aşama için çalışmaya katılan karar vericilere atanan ağırlıklar, bu aşamada değiştirilmiş ve üretim bölümünde görev yapmakta olan karar vericinin ağırlığı yükseltilmiştir. Çizelge 3.26'da bu aşamada kullanılan karar verici ağırlıkları verilmiştir. Bu ağırlık değerleri ve Çizelge 3.14a - 3.14d'de verilen ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla 3. aşamadaki hata türlerini sıralamada kullanılacak olan risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları, Çizelge 3.27'deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 3.25: Üretim süreçleri için belirlenen hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri

	<i>Hata Türleri</i>	<i>Hatanın Nedenleri</i>	<i>Hatanın İçsel Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Dışsal Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Tespit Yöntemleri</i>
TEL ÇEKME	Ürüne ilişkin bakır çapının yanlış seçilmesi	Plânlama veya üretim bölümü tarafından yapılan iş emrinin hatalı olması, bakır makarasının üzerindeki kartın yanlış olması, operatörün dikkatsizliği sonucu yanlış kesitteki makaranın kullanılması	Siparişin hatalı üretimi, üretim programının aksaması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün müşteri tarafından iade edilmesi, direnç problemleri, akımı iletmeye problemler	Direnç kontrolü
	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama bölümünün tasarımları, sisteme doğru bir şekilde işlememesi	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, malzeme ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün müşteri tarafından iade edilmesi, direnç problemleri, akımı iletmeye problemler	Başlangıç ve ara kontroller
	Bakırın inceltilmesi esnasında bakır telin kopması	Telin istenilen sertlikte olmaması (tavsız olması), makine arızası	Üretimde malzeme ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, tesisat döşenirken bakırın kopması ve bununla ilgili şikâyetler	Üretim esnasındaki kontroller
	Bakır telin, istenilen çap değerinden daha fazla inceltilmiş olması	Operatör tarafından haddenin yanlış seçimi, makinede gerginlik arızası olması	Direncin yüksek çıkması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün müşteri tarafından iade edilmesi, direnç problemleri, akımı iletmeye problemler, iletken performansında düşme, direnç şikâyetleri	Başlangıç ve ara kontroller
	Tavlamanın, istenilen seviyede olmaması	Tavlama ünitesinin arızalı olması	Tel çekme sürecinde, telin sık sık kopması	Ürün teslimatının gecikmesi, bakırın sert olması nedeniyle sıradan gerginliklerde dahi kopma yaşanması	Üretim esnasındaki kontroller (problem, ara metrelerde ise), kalite kontrol bölümü kontrolleri (problem, başlangıç ve bitiş metrelerde ise)
	Bakırın yanması	Makine arızası	Bakırın hurdaya ayrılması	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin bakırdaki yüzey hatası şikâyetleri, ürünün iadesi, bakırın iletken performansının azalması	Gözle kontrol, tel büküm aşamasındaki kontroller
	Telin oksitlenmesi	Bakırın nemlenmesi veya ıslanması, uygun depolama ve muhafaza şartlarının sağlanamaması	Oksitli bakırın, bir sonraki safhaya geçememesi ve hurdaya ayrılması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iletken özelliğini kaybetmesi, hatalı ürünün müşteriye ulaşması durumunda ürünün iadesi	Gözle kontrol
	Bakırın düzgün sarılmaması	Gezdirge arızası, operatörün gezdirge switchlerini ayarlayamaması	Bakır tellerinde düğüm olan yerlerin kesilmesi, metrenin kısılması	Ürün teslimatının gecikmesi, düzgün sarılmama sonucu telde dirseklerin oluşumu	Gözle kontrol, tel büküm aşamasındaki kontroller
	Bakırın darbe alması	Bakır makarasının uygun sahalarda muhafaza edilmemesi	Bakır tellerinin darbe almış kısımlarının kesilmesi, metrenin kısılması	Ürün teslimatının gecikmesi, elektrik iletiminin zayıflaması veya kopması, ürünün iadesi	Gözle kontrol
	Tel çekme süreci ürün kartının hatalı hazırlanması	Operatörün dikkatsizliği	Üretim yanlış yönlendirilmesi, malzeme ve zaman kaybı, kısa devre ve kopukluk	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin belirttiği ürünü temin edememesi, kesit ve direnç ile ilgili şikâyetler	Başlangıç ve ara kontroller

	Toplayıcıdaki veya vericideki bakır makarasının düşmesi	Toplayıcı ve verici arızası	Bakırın darbe alması, kısa devre ve kopukluk	Ürün teslimatının gecikmesi, bakırın iletken performansının azalması, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
İZOLE EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama veya üretim bölümü tarafından yapılan iş emrinin hatalı olması	Üretimin hatalı yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, iletken izolasyonu ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	Üretim bölümünün formun hazırlanması esnasındaki dikkatsizliği, gerekli dokümanların dikkate alınmaması	Ekstrüzyonda yüzey, uzama, mukavemet, fiziksel ve kimyasal deneylerde olumsuz sonuçlar	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin hatalı yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün performansı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Bir sonraki üretim aşamasındaki kontroller
	Operatör tarafından, yanlış bakırın takılması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin hatalı yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı, direnç problemi	Ürün teslimatının gecikmesi, üründe direnç ve akım iletimi ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Operatör tarafından, yanlış plastiğin seçilmesi	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin hatalı yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı, uzama, mukavemet, yanma problemi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Operatör tarafından, yanlış takımın seçimi	Operatörün dikkatsizliği, üretim formunun yanlış hazırlanması	Üretimin hatalı yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı, sente ve çap problemleri	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	İzolede kullanılacak plastiğin nemli olması veya içine yabancı madde girmesi	Depolama şartlarının yetersiz ve uygunsuz olması, ambalajın hasarlı olması, malzemenin havayla temas etmesi	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve açıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Plastiğin bozulması (kimyasal deformasyon)	Ambalajın yırtık olması, havayla temas etmesi, stok ömrünü tamamlamış olması	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Katalizörün veya boyanın bozuk olması	Ambalajın yırtık olması, havayla temas etmesi, stok ömrünü tamamlamış olması	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Üretim formlarındaki ayar (set) değerlerinin ekstrüder makinesine doğru girilmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	İstenilen set değerlerinin tutturulamaması	Rezistans arızası	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi, plastiğin yanması	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Üretimin başlangıcında sente kaçıklığının olması	Operatör tarafından hatalı takımın seçilmesi, kafa terazisinin ayarlanmaması, operatörün gerekli kontrolleri yerine getirmemesi	Minimum et kalınlığının sağlanamaması	Ürün teslimatının gecikmesi, minimum et kalınlığı sağlanmadığında akım atlaması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller	

Sisteme katalizör bilgilerinin eksik, yanlış veya hiç girilmemesi	Üretim formunun hatalı hazırlanması, cihazın kalibrasyonunun hatalı olması, operatörün dikkatsizliği	Çapraz bağların oluşmaması (katalizör eksikse), yüzey şivilcelenmesi (katalizör fazla ise), spark açıklığı	Ürün teslimatının gecikmesi, yangın esnasında izolelerin dayanıksızlığı, erimesi, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
İzolasyon malzemesinin yanması	Uzun süreli elektrik kesintisi, ekstrüder içinde uzun süre beklemesi, makine arızası	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi, plastiğin yanması	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
Motanın, ekstrüdere plastik vermemesi	Otomatik tartım cihazının (motan) arızası, elektriksel ve mekaniksel etkiler	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastik kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi	Üretim esnasındaki kontroller
Güç kaynaklarının yetersiz olması (elektrik, su, hava)	Güç kaynaklarında yaşanan kesintiler, kompresör, su pompası, trafo arızaları	Üretimin durması, yekpare uzunluğun bozulması	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması	Üretim esnasındaki kontroller
İzolede spark açıklıklarının bulunması	Plastiğin nemli veya bozuk olması, plastik içinde yabancı madde olması, sıcaklık set değerlerinin hatalı olması, rezistans arızaları, plastiğin ekst. içinde yanması, izolenin havuz veya asansörde çizilmesi yanlış katalizör seçimi veya yüksek katalizör oranı, motan karışımının hatalı olması, bükülü bakır yüzeyindeki problemler (damar atlaması-bakır yüzeyinin çizik olması)	Kısa devre	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması, kullanım esnasında kısa devre	Spark test ve yüksek gerilim kontrolü
Çap kontrol mekanizmasının devre dışı kalması	Çap ölçerin, devre dışı kalması	İzole incilmesi veya kalınlaşması, spark açıklığı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, aşırı kalın izoleli ürünün tesisata döşenmesi esnasında problemler, ince izoleli üründe akım atlaması veya kısa devre	Üretim esnasındaki kontroller
Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	Cihaz arızası, kurutucu çalışmadığında veya yetersiz kaldığında cihazın içine su girmesi	Spark açıklığının kontrol dışı kalması, kısa devre	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması, kullanım esnasında kısa devre	Üretim esnasındaki kontroller
Asansör, toplayıcı ve verici arızaları	Cihaz arızası	Sarım bozukluğu, izole bölünmesi, izolenin zarar görmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, kullanım esnasında kısa devre	Üretim esnasındaki kontroller
İzolasyon takımlarının (ayna, nipel) aşınmış olması	Operatörün gerekli kontrolleri yapmaması	Yüzey bozukluğu, çap hatası, sente arızası	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Yüzey kontrolünün yapılmaması	Operatörün gerekli kontrolleri yapmaması	İzoledeki sürtme, çizik vb. hataların gözden kaçması	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller

DOLGU EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama veya üretim bölümü tarafından yapılan iş emrinin hatalı olması	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu, plastik, sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	Üretim bölümü tarafından formun hazırlanma esnasındaki dikkatsizlik, gerekli dokümanların dikkate alınmaması	Ekstrüzyonda yüzey, uzama, mukavemet, fiziksel ve kimyasal deneylerde olumsuz sonuçlar	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	Operatörün dikkatsizliği	Üretim yanlış yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün performansı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	Operatörün dikkatsizliği, üretim formlarının yanlış hazırlanması	Hatalı üretim, zaman ve üretim kaybı, sente, çap ve yapışma problemleri	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Takımların yeterli bakımlarının yapılmaması	Operatörün, gerekli kontrolleri yapmaması	Bükümde sürtme, çizik, dolgu ve yüzey bozukluğu, sente kaçıklığı	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
	Makine rezistanslarının arızalı olması	Cihazın, periyodik bakımlarının yapılmaması	Plastiğin yanması, yüzey bozukluğu, plastiğin kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Toplayıcı ve vericilerin arızalı olması	Cihaz arızası, cihazın periyodik bakımlarının yapılmaması	Sarım bozukluğu, dolgu bölünmesi, dolgunun zarar görmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması, kablunun bölünmesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Boya makinesinin arızalı olması	Cihaz arızası, cihazın periyodik bakımlarının yapılmaması	Yarı mamulde renk dalgalanması, rensiz olması	Ürün teslimatının gecikmesi, dolgu rengindeki müşteri memnuniyetsizliği ve şikâyetler	Üretim esnasındaki kontroller
	Dolguda açık olması	Plastiğin nemli veya bozuk olması, plastiğin içinde yabancı madde olması, sıcaklık set değerlerinin hatalı olması, rezistans arızaları, plastiğin ekst. içinde yanması, motan arızası	Yarı mamulün zırh aşamasına geçememesi	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması, kablunun bölünmesi, kısa devre	Üretim esnasındaki kontroller
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Hatalı üretim, uzama, mukavemet, yanma özelliği problemleri	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	Operatör tarafından hatalı takımın seçilmesi, kafa terazisinin ayarlanmamış olmaması, operatörün gerekli kontrolleri yapmaması	Minimum et kalınlığının sağlanamaması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, minimum et kalınlığı sağlanamazsa üründe akım atlaması veya kısa devre	Başlangıç ve ara kontroller	
KILIF EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama veya üretim bölümü tarafından yapılan iş emrinin hatalı olması	Hatalı üretim, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, ürün ile ilgili kılıf izolasyonu, et kalınlığı, plastik, makara ile ilgili şikâyetler	Başlangıç ve ara kontroller
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	Üretim bölümü tarafından formun hazırlanma esnasındaki dikkatsizlik, gerekli dokümanların dikkate alınmaması	Ekstrüzyonda yüzey, uzama, mukavemet, fiziksel ve kimyasal deneylerde olumsuz sonuçlar	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu, ürün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller

Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	Operatörün dikkatsizliği	Hatalı üretim, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün performansı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Bir sonraki üretim aşamasındaki kontroller
Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	Operatörün dikkatsizliği, üretim formunun yanlış hazırlanması	Hatalı üretim, zaman kaybı, sente, çap, yapışma problemleri	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Kılıf malzemesinin nemli olması	Depolama şartlarının yetersiz ve uygunsuz olması, ambalajın hasarlı olması, havayla temas etmesi	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastiğin kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve açıklık ile ilgili şikâyetler, kısa devre, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Kılıf malzemesi kutusunun içine yabancı madde girmesi	Ambalajın yırtık olması, havayla temas etmesi, stok ömrünü tamamlamış olması	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastiğin kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve açıklık ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Boya malzemesinin bozuk olması	Ambalajın yırtık olması, havayla temas etmesi	Yüzey pürüzlülüğü, spark açıklığı, plastiğin kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu, ürün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Rezistanların arızalı olması	Cihaz arızası, cihazın periyodik bakımlarının yapılmaması	Plastiğin yanması, yüzey bozukluğu, plastiğin kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
Takımların, operatör tarafından kontrol edilmemesi	Operatörün dikkatsizliği, gerekli kontrolleri yapmaması	Kılıfta sürtme, çizik, yüzey bozukluğu, sente kaçıklığı	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve sente kaçıklığı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Boyamanın dalgalı olması	Boya makinesindeki arızalar	Kılıfın soyulması, üretimin yeniden yapılması	Ürün teslimatının gecikmesi, kılıf rengindeki müşteri memnuniyetsizliği ve şikâyetler	Başlangıç ve ara kontroller
Verici ve toplayıcılardaki hatalar	Verici ve toplayıcıdaki arızalar	Sarım bozukluğu, kılıf bölünmesi, kılıfın zarar görmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması, kablunun bölünmesi	Üretim esnasındaki kontroller
Kablunun yanması	Elektrik kesintileri	Kablunun kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, müşterinin istediği ürün boyunu sağlayamaması, kablunun bölünmesi	Üretim esnasındaki kontroller
Sarım öncesi tahta makara hazırlığının yetersiz yapılması veya hiç yapılmaması	Toplayıcıdaki operatörün dikkatsizliği	Alt uç çıkması, kablo yüzeyinin yanaklara sürtmesi sonucu yırtılması	Ürün teslimatının gecikmesi, kablunun kesilmesi, kablo boyunun azalması, kablo yırtılması, ürünün iadesi	Son kontroller
Zırh tellerinin birbirinin üstüne binmesi	Zırhlama esnasında zırh tellerinin sert olması, makine arızası	Tel şişliği	Ürün teslimatının gecikmesi, kılıfın yırtılması, kablunun kesilmesi, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	Operatör tarafından hatalı takımın seçilmesi, kafa terazisinin ayarlanmamış olmaması, operatörün gerekli kontrolleri yapmaması	Minimum et kalınlığının sağlanamaması	Ürün teslimatının gecikmesi, minimum et kalınlığı sağlanmadığında akım atlaması, ürünün iadesi	Başlangıç ve ara kontroller
Katerpil kayış renginin yanlış seçimi	Operatörün dikkatsizliği	Kablo yüzeyinde iz	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller

	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Hatalı üretim, uzama, mukavemet, yanma özelliği problemleri	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ile ilgili şikâyetler, fiziksel şartlara dayanımın azalması	Üretim esnasındaki kontroller
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	Cihaz arızası, kurutucu çalışmadığında veya yetersiz kaldığında cihazın içine su girmesi	Spark açıklığının kontrol dışı kalması, kısa devre	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve açıklık ile ilgili şikâyetler, kısa devre, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Spark cihazının uygulamaya alınmaması	Operatörün dikkatsizliği	Spark açıklığının kontrol dışı kalması, kısa devre	Ürün teslimatının gecikmesi, yüzey bozukluğu ve açıklık ile ilgili şikâyetler, kısa devre, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Markalama diskinin hatalı olması	İş emrinin hatalı hazırlanması, markalama diskinin hatalı yazılması, operatör tarafından yanlış diskin takılması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, yanlış tesisat	Gözle kontrol
TEL BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama bölümünün tasarımları, doğru olarak programa işlememesi	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, direnç, çap, kesit, büküm yönü ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
	Büküm yönünün yanlış seçilmesi	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Bakırın bir sonraki aşamaya geçememesi, izole bükümde bakırın dağılması	Ürün teslimatının gecikmesi, bakır bükümün dağılması, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
	Bakır büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Büküm sıklığı veya gevşekliği, direncin yüksek çıkması	Müşteride görünüm ile ilgili şikâyetler, direnç problemleri	Hatve kontrolü
	Vericilerin hava ayarının yapılmaması	Makine arızası, operatörün dikkatsizliği	Direncin yüksek çıkması	Ürün teslimatının gecikmesi, elektrik akımını iletme ve kablunun ısınması problemleri	Direnç ve çap kontrolü
	Kaynağın, doğru veya sağlam yapılmaması	Kaynak yapımındaki eğitimsizlik, kaynak makinesi arızası	Kaynaklı bölümün kopması, kablunun kesilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, kopuk olduğunda elektrik iletiminin kesilmesi	Kopukluk ve gerilim kontrolü
	Yanlış haddenin takılması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Çap, direnç problemleri	Elektrik akımını iletme, kablunun ısınması, direnç, çap ve kesit problemleri	Direnç ve çap kontrolü
	Mika bandın hasarlı/arızalı olması	Tedarikçinin üretim faaliyetlerinin yetersizliği	Mika sarımında dağılmalar ve kopmalar, izole aşamasında açıklıklar ve tıkanmalar	Ürün teslimatının gecikmesi, izole yüzeyinde sorunlar, şişkinlikler	Üretim esnasındaki kontroller
	Mika bandın yanlış seçilmesi	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, görünüm ile ilgili şikâyetler, yangına direnç yeteneğinin düşmesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Mika bandın bindirme oranının ayarlanmaması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Mika bant üzerinde yığılma veya seyreklik, izolede yüzey problemi	Ürün teslimatının gecikmesi, görünüm ile ilgili şikâyetler, yangına direnç yeteneğinin düşmesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Mika bandın kopması	Verici arızası, mika bandın kalitesi	Üretimde zaman kaybı, bantın çok parçalı olması	Ürün teslimatının gecikmesi, mika bandın kopması, yangına direnç yeteneğinin düşmesi	Üretim esnasındaki kontroller
	Bükülü bakırın kopması	Verici, toplayıcı arızaları	Üretimde zaman kaybı, bakırın kaynaklı olması	Ürün teslimatının gecikmesi, kabloda kopmaların yaşanması ve elektrik iletiminin kesilmesi	Kopukluk ve gerilim kontrolü

	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, direnç, çap, kesit, büküm yönü ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
İZOLE BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama bölümünün tasarımları, doğru olarak programa işlememesi	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, zaman ve üretim kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, direnç, çap, kesit, büküm yönü ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
	Büküm esnasında izolelerin ezilmesi	Makine arızası, operatörün dikkatsizliği	Kısa devre, hasarlı bölge kesileceği için boy kaybı, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ezilen kısımda kısa devre, yangın tehlikesi, ürünün iadesi	Gerilim ve kopukluk kontrolü
	Hatvesinin yanlış ayarlanması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Büküm sıklığı veya gevşekliliği, dolgu yüzeyinde dalgalanmalar	Ürün teslimatının gecikmesi, görünüm, direnç ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Hatve kontrolü
	Damar atlamalarının olması	Büküm aparatının kullanılmaması	Dolgu esnasında nipele takılma, yüzey bozukluğu, nipele sürtmesinden dolayı kısa devre	Ürün teslimatının gecikmesi, görünüm, dolgu açıklığı, kısa devre ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Üretim esnasındaki kontroller, gerilim kontrolü
	Damar sıralamasının yanlış yapılması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Yarı mamulün dolgu safhasına alınmaması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Büküm başlangıç ve ara kontroller
	Makaronun iyi yapılmaması	Operatörün dikkatsizliği	Kısa devre, hasarlı bölge kesileceğinden boy kaybı, zaman kaybı, kopukluk	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, kopma ile ilgili şikâyetler, kısa devre	Gerilim ve kopukluk kontrolü
	Makine gerginliğinin ayarlanmaması	Makine arızası, operatörün dikkatsizliği	Direncin yüksek çıkması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, direnç ve kablonun ısınması ile ilgili şikâyetler	Direnç ve çap kontrolü
	Büküm esnasında, yüzey kontrolünün yapılmaması	Aparat kullanılmaması, makine arızaları	Yüzeyde çizilmeler, açıklık ve kopmalar nedeniyle metre kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, kısa devre, ürün boyunun kısalması	Üretim esnasındaki kontroller, gerilim kontrolü
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, üretim ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, direnç, çap, kesit, büküm yönü ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
ZIRH BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlama bölümünün tasarımları, doğru olarak programa işlememesi	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, üretim ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, direnç, çap, kesit, büküm yönü ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
	Zırh büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Büküm sıklığı veya gevşekliliği, kılıf yüzeyinde dalgalanmalar	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm, zırh, direnç ile ilgili şikâyetler	Hatve kontrolü
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimde her türlü hata olasılığı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün performansı ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Son kontroller
	Verici sepete yüklenen zırh tellerinin iş emrindeki belirtilen çapta olmaması	Operatörün dikkatsizliği	Zırh direncinin yüksek çıkması, zırh yüzeyinde problemler	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, zırh direnci ile ilgili şikâyetler	Zırh direnci kontrolü
	Vericiye yüklenen sepetlerdeki bazı zırh tellerinin etiket bilgilerinin yanlış olması	Operatörün dikkatsizliği, etiket hatası, girdi kontrol hatası	Zırh direncinin yüksek çıkması, zırh yüzeyinde problemler	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, zırh direnci ile ilgili şikâyetler	Zırh direnci kontrolü

	Zırh tellerinin kopması	Telin kaynaklı olması, telin sert olması veya aşırı gerginlik, verici sepetindeki zırhta tellerin karışıp düğüm olması	Üretim kaybı, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, kaynak ve lehim hatalarının dolguya zarar vermesi, kısa devre	Üretim esnasındaki kontroller, uzama ve mukavemet kontrolleri
	Zırh teli kaynaklarının, teknik olarak doğru ve sağlam yapılmaması	Operatörün dikkatsizliği, kaynak makinesi arızası	Üretim kaybı, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, kılıfın yırtılması, kısa devre	Üretim esnasındaki kontroller
	Dolgu çapının kalın olarak üretilmesi	Operatörün dikkatsizliği, çap ölçer arızası	Fazla miktarda tel kullanımı, kablunun son çapının standartlardan yüksek olması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, kablunun kalın ve ağır olması nedeniyle montajında problemler	Çap kontrolü
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, direnç, çap, kesit, büküm yönü ile ilgili şikâyetler, ürünün iadesi	Direnç ve çap kontrolü
İZOLE SOĞUTMA / DOLGU SOĞUTMA / KILIF SOĞUTMA	Soğutma suyunun sıcaklığının yüksek olması	Soğutma kulesindeki fan arızası	Kablunun soğutulmaması, makara sarımında yapışma problemi	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm ve yırtılma ile ilgili problemler	Gözle kontrol
	Havuz içindeki ruloların dönmemesi	Bakım kontrollerinin az olması, kireç önleyici malzeme kullanımının azaltılması	Havuz içindeki ruloların dönme kabiliyetini kaybetmesi, kablunun yüzeyinin bozulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm ve yırtılma ile ilgili problemler	Gözle kontrol
	Havuz içindeki kablo yüzeyinin bozulması	Su pompalarının arızalanması	Soğutma sisteminin devre dışı kalması, üretimin kesilmesi, sonraki aşamalarda açıklık problemi	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm ve yırtılma ile ilgili problemler	Gözle kontrol
	Havuzdaki su seviyelerinin kontrol edilmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Su lekesi, kablunun soğumadan sarımı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm ve yırtılma ile ilgili problemler	Gözle kontrol
	Havuz uzunluğunun (soğutma kanalının) yetersiz olması	Havuzun, % 100 soğutmaya uygun tasarlanmaması	Su lekesi, kablunun soğumadan sarımı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm ve yırtılma ile ilgili problemler	Gözle kontrol
KILIF MARKALAMA	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlamanın tasarımları, doğru olarak programa işlememesi	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, üretim ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, makara boyutu ile ilgili şikâyetler	Başlangıç ve son kontroller
	Markalama diskinin, kılıf yüzeyini ezmesi	Disklerin, yüksek basınçla yüzeye basması	Ezilen bölgenin et kalınlığının standardın altında olması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, görünüm ile ilgili problemler, kılıfın incilmesi, yırtılması, akım atlaması	Başlangıç ve son kontroller
	Metre atlamaının olması	Metraj cihazının arızalanması	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Üretim esnasında kontroller, son kontroller
	Markalama diskinin, kablunun üzerinden kayması	Operatörün dikkatsizliği	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, kesit ve tesisatın tam okunamaması, tesisat montajında problemler	Başlangıç ve son kontroller

	Operatörün yanlış diski kullanması	Operatörün dikkatsizliği, iş emri hatası	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, tesisat montajında problemler	Başlangıç ve son kontroller
	Markalama diskini üreten firmanın, markalama yazısını diske hatalı işlemesi	Tedarikçinin üretim faaliyetlerinin yetersizliği	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi, tesisat montajında problemler	Başlangıç ve son kontroller
	Operatörün yanlış markalama tipi uygulaması	Operatörün dikkatsizliği	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Başlangıç ve son kontroller
	Standarta uygun markalamanın yapılmaması	İş emri hatası, operatörün dikkatsizliği	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
	Kılıf renginin müşterinin isteğine uygun olmaması	Ral numarası farklılığı, yüzeyin tam renkle kapatılmamış olması, makine arızası	Kılıfın soyulması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
AMBALAJ, ETİKETLEME VE SEVKİYAT	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	Plânlamanın tasarımları, doğru olarak programa işlememesi	Üretim yanlış yönlendirilmesi, üretim ve zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, makara boyutu ile ilgili şikâyetler	Başlangıç ve son kontroller
	Siparişin sisteme yanlış girilmesi	Plânlama bölümünün siparişleri analiz etmemesi	Siparişin gecikmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
	Etiketlin yanlış hazırlanması	Kalite kontrol operatörünün dikkatsizliği, siparişin sisteme yanlış girilmesi	Etiketlin değiştirilmesi, sisteme girişin hatalı olması durumunda ürünün geri çağırılması	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
	Etiketlin, yanlış makaraya takılması	Kalite kontrol operatörünün dikkatsizliği	Etiketlin değiştirilmesi	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
	Müşteri logosunun makaraya yanlış vurulması	Kalite kontrol operatörünün dikkatsizliği	Logonun silinip, aynı işlemin tekrarlanması, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
	Kablo sarımının makaraya bozuk yapılması	Operatörün dikkatsizliği, gezdırge arızası	Kablonun tekrar sarılması, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, kablonun sarımının bozuk olduğu yerlerde kablonun düğüm olması, açılmaması, ürünün iadesi	Son kontroller
	Ürünün iş emrine uygun sevk makarasına sarılmaması veya uygun makaranın stoklarda kalmaması	Operatörün, plânlama ve satın alma bölümlerinin dikkatsizliği	Kablonun başka makaralara sarılması, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, sevkiyat esnasında kablonun zarar görmesi, ürünün iadesi	Son kontroller
	Yüklemenin uygun bir şekilde yapılmaması	Sevkiyat bölümünün dikkatsizliği	Sevkiyat yerleşim düzeninin tekrarlanması, zaman kaybı	Ürün teslimatının gecikmesi, nakliye aracında kablonun zarar görmesi, ürünün iadesi	Sevkiyat esnasındaki kontroller

Çizelge 3.26: Karar vericilerin ağırlıkları (3. Aşama)

	<i>Karar vericilere atanan ağırlıklar</i>
KV_1	% 20
KV_2	% 35
KV_3	% 25
KV_4	% 20

Çizelge 3.27: Risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları (3. Aşama)

<i>Risk Faktörleri</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
	$(w)^L$	$(w)^M$	$(w)^U$
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	0,12	0,18	0,30
<i>İçsel şiddet</i>	0,19	0,30	0,46
<i>Dışsal şiddet</i>	0,24	0,36	0,54
<i>Tespit edilememe</i>	0,10	0,16	0,25

3.5.2 Üretim Sürecindeki Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması

Her karar vericinin sözel terimler ile üretim süreci için belirlenen hata türlerini değerlendirmeleri, Ek 15'te verilmiştir. Karar vericilerin subjektif değerlendirmeleri, karar vericilere atanan ağırlıklar ile işleme alınmıştır. Bu aşamadaki hata türlerinin risk faktörleri bazındaki bulanık değerleri, Ek 16'da verilmiştir.

Hata türleri arasında risklerine göre sıralama yapabilmek bulanık RÖS değerleri elde edilmiş ve elde edilen bulanık RÖS değerleri, kesin değere çevrilmiş ve Çizelge 3.28 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.28: Üretim süreçlerine ait hata türlerinin bulanık RÖS değerleri

	HATA TÜRLERİ	(BRÖS) $_{\alpha=0}^L$	(BRÖS) $_{\alpha=1}^M$	(BRÖS) $_{\alpha=0}^U$	Bulanık olmayan değer
TEL ÇEKME	Ürüne ilişkin bakır çapının yanlış seçilmesi	3,1610	5,5384	8,1189	5,5722
	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,5371	5,9901	8,2096	5,9511
	Bakırın inceltilmesi esnasında bakır telin kopması	1,9342	3,2233	5,7535	3,4301
	Bakır telin, istenilen çap değerinden daha fazla inceltilmiş olması	2,4677	4,2346	7,1000	4,4177
	Tavlamanın, istenilen seviyede olmaması	2,8849	4,7937	6,8716	4,8219
	Bakırın yanması	2,8826	4,9205	7,5814	5,0243
	Telin oksitlenmesi	3,0771	5,3682	8,1539	5,4507
	Bakırın düzgün sarılmaması	2,2798	3,9157	6,5962	4,0898
	Bakırın darbe alması	3,0313	5,0921	7,4424	5,1404
	Tel çekme süreci ürün kartının hatalı hazırlanması	2,9344	5,0264	7,4947	5,0891
	Toplayıcıdaki veya vericideki bakır makaranın düşmesi	2,5700	4,4234	7,1157	4,5632
İZOLE EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,0334	5,2504	7,9781	5,3355
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	2,5708	4,2798	6,4857	4,3626
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	3,4308	5,9471	8,3012	5,9201
	Operatör tarafından, yanlış bakırın takılması	2,9233	5,0799	7,6347	5,1463
	Operatör tarafından, yanlış plastiğin seçilmesi	2,9722	5,2326	7,9542	5,3094
	Operatör tarafından, yanlış takımın seçimi	2,5421	4,2652	6,6108	4,3690
	İzolede kullanılacak plastiğin nemli olması veya içine yabancı madde girmesi	3,0833	5,1712	7,6653	5,2389
	Plastiğin bozulması	3,3946	5,5957	7,9701	5,6246
	Katalizörün veya boyanın bozuk olması	3,4349	5,6757	8,0317	5,6949
	Üretim formlarındaki ayar (set) değerlerinin ekstrüder makinesine doğru girilmemesi	3,1009	5,1330	7,4611	5,1824
	İstenilen set değerlerinin tutturulamaması	3,0353	5,1516	7,4880	5,1883
	Üretimin başlangıcında sente kaçıklığının olması	3,2133	5,3345	7,6293	5,3635
	Sisteme katalizör bilgilerinin eksik, yanlış veya hiç girilmemesi	3,1591	5,1971	7,5030	5,2418

	İzolasyon malzemesinin yanması	3,2427	5,4298	7,7268	5,4481
	Motanın, ekstrudere plastik vermemesi	2,5839	4,4158	7,1685	4,5693
	Güç kaynaklarının yetersiz olması (elektrik, su, hava)	2,8011	4,8240	7,5097	4,9345
	İzolede spark açıklarının bulunması	3,7856	6,3847	8,6581	6,3304
	Çap kontrol mekanizmasının devre dışı kalması	3,3977	5,7408	8,2392	5,7667
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	3,5758	5,9697	8,5395	5,9990
	Asansör, toplayıcı ve verici arızaları	3,4018	5,5896	7,9320	5,6153
	İzolasyon takımlarının (ayna, nipel) aşınmış olması	3,5332	5,8897	8,2491	5,8902
	Yüzey kontrolünün yapılmaması	3,4546	5,8276	8,2739	5,8398
DOLGU EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,3168	5,6238	8,0760	5,6480
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	2,6411	4,2618	6,5804	4,3781
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	3,4688	5,7892	8,1254	5,7919
	Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	2,8380	4,8676	7,1435	4,9086
	Takımların yeterli bakımlarının yapılmaması	3,1903	5,4559	7,9518	5,4943
	Makine rezistanlarının arızalı olması	2,8061	4,7817	6,9720	4,8175
	Toplayıcı ve vericilerin arızalı olması	2,4893	4,3154	6,7856	4,4228
	Boya makinesinin arızalı olması	2,4910	4,2721	6,6220	4,3669
	Dolguda açık olması	3,5587	6,0418	8,3804	6,0177
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	3,1365	5,4625	8,0655	5,5086
	Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	3,4893	5,8726	8,2962	5,8793
KILIF EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,4312	5,8873	8,4115	5,8987
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	3,2136	5,3522	7,6393	5,3769
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	3,4164	5,7904	8,1482	5,7877
	Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	2,9515	5,0023	7,2580	5,0364
	Kılıf malzemesinin nemli olması	3,0698	5,4712	8,1238	5,5131
	Kılıf malzemesinin kutusunun içine yabancı madde girmesi	3,2514	5,4233	7,8092	5,4590
	Boya malzemesinin bozuk olması	2,9559	5,0093	7,4216	5,0691
	Rezistanların arızalı olması	3,3228	5,6232	8,0809	5,6494

	Takımların, operatör tarafından kontrol edilmemesi	3,4284	5,6249	8,0583	5,6644
	Boyamanın dalgalı olması	2,9630	5,1085	7,6148	5,1686
	Verici ve toplayıcı hatalarının olması	2,9046	5,0013	7,8022	5,1187
	Kablunun yanması	3,8344	6,3554	8,3595	6,2692
	Sarım öncesi tahta makara hazırlığının yetersiz yapılması veya hiç yapılmaması	3,3241	5,3860	7,4358	5,3840
	Zırh tellerinin birbirinin üstüne binmesi	4,2508	6,5450	8,6167	6,5079
	Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	3,5808	6,0503	8,3311	6,0188
	Katerpil kayış renginin yanlış seçimi	2,5419	4,4083	6,6953	4,4784
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	3,6049	6,1233	8,3863	6,0807
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	3,6932	6,4708	8,7216	6,3830
	Spark cihazının uygulamaya alınmaması	3,0168	5,4005	7,9518	5,4285
	Markalama diskinin hatalı olması	4,1367	7,1463	9,0386	6,9601
TEL BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,8352	4,9042	7,3809	4,9722
	Büküm yönünün yanlış seçilmesi	2,7148	4,8477	7,7912	4,9828
	Bakır büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	3,2091	5,3699	7,5996	5,3814
	Vericilerin hava ayarının yapılmaması	3,3950	5,7829	8,3695	5,8160
	Kaynağın, doğru veya sağlam yapılmaması	4,2716	6,6293	8,3211	6,5183
	Yanlış haddenin takılması	2,5551	4,3750	7,1606	4,5359
	Mika bandın hasarlı/arızalı olması	2,7292	4,7927	7,5330	4,9055
	Mika bandın yanlış seçilmesi	3,4336	5,8381	8,3947	5,8634
	Mika bandın bindirme oranının ayarlanmaması	3,4736	5,6701	7,8656	5,6699
	Mika bandın kopması	3,6299	5,8043	8,0061	5,8089
	Bükülü bakırın kopması	3,5587	6,0418	8,3804	6,0177
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	3,1794	5,5063	6,4340	5,2731
İZOLE BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,1794	5,5063	8,2244	5,5715
	Büküm esnasında izolelerin ezilmesi	3,2346	5,5985	8,1621	5,6318
	Hatvesinin yanlış ayarlanması	2,7938	4,7053	6,9289	4,7573
	Damar atlamalarının olması	4,1816	7,0859	8,9899	6,9192
	Damar sıralamasının yanlış yapılması	3,2989	5,9009	8,4427	5,8909
	Makaronun iyi yapılmaması	3,8679	6,7046	8,8366	6,5872
	Makine gerginliğinin ayarlanmaması	3,1848	5,3623	7,8940	5,4214

	Büküm esnasında yüzey kontrolünün yapılmaması	4,1678	6,7181	8,6937	6,6223
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	3,4123	5,7834	8,2482	5,7991
ZIRH BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,0353	5,2931	8,1271	5,3891
	Zırh büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	2,9731	5,0113	7,2009	5,0365
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	4,1202	6,7356	8,8207	6,6472
	Verici sepete yüklenen çelik tellerin iş emrindeki belirtilen çapta olmaması	2,9541	5,0048	7,1937	5,0278
	Vericiye yüklenen sepetlerdeki bazı zırh tellerinin etiket bilgilerinin yanlış olması	2,8723	4,7512	7,2740	4,8585
	Zırh tellerinin kopması	2,8869	4,9744	7,5549	5,0566
	Zırh teli kaynaklarının, teknik olarak doğru ve sağlam yapılmaması	2,6923	4,5245	6,6585	4,5748
	Dolgu çapının kalın olarak üretilmesi	3,0081	4,9273	7,2529	4,9951
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	2,1162	3,3185	5,5706	3,4934
	İZOLE / DOLGU / KILIF SOĞUTMA	Soğutma suyunun sıcaklığının yüksek olması	3,3528	5,7076	8,2079
Havuz içindeki ruloların dönmemesi		4,0825	6,1731	8,2805	6,1759
Havuz içindeki kablo yüzeyinin bozulması		3,7289	6,0812	8,2656	6,0532
Havuzdaki su seviyelerinin kontrol edilmemesi		2,8642	5,0254	7,7663	5,1220
Havuz uzunluğunun (soğutma kanalının) yetersiz olması		3,0117	5,3914	7,9981	5,4292
KILIF MARKALAMA	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	3,6517	6,4347	8,6946	6,3475
	Markalama diskinin, kılıf yüzeyini ezmesi	3,4998	6,1233	8,5403	6,0889
	Metre atlamasının olması	4,1938	7,1171	9,0043	6,9444
	Markalama diskinin, kablonun üzerinden kayması	3,4715	6,0044	8,2161	5,9509
	Operatörün yanlış diski kullanması	3,2586	5,8136	8,3972	5,8184
	Markalama diskini üreten firmanın, markalama yazısını diske hatalı işlemesi	3,5830	6,1836	8,5566	6,1457
	Operatörün yanlış markalama tipi uygulaması	2,8391	5,1454	7,9645	5,2309
	Standarda uygun markalamanın yapılmaması	4,2742	6,7436	8,7068	6,6593
	Kılıf renginin müşterinin isteğine uygun olmaması	2,9865	5,1676	7,7423	5,2332

AMBALAJ, ETİKETLEME VE SEVKİYAT	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,9037	4,9511	7,4738	5,0303
	Siparişin sisteme yanlış girilmesi	3,0301	5,3811	7,9877	5,4237
	Etiketlin yanlış hazırlanması	2,9586	5,2425	7,9185	5,3078
	Etiketlin, yanlış makaraya takılması	2,8120	4,9978	7,7796	5,0971
	Müşteri logosunun makaraya yanlış vurulması	2,8238	4,9719	7,3581	5,0116
	Kablo sarımının makaraya bozuk yapılması	3,3471	5,6661	7,8585	5,6450
	Ürünün iş emrine uygun sevk makarasına sarılmaması veya uygun makaranın stoklarda kalmaması	3,2037	5,5085	8,1417	5,5633
	Yüklemenin uygun bir şekilde yapılmaması	3,4681	6,0424	8,2524	5,9817

Yapılan hesaplamalar ile (Çizelge 3.28),

- *Tel çekmede*, ürüne ilişkin bakır çapının yanlış seçilmesi ve iş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması,
- *İzole ekstrüzyonda*, izolode spark açıklarının bulunması ve spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması,
- *Dolgu ekstrüzyonda*, dolguda açık olması,
- *Kılıf ekstrüzyonda*, markalama diskinin hatalı olması, zırh tellerinin birbirinin üzerine binmesi,
- *Tel bükmede*, kaynağın doğru veya sağlam yapılmaması,
- *İzole bükmede*, damar atlamalarının olması ve büküm esnasında yüzey kontrolünün yapılmaması,
- *Zırh bükmede* operatör tarafından bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması ve iş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması,
- *İzole, dolgu ve kılıf soğutmada*, havuz içindeki ruloların dönmemesi ve havuz içindeki kablunun yüzeyinin bozulması,
- *Kılıf markalamada*, metre atlamasının olması ve standarda uygun markalamanın yapılmaması,
- *Ambalaj, etiketleme ve sevkiyatta* ise, yüklemenin uygun bir şekilde yapılmaması en yüksek risk değerine sahip hata türleri olarak belirlenmiştir.

3.6 ÜRETİM MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

Bu aşamada, üçüncü aşamada oluşturulan üretim süreçleri, bu üretim süreçleri gerçekleştirilirken veya gerçekleştirildikten sonra yerine getirilmesi gereken kontrol faaliyetlerine dönüştürülmüştür. Bu aşamada oluşturulan matrisin satırlarında, bir önceki aşamadaki matrisin sütunlarında yer alan üretim süreçleri yer almıştır. Buna göre bu aşamadaki matrisin satırlarında şunlar yer almaktadır:

- Tel çekme,
- Ekstrüzyon (izole, dolgu ve kılıf),
- Bükme (tel, izole ve zırh),
- Soğutma (izole, dolgu ve kılıf),
- Kılıf markalama,

- Ambalaj, etiketleme ve sevkiyat.

Şekil 3.6'da verilen üretim matrisi satırlarının ağırlıkları olarak, 3. aşamada üretim süreçleri için hesaplanan ve Çizelge 3.24'te verilen ağırlık değerleri kullanılmıştır.

Matrisin sütunlarında ise, bu aşama için belirlenen üretim kontrolleri yer almıştır. Belirlenen bu üretim kontrolleri ve bu üretim kontrollerinin tanımları kısaca şu şekilde verilebilmektedir:

Direnç kontrolü: Kablo üretiminin her aşamasında iletken bakırın, standartta belirtilen aralıkta akımı iletme yeteneğinin ölçümüdür.

Çap kontrolü: Kablonun her aşamasında oluşan yeni çapın, standartta belirtilen çap aralığında olup olmadığının kontrolüdür.

Et kalınlığı kontrolü: Ekstrüzyonlarda uygulanması gereken et kalınlığının, standarda uygunluğunun kontrolüdür.

Yüzey kontrolü: Ekstrüzyonlarda uygulanan kablo süreçlerinde, yüzey kalitesinin kontrolüdür.

Gerilim ve kopukluk kontrolü: Kopukluk kontrolü, büküm aşaması ile birlikte ara süreçlerde meydana gelen iletkendeki kopmaların kontrolüdür. Gerilim kontrolü ise, iletkenler arasındaki kısa devre kontrolüdür.

Uzama ve mukavemet kontrolü: Uzama kontrolü, ekstrüzyonlarda kullanılan plastiğin elastisitesinin kontrolüdür. Mukavemet kontrolü ise, ekstrüzyonlarda kullanılan plastiğin mekanik darbelere karşı dayanımının ölçümüdür.

Metre ve markalama kontrolü: Kılıf ekstrüzyon aşamasında uygulanan markalamanın ve metrelemenin, müşteri isteği veya standarda uygunluğunun kontrolüdür.

Makara bilgileri kontrolü: Üretimi tamamlanmış kablonun kimlik bilgilerinin ve müşteri isteği olan makaranın kullanıp kullanılmadığının kontrolüdür.

Alev testleri: Tamamlanmış kabloya uygulanan yangına dayanıklılık testleridir.

Gerçekleştirilecek üretim kontrollerinin belirlenmesinin ardından daha önceki aşamalarda yapıldığı gibi oluşturulan matrisin satırları ile sütunları arasındaki ilişkiler ile sütunların kendi aralarındaki ilişkileri belirlenmiş ve Şekil 3.6'daki matrisin ilgili hücrelerindeki yerlerine aktarılmıştır. Bu ilişki değerleri yardımıyla, normalize edilmiş ilişki değerleri (Ek 17a – Ek 17b), üretim kontrolleri için bulanık ağırlıklar (Çizelge

3.29) hesaplanmıştır. Çizelge 3.29’da verilen üretim kontrollerinin bulanık ağırlıkları durulaştırılmış ve izelge 3.30’daki bulanık olmayan değerlere çevrilmiştir. Elde edilen bulanık olmayan bu değerler, Şekil 3.6’da üretim kontrollerinin ağırlığı bölümünde yerini almıştır.

	k_{AH}	<i>Direnç Kontrolü</i>	<i>Çap Kontrolü</i>	<i>Et Kalınlığı Kontrolü</i>	<i>Yüzey Kontrolü</i>	<i>Gerilim ve Kopukluk Kontrolü</i>	<i>Uzama ve Mukavemet Kontrolü</i>	<i>Metre ve Markalama Kontrolü</i>	<i>Makara Bilgileri Kontrolü</i>	<i>Alev Testleri</i>
<i>Tel çekme</i>	0,046	•	•		•	○	•		•	
<i>Ekstrüzyon</i>	<i>İzole</i>	0,126	•	•	•	•	•		•	
	<i>Dolgu</i>	0,120	Δ	○	•	•	○		•	
	<i>Kılıf</i>	0,092	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Soğutma</i>	<i>İzole</i>	0,036	Δ	○	○	•	○			
	<i>Dolgu</i>	0,102	Δ	○	○	•	○			
	<i>Kılıf</i>	0,101	Δ	○	○	•	○	•		Δ
<i>Bükme</i>	<i>Tel</i>	0,075	•	•		•	○	Δ	•	
	<i>İzole</i>	0,092	•	Δ	•	•	•	•	•	○
	<i>Zırh</i>	0,099	•	Δ		•	○	Δ	•	○
<i>Kılıf Markalama</i>	0,061	Δ		Δ	•			•	•	○
<i>Ambalaj, Etiketleme ve Sevk.</i>	0,051		•	•	•	•	•	•	•	
	W_{af}	0,112	0,153	0,139	0,184	0,053	0,151	0,041	0,122	0,046

Şekil 3.6: Üretim matrisi

Çizelge 3.29: Üretimin farklı α kesmelerinde bulanık ağırlıkları (4. Aşama)

α	<i>Direnç kontrolü</i>		<i>Çap kontrolü</i>		<i>Et kalınlığı kontrolü</i>		<i>Yüzey kontrolü</i>		<i>Gerilim ve kopukluk kontrolü</i>		<i>Uzama ve mukavemet kontrolü</i>		<i>Metre ve markalama kontrolü</i>		<i>Makara bilgileri kontrolü</i>		<i>Alev testleri</i>	
	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>U</i>
0	0,026	0,328	0,041	0,413	0,043	0,364	0,061	0,482	0,012	0,160	0,038	0,414	0,015	0,111	0,041	0,317	0,009	0,139
0,2	0,036	0,267	0,056	0,347	0,056	0,308	0,077	0,406	0,016	0,128	0,053	0,348	0,018	0,091	0,052	0,267	0,013	0,111
0,4	0,049	0,215	0,074	0,288	0,072	0,257	0,097	0,339	0,022	0,102	0,071	0,288	0,022	0,075	0,065	0,223	0,019	0,089
0,6	0,064	0,172	0,096	0,237	0,091	0,213	0,122	0,280	0,029	0,081	0,093	0,235	0,028	0,061	0,081	0,184	0,025	0,070
0,8	0,083	0,137	0,122	0,192	0,114	0,175	0,151	0,230	0,038	0,064	0,119	0,190	0,034	0,050	0,101	0,152	0,033	0,055
1	0,107	0,107	0,154	0,154	0,142	0,142	0,187	0,187	0,050	0,050	0,152	0,152	0,041	0,041	0,124	0,124	0,043	0,043

Çizelge 3.30: Üretimin bulanık olmayan ağırlıkları (4. Aşama)

	<i>Bulanık olmayan değerler</i>	<i>Normalize edilmiş değerler</i>
<i>Direnç kontrolü</i>	0,131	0,112
<i>Çap kontrolü</i>	0,179	0,153
<i>Et kalınlığı kontrolü</i>	0,163	0,139
<i>Yüzey kontrolü</i>	0,215	0,184
<i>Gerilim ve kopukluk kontrolü</i>	0,062	0,053
<i>Uzama ve mukavemet</i>	0,177	0,151
<i>Metre ve markalama kontrolü</i>	0,048	0,041
<i>Makara bilgileri kontrolü</i>	0,142	0,122
<i>Alev testleri</i>	0,053	0,046
Toplam	1,169	1,000

Yapılan hesaplamalar sonucunda üretim kontrolleri arasında en yüksek ağırlığa sahip kontrol, yüzey kontrolü ve çap kontrolü olarak bulunmuştur. Metre ve markalama kontrolü ise, en düşük ağırlığa sahip kontrol olarak belirlenmiştir.

3.6.1 Üretimdeki Hata Türlerinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde üretim esnasında ve sonrasında yapılan kontrollerde karşılaşılabilecek hata türleri, hata türlerinin nedenleri, içsel şiddetleri, dışsal şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri belirlenmiş ve bu bilgiler Çizelge 3.31’de verilmiştir.

4. aşama için çalışmaya katılan karar vericilere atanan ağırlıklar, bu aşamada yine değiştirilmiş ve kalite kontrol bölümünde görev yapmakta olan karar vericilerin ağırlıkları yükseltilmiştir. Bu aşamada kullanılan ağırlıklar, Çizelge 3.32’de verilmiştir. Bu ağırlıklar ve Çizelge 3.14a - 3.14d’ de verilen ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla 4. aşamadaki hata türlerini değerlendirme esnasında, risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları, Çizelge 3.33’teki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 3.31: Üretim için belirlenen hata türlerinin nedenleri, şiddetleri ve tespit edilebilme yöntemleri

	<i>Hata Türleri</i>	<i>Hatanın Nedenleri</i>	<i>Hatanın İçsel Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Dışsal Şiddetleri</i>	<i>Hatanın Tespit Yöntemleri</i>
DİRENÇ KONTROLÜ	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	Kalite kontrol bölümünde çalışanların dikkatsizliği	Doğru ölçüm yapılmaması, cihazın doğru ölçüm yapıp yapmadığının tespit edilememesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	Ortam şartları, cihaza bakırın doğru takılmaması	Direncin yanlış ölçülmesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Numunenin, ölçüm için ortam şartlarında bekletilmemesi	Hızlı üretim şartları, operatörün dikkatsizliği	Direncin yanlış ölçülmesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Ölçüm şartlarının kontrolü
	Cihazın köprü doğrulamasının yapılmaması	Köprü aralığına ilişkin doğruluğun sağlanamaması	Direncin yanlış ölçülmesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Ölçüm şartlarının kontrolü
	Cihazın bağlantılarının doğru bir şekilde yapılmaması	Teknik arıza, operatörün dikkatsizliği	Direncin yanlış ölçülmesi, cihazın çalışmaması, iletkenin bir sonraki sürece geçememesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Cihaz kontrolü, kalibrasyon, doğrulama
	Operatörün, numuneyi cihaza doğru bir şekilde yerleştirmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Direncin yanlış ölçülmesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, cihazın parametrelere ilişkin set değerlerini göstergeden takip etmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Direncin yanlış ölçülmesi	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, okuduğu direnç değerini kayıt formlarına yanlış yazması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, izlenebilirliğin doğru bir şekilde sağlanamaması	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, imalât direnç çizelgesindeki değeri yanlış okuması ve numune için uygun olmayan değeri kabul etmesi	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, izlenebilirliğin doğru bir şekilde sağlanamaması	Direnç problemleri, kablo iletkeninde ısınma problemleri, iletken performansında düşüş, müşteri şikâyetleri	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
ÇAP KONTROLÜ	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	Kalite kontrol bölümünde çalışanların dikkatsizliği	Doğru ölçüm yapılmaması, cihazın doğru ölçüm yapıp yapmadığının tespit edilememesi	Yanlış çap değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ve et kalınlığına ilişkin şikâyetler	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	Cihazın fiziksel darbe alması, cihazın arızalanması	Çap incelenmesi, çap kalınlıklarının ölçülememesi	Yanlış çap değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ve et kalınlığına ilişkin şikâyetler	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün ölçüm şeklinin, olması gerekenden farklı olması	Operatörün dikkatsizliği	Çap kontrolünün, doğru bir şekilde yapılamaması	Yanlış çap değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ve et kalınlığına ilişkin şikâyetler	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma

	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, izlenebilirliğin doğru bir şekilde sağlanamaması	Yanlış çap değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ve et kalınlığına ilişkin şikâyetler	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Çap kontrolünde operatörün, numunede seçim noktasını yanlış belirlemesi	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, izlenebilirliğin doğru bir şekilde sağlanamaması	Yanlış çap değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ve et kalınlığına ilişkin şikâyetler	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
ET KALINLIĞI KONTROLÜ	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	Kalite kontrol bölümünde çalışanların dikkatsizliği	Doğru ölçüm yapılmaması, cihazın doğru ölçüm yapıp yapmadığının tespit edilememesi	Yanlış et kalınlığı değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ilişkin şikâyetler, elektrik atlaması	Diğer cihazlarla kontrol edilmesi
	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	Cihazın fiziksel darbe alması, cihazın arızalanması	Et kalınlığındaki incelenin veya kalınlışmanın ölçülememesi	Yanlış et kalınlığı değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ilişkin şikâyetler, elektrik atlaması	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, okuduğu et kalınlığı değerini kayıt formlarına yanlış yazması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, izlenebilirliğin doğru bir şekilde sağlanamaması	Yanlış et kalınlığı değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ilişkin şikâyetler, izolasyonda yırtılma, elektrik atlaması	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, izlenebilirliğin doğru bir şekilde sağlanamaması	Yanlış et kalınlığı değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ilişkin şikâyetler, izolasyonda yırtılma, elektrik atlaması	Kabul edilmeyen ölçümlerin tekrar kontrolü, dış çap kontrolleri
	Operatörün, et kalınlığı ölçüm noktasını yanlış seçmesi	Cihazın netlik (focus) ayarının yapılmaması	Et kalınlığını net görememesi ve yanlış ölçüm yapılması	Yanlış et kalınlığı değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ilişkin şikâyetler, izolasyonda yırtılma, elektrik atlaması	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, ölçüm esnasında yapması gereken sıfırlama ayarını yapmaması/yanlış yerde yapması	Operatörün dikkatsizliği	Doğru ve net ölçümün yapılamaması	Yanlış et kalınlığı değerli ürünün gitmesi durumunda ürünün iadesi, dirence ilişkin şikâyetler, izolasyonda yırtılma, elektrik atlaması	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
YÜZEY KONTROLÜ	Yüzeydeki problemlerin (sivilcelenmeler, çukurluk, renkte matlaşma vb.) kontrol operatörünün gözünden kaçması	Operatörün dikkatsizliği	Hatalı yarı mamulün veya mamulün bir sonraki aşamaya geçmesi	Kablunun görünüşüne ilişkin şikâyetler, izolasyonda açıklık, elektrik atlaması	Ara kontroller
	Operatörün, yüzeydeki problemi gördüğü halde inisiyatif kullanarak problemi önemsememesi	Operatörün dikkatsizliği	Hatalı yarı mamulün veya mamulün bir sonraki aşamaya geçmesi	Kablunun görünüşüne ilişkin şikâyetler, izolasyonda açıklık, elektrik atlaması	Ara kontroller
	Operatörün, problemlili yüzeyi sarımsın altında kaldığı için görememesi	Üretimde hatanın fark edilmemesi, operatörün dikkatsizliği	Hatalı yarı mamulün veya mamulün bir sonraki aşamaya geçmesi	Kablunun görünüşüne ilişkin şikâyetler, izolasyonda açıklık, elektrik atlaması	Ara kontroller
GERİLİM VE KOPUKLUK KONTROLÜ	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	Kalite kontrol bölümünde çalışanların dikkatsizliği	Kısa devreli, kopuk ürünün tespit edilememesi, hatalı bölgenin yerinin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, elektrik kaçakları	Gerilim kontrolleri
	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	Ortam şartları, cihazın aldığı fiziksel darbeler, cihaz arızası	Kısa devreli, kopuk ürünün tespit edilememesi, hatalı bölgenin yerinin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, elektrik kaçakları	Gerilim kontrolleri

	Operatörün, gerekli emniyet tedbirlerini almaması	Operatörün dikkatsizliği	Ölümcül güvenlik hatalarının yaşanması, iş kazaları, güvenlik sorunları	Kablunun elektriksel olarak zarar görmesi, ürünün iadesi	Gerilim kontrolleri
	Operatörün, gerilim uygulayacağı kabloya yanlış voltaj değeri vermesi	Operatörün dikkatsizliği	Yüksek gerilimin kabloyu yakması ve elektrik atlamalarının olması	Kablunun elektriksel olarak zarar görmesi, ürünün iadesi	Gerilim kontrolleri
	Operatörün, gerilim esnasında beklenmesi gereken süreye uymaması	Operatörün dikkatsizliği	Kısa devrenin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, kısa devre, tesisatın sökülmesi gibi hasarlar	Gerilim kontrolleri
	Operatörün, her damara gerilim vermemesi	Operatörün dikkatsizliği	Kısa devrenin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, kısa devre, tesisatın sökülmesi gibi hasarlar	Gerilim kontrolleri
	Operatörün, bağlantı kablolarını kontrol etmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Kısa devrenin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, kısa devre, tesisatın sökülmesi gibi hasarlar	Gerilim kontrolleri
	Operatörün, ölçme esnasında bağlantıları yanlış yapması	Operatörün dikkatsizliği	Kısa devrenin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, kısa devre, tesisatın sökülmesi gibi hasarlar	Gerilim kontrolleri
	Operatörün, kablo uçlarını bağlamamış olması	Operatörün dikkatsizliği	Kısa devrenin tespit edilememesi	Elektrik iletiminde ciddi sorunlar, kısa devre, tesisatın sökülmesi gibi hasarlar	Gerilim kontrolleri
UZAMA VE MUKAVEMET KONTROLÜ	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	Kalite kontrol bölümünde çalışanların dikkatsizliği	Üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	Ortam şartları, cihazın aldığı fiziksel darbeler, cihaz arızası	Üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Cihazın ekstansiyometre ayarının kontrol edilmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Cihazın hız doğrulamasının yapılmaması	Operatörün dikkatsizliği	Üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Ölçüm sonucunu etkileyecek giriş parametrelerinin (et kalınlığı, çap, ağırlık, yoğunluk vb.), cihaza hatalı girilmesi	Operatörün dikkatsizliği	Üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Cihazın çenelerinin test esnasında numuneyi tam kavramaması	Operatörün dikkatsizliği	Üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, üründe kullanılan plastiklerin fiziksel özelliklerinin tespit edilememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma

	Operatörün, okuduğu uzama ve mukavemet değerini kayıt formlarına yanlış yazması	Operatörün dikkatsizliği	Üretimin yanlış yönlendirilmesi, plastiklerin fiziksel özelliklerinin belirlenememesi	Kılıfta yırtılmalar, açıklıklar, kırılmalar, kısa devre	Başka bir cihazın sonucuyla karşılaştırma
METRE VE MARKALAMA KONTROLÜ	Kablo üzerindeki markalama hatasının, operatörün gözünden kaçması	Operatörün dikkatsizliği	Kılıfın soyulması	Siparişin gecikmesi, ürünün iadesi	Gözle kontrol
	Markalama ve metrenin silik yazılması	Operatörün dikkatsizliği	Net metrajın okunamaması, kabloya ilişkin standardın ve kesitin belirlenememesi, kılıfın soyulması	Siparişin gecikmesi, ürünün iadesi	Gözle kontrol
	Metre ve markalamanın hatalı okunması	Operatörün dikkatsizliği	Kılıfın soyulması, farklı boyda üretim sevkinin gerçekleştirilmesi	Siparişin gecikmesi, ürünün iadesi	Gözle kontrol
MAKARA BİLGİLERİ KONTROLÜ	Isıl işleme tabi olmayan makaranın kullanılması	Satın alma ve girdi kontrol bölümünde çalışanlarının dikkatsizliği	Makaranın, uygun makaraya aktarılması	Siparişin gecikmesi, ürünün iadesi	Gözle kontrol (mühür kontrolü)
	Makaranın yapısında bozuklukların olması	Satın alma ve girdi kontrol bölümünde çalışanlarının dikkatsizliği	Makaranın, uygun makaraya aktarılması	Siparişin gecikmesi, ürünün iadesi	Gözle kontrol
	Operatörün, makaranın üzerine yanlış şablon vurması	Operatörün dikkatsizliği	Makara numarasının hatalı verilmesi, yanlış sevkیات	Siparişin gecikmesi, ürünün iadesi	Gözle kontrol, makara giriş kontrolü, sevkیات kontrolü
ALEV TESTLERİ	Testlerin, standardına uygun (talimatlara) bir şekilde yapılmaması	Kalite kontrol bölümde çalışanların dikkatsizliği	Ürünün yangın davranışının doğru tespit edilememesi	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının, kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller
	Test ekipmanlarının, kalibrasyonlarının veya doğrulamalarının yapılmaması	Kalite kontrol bölümde çalışanların dikkatsizliği	Ürünün yangın davranışının doğru tespit edilememesi	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının, kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller
	Test esnasında güvenlik önlemlerinin kontrol edilmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Ölümcül ve ciddi iş kazaları	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller
	Merdiven testinde, numune sayısının hatalı hesaplanması	Operatörün dikkatsizliği	Ürünün yangın davranışının doğru tespit edilememesi	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının, kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller
	Alev altında akımı iletme testinde, bağlantı noktalarının hatalı yapılması	Operatörün dikkatsizliği	Ürünün yangın davranışının doğru tespit edilememesi	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının, kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller
	Alev sıcaklığının, istenilen seviyede olmaması	Ortam şartları, ekipman yetersizliği	Ürünün yangın davranışının doğru tespit edilememesi	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının, kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller
	Alevin, kablo yüzeyine doğrudan temas etmemesi	Operatörün dikkatsizliği	Ürünün yangın davranışının doğru tespit edilememesi	Müşteri isteği olan yangına dayanım şartlarının, kabloda mevcut olmaması	Test hazırlığındaki ve test esnasındaki kontroller

Çizelge 3.32: Karar vericilerin ağırlıkları (4. Aşama)

	<i>Karar vericilere atanan ağırlıklar</i>
KV_1	% 30
KV_2	% 10
KV_3	% 35
KV_4	% 25

Çizelge 3.33: Risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları (4. Aşama)

<i>Risk faktörleri</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
	$(w)^L$	$(w)^M$	$(w)^U$
<i>Ortaya çıkma sıklığı</i>	0,11	0,19	0,31
<i>İçsel şiddet</i>	0,19	0,30	0,48
<i>Dışsal şiddet</i>	0,22	0,34	0,52
<i>Tespit edilememe</i>	0,11	0,17	0,27

3.6.2 Üretimdeki Hata Türlerinin Değerlendirilmesi ve Risklerine Göre Sıralanması

Karar vericiler, Çizelge 3.31’de verilen hata türlerini, sözel terimler ile değerlendirmiş ve Ek 18 oluşturulmuştur. Karar vericilerin subjektif değerlendirmeleri, karar vericilere atanan ağırlıklar ile işleme alınmıştır. Bu şekilde üretim kontrollerindeki hata türlerinin risk faktörleri bazındaki bulanık değerleri, Ek 19’da verilmiştir.

Hata türleri arasında risklerine göre sıralama yapabilmek için elde edilen değerler ile bulanık RÖS değerleri hesaplanmış, hesaplanan bu değerler, kesin değere çevrilmiş ve Çizelge 3.34 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.34: Üretim için belirlenen hata türlerinin bulanık RÖS değerleri (4. Aşama)

	<i>HATA TÜRLERİ</i>	$(BRÖS)_{\alpha=0}^L$	$(BRÖS)_{\alpha=1}$	$(BRÖS)_{\alpha=0}^U$	<i>Bulanık olmayan değer</i>
DİRENÇ KONTROLÜ	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	2,1016	3,7897	7,0562	4,0528
	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	3,0839	5,3989	8,0398	5,4532
	Numunenin, ölçüm için ortam şartlarında bekletilmemesi	2,4535	4,3293	7,0013	4,4620
	Cihazın köprü doğrulamasının yapılmaması	2,1396	3,6510	6,2451	3,8314
	Cihazın bağlantılarının doğru bir şekilde yapılmaması	1,9826	3,2085	5,5074	3,3873
	Operatörün, numuneyi cihaza doğru bir şekilde yerleştirmemesi	2,1663	3,6444	5,9942	3,7897
	Operatörün, cihazın parametrelere ilişkin set değerlerini göstergeden takip etmemesi	3,0855	5,3704	7,7796	5,3911
	Operatörün, okuduğu direnç değerini kayıt formlarına yanlış yazması	2,9098	5,0239	7,5512	5,0927
	Operatörün, imalât direnç çizelgesindeki değeri yanlış okuması ve numune için uygun olmayan değeri kabul etmesi	3,3485	5,8703	8,3947	5,8707
ÇAP KONTROLÜ	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	2,1151	3,8137	6,9741	4,0573
	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	2,2116	3,9674	6,9880	4,1782
	Operatörün ölçüm şeklinin olması gerekenden farklı olması	2,7294	4,8033	7,4164	4,8932
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	3,0554	5,4227	8,0631	5,4682
	Çap kontrolünde operatörün, numunede seçim noktasını yanlış belirlemesi	3,1724	5,3356	7,5951	5,3516
ET KALINLIĞI KONTROLÜ	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	2,1795	3,9295	7,1700	4,1779
	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	2,3584	4,1124	6,9109	4,2865
	Operatörün, okuduğu et kalınlığı değerini kayıt formlarına yanlış yazması	2,6398	4,6358	7,2943	4,7462
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	2,7172	4,7717	7,4955	4,8832
	Operatörün, et kalınlığı ölçüm noktasını yanlış seçmesi	2,3018	4,0723	6,6042	4,1992

	Operatörün, ölçüm esnasında yapması gereken sıfırlama ayarını yapmaması/yanlış yerde yapması	2,5161	4,2030	6,8565	4,3641
YÜZEY KONTROLÜ	Yüzeydeki problemlerin (sivilcelenmeler, çukurluk, renkte matlaşma vb.) kontrol operatörünün gözünden kaçması	2,8579	5,0108	7,5451	5,0744
	Operatörün, yüzeydeki problemi gördüğü halde inisiyatif kullanarak problemi önemsememesi	2,9459	5,0622	7,5572	5,1253
	Operatörün, problemlili yüzeyi sarımın altında kaldığı için görememesi	4,5367	6,8285	8,9236	6,7957
GERİLİM VE KOPUKLUK KONTROLÜ	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	2,2899	4,1724	7,6103	4,4317
	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	2,5249	4,6191	7,9114	4,8188
	Operatörün, gerekli emniyet tedbirlerini almaması	1,6718	2,7123	6,0952	3,1027
	Operatörün, gerilim uygulayacağı kabloya yanlış voltaj değeri vermesi	4,0767	6,7734	8,9218	6,6820
	Operatörün, gerilim esnasında beklenmesi gereken süreye uymaması	3,5626	5,8177	8,0462	5,8133
	Operatörün, herhangi bir damara gerilim vermemesi	4,0767	6,9240	9,0521	6,8042
	Operatörün, bağlantı kablolarını kontrol etmemesi	4,0350	6,7376	8,9263	6,6519
	Operatörün, ölçme esnasında bağlantıları yanlış yapması	4,0257	6,9164	9,0866	6,7963
	Operatörün, kablo uçlarını bağlamamış olması	3,9717	6,8668	9,1021	6,7568
UZAMA VE MUKAVEMET KONTROLÜ	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	1,9138	3,4387	6,9483	3,7695
	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	2,4334	4,3619	7,3950	4,5460
	Cihazın ekstansiyometre ayarının kontrol edilmemesi	2,5378	4,2423	6,9428	4,4083
	Cihazın hız doğrulamasının yapılmaması	2,6174	4,5768	7,1442	4,6781
	Ölçüm sonucunu etkileyecek giriş parametrelerinin (et kalınlığı, çap, ağırlık, yoğunluk vb.), cihaza hatalı girilmesi	3,1299	5,5234	8,2805	5,5840
	Cihazın çenelerinin test esnasında numuneyi tam kavramaması	2,6398	4,6358	7,2943	4,7462
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	2,5956	4,5709	7,3177	4,6994
	Operatörün, okuduğu uzama ve mukavemet değerini kayıt formlarına yanlış yazması	2,1466	3,7080	6,5745	3,9255

METRE VE MARKALAMA KONTROLÜ	Kablo üzerindeki markalama hatasının, operatörün gözünden kaçması	3,8659	6,5765	8,8269	6,4998
	Markalama ve metrenin silik yazılması	4,0431	6,7511	8,8596	6,6511
	Metre ve markalamanın hatalı okunması	4,0540	6,8709	8,9263	6,7440
MAKARA BİLG. KONT.	Isıl işleme tabi olmayan makaranın kullanılması	2,2041	3,6499	5,9080	3,7853
	Makaranın yapısında bozuklukların olması	3,1963	5,5124	8,1116	5,5596
	Operatörün, makaranın üzerine yanlış şablon vurması	2,5746	4,2789	6,5300	4,3700
ALEV TESTLERİ	Testlerin, standardına uygun (talimatlara) bir şekilde yapılmaması	2,7175	4,9160	7,7114	5,0155
	Test ekipmanlarının kalibrasyonlarının veya doğrulamalarının yapılmaması	2,0826	3,5923	6,7598	3,8686
	Test esnasında, güvenlik önlemlerinin kontrol edilmemesi	1,8371	3,0435	6,3237	3,3891
	Merdiven testinde, numune sayısının hatalı hesaplanması	2,4179	4,4035	7,6179	4,6083
	Alev altında akımı iletme testinde, bağlantı noktalarının hatalı yapılması	1,7955	2,8725	5,4461	3,1220
	Alev sıcaklığının, istenilen seviyede olmaması	2,9844	5,1987	7,6860	5,2442
	Alevin, kablo yüzeyine doğrudan temas etmemesi	3,2769	5,8838	8,4825	5,8824

Yapılan hesaplamalar ile (Çizelge 3.34),

- *Direnç kontrolünde*, operatörün, imalât direnç çizelgesindeki değeri yanlış okuması ve numune için uygun olmayan değeri kabul etmesi ve direnci ölçen cihazın periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi,
- *Çap kontrolünde*, operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması ve çap kontrolünde operatörün numunede seçim noktasını yanlış belirlemesi,
- *Et kalınlığı kontrolünde*, operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması ve operatörün, okuduğu et kalınlığı değerini kayıt formlarına yanlış yazması,
- *Yüzey kontrolünde*, operatörün problemlı yüzeyi sarımın altında kaldığı için görememesi,
- *Gerilim ve kopukluk kontrolünde*, operatörün herhangi bir damara gerilim vermemesi ve operatörün ölçme esnasında bağlantıları yanlış yapması,
- *Uzama ve mukavemet kontrolünde*, ölçüm sonucunu etkileyecek giriş parametrelerinin (et kalınlığı, çap, ağırlık, yoğunluk vb.) cihaza hatalı girilmesi,
- *Metre ve markalama kontrolünde*, metre ve markalamanın hatalı okunması,
- *Makara bilgileri kontrolünde*, makaranın yapısında bozuklukların olması,
- *Alev testlerinde* ise, alevin kablo yüzeyine doğrudan temas etmemesi ve alev sıcaklığının istenilen seviyede olmaması risk değerleri en yüksek hata türleri olarak belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde rekabet ortamında işletmeler, oldukça değişken ve belirsiz bir çevre içinde faaliyet göstermeye çalışmaktadır. İşletmelerin bu faaliyetleri esnasında kalite ve kaliteye ilişkin tüm kavramlar, işletmeler için olmazsa olmaz araçlar haline gelmiştir.

İşletmeler için kalite kavramının gündeme gelmesi, ürün henüz tasarım veya geliştirme aşamasında iken, müşteri istek ve ihtiyaçlarının tam olarak anlaşılmasına denk düşmektedir. Bu ihtiyaçların anlaşılmasından sonraki adım, işletmelerin bu istekler doğrultusunda kaliteyi geliştirmesi ve koruması için sistematik çalışmalar yapmasıdır. Bu çalışmalarda işletmeler, ürüne ilişkin üretim süreçleri, teknoloji yeterlilikleri, kapasiteleri vb. bilgileri değerlendirmektedir.

İşletmeler bu faaliyetlerini sürdürürken insandan, makineden, sistemden vb. nedenlerden kaynaklanan hatalar ile karşılaşmaktadır. İşletmeler için önemli olan karşılaşılabilecek hataları önceden tahmin ederek, bu hataların çıkmasını önlemek veya bu hatalar ortaya çıktığında bunları kontrol eden yöntemler veya düzeltici tedbirler uygulayabilmektir. Bu nedenle, artık işletmeler için güvenilir ürünler üretebilmek, sadece işletmelerin üretim esnasında güvenilirlik ve güvenilirliğe ilişkin iyileştirme uygulamaları ile kalmayıp aynı zamanda ürün geliştirme sürecinin erken aşamalarında bu konu üzerine eğilmelerini gerektirmektedir.

Ürün geliştirme sürecinin erken aşamalarında hata ve hataya ilişkin kavramlar ile ilgilenirken, benzer ürünlerde ortaya çıkan hatalar, hata oranları, mühendislik analizleri, uzmanların görüşleri gibi birçok niceliksel ve niteliksel veri ile işlem yapılması gerekmektedir. Çoğu işletmede bu bilgiler, tam olarak bulunmamakta, bulunsa dahi işletmenin veri tabanlarında tutulmamaktadır. Ayrıca, kullanılması gereken bu kadar bilginin özellikle, niteliksel verilerin bir arada kullanılması, klâsik yöntemlerle mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, güvenilirlik ve risk analizlerinde, karar vericilerin subjektif değerlendirmelerinde ve belirsiz bilgiyi işlemede bulanık mantık yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu çalışmada da ürün geliştirme süreci, ilk olarak bulanık KFG ile başlatılmıştır. Çalışmada bir müşteri isteğinden yola çıkılmış ve işletme için bu ürün, müşteri istekleri doğrultusunda geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu ürünün geliştirilebilmesi için öncelikle üründe bulunması gereken temel tasarım

gereklilikleri, ürünün parçaları, bu parçaları oluşturulan üretim süreçleri ve üretim süreçlerinin başından sonuna kadar yerine getirilmesi gereken kontrol faaliyetleri belirlenmiştir. Bu belirlemeler, sistematik bir şekilde KFG yöntemi ile yapılmıştır. KFG uygulamalarına, müşteri isteklerinden başlanmış ve her bir isteğin ağırlığının birbirinden farklı olduğu düşünülerek Buckley (1985) tarafından önerilen bulanık AHS yöntemi kullanılmıştır. Bulanık AHS ile müşteri isteklerinin bulanık ağırlıkları bulunmuş ve bulunan bu ağırlıklar, bulanık KFG uygulamalarında kullanılabilmesi için bulanık olmayan ağırlıklara çevrilmiştir. Bu şekilde başlangıç verisinin elde edilmesinin ardından, KFG’de her belirleme için matrisler oluşturulmuş ve bu matrislerde satırlar ile sütunlar arası ilişkiler ve sütunların kendi aralarındaki ilişkileri, işletme içinden oluşturulan KFG takımı tarafından belirlenmiştir. Bu belirlemeler esnasında günlük dildeki sözcükler kullanılmış ve bu sözcüklere, bulanık sayılar atanmıştır. Gerekli işlemler yapılmış ve her matriste işletmenin dikkatini yoğunlaştırması gereken ürün veya üretime ilişkin faktörler sıralanmıştır. Böylelikle, ürün geliştirme esnasında nitel ve nicel veriler birlikte değerlendirilmekle kalınmamış aynı zamanda her birinin ağırlığı belirlenerek işletme için ürün geliştirmede adım adım hem plânlama yapılmış hem de karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Bulanık KFG’de adım adım oluşturulan her ürün ve üretim kalemi için bulanık HTEA uygulanmıştır. HTEA çalışmaları için oluşturulan takım, farklı bölümlerden gelen karar vericilerden oluşturulmuştur. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, yani değerlendirme aşamalarında karar vericilerin bilgi ve deneyimleri arasındaki farkları ortaya koyabilmek amacıyla her bir karar vericiye, kesin sayı şeklinde ağırlık atanmıştır. Karar vericilerin her değerlendirmesi olduğu gibi değil, atanan ağırlığına göre işleme alınmıştır. Çalışmada karar vericilerin ağırlıkları, her aşamada değerlendirilen sürece göre bilgi ve deneyimlerini dikkate alarak değiştirilmiştir.

Bulanık HTEA’da oluşturulan takım ile geliştirilmeye çalışılan ürüne benzer ürünlerde daha önceki deneyimlerde ortaya çıkmış olan veya daha önce hiç ortaya çıkmamış ama ortaya çıkması muhtemel hata türleri belirlenmiştir. Bulunan bu hata türlerinin ortaya çıkma nedenleri, bu hata türlerinin ortaya çıktığında iç ve dış müşterilerin karşılaştığı durumlar ve bu hata türlerinin işletme içinde tespit edilebilme yöntemleri belirlenmiştir. Belirlenen bu hata türlerini değerlendirebilmek için kullanılan

yönteme uygun olarak sözel terimler ve bunlara karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar belirlenmiştir.

Hata türlerini risklerine göre değerlendirmek için hatanın ortaya çıkma sıklığı, hatanın içsel şiddeti, hatanın dışsal şiddeti ve hatanın tespit edilemeyebilirliği olmak üzere dört risk faktörü kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda HTEA'nın en büyük eksikliklerinden biri olarak risk faktörlerine eşit önem derecesi verilmesi belirtilmektedir. Bu çalışmada risk faktörlerine bulanık ağırlıklar atanarak, bu ağırlıkları kesin değer almak yerine, bunların bulanık şekilde olması, risk faktörlerinin ağırlıklarını bir aralık şeklinde ifade edilebilmesine yardımcı olmuştur. Bulanık ağırlık değerleri ise, risk faktörlerinin birbirleri ile kıyaslanması vasıtasıyla bulanık AHS yöntemi ile elde edilmiştir. Bu şekilde bir belirleme, uygulamaya katılan karar vericilerin kendi düşüncelerini göstermelerine olanak sağlamaktadır. Her karar vericinin ikili karşılaştırmaları kendi ağırlıkları oranında değerlendirmeye alınarak birleştirilmiş, bu düşüncelerin birleştirilmesi ile işletmenin genel tutumu yansıtılmıştır. Böylelikle risk faktörlerine atanan ağırlık değerleri, literatürde kullanılan değerlerden farklı olmakla kalmayıp aynı zamanda uygulama yapılan işletmenin hata ve hataya karşı tutumunu yansıtır bir şekilde değerlendirilmiştir.

Hata türlerinin risklerine göre sıralanabilmesi için karar vericilerden her biri, her hata türünü belirlenen sözel terimler yardımıyla belirlenen risk faktörlerine göre değerlendirmiştir. Karar vericilerin değerlendirmeleri, kendi ağırlıkları oranlarında değerlendirmeye alınarak hata türleri için bütünleştirilmiş bulanık değerler elde edilmiştir. Bulanık RÖS değerinin hesaplanması esnasında literatürde kabul gören risk faktörlerinin çarpımı kullanılmıştır. Ancak, daha önceden de belirtildiği gibi risk faktörlerinin ağırlıkları olduğu için bu çarpım, ağırlıklı çarpım haline gelmiştir. Bu anlamda, elde edilen bulanık değerler ve risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları kullanılarak her hata türünün bulanık RÖS değeri, Wang vd. (2009) tarafından önerilen bulanık ağırlıklı geometrik ortalama yöntemi ile hesaplanmıştır. Her hata türü için hesaplanan bulanık RÖS değeri, sıralamanın daha net bir şekilde yapılabilmesi için bulanık olmayan değere çevrilmiştir. Bu şekilde her hata türü, risklerine göre sıralanmıştır.

Bu çalışma ile HTEA'nın kablo sektöründe uygulanabilirliği gösterilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, işletmeye bildirilmiş ve çıkan sonuçlar, işletme

tarafından anlamlı bulunmuştur. İşletme bundan sonra her farklı ürün için, çıkabilecek diğer hata türlerini de ekleyerek yeni bir sıralama elde edebilecek ve üretim esnasında hazırlıklı olabilecektir. Yapılan çalışma, bir ürün için gerçekleştirilmesine rağmen sonuçlar güncellenerek, aynı özelliklerdeki ürün gruplarını da kapsayacak şekilde genellenebilmektedir.

Bu çalışma ile ortaya çıkabilecek hatalar, bunların nedenleri, etkileri ve tespit edilebilme yöntemleri kayıt altına alınmış ve işletmenin gelecek ürünlerinin veya süreçlerinin tasarımında ve gerçekleştirilmesinde önemli bilgiler sağlamıştır. Bu şekilde yapılan çalışma, ürün henüz hayata geçmeden işletmeye erken uyarı sistemi şeklinde görev yapmaktadır. Ayrıca, ürün geliştirme sürecinde belirsizlik, belirli hale getirilerek, henüz tasarım aşamasında hataya karşı alınan tutum, işletme için önkoşul yeteneği olarak düşünülmektedir. Böylelikle potansiyel hataların önceden belirlenmesi ve işletmenin önlemlerini alarak hem işletmenin kalite iyileştirme süreçlerine katkı sağlanmış hem de güvenilirlik çalışmalarının erken başlatılmasıyla zamandan ve maliyetlerden tasarruf elde edilmiş, oluşabilecek hata türlerinin iç ve dış müşteriye gitmemesi sağlanmıştır. Bu şekilde hem plânlama ve üretim esnasında hem de işletme dışında ortaya çıkabilecek belirsizliklerin yaratacağı olumsuz etkilerin, daha kabul edilebilir düzeye indirgenmesi sağlanmıştır. Bu yararların devamının sağlanması, işletme tarafından yapılan analizlerin veya değerlendirmelerin sürekli olmasına bağlıdır. Başka bir ifade ile başarı, ürün geliştirmede bir aşamadan diğer aşamaya hata tahminlerinin ve güncellemelerinin sürekli olmasını gerektirmektedir.

Çalışmada sözel terimlere atanan bulanık sayılar, işlem kolaylığı ve bu konuda yapılan çalışmalardaki yaygın kullanımı nedeniyle üçgensel bulanık sayı olarak alınmıştır. Sözel terimlere farklı şekillerde bulanık sayılar da atanabilmektedir. Ayrıca, hata türlerinin riskleri hesaplanırken işletmenin yapısına, amacına veya ihtiyacına uygun başka risk faktörleri eklenebilmektedir.

Bu çalışmada risk faktörlerine atanan bulanık ağırlıklar, bulanık AHS ile hesaplanmıştır. Bu konuda yapılacak çalışmalarda bu yöntem yerine diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri kullanılabilir. Ancak, kullanılacak yöntemin karar vericiler için anlaşılması kolay ve pratik bir şekilde olması önerilmektedir. Elde edilen risk faktörlerine atanan ağırlık değerleri değiştiğinde hata türlerinin sıralaması da değişecektir. Bu nedenle, risk faktörlerine atanan ağırlıklar da işletmenin hata, risk,

arıza vb. kavramlara olan tutumlarına göre değiştirilebilmektedir. Ayrıca, risklerine göre hata türlerini sıralamak için farklı yöntemler de kullanılabilir.

İşletmenin başarısı için bu çalışmada yapıldığı gibi kalite iyileştirme yöntemlerinin bir arada kullanması önerilmektedir. Yöntemlerin uygulanması esnasında oluşturulan takımdaki karar vericilerin sayısı arttırılabilmektedir. Bu şekilde bir arttırım sağlanması, işletme yönetiminin kalite ve kaliteye bakış açısına bağlı olmaktadır. Başka bir deyişle, diğer kalite çalışmalarında olduğu gibi yönetimin desteği gerekmektedir. Yönetime, bu şekildeki çalışmaların bir zaman kaybı değil, tam tersine işletmeye kısa ve uzun dönemde maliyet kaybını önleyici çalışmalar olduğu düşüncesinin yerleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, D., Ömürbek, N. ve Eroğlu, A. H. (2006) “Tam Zamanında Üretim Sisteminin Tekstil Sektöründeki Uygulama Boyutları”, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 21-40.
- Acar, M., Weber, M. ve Ayan, T. (2008) “Bulanık Çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi: Gürpınar Örneği”, *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, s. 98, ss. 28-35.
- Ahmad, R., Kamaruddin, S., Khan, Z. A., Mokthar, M. ve Almanar, I. P. (2006) “Implementation of Dust Control System Using Management and Planning Tools (MPT)”, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, c. 17, s. 4, ss. 390-408.
- Ahsen, A. (2008) “Cost-Oriented Failure Mode and Effects Analysis”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 25, s. 5, ss. 466-476.
- Akbaba, A. (2005) “Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG): Turizm İşletmeleri için KFG Temelli Bir Ürün Geliştirme Süreci Önerisi”, *Selçuk Üniversitesi Karaman İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 5, s.,2, ss. 38-59.
- Akın, B. (1998) *ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) (1. Basım)*, Bilim Teknik Yayınevi: İstanbul.
- Aksoy, E. ve Dinçmen, M. (2008) “Süreç Mükemmelliği İçin Bilginin Yönetilmesi: Bilgi Odaklı Altı Sigma”, *İTÜ Dergisi*, c. 7, s. 5, ss. 97-106.
- Almannai, B., Greenough, R. ve Kay, J. (2008) “A Decision Support Tool Based on QFD and FMEA for The Selection of Manufacturing Automation Technologies”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, c. 24, s. 4, ss. 501–507.
- Altaş, İ. (1999) “Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı”, *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, s. 62, ss. 80-85.
- Anderson, S. (2002) “Poka-Yoke: Mistake-Proofing as a Preventive Action”, *The Informed Outlook*, c. 7, s. 3, ss. 1-4.

- Andersson, R., Eriksson, H. ve Torstensson, H. (2006) “Similarities and Differences between TQM, Six Sigma and Lean”, *The TQM Magazine*, c. 18, s. 3, ss. 282-296.
- Antony, J. ve Banuelas, R. (2002) “Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program”, *Measuring Business Excellence*, c. 6, s. 4, ss. 20-27.
- Aran, G. (2006) *Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Osman Paşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Tokat.
- Arunajadai, S. G., Uder, S. J., Stone, R. B. ve Tumer, I. Y. (2004) “Failure Mode Identification through Clustering Analysis”, *Quality and Reliability Engineering International*, c. 20, s. 5, ss. 511–526.
- Atacak, İ. ve Bay, Ö. F. (2004) “Bulanık Mantık Denetimli Seri Aktif Güç Filtresi Kullanarak Harmonik Gerilimlerin Bastırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 205-215.
- Atmaca, E. ve Keskin, H. (2005) “Bursa İli Otomotiv Sektöründe TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi'nin Rekabetçi Avantajları”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 25-27 Kasım, ss. 209-214, İstanbul.
- Ay, M. (2003) *Kalite Fonksiyon Göçerimi ve Uygulama Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Denizli.
- Aydın, Keskin, G. ve Özkan, C. (2009) “An Alternative Evaluation of FMEA: Fuzzy ART Algorithm”, *Quality and Reliability Engineering International*, c. 25, s. 6, ss. 647-661.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004a) *Bulanık Mantık, İlke ve Temelleri*, Bıçaklar Kitabevi: Ankara.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004b) *Bulanık Mantık, Uzman Sistemler ve Denetleyiciler*, Bıçaklar Kitabevi: Ankara.
- Baykasoğlu, A., Dereli, T., Yılkırkan, N. ve Yılkırkan, A. (2003) “Hata Türü Ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Gaziantep'te Orta Ölçekli Bir Firmada Uygulanması”, *II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, 26-27 Ekim, ss.157-163, Konya.

- Baynal, K. ve Terzi, Ü. (2004) “Taguchi Yöntemi ve Bulanık Mantık Kullanılarak Üretim Parametrelerinin Eşzamanlı Eniyilenmesi”, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 14.Ulusal Kongresi*, 16-18 Haziran, ss.1-3, Adana.
- Baysal, M. E. ve Başkan, M. S. (1999) “Orta Ölçekli Bir İşletmede Hata Türü Ve Etkileri Analizi (FMEA) Uygulaması”, *Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, 14-15 Ekim, ss. 148-153, Konya.
- Baysal, M. E., Canıyılmaz, E. ve Eren, T. (2002) “Otomotiv Yan Sanayiinde Hata Türü ve Etkileri Analizi”, *Teknoloji*, c. 5, s. 1-2, ss. 83-90.
- Behara, R. S., Fontenot, G. F. ve Gresham, A. (1995) “Customer Satisfaction Measurement and Analysis using Six Sigma”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 12, s. 3, ss. 9-18.
- Bellman, R.E. ve Zadeh, L.A. (1977) “Local and Fuzzy Logics”, *Modern Uses of Multiple Valued Logic*, Der.: J.M. Dunn ve G.Epstein, ss.105-151, 158-165.
- Bendell, T., Penson, R. ve Carr, S. (1995) “The Quality Gurus – Their Approaches Described and Considered”, *Managing Service Quality*, c. 5, s. 6, ss. 44–48.
- Berenson, M. L. ve Levine, D. M. (1999) *Basic Business Statistics, Concepts and Applications*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Bevilacqua, M., Braglia, M. ve Gabbrielli, R. (2000) “Monte Carlo Simulation Approach for a Modified Fmeca in a Power Plant”, *Quality and Reliability Engineering International*, c. 16, s. 4, ss. 313–324.
- Bilgin, Ö. (2006) *Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Kocaeli.
- Bluvband, Z., Grabov, P. ve Nakar, O. (2004) “Expanded FMEA (EFMEA)”, *IEEE*, ss. 31-36.
- Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (1995) *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, World Scientific Publishing Company: Singapore.
- Bolat, Y. (2006) *Matlab-Simulink + Pıç Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı ve Gerçek Zamanlı Sıcaklık Kontrolü Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.

- Boran, S. (1996) *Hata Şekli ve Etkileri Analizinin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanğı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Bosch, V. G. ve Enriquez, F. T. (2005) “TQM and QFD: Exploiting a Customer Complaint Management System”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 22, s. 1, ss. 30-37.
- Bottani, E. ve Rizzi, A. (2006) “Strategic Management of Logistics Service: A Fuzzy QFD Approach”, *International Journal of Production Economics*, c. 103, s. 2, ss. 585–599.
- Bowen, E. K. ve Starr, M. K. (1994) *Basic Statistics for Business and Economics*, McGraw Hill (Literatür Yayıncılık): İstanbul.
- Bowles, J. B. (1998) “The New SAE FMECA Standard”, *Annual Reliability And Maintainability Symposium*, 19-22 January, ss. 48-53, Anaheim, California, USA.
- Braglia, M. (2000) “MAFMA: Multi-Attribute Failure Mode Analysis”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 17, s. 9, ss. 1017-1033.
- Braglia, M., Frosolini, M. ve Montanari, R. (2003a) “Fuzzy Criticality Assessment Model for Failure Modes and Effects Analysis”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 20, s. 4, ss. 503-524.
- Braglia, M., Frosolini, M. ve Montanari, R. (2003b) “Fuzzy TOPSIS Approach for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis”, *Quality and Reliability Engineering International*, c. 19, s. 5, ss. 425–443.
- Brahm, C. ve Kleiner, B. H. (1996) “Advantages and Disadvantages of Group Decisionmaking Approaches”, *Team Performance Management: An International Journal*, c. 2, s. 1, ss. 30-35.
- Breiling, A. J. ve Kunz, A. M. (2002) “Critical Consideration and Improvement of the FMEA”, *Fourth International Symposium of Tools and Methods of Competitive Engineering*, 22-26 April, ss. 519-530, Wuhan, China.
- Buckley, J. J. (1985) “Fuzzy Hierarchical Analysis”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 17, s. 3, ss. 233-247.

- Bukowski, L. ve Feliks, J. (2005) "Application of Fuzzy Sets in Evaluation of Failure Likelihood", *18th International Conference on Systems Engineering (ISCEng'05)*, 16-18 August, ss.170-175, Las Vegas, Nevada, USA.
- Bulgurcu, H. (1995) "Yapay Zeka ve Uygulama Alanları", *Standart*, <http://www.deneysan.com/dersnotlari/YIM07.pdf>
- Canıyılmaz, E. ve Kutay, F. (2003) "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 18, s. 3, ss. 51-63.
- Canpolat, R. (2008) *Hata Türü ve Etkileri Analizinde Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Sakarya.
- Cebeci, U. (2009) "Fuzzy AHP-Based Decision Support System for Selecting ERP Systems in Textile Industry by Using Balanced Scorecard", *Expert Systems with Applications*, c. 36, s. 5, ss. 8900–8909.
- Chan, L. K. ve Wu, M. L. (2005) "A Systematic Approach to Quality Function Deployment with a Full Illustrative Example", *Omega*, c. 33, s. 2, ss. 119 – 139.
- Chang, C. L., Wei, C. C. ve Lee, Y. H. (1999) "Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Method and Grey Theory", *Kybernetes*, c. 28, s. 9, ss. 1072-1080.
- Chang, D. Y. (1996) "Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, c. 95, s. 3, ss. 649-655.
- Charnes, A. ve Cooper, W. W. (1962) "Programming with Linear Fractional Functions", *Naval Research Logistics Quarterly*, s. 9, ss. 181–186.
- Chen, J. K. (2007) "Utility Priority Number Evaluation for FMEA", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, c. 7, s. 5, ss. 321–328.
- Chen, J. K. ve Lee, Y. C. (2007) "Risk Priority Evaluated by ANP in Failure Mode and Effects Analysis", <http://www.bm.nsysu.edu.tw/tutorial/iylu/12th%20ICIT>
- Chen, L. H ve Weng, M. C. (2003) "A Fuzzy for Exploiting Quality Function Deployment", *Mathematical and Computer Modelling*, c. 38, s. 5-6, ss. 559-570.

- Chen, L. H. (2005) “A Demerit Control Chart with Linguistic Weights”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, c. 16, s. 3, ss. 349–359.
- Chen, L. H. ve Ko, W. C. (2009a) “Fuzzy Linear Programming Models for New Product Design Using QFD with FMEA”, *Applied Mathematical Modelling*, c. 33, s. 2, ss. 633–647.
- Chen, L. H. ve Ko, W. C. (2009b) “Fuzzy Approaches to Quality Function Deployment for New Product Design”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 160, s. 18, ss. 2620-2639.
- Chen, L. H. ve Ko, W. C. (2010) “Fuzzy Linear Programming Models for NPD using a Four-Phase QFD Activity Process Based on the Means-End Chain Concept”, *European Journal of Operational Research*, c. 201, s. 2, ss. 619-632.
- Chen, S. C., Huang, J. M., Yang, C. C., Lin, W. T. ve Chen, R. J. (2007) “Failure Evaluation and the Establishment of an Improvement Model for Product Data Management Introduced to Enterprises”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 35, s. 1-2, ss. 195–209.
- Chen, Y., Fung, R. Y. K. ve Tang J. (2006) “Rating Technical Attributes in Fuzzy QFD by Integrating Fuzzy Weighted Average Method and Fuzzy Expected Value Operator”, *European Journal of Operational Research*, c. 174, s. 3, ss. 1553–1566.
- Cheng, C. H. (1996) “Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function”, *European Journal of Operational Research*, c. 96, s. 2, ss. 343-350.
- Chiao, K. P. (2000) “Direct Fuzzy Weighted Average Algorithm for Fuzzy Multiple Attributes Decision Making”, *Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences*, c. 16, s. 2, ss. 311-327.
- Chin, K. S., Chan, A. ve Yang, J. B. (2008) “Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 36, s. 7-8, ss. 633–649.
- Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. W. ve Yang, J. B. (2009) “Failure Mode and Effect Analysis Using a Group-Based Evidential Reasoning Approach”, *Computers and Operations Research*, c. 36, s. 6, ss. 1768-1779.
- Çağman, N. (2006) “Bulanık Mantık”, *Bilim ve Teknik*, s. 463, ss. 50-51.

- Çalışkan, G. (2006) “Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi”, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 5, s. 17, ss. 60-75.
- Çetin, C., Akın, B. ve Erol, V. (2001) *Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi (ISO 9000-2000 Revizyonu) İlke, Süreç, Uygulama (2. Basım)*, Beta Basım: İstanbul.
- Çiftçiabaşı, T. (2001) “Otomasyon, Otomatik Kontrol, Akıllı Kontrol, Bilimsel Tanımlamaları ve Uygulama Sınırlamaları”, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, s. 410, ss. 1-4.
- Çivitçioğlu Karakuş, D. (2001) *Kalite Fonksiyonları Geliştirme, Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Deneylerin Tasarımı Tekniklerinin Entegre Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Dale, B. ve Shaw, P. (1990) “Failure Mode and Effects Analysis in the UK Motor Industry: a State-of- the-Art Atudy”, *Quality and Reliability Engineering International*, c. 6, s. 3, ss. 179-188.
- Davie, J. L. (2008) *An Analysis of Risk Perception and the RPN Index within Failure Modes and Effects Analysis*, Yüksek Lisans Tezi, University at Buffalo, The State University of New York: Buffalo.
- Daya, M. B. ve Raouf, A. (1996) “A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 13, s. 1, ss. 43-47.
- Demirel, O. (1999) “Bulanık Mantık”, *Bilim ve Teknik*, s. 385, ss. 78-80.
- Devadasan, S. R., Muthu, S., Samson, R. N. ve Sankaran, R. A. (2003) “Design of Total Failure Mode and Effects Analysis Programme”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 20, s. 5, ss. 551-568.
- Doğan, Ö. İ. (2000) “Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 2, s. 1, <http://www.sbe.deu.edu.tr/dergi/>
- Doğan, S. ve Demiral, Ö. (2008) “İşletmelerde Stratejik Yönetimin Etkinliğini Artırmada Önemli Bir Araç: Benchmarking”, *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 4, s. 7, ss. 1-22.

- Doğu, E. ve Özgürel, B. (2008) “Kalite Fonksiyon Göçerimi İle Bireysel Emeklilik Sistemleri Pazarlayan Sigorta Şirketlerinin Teknik Özelliklerinin İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma”, *Dokuz Eylül Ün. İşletme Fakültesi Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 33-45.
- Dong, C. (2007) “Failure Mode and Effects Analysis Based on Fuzzy Utility Cost Estimation”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 24, s. 9, ss. 958-971.
- Dong, W. M. ve Wong, F. S. (1987) “Fuzzy Weighted Averages and Implementation of the Extension Principle”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 21, s. 2, ss. 183–199.
- Durakbaşı, M. N., Çavuşoğlu, İ. ve Osanna, H. (2008) “Altı Sigma: Üretim Proseslerinde Neredeyse Hatasız Üretimin Gerçekleştirildiği Kalite Girişimleri”, *II. Ulusal Kalite Fonksiyon Göçerimi Sempozyumu*, 19-21 Mart, ss.1-10, İzmir.
- Efendigil, T. (2008) *Müşteri Odaklı Sistemler İçin Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Çıkarım Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi Yaklaşımı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Eğrisöğüt Tiryaki, A. ve Kazan, R. (2007) “Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi”, *Mühendis ve Makine*, c. 48, s. 565, ss. 3-8.
- Eleren, A. (2007) “Eğitim Başarısının Artırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 1-25.
- Erdem, B. (2006) “İşletmelerde Yeni Bir Yönetim Yaklaşımı: Kıyaslama (Benchmarking) (Yazınsal Bir İnceleme)”, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 9, s. 15, ss. 65-98.
- Erdil, O., Keskin, H. ve Zehir, C. (2003) “Firma İç Kalite Bilgisi Kullanımı, İşören, Katılımı ve Tasarımda Kalite Yönetimi İle Ürün Performansı Arasındaki İlişkiler : Deneysel Bir Çalışma”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 43-54.
- Erginel, N. (2009) “Construction of a Fuzzy QFD Failure Matrix using a Fuzzy Multiple-Objective Decision Model”, *Journal of Engineering Design*, DOI: 10.1080/09544820902810261, ss.1-16.

- Eryürek, Ö. F. (2004) *Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminde Yeni Bir Karar Verme Modeli*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Eubanks, C. F. (1996) *A Framework for Computer Based Failure Modes and Effects Analysis of Mechanical Systems in the Conceptual Design Phase*, Doktora Tezi, The Ohio State University: Columbus.
- Fisher, M. (1999) "Process Improvement by Poka-Yoke", *Work Study*, c. 48, s. 7, ss. 264-266.
- Fonseca, D. J. ve Knapp, G. M. (2001) "A Fuzzy Scheme for Failure Mode Screening", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 121, s. 3, ss. 453-457.
- Garcia, P. A., Schirru, A. R. ve Melo, P. F. F. (2005) "A Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for FMEA", *Progress in Nuclear Energy*, c. 46, s. 3-4, ss. 359-373.
- Garvin, D. A. (1988) *Managing Quality, The Strategic and Competitive Edge*, The Free Press: New York.
- Gilchrist, W. (1993) "Modelling Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 10, s. 5, ss. 16-23.
- Gözlü, S. (1990) *Endüstriyel Kalite Kontrolü (1. Basım)*, Teknik Üniversite Matbaası: İstanbul.
- Guiffrida, A. L. ve Nagi R. (1998) "Fuzzy Set Theory Application in Production Management Research: a Literature Survey", *Journal of Intelligent Manufacturing*, c. 9, s. 1, ss. 39-56.
- Guh, Y. Y. (1998) "Fuzzy Weighted Average: The Linear Programming Approach via Charnes and Cooper's Rule", *Information and Management Sciences*, c. 9, s. 3, ss. 69-83.
- Guh, Y. Y., Hon, C. C. ve Lee, E. S. (2001) "Fuzzy Weighted Average: The Linear Programming Approach via Charnes and Cooper's Rule", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 117, s. 1, ss. 157-160.
- Guh, Y. Y., Hon, C. C., Wang, K. M ve Lee, E. S. (1996) "Fuzzy Weighted Average: A Max-Min Paired Elimination Method", *Computers and Mathematics with Applications*, c. 32, s. 8, ss. 115-123.

- Guimaraes, A. C. F. ve Lapa, C. M. F. (2004) “Fuzzy FMEA Applied to Pwr Chemical and Volume Control System”, *Progress in Nuclear Energy*, c. 44, s. 3, ss. 191-213.
- Guimaraes, A. C. F. ve Lapa, C. M. F. (2007) “Fuzzy Inference to Risk Assessment on Nuclear Engineering Systems”, *Applied Soft Computing*, c. 7, s. 1, ss. 17-28.
- Gunasekaran, A. ve Lyu, J. (1997) “Implementation of Just-In-Time in a Small Company: A Case Study”, *Production Planning and Control*, c. 8, s. 4, ss. 406-412.
- Guu, S. M. (2002) “Fuzzy Weighted Averages Revisited”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 126, s. 3, ss. 411-414.
- Gülbay, M. (2006) *Fuzzy Process Control and Development of Some Models for Fuzzy Control Charts*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Güllü, E. ve Ulçay, Y. (2002) “Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 71-91.
- Günden, C. ve Miran, B. (2008) “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Çiftçi Kararlarının Analizi”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 45, s. 3, ss. 195-204.
- Güngör, Z., Serhadlıoğlu G. ve Kesen S. E. (2009) “A Fuzzy AHP Approach to Personel Selection Problem”, *Applied Soft Computing*, c. 9, s. 2, ss. 641-646.
- Halis, M. (2000) *Paradigmadan Uygulamaya Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri, ISO 9002 Kalite Belgesi Çalışmaları (1. Basım)*, Beta Basım Yayım Dağıtım: İstanbul.
- Halis, M. (2008) *Toplam Kalite Yönetimi (2. Basım)*, Sakarya Yayıncılık: İstanbul.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2003) “Taguchi Metodu: Bir Uygulama”, *Teknoloji*, c. 6, s. 3-4, ss. 7-17.
- Harvey, L. (1997) “Quality Is Not Free!, Quality Monitoring Alone Will Not Improve Quality”, *Tertiary Education and Management*, c. 3, s. 2, ss. 133-143.
- Hauser, J. R. ve Clausing, D. (1988) “The House of Quality”, *Harvard Business Review*, ss. 63-73.

- Hawkins, P. G. ve Woollons, D. J. (1998) "Failure Mode and Effect Analysis of Complex Engineering Systems using Function Models", *Artificial Intelligence in Engineering*, c. 12, s. 4, ss. 375-397.
- Hsiao, S. W. (2002) "Concurrent Design Method for Developing a New Product", *International Journal of Industrial Ergonomics*, c. 29, s. 1, ss. 41-55.
- Hsieh T. Y., Lu S. T. ve Tzeng G. H. (2004) "Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings", *International Journal of Project Management*, c. 22, s. 7, ss. 573-584.
- Hsu, C. W., Hu, A. H. ve Wu, W. C. (2008) "Using FMEA and FAHP to Risk Evaluation of Green Components", *IEEE*, ss. 1-6.
- Hu, A. H., Hsu, C. W., Kuo, T. C. ve Wu, W. C. (2008) "Risk Evaluation of Green Components to Hazardous Substance using FMEA and FAHP", *Expert Systems with Applications*, c. 36, s. 3, ss. 7142-7147.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T. ve Mizutani, E. (1997) *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Kao, C. ve Liu, S. T. (2000) "Fuzzy Efficiency Measures in Data Envelopment Analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 113, s.3, ss. 427-437.
- Kao, C. ve Liu, S. T. (2001) "Fractional Programming Approach to Fuzzy Weighted Average", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 120, s.3, ss. 435-444.
- Kara-Zaitri, C. ve Fleming, P. V. (1992) "A Smart Failure Mode and Effect Analysis Package", *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 21-23 January, ss. 414- 421, Las Vegas, Nevada, USA.
- Kara-Zaitri, C., Keller, A. Z., Barody, I. ve Fleming, P. V. (1991) "An Improved FMEA Methodology", *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 29-31 January, ss. 248-252, Orlando, Florida, USA.
- Karsak, E. E. ve Özoğul, C. O. (2009) "An Integrated Decision Making Approach for ERP System Selection", *Expert Systems with Applications*, c. 36, s. 1, ss. 660-667.
- Kaufmann, A. ve Gupta, M. M. (1988) *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, Elsevier Science Publishers B.V.: Amsterdam.

- Khoo, L. P. ve Ho, N. C. (1996) "Framework of a Fuzzy Quality Function Deployment System", *International Journal of Production Research*, c. 34, s. 2, ss. 299-311.
- Koçel, T. (2005) *İşletme Yöneticiliği*, Arıkan Yayınları: İstanbul.
- Korayem, M. H. ve Iravani, A. (2008) "Improvement of 3P and 6R Mechanical Robots Reliability and Quality Applying FMEA and QFD Approaches", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, c. 24, s. 3, ss. 472-487.
- Kovancı, A. (2001) *Toplam Kalite Yönetimi Fakat Nasıl? (1. Basım)*, Sistem Yayıncılık: İstanbul.
- Krajewski, L. J. ve Ritzman, L. P. (1998) *Operations Management: Strategy and Analysis*, Addison Wesley: New York.
- Kumar, C. S. ve Panneerselvam, R. (2007) "Literature Review of JIT-KANBAN System", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 32, s. 3-4, ss. 393-408.
- Laarhoven, P. M. J. ve Pedrycz, W. (1983) "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 11, s. 1-3, ss. 199-227.
- Lee, D. H. ve Park, D. (1997) "An Efficient Algorithm for Fuzzy Weighted Average", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 87, s.1, ss. 39-45.
- Leung, L. ve Cao, D. (2000) "On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, c. 124, s. 1, ss. 102-113.
- Lin, M. C., Tsai, C. Y., Cheng, C. C. ve Chang C. A. (2004) "Using Fuzzy QFD for Design of Low-end Digital Camera", *International Journal of Applied Science and Engineering*, s. 2, 3, ss. 222-233.
- Liou, T. S. ve Wang, M. J. J. (1992) "Fuzzy Weighted Average: An Improved Algorithm", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 49, s. 3, ss. 307-315.
- Liu, F. ve Yang, M. (2009) "An Optimal Design Method for Simulation Verification, Validation and Accreditation Schemes", *Simulation*, c. 85, s. 6, ss. 375-386.
- Liu, H. T. (2009) "The Extension of Fuzzy QFD: from Product Planning to Part Deployment", *Expert System with Applications*, c. 36, s. 8, ss. 11131-11144.
- Lofaro, R. ve Subudhi, M. (1994) *The Effects of Age on Nuclear Power Plant Containment Cooling Systems*, NUREG/CR – 5939, BNL-NUREG-52345: (Washington DC) USA.

- Martinich, J. S. (1997) *Production and Operations Management: An Applied Modern Approach*, John Wiley&Sons Inc.: New York.
- Mendel, J. M. (2001) *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems, Introductions and New Directions*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Meziane, F., Vadera, S., Kobbacy, K. ve Proudlove, N. (2000) "Intelligent Systems in Manufacturing: Current Developments and Future Prospects", *Integrated Manufacturing Systems*, c. 11, s. 4, ss. 218-238.
- Mohammed, A. S. (2004) "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) – A Comprehensive Quality Tool", *the 2nd Seminar on Development of Modular Products*, 13-14 December, ss.1-6, Dalarna, Sweden.
- Montgomery, D. C. (1991) *Introduction to Statistical Quality Control (2. Basım)*, John Willey&Sons: New York.
- Musubeyli Erginel, N. (2004) "Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, c. 15, s. 3, ss. 17-26.
- Nabiyev, V. (2005) *Yapay Zeka, Problemler-Yöntemler-Algoritma (2. Basım)*, Seçkin Kitabevi: Ankara.
- Nahmias, S. (2005) *Production and Operations Analysis (5. Basım)*, McGraw-Hill: New York.
- Narayanagounder, S. ve Gurusami, K. (2009) "A New Approach for Prioritization of Failure Modes in Design FMEA using ANOVA", *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, c. 49, ss. 524-531.
- Nepal B. M., Yadav O. M., Monplaisir, L. ve Murat, A. (2008) "A Framework for Capturing and Analyzing the Failures due to System/Component Interactions", *Quality and Reliability Engineering International*, c. 24, s. 3, ss. 265–289.
- Newbold, P. (2001) *İşletme ve İstatistik için İstatistik (2. Basım)* (Çev. Ü. Şenesen), Literatür Yayıncılık: İstanbul.
- Öndemir, Ö. (2004) *Hata Türü ve Etkilerinin Bulanık Kümeler Yardımıyla Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.

- Öter, Z. ve Tütüncü, Ö. (2001) “Turizm İşletmelerinde Kalite Fonksiyon Göçerimi: Seyahat Acentelerine Yönelik Varsayımsal Bir Yaklaşım”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 3, s. 3, ss. 95-117.
- Öz, A. H. (2007) *Yük Helikopteri Seçiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Özcan, S. (2001) “İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinden Pareto Analizi ve Çimento Sanayiinde Bir Uygulama”, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 151-174.
- Özevren, M. (2000) *Toplam Kalite Yönetimi, Temel Kavramlar ve Uygulamalar (2. Basım)*, Alfa Yayınları: İstanbul.
- Özgörmüş, E., Mutlu, Ö. ve Güner, H. (2005) “Bulanık AHP İle Personel Seçimi”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 25-27 Kasım, ss.111-115, İstanbul.
- Özkan, M. (2003) *Bulanık Hedef Programlama*, Ekin Kitabevi: Bursa.
- Öztemel, E. (2003) *Yapay Sinir Ağları (1. Basım)*, Papatya Yayıncılık: İstanbul.
- Öztürk T. (2008) *Hata Türü ve Etkileri Analizi'nde Bulanık Mantık Kullanarak Bir Kamu Hastanesinin Satın Alma Sürecinin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Kocaeli.
- Öztürk, A., Arıkan, V. S. ve Öztürk, M. U. (2009) “Süreç İyileştirme Yöntemleri ve Yöneylem Araştırması”, *10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, 27-29 Mayıs, ss.1-10, Erzurum.
- Öztürk, V. ve Sönmez, C. (2004) “An Expert-Fuzzy Approach for Evaluation”, *4th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, 6-8 Eylül, ss. 579-588, Sakarya.
- Pandey, D., Tyagi, S. K. ve Kumar, V. (2009) “Failure Mode Screening Using Fuzzy Set Theory”, *International Mathematical Forum*, c. 4, s. 16, ss. 779-794.
- Pappis, C. P. ve Siettos, C. I. (2005) “Fuzzy Reasoning”, *Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*, Derl: E.K. Burke ve G. Kendall (Springer: New York), ss. 437-474.
- Park, T. ve Kim, K. J. (1998) “Determination of an Optimal Set of Design Requirements using House of Quality”, *Journal of Operations Management*, c. 16, s. 5, ss. 569–581.

- Pelaez, C. E. (1994) *A Fuzzy Cognitive Map Knowledge Representation for Performing Failure Mode and Effect Analysis*, Doktora Tezi, University of South Carolina: South Carolina.
- Pelaez, C. E. ve Bowles, J. B. (1994) "Using Fuzzy Logic For System Criticality Analysis", *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 24-27 January, ss. 449-455, Los Angeles, California, USA.
- Pelaez, C. E. ve Bowles, J. B. (1996) "Using Fuzzy Cognitive Maps as a System Model for Failure Modes and Effects Analysis", *Information Sciences*, c. 88, s. 1-4, ss. 177-199.
- Perfilieva, I. (2007) "Analytical Theory of Fuzzy IF-THEN Rules with Compositional Rule of Inference", *Fuzzy Logic, A Spectrum of Theoretical & Practical Issues*, Derl.: P.P. Wang, D. Ruan ve E.E. Kerre (Springer Verlag: Berlin-Heidelberg): ss.173-191.
- Pillay, A. ve Wang, J. (2003) "Modified Failure Mode and Effects Analysis using Approximate Reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, c. 79, s. 1, ss. 69-85.
- Puente, J., Pino, R., Priore, P. ve Fuente, D. (2002) "A Decision Support System for Applying Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 19, s. 2, ss. 137-150.
- Ran, H. C., Sun, L. H., Guo, Y. J. ve Zhang, J. F. (2006) "A Fuzzy Method for Risk Quantitative Analysis of System Failure", *The Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 13-16 August, ss.1702-1707, Dalian, China.
- Rhee, S. J. ve Ishii, K. (2003) "Using Cost Based FMEA to Enhance Reliability and Serviceability", *Advanced Engineering Informatics*, c. 17, s. 3-4, ss.179-188.
- Rivera, S.S ve Leod, J.E.N. (2009) "Recommendations Generated about a Discontinuous Distillation Plant of Biofuel", *World Congress on Engineering*, 1-3 July, London.
- Ross, J. E. (1999) *Total Quality Management, Text, Cases and Readings (3. Basım)*, St.Lucie Press: Boca Raton.

- Ross, T. J. (2004) *Fuzzy Logic with Engineering Applications (2. Basım)*, John Wiley & Sons: Chichester.
- Ruyter, K. (1996) "Focus versus Nominal Group Interviews: A Comparative Analysis", *Marketing Intelligence and Planning*, c. 14, s. 6, ss. 44–50.
- Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill: New York.
- Sachdeva, A., Kumar, D. ve Kumar, P. (2008) "A Methodology to Determine Maintenance Criticality Using AHP", *International Journal of Productivity and Quality Management*, c. 3, s. 4, ss. 396 – 412.
- Sağlam, G. (2007) *Hiyerarşik Bulanık Mantık PID Kontrolörleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Salaheldin, I. S. (2003) "The Implementation of TQM Strategy in Egypt: A Field Force Analysis", *TQM Magazine*, c. 15, s. 4, ss. 266-274.
- Sankar, N. R. ve Prabhu, B. S. (2001) "Modified Approach for Prioritization of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 18, s. 3, ss. 324-335.
- Saraç, O. (2005) "Benchmarking ve Stratejik Yönetim", *Sayıştay Dergisi*, s. 56, ss. 53-77.
- Sarı, M., Murat, Y. Ş. ve Kırabalı, M. (2005) "Bulanık Modelleme Yaklaşımı ve Uygulamaları", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 9, ss. 77-92.
- Sarıkaya, N. (2003) *Toplam Kalite Yönetimi (1. Basım)*, Sakarya Kitabevi: Adapazarı.
- Sarıkaya, N. ve Altunışık, R. (2004) "Kalite İyileştirme Faaliyetlerinin Algılanmasının İşletme Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ve Türkiye Uygulaması", *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 14. Ulusal Kongresi*, 16-18 Haziran, ss.1-3, Adana.
- Savaş, H. ve Ay, M. (2005) "Üniversite Kütüphanesi Tasarımında Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 80-98.
- Savaş, O. (2003) "Tam Zamanında Üretim Sisteminin Gerektirdiği Maliyet Muhasebesinin Temel Nitelikleri", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, s. 20, ss. 203-218.

- Schwering, R. E. (2003) "Focusing Leadership Through Force Field Analysis: New Variations on A Venerable Planning Tool", *Leadership and Organizational Development Journal*, c. 24, s. 7, ss. 361-370.
- Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N. ve Asgharpour, M. J. (2006) "Reprioritization of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis by Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Technique", *Reliability Engineering and System Safety*, c. 91, s. 8, ss. 872–881.
- Shahin, A. (2004) "Integration of FMEA and the Kano Model", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 21, s. 7, ss. 731-746.
- Sharma, R. K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2005) "Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modelling", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 22, s. 9, ss. 986-1004.
- Sharma, R. K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2007a) "FM – a Pragmatic Tool to Model, Analyse and Predict Complex Behaviour of Industrial Systems", *Engineering Computations: International Journal for Computer-Aided Engineering and Software*, c. 24, s. 4, ss. 319-346.
- Sharma, R. K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2007b) "Modeling and Analysing System Failure Behaviour using RCA, FMEA and NHPPP Models", *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 24, s. 5, ss. 525-546.
- Sharma, R. K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2008a) "Fuzzy Modeling of System Behavior for Risk and Reliability Analysis", *International Journal of Systems Science*, c. 39, s. 6, ss. 563-581.
- Sharma, R. K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2008b) "Predicting Uncertain Behavior of Industrial System Using FM—A Practical Case", *Applied Soft Computing*, c. 8, s. 1, ss. 96–109.
- Shen, X. X., Tan, K. C. ve Xie, M. (2001) "The Implementation of Quality Function Deployment Based on Linguistic Data", *Journal of Intelligent Manufacturing*, c. 12, s. 1, ss. 65-75.
- Shipley, M. F., Korvin, A. ve Yoon, J. M. (2004) "Fuzzy Quality Function Deployment: Determining The Distributions of Effort Dedicated to Technical Change", *Intl. Trans. in Op. Res.*, c. 11, s. 3, ss. 293–307.

- Stamatis, D.H. (2003) *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory and Execution (2. Basım)*, ASQ Quality Press: Milwaukee.
- Su, C. T. ve Chou, C. J. (2008) “A Systematic Methodology for the Creation of Six Sigma Projects: A Case Study of Semiconductor Foundry”, *Expert Systems with Applications*, c. 34, s. 4, ss. 2693–2703.
- Şale, İ. (2001) *Adım Adım Toplam Kalite Uygulamaları (1. Basım)*, Seçkin Yayıncılık: Ankara.
- Şen, Z. (2004) *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri (2. Basım)*, Su Vakfı Yayınları: İstanbul.
- Şimşek, M. (2000) *Sorularla Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi (1. Basım)*, Alfa Yayıncılık, İstanbul.
- Takan, M. (2001) *Bankalarda Toplam Kalite Yönetimi (2. Basım)*, Nobel Yayın Dağıtım: Ankara.
- Tanaka, K. (1997) *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, Springer Verlag: New York.
- Taşeli, A. ve Köksal, G. (2004) “Yeniden İşleme Ve Muayene Hatasının Kalite Kaybı Üzerindeki Etkileri”, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 14.Ulusal Kongresi*, 16-18 Haziran, ss.1-3, Adana.
- Tay, K. M. ve Lim, C. P. (2006) “Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 23, s. 8, ss. 1047-1066.
- Teng, S. H. ve Ho, S. Y. (1996) “Failure Mode and Effects Analysis an Integrated Approach for Product Design and Process Control”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 13, s. 5, ss. 8-26.
- Terkesli, Y. (2006) *Fault Diagnosing of Multivariate Processes Based on Data Mining*, Yüksek Lisans Tezi, Simon Fraser University: Canada.
- Tsou, J. C. ve Chen, W. J. (2008) “The Impact of Preventive Activities on the Economics of Production Systems: Modeling and Application”, *Applied Mathematical Modelling*, c. 32, s. 6, ss.1056–1065.
- Tuğrul, S. (2008) *Otomotiv Sanayine Kablo Üreten Bir İşletmede İleri Ürün Kalite Planlaması (İÜKP) Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Konya.

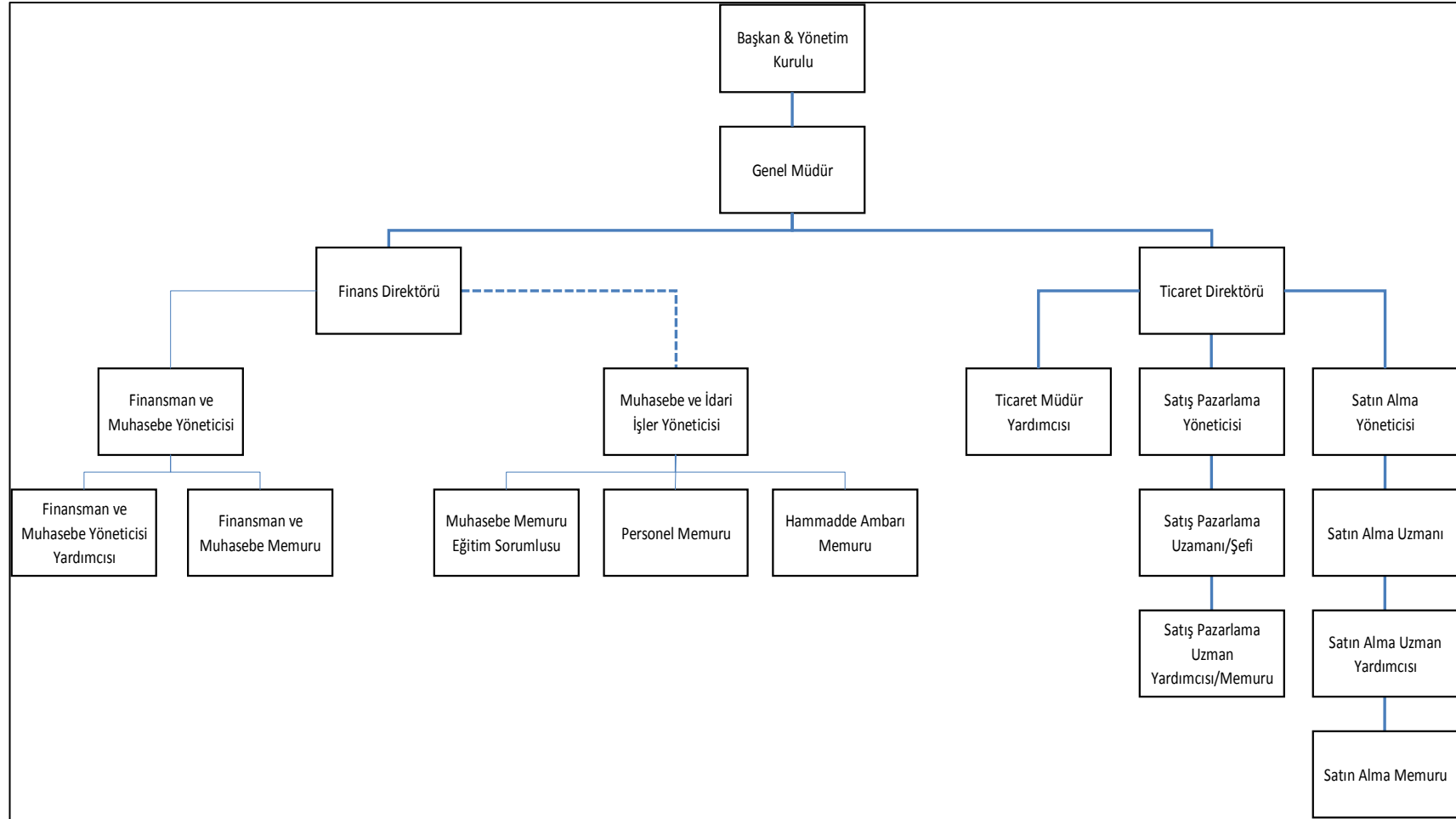
- Türk Dil Kurumu (1988) *Türkçe Sözlük*, Türk Dil Kurumu Yayınları: Ankara.
- Türkbey, O. (2003) “Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi için Bir Bulanık Güçlü Metod”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 5, s. 3, ss. 81-98.
- Wang Y. M. ve Luo, Y. (2009) “Generalised Fuzzy Weighted Mean and Its Applications”, *International Journal of General Systems*, c. 38, s. 5, ss. 533–546.
- Wang, C. S. ve Chang, T. R. (2007) “Integrated QFD, TRIZ and FMEA in Conceptual Design for Product Development Process”, *The 13th Asia Pacific Management Conference*, 18-20 November, ss. 1085-1095, Melbourne, Australia.
- Wang, T. Y. ve Chen, L. H. (2002) “Mean Shifts Detection and Classification in Multivariate Process: A Neural Fuzzy Approach”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, c. 13, s. 3, ss. 211-221.
- Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. ve Yang, J. B. (2009) “Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Weighted Geometric Mean”, *Expert Systems with Applications*, c. 36, s. 2, ss. 1195-1207.
- Wassermann, G.S (1993) “On How to Prioritize Design Requirements during the QFD Planning Process”, *IIE Transactions*, c. 25, s. 3, ss. 59-65.
- Winn, B. A. ve Cameron, K. S. (1998) “Organizational Quality: An Examination of the Malcolm Baldrige National Quality Framework”, *Research in Higher Education*, c. 39, s. 5, ss. 491-512.
- Wirth, R., Berthold, B., Kramer, A. ve Peter, G. (1996) “Knowledge Based Support of System Analysis for Failure Mode and Effect Analysis”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, c. 9, s. 3, ss. 219-229.
- Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L. ve Zhu, M. L. (2002) “Fuzzy Assessment of FMEA for Engine Systems”, *Reliability Engineering and System Safety*, c. 75, s. 1, ss. 17-29.
- Yadav, O. M., Choudhary, N. ve Bilen, C. (2008) “Complex System Reliability Estimation Methodology in the Absence of Failure Data”, *Quality and Reliability Engineering International*, c. 24, s. 7, ss. 745-764.

- Yalçın, S. (2005) *Müşteri Odaklı Yeni Ürün Geliştirme Aracı Olarak Hedef Maliyetleme ve Kalite Fonksiyon Yayılımının Mobilya Sektöründe Uygulanabilirliğinin Analizi*, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Kütahya.
- Yang, Z., Bonsall, S. ve Wang, J. (2008) “Fuzzy Rule Based Bayesian Reasoning Approach for Prioritization of Failures in FMEA”, *IEEE Transactions on Reliability*, c. 57, s. 3, ss. 517-528.
- Yatkin, A. (2004) *Toplam Kalite Yönetimi (2. Basım)*, Nobel Yayın Dağıtım: Ankara.
- Yen, J. ve Langari, R. (1999) *Fuzzy Logic, Intelligence, Control and Information*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Yılmaz, B. S. (2000) “Hata Türü ve Etki Analizi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 2, s. 4, ss. 133-150.
- Yılmaz, E. (2005) *Bilgi Merkezlerinde Toplam Kalite Yönetimi (1. Basım)*, Alp Yayınevi: Ankara.
- Yılmaz, M. ve Arslan, E. (2005) “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 23-25 Kasım, ss. 512-522, İstanbul.
- Yu, F. J., Low, C. Y. ve Cheng S. S. (2003) “Design for an SPRT Control Scheme Based on Linguistic Data”, *International Journal of Production Research*, c. 41, s. 6, ss. 1299–1309.
- Yücel, M. (2007) “Toplam Kalite Kontrolü Açısından İstatistiksel Süreç Kontrol Tekniklerinin Önemi”, 8. *Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi*, 24-25 Mayıs, ss. 1-21, Malatya.
- Zadeh, L. A. (1965) “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, c. 8, s. 3, ss.338-353.
- Zadeh, L. A. (1975a) “The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I”, *Information Sciences*, c. 8, s. 3, ss.199-249.
- Zadeh, L. A. (1975b) “The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-II”, *Information Sciences*, c. 8, s. 4, ss. 301-357.
- Zadeh, L. A. (1994) “Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing”, *Communication of the ACM*, c. 37, s. 3, ss. 77-84.
- Zadeh, L. A. ve Kacprzyk, J. (1992) *Fuzzy Logic for The Management of Uncertainty*, John Wiley&Sons Inc: New York.

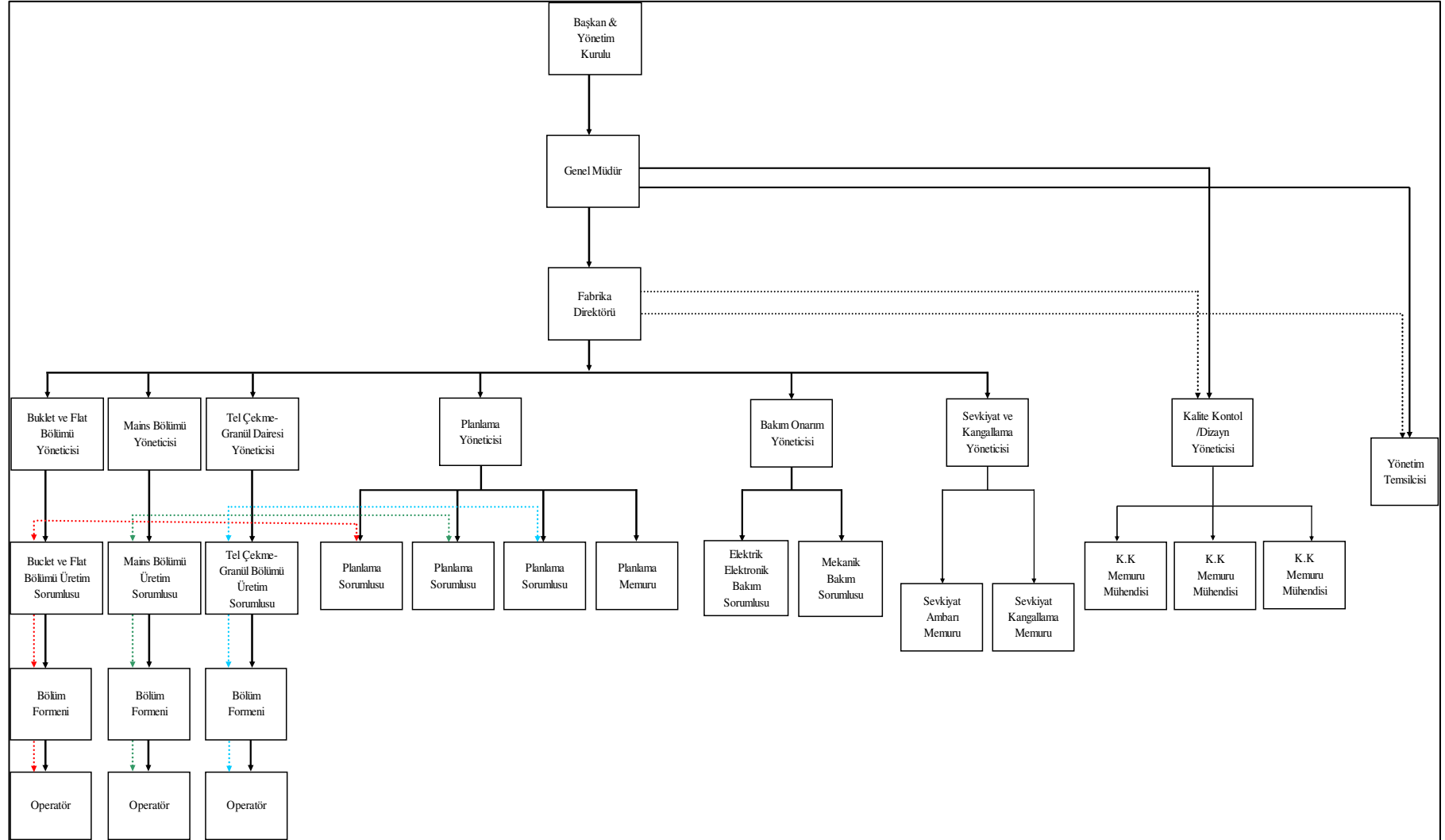
- Zafiroopoulos, E.P. ve Dialynas, E.N. (2005) “Reliability Prediction and Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) of Electronic Devices Using Fuzzy Logic”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, c. 22, s. 2, ss. 183-200.
- Zhai, L.Y., Khoo, L.P ve Zhong, Z.W. (2008) “A Rough Set Enhanced Fuzzy Approach to Quality Function Deployment”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 37, s. 5-6, ss. 613–624.
- Zimmermann, H. J. (1992) *Fuzzy Set Theory and Its Applications (5. Basım)*, Kluwer Academic Publishers: Boston.

EKLER

Ek 1a: İşletmenin organizasyon şeması (Merkez ofis)

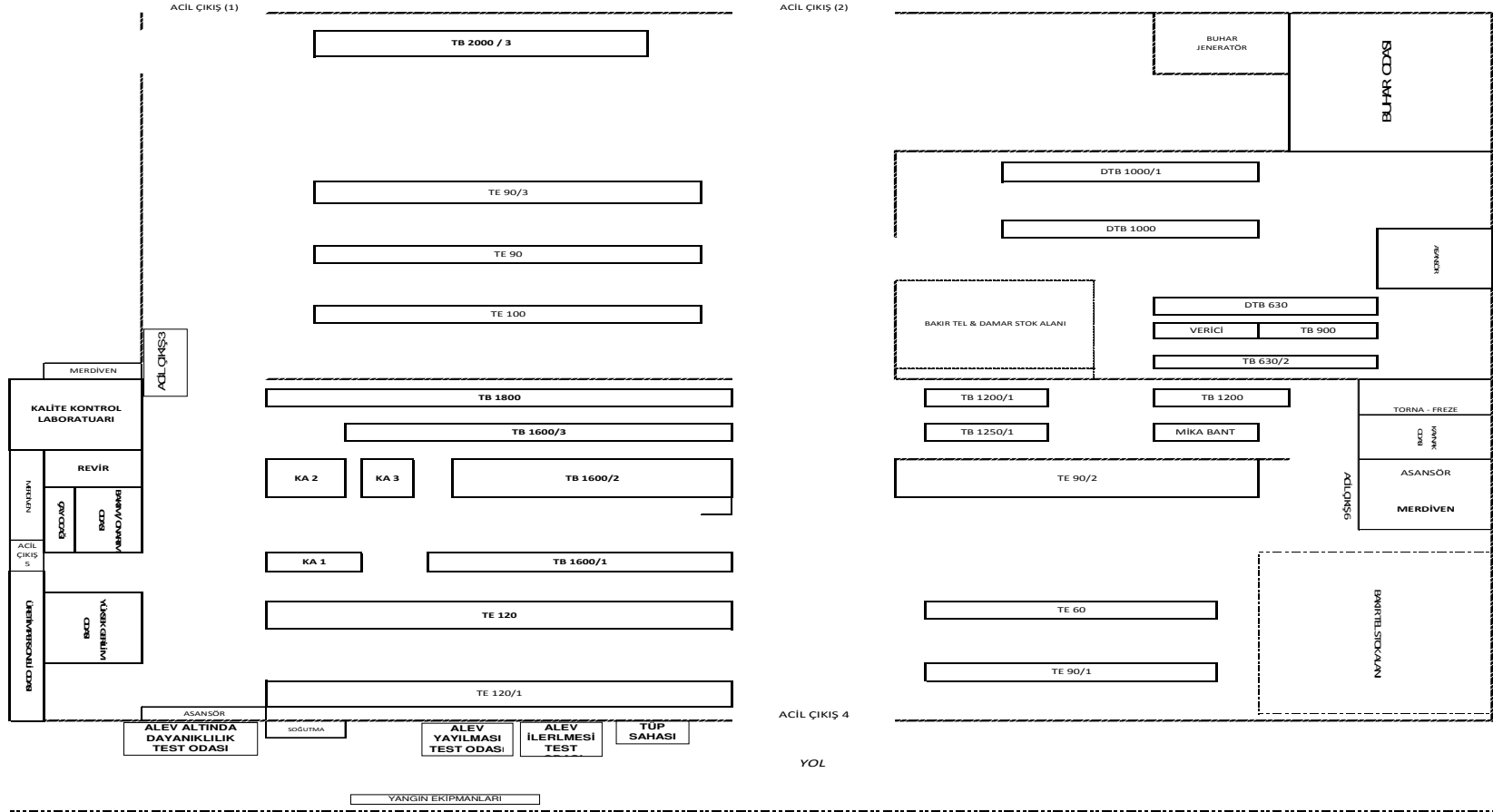


Ek 1b: İşletmenin organizasyon şeması (Fabrika)

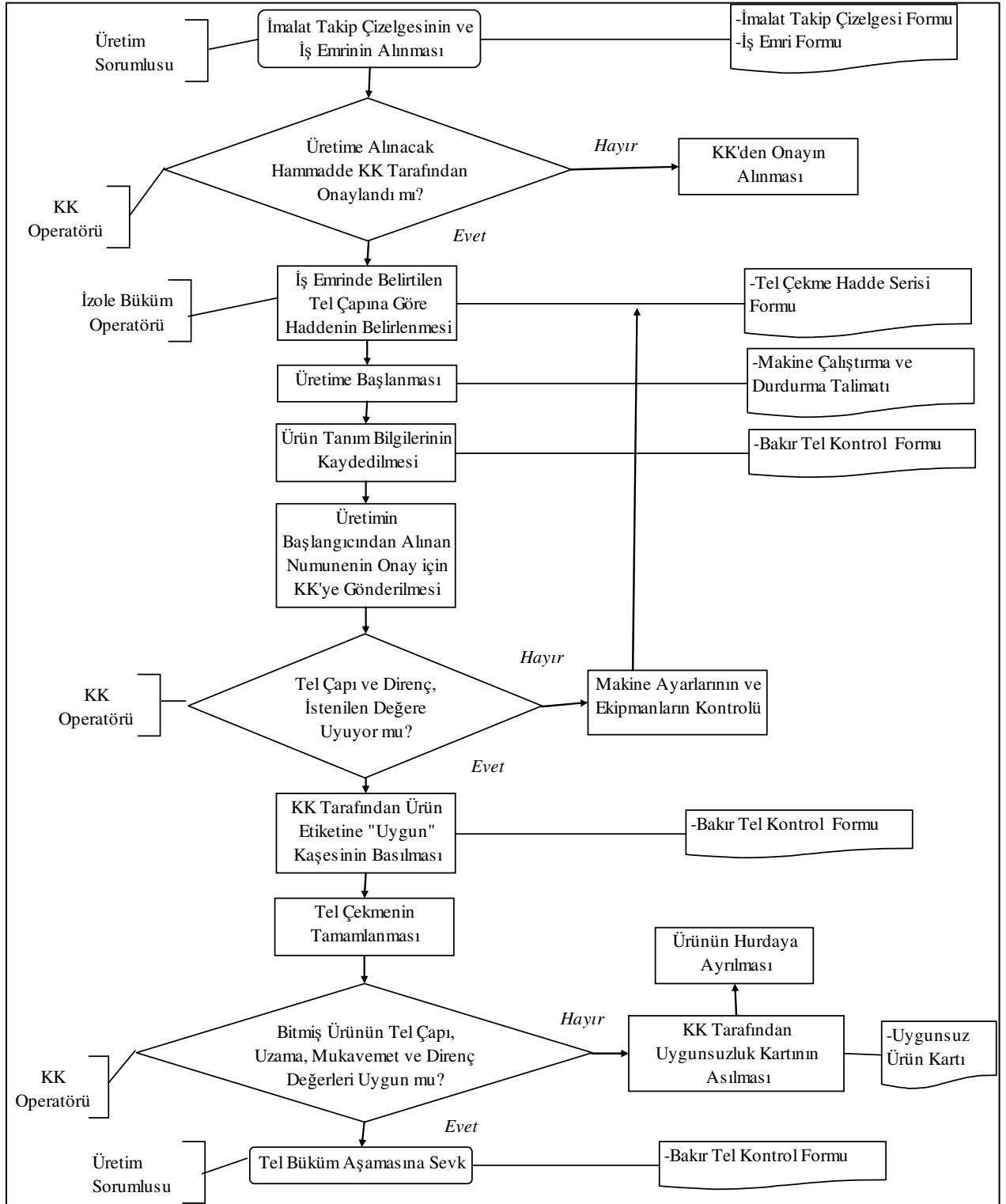


Ek 2: İşletmenin yerleşim plânı

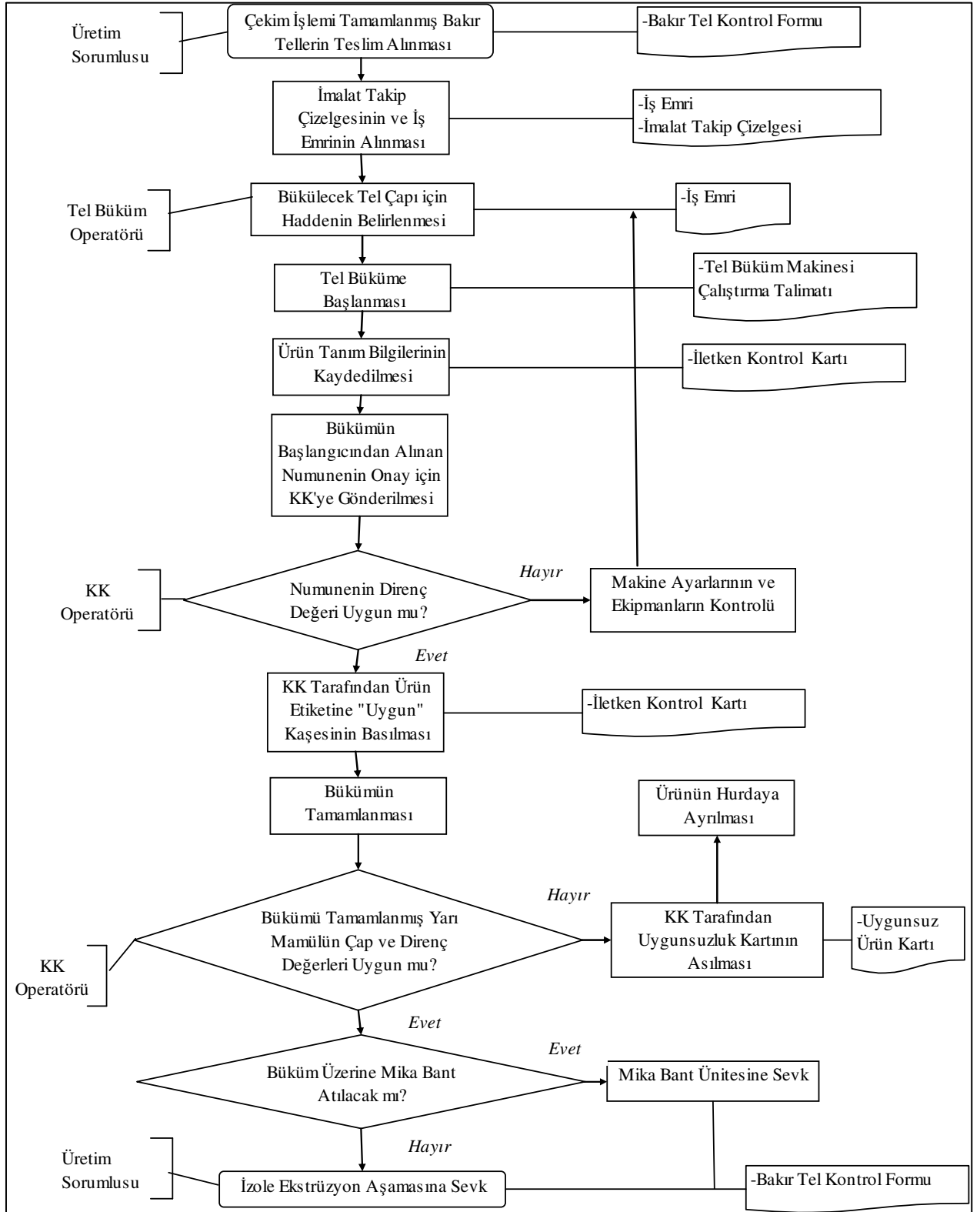
MAKARA SAHASI



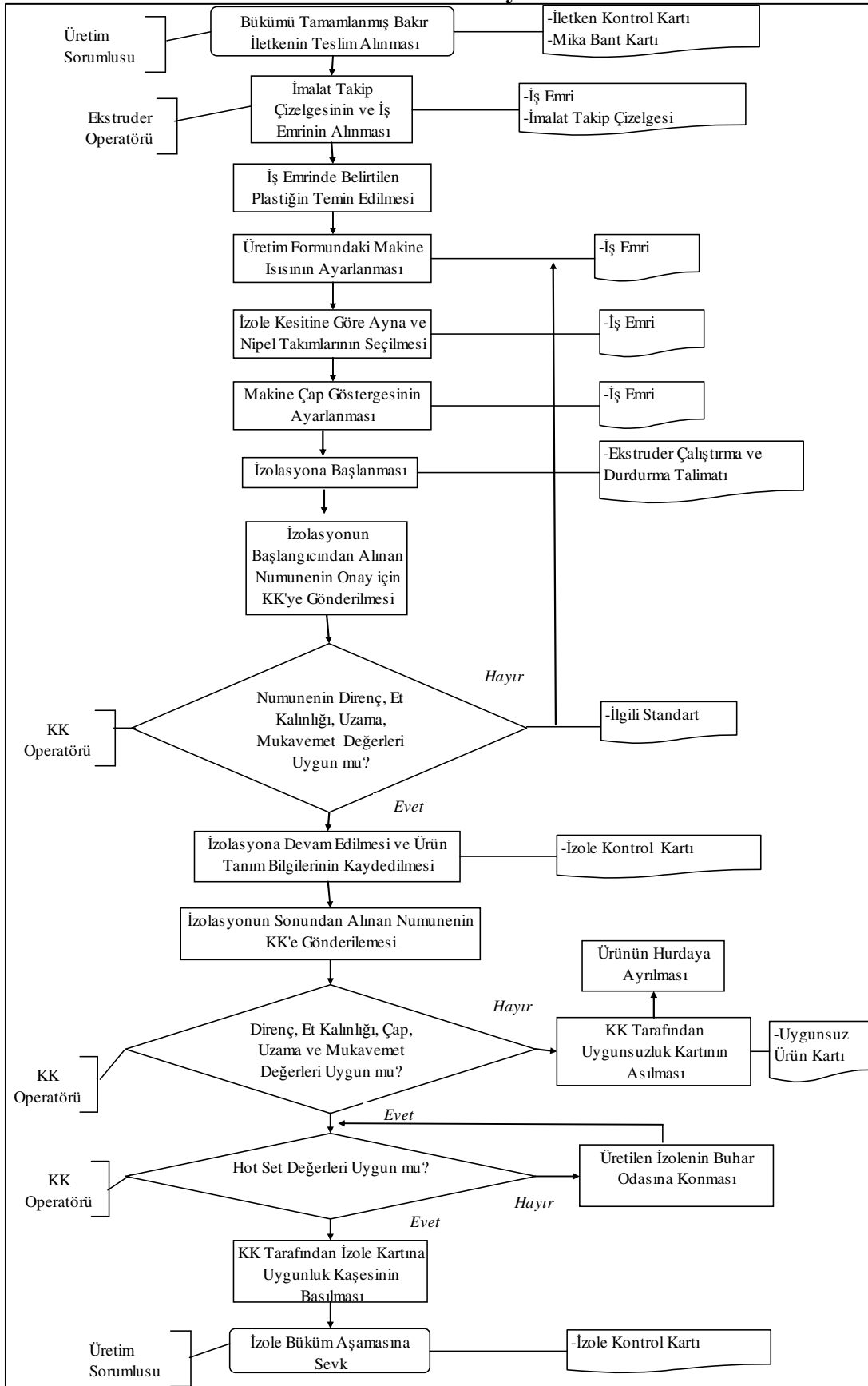
Ek 3: Tel çekme süreci



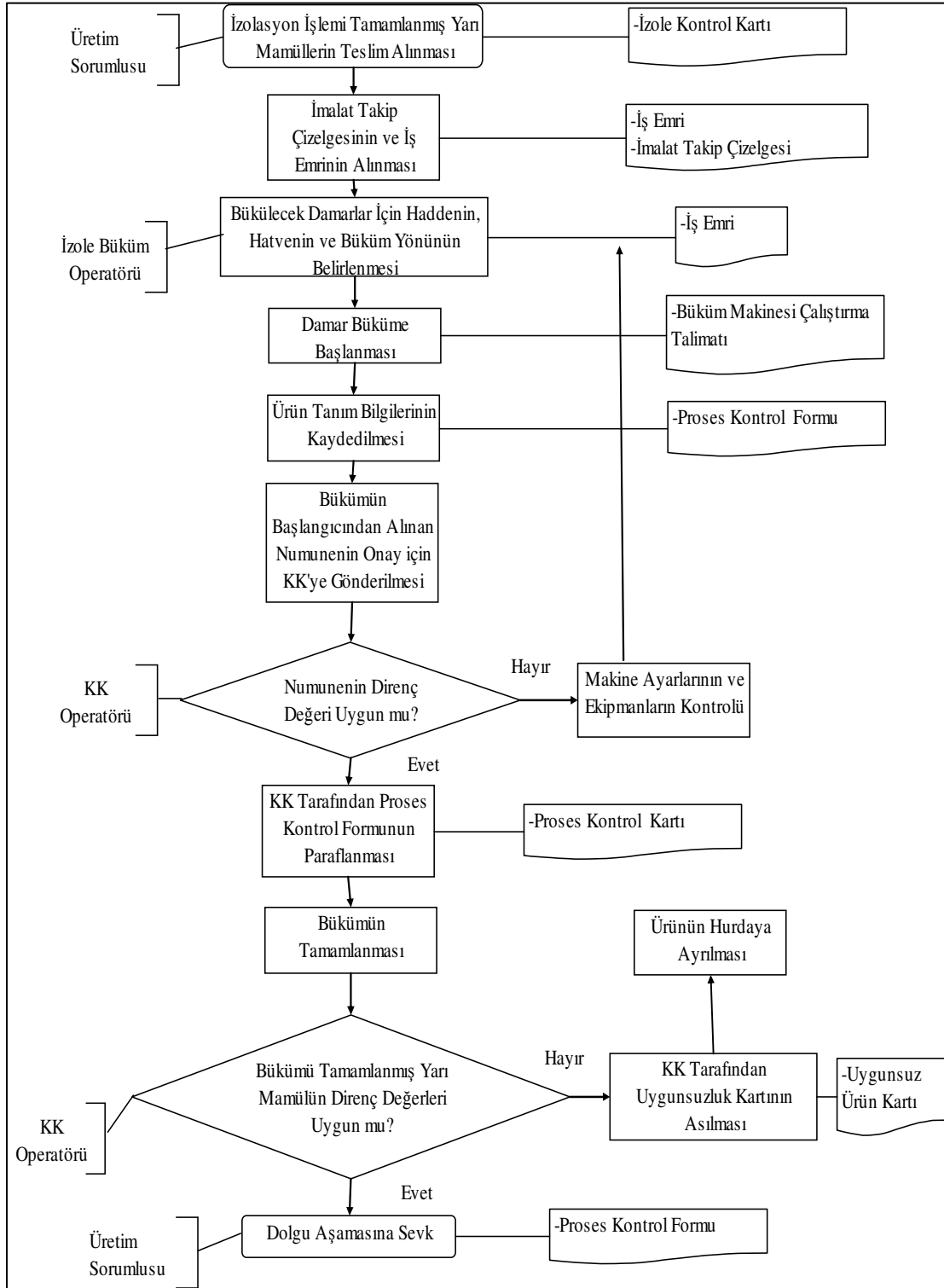
Ek 4: Tel bükme süreci



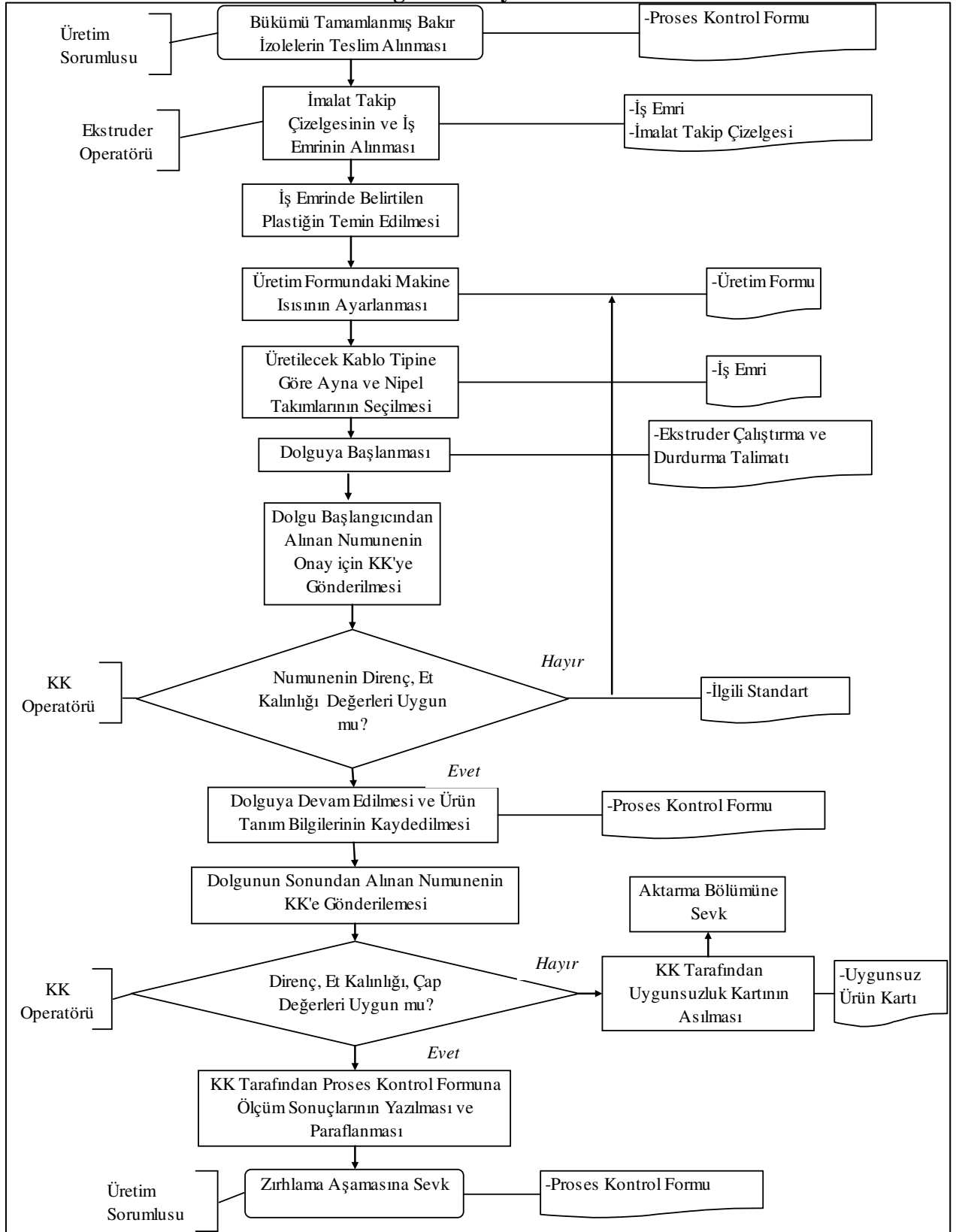
Ek 5: İzole ekstrüzyon süreci



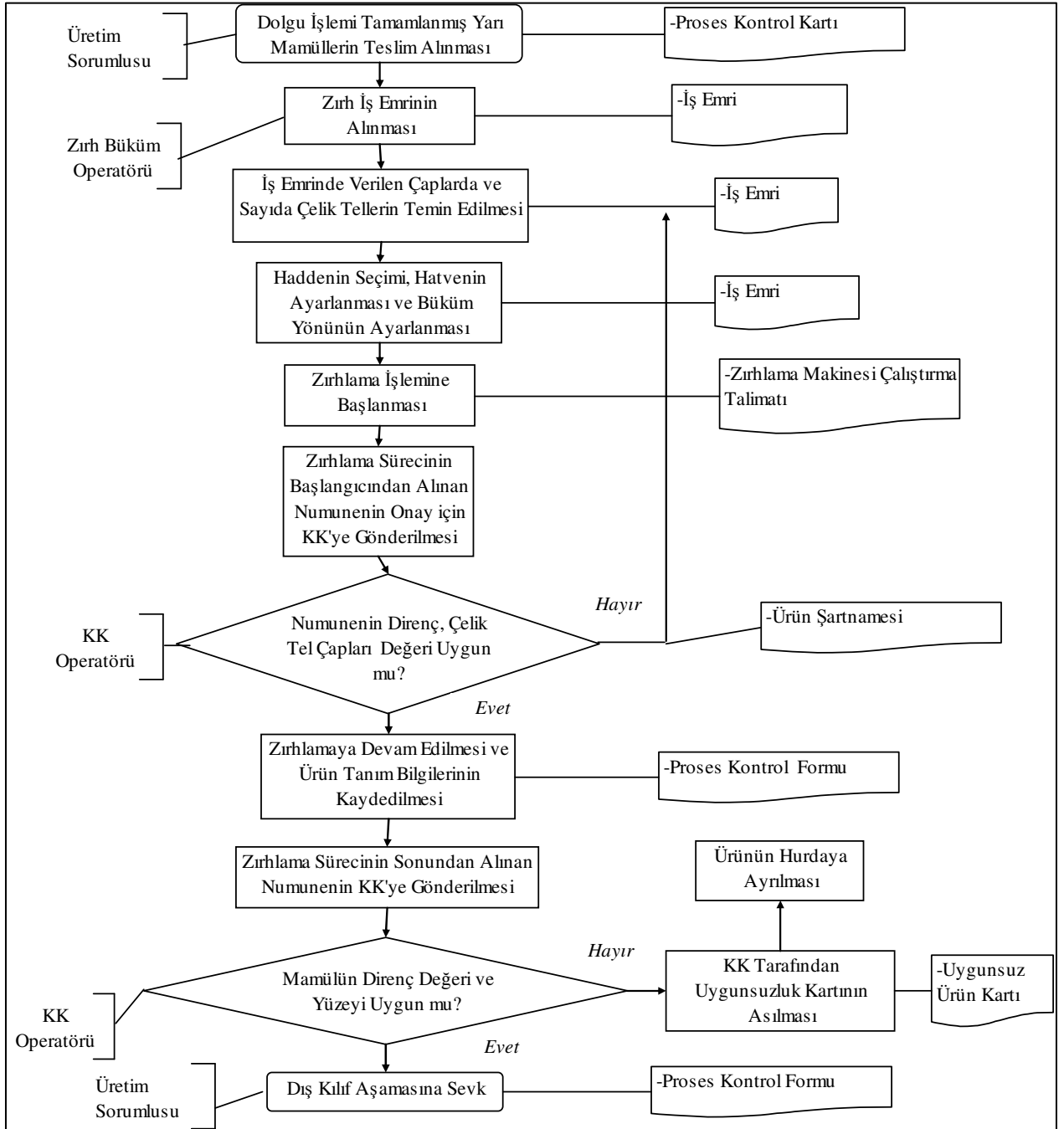
Ek 6: İzole büküm süreci



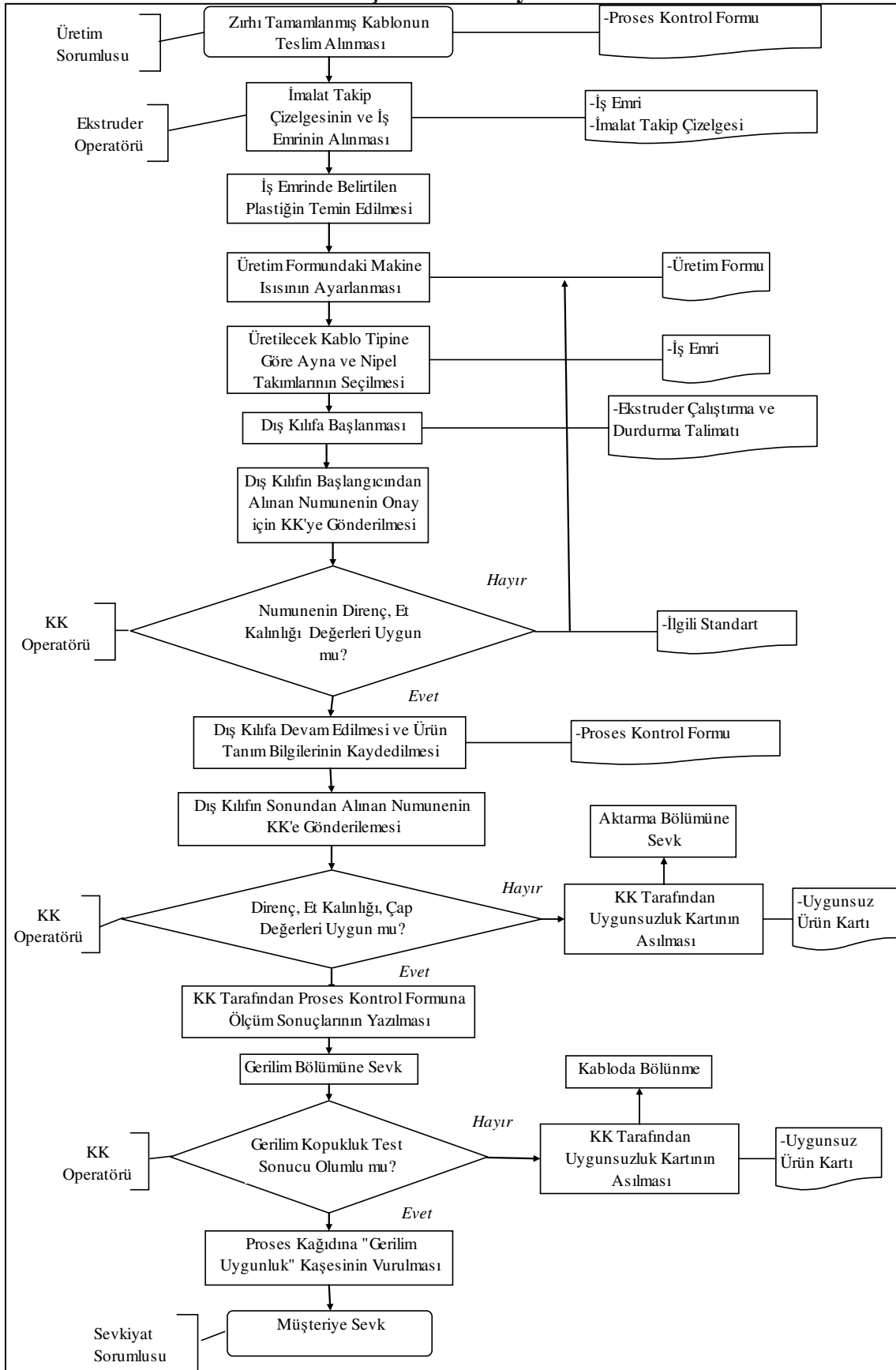
Ek 7: Dolgu ekstrüzyon süreci



Ek 8: Zırlama süreci



Ek 9: Dış kılıf ekstrüzyon süreci



Ek 10: Ürün kavramı için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	HATA TÜRLERİ	KV ₁				KV ₂				KV ₃				KV ₄			
		O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T
BAKIR	Kullanılacak bakıra ilişkin siparişin, hatalı verilmesi	O	O	D	D	D	Y	D	ÇD	ÇD	O	D	D	D	Y	D	D
	Sipariş edilen bakır ile fabrikaya giriş yapan bakırın birbirinden farklı olması	D	O	D	ÇD	D	Y	D	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	Y	D	D
	Gönderilen bakırın lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirini tutmaması	Y	ÇD	ÇD	ÇD	D	Y	D	ÇD	Y	ÇD	ÇD	O	Y	ÇD	ÇD	D
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	O	Y	O	D	O	Y	Y	ÇD	O	O	O	ÇD	O	O	Y	D
	Gönderilen bakıra ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirini tutmaması	D	ÇY	O	D	O	Y	Y	ÇD	D	O	O	ÇD	D	Y	Y	D
	Verilen sipariş için gönderilen toplam bakır miktarının yetersiz olması	O	Y	O	O	O	Y	Y	ÇD	D	O	ÇD	D	O	Y	D	D
	Bakırın yüzeyinde bozuklukların olması	ÇD	ÇY	Y	D	D	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	D
	Gelen bakırın ambalajında bozuklukların olması	ÇD	D	D	D	D	O	O	ÇD	ÇD	O	D	ÇD	D	O	D	ÇD
	Bakırın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D	ÇY	O	ÇD	O	Y	Y	ÇD	ÇD	O	O	D	ÇD	O	O	ÇD
	Bakırın makaraya sarımının bozuk yapılması	D	Y	Y	ÇD	D	Y	ÇD	ÇD	D	O	ÇD	D	D	O	ÇD	ÇD
	Bakıra ilişkin etiketin hatalı olması	O	Y	ÇD	D	D	Y	Y	ÇD	D	O	ÇD	ÇD	D	Y	Y	D
Gelen bakırın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	D	Y	D	O	O	O	O	ÇD	ÇD	D	ÇD	D	D	O	D	D	
GALVANİZLİ ÇELİK TEL	Kablo tasarımı aşamasında belirtilen çelik tel çapının yanlış sipariş edilmesi	O	D	O	ÇD	D	Y	Y	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	O	Y	ÇD
	Sipariş edilen çelik tel ile fabrikaya giriş yapan çelik telin birbirinden farklı olması	O	O	D	ÇD	D	Y	Y	ÇD	ÇD	O	D	O	D	O	O	O
	Gönderilen çelik telin lot numarası ile ürüne ilişkin analiz sertifikasında yazılı lot numarasının birbirinden farklı olması	Y	D	ÇD	O	O	O	O	ÇD	O	ÇD	ÇD	D	Y	D	ÇD	D
	Gönderilen çelik telin ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirinden farklı olması	O	Y	Y	D	Y	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	Y	Y	D

	Gönderilen çelik tele ilişkin analiz sertifikasındaki işletmenin şartnamesine uygun olan değerler ile kalite kontrol laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirinden farklı olması	O Y Y O	Y Y Y O	O O D O	O O O O
	Verilen siparişe göre gönderilen toplam çelik telin miktar bakımından yetersiz olması	O ÇY O D	Y Y Y ÇD	O Y O D	O Y Y D
	Çelik telin yüzeyinin belirli bölgelerinde bozuklukların olması	ÇY ÇY Y O	Y Y Y O	O O O O	Y Y Y O
	Galvanizin, tel yüzeyi boyunca homojen dağılmamış olması	ÇY Y O Y	Y Y Y O	O ÇD ÇD Y	Y Y Y Y
	Gelen çelik telin, işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	D Y D D	O O O O	ÇD D D ÇD	ÇD O O D
	Çelik telin makaraya sarımının bozuk yapılması	O Y O ÇD	O Y O ÇD	O D ÇD D	O Y O ÇD
	Çelik telin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D Y O ÇD	D Y O ÇD	ÇD D D D	ÇD Y O ÇD
	Çelik tele ilişkin etiketin hatalı olması	O O D D	O Y O ÇD	D D D ÇD	O O O D
KULLANILAN BOYANIN TİPİ	Yanlış ral numaralı boyanın sipariş edilmesi	O Y O ÇD	O Y Y ÇD	D O ÇD D	D O O ÇD
	Sipariş edilen ile fabrikaya giriş yapan boyanın ral numaralarının birbirinden farklı olması	O O O ÇD	O O Y D	D O D ÇD	D O O ÇD
	Boyaya ilişkin sertifika üzerindeki lot numarası ile ürün üzerindeki lot numarasının birbirinden farklı olması	D D ÇD O	ÇD ÇD ÇD ÇD	D ÇD D ÇD	D D ÇD O
	Gönderilen boyanın verilen siparişe göre miktar bakımından yetersiz olması	D Y O O	O Y D ÇY	ÇD O D O	D Y D O
	Gelen boyanın ambalajının düzgün olmaması	O O O D	D Y O D	D Y O ÇD	O Y O D
	Gelen boyanın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	D Y O D	O Y O D	ÇD O D D	D Y O D
	Boyanın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D O D ÇD	O Y O D	ÇD D ÇD ÇD	D D D ÇD
	Boyaya ilişkin etiketin hatalı olması	O O Y O	D Y Y ÇD	ÇD D O O	ÇD O Y O
MIKA BANT	Kullanılacak mika banda ilişkin siparişin hatalı verilmesi	O Y O O	D Y Y ÇD	ÇD Y O Y	D Y O O
	Sipariş edilen mika bant ile fabrikaya giriş yapan mika bantın birbirinden farklı olması	O O O O	O Y Y ÇD	ÇD O O O	D O Y O
	Gönderilen mika banda ilişkin analiz sertifikasındaki değerler ile işletmenin şartnamelerde belirlediği değerlerin birbirini tutmaması	D D ÇD D	O Y Y ÇD	ÇD O D D	ÇD D ÇD D

	Gönderilen mika bant miktarının yetersiz olması	D O D Y	D Y O O	ÇD O D O	D Y O O
	Mika bandın yüzeyinde bozuklukların olması	O Y O D	O Y Y ÇD	D Y Y ÇD	O Y Y D
	Gelen mika bandın ambalajında bozuklukların olması	D D D ÇD	D O D ÇD	ÇD O D D	D O D ÇD
	Mika bandın fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D O D ÇD	D O O ÇD	ÇD D ÇD D	ÇD O D ÇD
	Mika banda ilişkin etiketin hatalı olması	O D ÇD D	O O O ÇD	ÇD D ÇD D	D D D ÇD
	Gelen mika bandın işletme içinde uygun koşullarda muhafaza edilmemesi	D O D ÇD	O O O ÇD	ÇD O ÇD D	D O D ÇD
KILIF MALZEMESİ	Kullanılacak kılıf malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	D Y O ÇD	D Y Y ÇD	ÇD O O D	ÇD Y O ÇD
	Sipariş edilen kılıf malzemesi ile fabrikaya giriş yapan kılıf malzemesinin birbirinden farklı olması	D Y Y ÇD	D Y Y ÇD	ÇD Y Y D	ÇD O Y ÇD
	Gönderilen kılıf malzemesi miktarının yetersiz olması	D Y Y D	D Y O ÇD	ÇD Y O ÇD	D Y O D
	Gelen kılıf malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	ÇD Y O ÇD	D Y Y ÇD	ÇD Y Y D	D Y Y ÇD
	Plastiğin nemli olması	O ÇY Y ÇD	Y Y Y O	O O O O	O Y Y D
	Kılıf malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	O ÇY Y ÇD	Y Y Y ÇD	O O Y O	O Y Y D
	Kılıf malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D O Y ÇD	O O O ÇD	ÇD D D D	D O O ÇD
Kılıf malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	D O O O	O O O ÇD	ÇD O ÇD D	D O O O	
DOLGU MALZEMESİ	Kullanılacak dolgu malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	O Y Y ÇD	D Y O D	ÇD O O D	D O O D
	Sipariş edilen dolgu malzemesi ile fabrikaya giriş yapan dolgu malzemesinin birbirinden farklı olması	D Y O ÇD	D Y Y ÇD	D O O D	D Y O D
	Gönderilen dolgu malzemesi miktarının yetersiz olması	ÇD Y O O	D Y O O	ÇD Y O O	D Y O O
	Gelen dolgu malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	D O D ÇD	D O O ÇD	ÇD O ÇD D	ÇD O D ÇD
	Plastiğin nemli olması	O Y O D	O Y O O	O O O O	O Y O O
	Dolgu malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	O Y O D	O Y O O	D O O O	O Y O O

	Dolgu malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D O O ÇD	D O O ÇD	D D O D	D O O ÇD
	Dolgu malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	D O O O	D O O ÇD	ÇD O D O	D O O O
İZOLASYON MALZEMESİ	Kullanılacak izolasyon malzemesine ilişkin siparişin hatalı verilmesi	O Y O ÇD	D ÇY Y ÇD	D O O D	D Y O D
	Sipariş edilen izolasyon malzemesi ile fabrikaya giriş yapan izolasyon malzemesinin birbirinden farklı olması	D Y O ÇD	ÇD Y O ÇD	D O O D	ÇD Y O D
	Gönderilen izolasyon malzemesi miktarının yetersiz olması	ÇD Y O Y	O Y O O	D O O O	O Y O O
	Gelen izolasyon malzemesinin ambalajında bozuklukların olması	D O D ÇD	D Y O ÇD	D O O D	D O O ÇD
	Plastiğin nemli olması	O Y O O	O Y Y ÇY	O O O O	O Y Y O
	İzolasyon malzemesinin içine yabancı madde girmesi, tozlanması	D Y O O	O Y O ÇY	D O O O	D Y O Y
	İzolasyon malzemesinin fabrikaya ulaştırılması esnasında meydana gelen hasarlar	D O D D	D O D D	D D ÇD ÇD	D O D D
	İzolasyon malzemesine ilişkin etiketin hatalı olması	O D ÇD O	D O O ÇD	ÇD O ÇD O	D O D O

Ek 11a: Ürün parçalarının $\alpha=1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (2. Aşama)

	$k_{2,j}$	Bükülü bakır	İzole	Dolgu	Zırh	Dış kılıf
<i>Kull. bakır</i>	0,148	0,513	0,487			
<i>Kull. galvanizli çelik tel</i>	0,132			0,216	0,412	0,371
<i>Kull. mika bant</i>	0,082	0,500	0,500			
<i>Kull. boya</i>	0,040		0,423	0,401		0,176
<i>Kull. kılıf malz.</i>	0,288					1,000
<i>Kull. dolgu malz.</i>	0,134			0,500	0,500	
<i>Kull. izolasyon malz.</i>	0,177	0,487	0,513			

Ek 11b: Ürün parçalarının $\alpha=0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (2. Aşama)

	$k_{2,j}$	Bükülü bakır		İzole		Dolgu		Zırh		Dış kılıf	
		L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
<i>Kull. bakır</i>	0,148	0,286	0,763	0,237	0,714						
<i>Kull. galvanizli çelik tel</i>	0,132					0,076	0,422	0,220	0,645	0,202	0,602
<i>Kull. mika bant</i>	0,082	0,167	0,833	0,167	0,833						
<i>Kull. boya</i>	0,040			0,217	0,703	0,177	0,662			0,053	0,385
<i>Kull. kılıf malz.</i>	0,288									1,000	1,000
<i>Kull. dolgu malz.</i>	0,134					0,324	0,676	0,324	0,676		
<i>Kull. izolasyon malz.</i>	0,177	0,237	0,714	0,286	0,763						

Ek 12: Ürün parçaları için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	HATA TÜRLERİ	KV ₁				KV ₂				KV ₃				KV ₄			
		O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T
BÜKÜLÜ BAKIR	Ara veya son kontrollerde, iletken direncinin yüksek çıkması	Y	ÇY	ÇY	ÇD	O	Y	Y	D	O	Y	Y	ÇD	O	Y	Y	ÇD
	İletken yüzeyinin belirli bölgelerinde, damar atlaması veya çiziklerin olması	O	Y	Y	O	O	Y	Y	D	O	Y	Y	ÇD	O	O	Y	D
	İletkenin yüzeyinin kararmış, oksitli olması	O	O	Y	O	D	Y	Y	O	D	Y	O	ÇD	D	Y	Y	D
	İletken çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	D	Y	O	ÇD	O	Y	Y	O	ÇD	Y	O	ÇD	D	Y	O	ÇD
	İletkenin, toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	O	Y	D	D	D	Y	D	D	D	D	ÇD	ÇD	D	O	D	D
	İletkenin, dış etkenlerden zarar görmesi	O	Y	O	D	O	Y	Y	D	D	O	D	ÇD	O	Y	D	ÇD
	İletken kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	O	ÇY	D	D	D	Y	D	D	D	Y	D	D	D	Y	D	D
	İletken kartının yanlış makaraya takılması	O	ÇY	D	D	O	ÇY	D	D	O	ÇY	D	D	O	ÇY	D	D
İZOLE	İzole malzemesinde çapraz bağların oluşmaması	Y	Y	Y	D	O	O	O	O	O	O	Y	D	Y	O	Y	D
	İzolenin sentesinin kaymış olması	Y	ÇY	Y	ÇD	O	Y	Y	ÇD	O	ÇY	Y	D	O	ÇY	Y	ÇD
	İzolenin çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	O	O	D	ÇD	O	O	O	ÇD	D	O	O	D	D	O	O	ÇD
	Ara veya son kontrollerde izoledeki iletken direncinin yüksek çıkması	Y	ÇY	Y	ÇD	O	Y	Y	ÇD	O	ÇY	Y	D	O	ÇY	Y	D
	İzolenin uzama ve mukavemet değerinin, standart değerden düşük çıkması	Y	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	ÇY	O	D	O	ÇY	O	D
	İzolenin büzülme testinin olumsuz gelmesi	O	O	O	O	O	O	O	D	D	ÇY	O	O	O	Y	O	O
	İzolenin yüzeyinde pürüzlerin olması	Y	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	O	O	O	O	Y	O	O
	İzolede müşterinin isteği rengin sağlanamaması	D	O	O	O	O	O	Y	O	D	O	Y	ÇD	D	O	Y	D
	İzolenin toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	O	D	ÇD	O	O	O	D	D	D	O	ÇD	ÇD	O	O	ÇD	D
	İzolede istenilen uzunluğun sağlanamaması	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D
	İzoleye ilişkin ürün kontrol kartının yanlış makaraya takılması	O	Y	O	O	D	Y	Y	D	O	Y	D	D	O	Y	D	D
	İzoleye ilişkin ürün kontrol kartının eksik veya hatalı tanımlanmış olması	O	Y	O	O	O	Y	D	D	D	Y	D	D	D	Y	D	D
DOLGU	Dolgunun sentesinin kaymış olması	O	O	O	D	D	Y	Y	D	O	ÇY	D	D	D	ÇY	Y	D
	Dolgudaki iletken direncinin yüksek olması	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D	O	ÇY	D	D	D	ÇY	Y	D

	Dolgunun uzama ve mukavemet değerinin, standart değerden düşük çıkması	O O O O	D Y O D	O ÇY D D	O Y D D
	Dolgunun yüzeyinde pürüzlerin olması	O O O ÇD	O O O D	O D ÇD D	O D D D
	Dolgunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	D O ÇD D	D O O D	D O ÇD ÇD	D O D D
	Dolguda kopukluk olması	O Y D ÇD	O Y Y D	O ÇY O ÇD	O Y D ÇD
	Dolguya ilişkin ürün kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	O Y D O	O O D O	D Y D D	O Y D D
	Dolguya ilişkin ürün kartının yanlış makaraya takılması	O Y D O	D Y O D	D Y D D	O Y D D
ZIRH	Zırh teli direncinin, standartların üzerinde olması	O Y Y D	O Y Y O	O Y Y O	O Y Y O
	Zırhtaki iletken direncinin standartların üzerinde olması	D Y Y O	O Y Y O	O ÇY Y O	O Y Y O
	Zırh tellerinin uzamasının düşük olması	ÇY Y ÇY D	O Y Y O	O Y O D	O Y Y O
	Zırhın yüzeyinin pürüzlü olması	ÇY Y ÇY O	O Y Y O	O Y Y O	O Y Y O
	Zırhın, dolgunun üzerini tam kaplamaması	ÇY ÇY ÇY D	O O O O	O O O D	O O O D
	Tel üzerindeki galvaniz miktarının standardın altında olması	Y O O Y	O O Y O	O D D O	O D Y O
	Zırhta dirsek oluşması	ÇY ÇY ÇY D	O Y Y D	O ÇY O ÇD	O ÇY Y D
	Zırhlı kablunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	O O D O	D Y O D	O O Y ÇD	O O Y ÇD
	Proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	O Y D O	O Y D O	O Y D O	O Y D O
	Proses kartının yanlış makaraya takılması	O Y D O	O Y D D	O Y D O	O Y D D
DIŞ KILIF	Dış kılıflı kablodaki iletken direncinin, standart değerden yüksek olması	O ÇY Y ÇD	D Y Y D	O Y Y D	O Y Y D
	Dış kılıfın sentesinin kayması	O Y O D	O Y Y D	O ÇY O D	O Y O D
	Dış kılıflı kablo çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	Y O O D	O Y Y D	D D Y D	D O Y D
	Dış kılıfın uzama ve mukavemet değerlerinin standart değerden düşük çıkması	O O O D	O Y Y D	O ÇY O D	O O O D
	Dış kılıf yüzeyinin bozuk olması	Y Y Y D	O Y Y D	O Y ÇY D	O Y ÇY D
	Dış kılıflı kablunun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi	ÇY ÇY ÇY ÇD	O Y Y ÇD	Y ÇY ÇY D	Y ÇY ÇY ÇD
	Dış kılıflı kablunun alev testlerinin olumsuz gelmesi	O ÇY ÇY D	O Y Y O	D Y ÇY D	O Y ÇY D
	Ürün uzunluğunun müşteri isteğini karşılamaması	Y Y ÇY O	O Y Y ÇD	D Y Y ÇD	O ÇY ÇY ÇD
	Sarım sırasında alt ucun makara içinde kalması	O Y D ÇD	D Y D ÇD	D Y ÇD D	D Y ÇD ÇD
	Kablo üzerindeki kılıf markalamasının müşterinin veya standardın istediği gibi olmaması	Y ÇY ÇY D	O Y Y D	D Y ÇY D	O Y ÇY D

Markalamada kesit, damar sayısı vb. bilgilerin yanlış yazılması	O	ÇY	ÇY	ÇD	D	Y	Y	D	ÇD	Y	Y	D	D	Y	ÇY	D
Markalamada bilgilerin net bir şekilde okunmaması	Y	Y	Y	D	O	Y	Y	ÇD	O	O	Y	D	Y	Y	ÇY	D
Alt ve üst metrelerin yanlış yazılması	O	ÇY	ÇY	O	D	Y	Y	ÇD	D	Y	ÇY	O	D	Y	ÇY	O
Metre mesafesi tam olarak sağlanmaması	O	ÇY	ÇY	O	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O
Dış kılıflı kablonun sarımının bozuk yapılması	O	Y	O	D	O	Y	O	D	D	O	O	ÇD	O	Y	O	D
Proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	Y	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D
Proses kartının yanlış makaraya takılması	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D

Ek 13: Ürün parçaları için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (2. Aşama)

	HATA TÜRLERİ	Ortaya Çıkma Sıklığı			İçsel Şiddeti			Dışsal Şiddeti			Tespit Edilememesi		
		$(R_i^O)^L$	$(R_i^O)^M$	$(R_i^O)^U$	$(R_i^{İŞ})^L$	$(R_i^{İŞ})^M$	$(R_i^{İŞ})^U$	$(R_i^{DŞ})^L$	$(R_i^{DŞ})^M$	$(R_i^{DŞ})^U$	$(R_i^T)^L$	$(R_i^T)^M$	$(R_i^T)^U$
BÜKÜLÜ BAKIR	Ara veya son kontrollerde, iletken direncinin yüksek çıkması	3,40	5,40	7,40	5,60	7,60	9,20	5,60	7,60	9,20	1,25	1,50	3,50
	İletken yüzeyinin belirli bölgelerinde, damar atlaması veya çiziklerin olması	3,00	5,00	7,00	4,60	6,60	8,60	5,00	7,00	9,00	1,85	2,70	4,70
	İletkenin yüzeyinin kararmış, oksitli olması	2,20	3,40	5,40	4,60	6,60	8,60	4,30	6,30	8,30	2,10	3,20	5,20
	İletken çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	1,90	2,80	4,80	5,00	7,00	9,00	3,50	5,50	7,50	1,50	2,00	4,00
	İletkenin, toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	2,20	3,40	5,40	3,55	5,20	7,20	1,65	2,30	4,30	1,65	2,30	4,30
	İletkenin, dış etkenlerden zarar görmesi	2,65	4,30	6,30	4,30	6,30	8,30	2,95	4,40	6,40	1,45	1,90	3,90
	İletken kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	2,20	3,40	5,40	5,60	7,60	9,20	2,00	3,00	5,00	2,00	3,00	5,00
	İletken kartının yanlış makaraya takılması	3,00	5,00	7,00	8,00	10,00	10,00	2,00	3,00	5,00	2,00	3,00	5,00
İZOLE	İzole malzemesinde çapraz bağların oluşmaması	3,80	5,80	7,80	3,40	5,40	7,40	4,50	6,50	8,50	2,25	3,50	5,50
	İzolenin sentesinin kaymış olması	3,40	5,40	7,40	7,25	9,25	9,75	5,00	7,00	9,00	1,35	1,70	3,70
	İzolenin çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	2,45	3,90	5,90	3,00	5,00	7,00	2,80	4,60	6,60	1,35	1,70	3,70
	Ara veya son kontrollerde izoledeki iletken direncinin yüksek çıkması	3,40	5,40	7,40	7,25	9,25	9,75	5,00	7,00	9,00	1,55	2,10	4,10
	İzolenin uzama ve mukavemet değerinin, standart değerden düşük çıkması	3,40	5,40	7,40	6,65	8,65	9,55	3,90	5,90	7,90	2,00	3,00	5,00
	İzolenin büzülme testinin olumsuz gelmesi	2,65	4,30	6,30	5,15	7,15	8,45	3,00	5,00	7,00	2,75	4,50	6,50
	İzolenin yüzeyinde pürüzlerin olması	3,40	5,40	7,40	4,30	6,30	8,30	3,90	5,90	7,90	2,55	4,10	6,10
	İzolede müşterinin isteği rengin sağlanamaması	2,25	3,50	5,50	3,00	5,00	7,00	4,60	6,60	8,60	2,10	3,20	5,20

	İzolenin toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	2,65	4,30	6,30	2,80	4,60	6,60	1,25	1,50	3,50	1,85	2,70	4,70
	İzolede istenilen uzunluğun sağlanamaması	2,65	4,30	6,30	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	2,00	3,00	5,00
	İzoleye ilişkin ürün kontrol kartının yanlış makaraya takılması	2,75	4,50	6,50	5,00	7,00	9,00	2,95	4,40	6,40	2,20	3,40	5,40
	İzoleye ilişkin ürün kontrol kartının eksik veya hatalı tanımlanmış olması	2,45	3,90	5,90	5,00	7,00	9,00	2,20	3,40	5,40	2,20	3,40	5,40
DOLGU	Dolgunun sentesinin kaymış olması	2,55	4,10	6,10	6,25	8,25	9,15	3,55	5,20	7,20	2,00	3,00	5,00
	Dolgudaki iletken direncinin yüksek olması	2,35	3,70	5,70	6,65	8,65	9,55	3,95	5,60	7,60	2,00	3,00	5,00
	Dolgunun uzama ve mukavemet değerinin, standart değerden düşük çıkması	2,75	4,50	6,50	5,65	7,65	8,95	2,45	3,90	5,90	2,20	3,40	5,40
	Dolgunun yüzeyinde pürüzlerin olması	3,00	5,00	7,00	2,45	3,90	5,90	2,10	3,20	5,20	1,80	2,60	4,60
	Dolgunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	2,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,70	2,40	4,40	1,65	2,30	4,30
	Dolguda kopukluk olması	3,00	5,00	7,00	6,05	8,05	9,35	3,10	4,70	6,70	1,25	1,50	3,50
	Dolguya ilişkin ürün kartının hatalı veya eksik tanımlanmış olması	2,65	4,30	6,30	4,50	6,50	8,50	2,00	3,00	5,00	2,45	3,90	5,90
	Dolguya ilişkin ürün kartının yanlış makaraya takılması	2,40	3,80	5,80	5,00	7,00	9,00	2,25	3,50	5,50	2,20	3,40	5,40
ZIRH	Zırh teli direncinin, standartların üzerinde olması	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	2,80	4,60	6,60
	Zırhtaki iletken direncinin standartların üzerinde olması	2,80	4,60	6,60	6,05	8,05	9,35	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00
	Zırh tellerinin uzamasının düşük olması	4,00	6,00	7,60	5,00	7,00	9,00	4,90	6,90	8,50	2,45	3,90	5,90
	Zırhın yüzeyinin pürüzlü olması	4,00	6,00	7,60	5,00	7,00	9,00	5,60	7,60	9,20	3,00	5,00	7,00
	Zırhın, dolgunun üzerini tam kaplamaması	4,00	6,00	7,60	4,00	6,00	7,60	4,00	6,00	7,60	2,25	3,50	5,50
	Tel üzerindeki galvaniz miktarının standardın altında olması	3,40	5,40	7,40	2,45	3,90	5,90	3,55	5,20	7,20	3,40	5,40	7,40
	Zırhta dirsek oluşması	4,00	6,00	7,60	7,25	9,25	9,75	4,90	6,90	8,50	1,65	2,30	4,30
	Zırhlı kablunun toplayıcı makaraya sarımının bozuk yapılması	2,75	4,50	6,50	3,50	5,50	7,50	3,90	5,70	7,70	1,65	2,30	4,30
	Proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	2,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00

	Proses kartının yanlış makaraya takılması	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	2,00	3,00	5,00	2,55	4,10	6,10
DİŞ KILIF	Dış kılıflı kablodaki iletken direncinin, standart değerden yüksek olması	2,75	4,50	6,50	5,60	7,60	9,20	5,00	7,00	9,00	1,80	2,60	4,60
	Dış kılıfın sentesinin kayması	3,00	5,00	7,00	6,05	8,05	9,35	3,50	5,50	7,50	2,00	3,00	5,00
	Dış kılıflı kablo çapının, istenilen değerden küçük veya büyük çıkması	2,85	4,30	6,30	3,15	4,80	6,80	4,60	6,60	8,60	2,00	3,00	5,00
	Dış kılıfın uzama ve mukavemet değerlerinin standart değerden düşük çıkması	3,00	5,00	7,00	5,25	7,25	8,55	3,50	5,50	7,50	2,00	3,00	5,00
	Dış kılıf yüzeyinin bozuk olması	3,40	5,40	7,40	5,00	7,00	9,00	6,65	8,65	9,55	2,00	3,00	5,00
	Dış kılıflı kablunun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi	5,10	7,10	8,70	7,25	9,25	9,75	7,25	9,25	9,75	1,35	1,70	3,70
	Dış kılıflı kablunun alev testlerinin olumsuz gelmesi	2,65	4,30	6,30	5,60	7,60	9,20	7,25	9,25	9,75	2,25	3,50	5,50
	Ürün uzunluğunun müşteri isteğini karşılamaması	3,05	4,70	6,70	5,60	7,60	9,20	6,20	8,20	9,40	1,40	1,80	3,80
	Sarım sırasında alt ucun makara içinde kalması	2,20	3,40	5,40	5,00	7,00	9,00	1,45	1,90	3,90	1,35	1,70	3,70
	Kablo üzerindeki kılıf markalamasının müşterinin veya standardın istediği gibi olmaması	3,05	4,70	6,70	5,60	7,60	9,20	7,25	9,25	9,75	2,00	3,00	5,00
	Markalamada kesit, damar sayısı vb. bilgilerin yanlış yazılması	1,85	2,70	4,70	5,60	7,60	9,20	6,20	8,20	9,40	1,80	2,60	4,60
	Markalamada bilgilerin net bir şekilde okunmaması	3,80	5,80	7,80	4,30	6,30	8,30	5,60	7,60	9,20	1,75	2,50	4,50
	Alt ve üst metrelerin yanlış yazılması	2,20	3,40	5,40	5,60	7,60	9,20	7,25	9,25	9,75	2,50	4,00	6,00
	Metre mesafesi tam olarak sağlanmaması	2,40	3,80	5,80	5,60	7,60	9,20	5,60	7,60	9,20	2,40	3,80	5,80
	Dış kılıfı kablunun sarımının bozuk yapılması	2,65	4,30	6,30	4,30	6,30	8,30	3,00	5,00	7,00	1,65	2,30	4,30
	Proses kartının hatalı veya eksik tanımlanması	3,40	5,40	7,40	5,60	7,60	9,20	5,60	7,60	9,20	2,00	3,00	5,00
	Proses kartının yanlış makaraya takılması	2,45	3,90	5,90	5,60	7,60	9,20	5,60	7,60	9,20	2,00	3,00	5,00

Ek 14a: Üretim süreçlerinin $\alpha = 1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri

	$k_{3,G}$	Tel çekme	Ekstrüzyon			Soğutma			Bükme			Kılıf Markalama	Ambalaj ve etiketleme
			İzole	Dolgu	Kılıf	İzole	Dolgu	Kılıf	Tel	İzole	Zırh		
Bükülü Bakır	0,202	0,230	0,271	0,131					0,230	0,138			
İzole	0,220		0,264	0,159		0,159	0,114		0,121	0,182			
Dolgu	0,113		0,141	0,207			0,253	0,097		0,116	0,185		
Zırh	0,121			0,155	0,183		0,197	0,174		0,057	0,234		
Dış Kılıf	0,344			0,035	0,211		0,067	0,208			0,149	0,181	0,149

Ek 14b: Üretim süreçlerinin $\alpha = 0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri

	$k_{3,G}$	Tel çekme		Ekstrüzyon						Soğutma						Bükme						Kılıf markalama		Amb. etiketleme ve sevkiyat	
		L	U	İzole		Dolgu		Kılıf		İzole		Dolgu		Kılıf		Tel		İzole		Zırh		L	U	L	U
				L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U						
B.Bakır	0,202	0,084	0,542	0,086	0,594	0,016	0,413									0,084	0,542	0,025	0,406						
İzole	0,220			0,096	0,583	0,035	0,426			0,057	0,410	0,019	0,345			0,033	0,337	0,061	0,464						
Dolgu	0,113			0,026	0,382	0,080	0,481					0,106	0,535	0,027	0,267			0,019	0,336	0,074	0,426				
Zırh	0,121					0,064	0,351	0,064	0,394			0,088	0,399	0,072	0,370			0,008	0,173	0,101	0,463				
Dış Kılıf	0,344					0,000	0,128	0,087	0,438			0,016	0,188	0,087	0,430					0,061	0,332	0,078	0,382	0,056	0,341

Ek 15: Üretim süreçleri için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	HATA TÜRLERİ	KV ₁				KV ₂				KV ₃				KV ₄			
		O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T
TEL ÇEKME	Ürüne ilişkin bakır çapının yanlış seçilmesi	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	Y	D	D	O	Y	D	D	Y	Y	O
	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	O	D	O	O	D	O	Y	Y	O
	Bakırın inceltilmesi esnasında bakır telin kopması	O	O	D	ÇD	O	O	D	D	D	D	ÇD	ÇD	O	O	D	D
	Bakır telin, istenilen çap değerinden daha fazla inceltilmiş olması	D	D	Y	O	D	O	Y	D	ÇD	D	Y	D	ÇD	D	Y	O
	Tavlamanın, istenilen seviyede olmaması	O	Y	O	O	O	O	O	O	D	D	O	D	O	O	O	O
	Bakırın yanması	D	Y	Y	O	D	O	Y	D	D	D	Y	D	O	O	Y	D
	Telin oksitlenmesi	O	Y	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D
	Bakırın düzgün sarılmaması	D	O	D	O	O	Y	D	O	D	O	ÇD	O	D	Y	D	O
	Bakırın darbe alması	D	Y	O	D	O	Y	Y	O	D	O	D	O	D	O	Y	D
	Tel çekme süreci ürün kartının hatalı hazırlanması	O	ÇY	Y	D	D	Y	Y	O	D	O	D	ÇD	D	Y	O	D
	Toplayıcıdaki veya vericideki bakır makarasının düşmesi	O	ÇY	O	ÇD	D	Y	D	D	D	O	Y	ÇD	D	Y	Y	ÇD
IZOLE EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D	D	Y	O	ÇD	O	Y	Y	D
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	D	O	O	D	O	O	O	O	D	O	D	D	O	O	D	D
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	O	ÇY	ÇY	D	D	Y	Y	O	D	Y	O	D	D	ÇY	Y	O
	Operatör tarafından, yanlış bakırın takılması,	D	ÇY	Y	O	D	Y	Y	D	D	O	D	D	ÇD	ÇY	Y	D
	Operatör tarafından, yanlış plastiğin seçilmesi	D	ÇY	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	O	O	ÇD	Y	Y	D
	Operatör tarafından, yanlış takımın seçimi	D	O	D	D	O	O	D	O	O	Y	O	O	D	O	D	D
	İzolede kullanılacak plastiğin nemli olması veya içine yabancı madde girmesi	O	ÇY	O	D	O	Y	O	Y	O	Y	D	D	O	Y	D	D
	Plastiğin bozulması	D	ÇY	Y	D	O	Y	O	Y	O	Y	D	O	O	Y	O	O
	Katalizörün veya boyanın bozuk olması	D	ÇY	Y	D	O	Y	O	Y	D	Y	O	O	O	Y	O	O
	Üretim formlarındaki ayar (set) değerlerinin ekstrüder makinesine doğru girilmemesi	O	Y	Y	O	O	O	O	O	D	Y	D	D	O	Y	O	O
	İstenilen set değerlerinin tutturulamaması	O	Y	Y	D	O	O	O	O	D	Y	O	D	O	Y	O	D
	Üretimin başlangıcında sente kaçıklığının olması	O	Y	D	D	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	O	O	D

	Sisteme katalizör bilgilerinin eksik, yanlış veya hiç girilmemesi	D	Y	Y	O	O	O	O	O	D	Y	D	O	O	Y	O	Y
	İzolasyon malzemesinin yanması	O	ÇY	Y	ÇD	O	Y	Y	O	D	O	D	O	D	Y	O	O
	Motanın, ekstrudere plastik vermemesi	D	Y	O	ÇD	O	Y	O	D	O	Y	D	ÇD	O	Y	D	D
	Güç kaynaklarının yetersiz olması (elektrik, su, hava)	O	Y	Y	D	D	Y	Y	D	D	O	D	ÇD	D	Y	Y	D
	İzolede spark açıklarının bulunması	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	O	O	Y	Y	D	O	Y	Y	O
	Çap kontrol mekanizmasının devre dışı kalması	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	O	Y	D	O	Y	Y	O
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	Y	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	ÇD	Y	Y	Y	ÇD	Y	ÇY	Y	D
	Asansör, toplayıcı ve verici arızaları	O	Y	O	D	O	Y	Y	O	O	O	O	ÇD	Y	Y	Y	O
	İzolasyon takımlarının (ayna, nipel) aşınmış olması	O	Y	Y	O	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	O	Y	O
	Yüzey kontrolünün yapılmaması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	Y	Y	O
DOLGU EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	D	O	Y	O
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	D	Y	Y	D	O	O	D	O	D	O	D	D	O	O	D	D
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	D	ÇY	Y	D	O	Y	Y	O	O	Y	D	O	D	Y	Y	O
	Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	O	ÇY	O	D	O	O	O	D	D	O	O	D	O	Y	O	D
	Takımların yeterli bakımlarının yapılmaması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	D	O	O	D	D	Y	Y	O
	Makine rezistanslarının arızalı olması	D	Y	O	D	O	O	O	O	D	O	O	D	O	O	O	O
	Toplayıcı ve vericilerin arızalı olması	D	Y	O	D	O	O	O	D	O	O	D	ÇD	O	Y	O	ÇD
	Boya makinasının arızalı olması	D	Y	O	D	O	O	O	D	O	O	D	ÇD	D	O	O	D
	Dolguda açık olması	O	ÇY	ÇY	ÇD	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	Y	Y	D
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	D	ÇY	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	O	O	D	Y	Y	O
Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	D	Y	Y	O	O	Y	Y	D	O	O	Y	O	O	Y	Y	O	
KILIF EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	D	Y	Y	ÇD	O	Y	ÇY	O
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	D	Y	Y	D	O	D	O	O	D	Y	ÇY	D	O	O	Y	O
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	D	Y	O	D	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	Y	ÇY	D
	Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	D	Y	O	D	O	O	O	O	D	Y	O	O	O	O	O	O
	Kılıf malzemesinin nemli olması	D	Y	Y	D	D	Y	ÇY	ÇD	D	O	ÇY	D	D	Y	ÇY	D
	Kılıf malzemesinin kutusunun içine yabancı madde girmesi	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	O	O	D	D	O	Y	Y	D
Boya malzemesinin bozuk olması	D	ÇY	Y	D	D	Y	O	O	O	O	D	D	D	Y	O	O	

	Rezistansların arızalı olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	O	O	Y	D	
	Takımların, operatör tarafından kontrol edilmemesi	D	Y	Y	D	O	O	Y	Y	D	O	Y	O	O	O	Y	O	
	Boyamanın dalgalı olması	O	Y	Y	D	D	O	Y	O	D	O	O	D	D	Y	Y	D	
	Verici ve toplayıcı hatalarının olması	D	Y	O	D	O	Y	Y	ÇD	O	O	Y	ÇD	O	Y	Y	D	
	Kablonun yanması	O	ÇY	ÇY	O	O	Y	Y	O	O	Y	D	D	O	Y	ÇY	O	
	Sarım öncesi tahta makara hazırlığının yetersiz yapılması veya hiç yapılmaması	O	Y	O	D	D	Y	ÇY	Y	D	O	ÇD	ÇD	D	O	ÇY	O	
	Zırh tellerinin birbirinin üstüne binmesi	O	ÇY	ÇY	D	Y	Y	Y	Y	D	O	Y	D	O	Y	Y	Y	
	Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	O	Y	Y	D	D	Y	ÇY	O	O	O	Y	O	O	O	Y	O	
	Katerpil kayış renginin yanlış seçimi	D	O	O	D	O	O	O	O	D	O	O	ÇD	D	O	O	D	
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	O	ÇY	Y	D	O	Y	Y	O	D	Y	O	O	D	Y	ÇY	O	
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	ÇY	D	D	Y	ÇY	D	D	Y	ÇY	D	
	Spark cihazının uygulamaya alınmaması	O	ÇY	ÇY	D	ÇD	Y	ÇY	D	ÇD	O	O	D	D	Y	ÇY	D	
	Markalama diskinin hatalı olması	O	ÇY	ÇY	ÇD	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	ÇY	O	O	Y	ÇY	O	
TEL BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	Y	Y	D	O	Y	O	O	D	O	O	ÇD	D	Y	O	D	
	Büküm yönünün yanlış seçilmesi	D	ÇY	Y	ÇD	ÇD	Y	Y	ÇD	D	O	Y	O	D	Y	Y	D	
	Bakır büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	O	Y	Y	O	O	O	O	O	O	Y	O	D	O	O	Y	D	
	Vericilerin hava ayarının yapılmaması	D	Y	Y	O	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	
	Kaynağın, doğru veya sağlam yapılmaması	O	ÇY	ÇY	O	O	Y	Y	ÇY	O	O	D	D	O	Y	ÇY	Y	
	Yanlış haddenin takılması	D	Y	Y	D	D	Y	Y	ÇD	D	O	ÇD	D	D	Y	Y	ÇD	
	Mika bandın hasarlı/arızalı olması	ÇD	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	D	D	O	O	D	D	O	O	Y	D
	Mika bandın yanlış seçilmesi	O	Y	Y	D	O	Y	Y	O	D	Y	Y	D	D	O	Y	Y	D
	Mika bandın bindirme oranının ayarlanmaması	O	Y	O	Y	O	O	O	O	O	O	Y	Y	D	O	Y	Y	O
	Mika bandın kopması	O	Y	O	O	Y	Y	Y	O	O	O	O	O	O	O	Y	O	O
	Bükülü bakırın kopması	O	ÇY	ÇY	ÇD	O	Y	Y	O	O	O	Y	D	D	O	Y	Y	D
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	Y	D	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D
İZOLE BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	D	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	D	
	Büküm esnasında izolelerin ezilmesi	D	Y	Y	D	D	Y	Y	O	O	Y	Y	D	D	ÇY	O	D	
	Hatvesinin yanlış ayarlanması	D	Y	Y	D	O	O	O	O	D	D	O	O	D	O	O	D	

	Damar atlamalarının olması	O	ÇY	ÇY	D	O	ÇY	ÇY	O	O	Y	Y	O	O	Y	Y	O
	Damar sıralamasının yanlış yapılması	D	ÇY	ÇY	ÇD	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D
	Makaronun iyi yapılmaması	O	ÇY	ÇY	D	O	ÇY	ÇY	ÇD	O	Y	Y	O	O	Y	ÇY	D
	Makine gerginliğinin ayarlanmaması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	D	D	O	Y	Y	D
	Büküm esnasında yüzey kontrolünün yapılmaması	O	ÇY	ÇY	D	Y	Y	ÇY	O	O	O	Y	O	O	O	Y	O
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	D	Y	Y	O	O	Y	Y	O	D	O	Y	O	D	Y	Y	O
ZIRH BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D	D	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	D
	Zırh büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	O	Y	O	D	O	O	O	O	O	O	O	D	O	O	Y	D
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	D	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	Y	O	Y	Y	O	O	Y	ÇY	O
	Verici sepete yüklenen çelik telin iş emrindeki belirtilen çapta olmaması	D	D	O	O	D	O	O	ÇY	D	Y	O	D	D	O	Y	ÇY
	Vericiye yüklenen sepetlerdeki bazı tellerin etiket bilgilerinin yanlış olması	D	Y	Y	D	D	Y	Y	O	D	Y	D	O	D	O	ÇD	D
	Zırh tellerinin kopması	O	ÇY	O	ÇD	O	Y	O	O	O	Y	D	ÇD	O	Y	O	D
	Zırh teli kaynaklarının, teknik olarak doğru ve sağlam yapılmaması	D	O	O	D	O	O	O	O	O	O	D	O	O	O	D	O
	Dolgu çapının kalın olarak üretilmesi	D	Y	Y	D	O	Y	O	O	O	O	ÇD	O	O	O	O	O
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	D	O	O	D	D	D	D	Y	D	D	ÇD	D	D	D	D	O
İZOLE/ DOLGU/ KILIF SOĞ.	Soğutma suyunun sıcaklığının yüksek olması	D	Y	Y	D	O	Y	Y	O	D	O	Y	O	D	Y	Y	O
	Havuz içindeki ruloların dönmemesi	Y	O	Y	O	Y	Y	Y	Y	O	O	O	O	O	Y	Y	O
	Havuz içindeki kablunun yüzeyinin bozulması	O	ÇY	Y	O	O	Y	Y	Y	D	O	O	O	D	Y	Y	Y
	Havuzdaki su seviyelerinin kontrol edilmemesi	D	Y	O	D	D	Y	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	O	D
	Havuz uzunluğunun (soğutma kanalının) yetersiz olması	D	Y	ÇY	D	D	Y	Y	D	D	O	Y	D	D	Y	Y	D
KILIF MARKALAMA	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	ÇD	ÇY	ÇY	D	O	Y	ÇY	O	D	Y	ÇY	D	D	Y	ÇY	D
	Markalama diskinin, kılıf yüzeyini ezmesi	D	Y	Y	D	O	Y	ÇY	O	D	Y	ÇY	ÇD	D	Y	ÇY	D
	Metre atlamasının olması	O	ÇY	ÇY	O	O	Y	ÇY	O	O	Y	Y	D	O	ÇY	ÇY	O
	Markalama diskinin, kablunun üzerinden kayması	O	ÇY	ÇY	D	D	Y	Y	D	O	O	O	O	D	ÇY	ÇY	D
	Operatörün yanlış diski kullanması	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	ÇY	D	D	Y	Y	D	D	Y	ÇY	ÇD
	Markalama diskini üreten firmanın, markalama yazısını diske hatalı işlemesi	D	Y	Y	D	O	Y	ÇY	O	D	Y	Y	D	D	Y	ÇY	O
	Operatörün yanlış markalama tipi uygulaması	D	ÇY	ÇY	D	ÇD	Y	ÇY	ÇD	D	Y	O	D	ÇD	Y	ÇY	D

	Standarda uygun markalamanın yapılmaması	O	ÇY	ÇY	D	Y	Y	Y	O	Y	Y	O	D	Y	Y	ÇY	O
	Kılıf renginin müşterinin isteğine uygun olmaması	O	O	ÇY	D	D	O	Y	O	D	O	Y	D	D	O	Y	D
AMBALAJ, ETİKETLEME VE SEVKİYAT	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	D	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	D	D	D	ÇD	D	Y	Y	ÇD	
	Siparişin sisteme yanlış girilmesi	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	ÇY	ÇD	D	Y	Y	D	D	O	O	D
	Etiketlin yanlış hazırlanması	D	O	ÇY	D	D	Y	ÇY	ÇD	D	Y	Y	D	D	Y	O	D
	Etiketlin, yanlış makaraya takılması	D	Y	ÇY	D	ÇD	Y	ÇY	ÇD	D	Y	Y	D	D	Y	D	D
	Müşteri logosunun makaraya yanlış vurulması	O	Y	ÇY	O	D	O	ÇY	D	ÇD	O	O	D	ÇD	O	O	D
	Kablo sarımının makaraya bozuk yapılması	D	O	Y	D	O	Y	ÇY	O	O	O	O	D	O	Y	O	D
	Ürünün iş emrine uygun sevk makarasına sarılmaması veya uygun makaranın stoklarda kalmaması	O	ÇY	ÇY	ÇD	O	Y	Y	ÇD	O	Y	O	D	O	Y	Y	D
	Yüklemenin uygun bir şekilde yapılmaması	D	ÇY	ÇY	O	D	ÇY	ÇY	D	D	D	Y	D	D	Y	Y	O

Ek 16: Üretim süreçleri için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (3. Aşama)

	HATA TÜRLERİ	Ortaya Çıkma Sıklığı			İçsel Şiddeti			Dışsal Şiddeti			Tespit Edilememesi		
		$(R_i^O)^L$	$(R_i^O)^M$	$(R_i^O)^U$	$(R_i^{İŞ})^L$	$(R_i^{İŞ})^M$	$(R_i^{İŞ})^U$	$(R_i^{DŞ})^L$	$(R_i^{DŞ})^M$	$(R_i^{DŞ})^U$	$(R_i^T)^L$	$(R_i^T)^M$	$(R_i^T)^U$
TEL ÇEKME	Ürüne ilişkin bakır çapının yanlış seçilmesi	2,00	3,00	5,00	5,10	7,10	8,70	5,60	7,60	9,20	2,20	3,40	5,40
	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,75	4,50	6,50	5,10	7,10	8,70	5,10	7,10	8,70	2,55	4,10	6,10
	Bakırın inceltilmesi esnasında bakır telin kopması	2,75	4,50	6,50	2,75	4,50	6,50	1,75	2,50	4,50	1,55	2,10	4,10
	Bakır telin, istenilen çap değerinden daha fazla inceltilmiş olması	1,55	2,10	4,10	2,35	3,70	5,70	5,00	7,00	9,00	2,40	3,80	5,80
	Tavlamanın, istenilen seviyede olmaması	2,75	4,50	6,50	3,15	4,90	6,90	3,00	5,00	7,00	2,75	4,50	6,50
	Bakırın yanması	2,20	3,40	5,40	3,15	4,90	6,90	5,00	7,00	9,00	2,20	3,40	5,40
	Telin oksitlenmesi	2,20	3,40	5,40	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	2,00	3,00	5,00
	Bakırın düzgün sarılmaması	2,35	3,70	5,70	4,10	6,10	8,10	1,75	2,50	4,50	3,00	5,00	7,00
	Bakırın darbe alması	2,35	3,70	5,70	4,10	6,10	8,10	3,85	5,60	7,60	2,60	4,20	6,20
	Tel çekme süreci ürün kartının hatalı hazırlanması	2,20	3,40	5,40	5,10	7,10	8,70	3,85	5,60	7,60	2,10	3,20	5,20
	Toplayıcıdaki veya vericideki bakır makarasının düşmesi	2,20	3,40	5,40	5,10	7,10	8,70	3,55	5,20	7,20	1,35	1,70	3,70
İZOLE EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,55	4,10	6,10	5,00	7,00	9,00	4,50	6,50	8,50	1,75	2,50	4,50
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	2,55	4,10	6,10	3,00	5,00	7,00	2,55	4,10	6,10	2,35	3,70	5,70
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	2,20	3,40	5,40	6,20	8,20	9,40	5,10	7,10	8,70	2,55	4,10	6,10
	Operatör tarafından, yanlış bakırın takılması,	1,80	2,60	4,60	5,70	7,70	8,90	4,25	6,00	8,00	2,20	3,40	5,40
	Operatör tarafından, yanlış plastiğin seçilmesi	1,80	2,60	4,60	5,60	7,60	9,20	4,50	6,50	8,50	2,25	3,50	5,50
	Operatör tarafından, yanlış takımın seçimi	2,60	4,20	6,20	3,50	5,50	7,50	2,25	3,50	5,50	2,60	4,20	6,20
	İzolede kullanılacak plastiğin nemli olması veya içine yabancı madde girmesi	3,00	5,00	7,00	5,60	7,60	9,20	2,55	4,10	6,10	3,05	4,40	6,40
	Plastiğin bozulması	2,80	4,60	6,60	5,60	7,60	9,20	3,15	4,90	6,90	3,50	5,30	7,30
	Katalizörün veya boyanın bozuk olması	2,55	4,10	6,10	5,60	7,60	9,20	3,40	5,40	7,40	3,50	5,30	7,30
	Üretim formlarındaki ayar (set) değerlerinin ekstrüder makinesine doğru girilmemesi	2,75	4,50	6,50	4,30	6,30	8,30	3,15	4,90	6,90	2,75	4,50	6,50
	İstenilen set değerlerinin tutturulamaması	2,75	4,50	6,50	4,30	6,30	8,30	3,40	5,40	7,40	2,35	3,70	5,70

	Üretimin başlangıcında sente kaçıklığının olması	3,00	5,00	7,00	4,10	6,10	8,10	4,00	5,80	7,80	2,35	3,70	5,70
	Sisteme katalizör bilgilerinin eksik, yanlış veya hiç girilmemesi	2,55	4,10	6,10	4,30	6,30	8,30	3,15	4,90	6,90	3,40	5,40	7,40
	İzolasyon malzemesinin yanması	2,55	4,10	6,10	5,10	7,10	8,70	3,85	5,60	7,60	2,60	4,20	6,20
	Motanın, ekstrudere plastik vermemesi	2,80	4,60	6,60	5,00	7,00	9,00	2,55	4,10	6,10	1,55	2,10	4,10
	Güç kaynaklarının yetersiz olması (elektrik, su, hava)	2,20	3,40	5,40	4,50	6,50	8,50	4,25	6,00	8,00	1,75	2,50	4,50
	İzolede spark açıklarının bulunması	3,00	5,00	7,00	5,60	7,60	9,20	5,60	7,60	9,20	2,55	4,10	6,10
	Çap kontrol mekanizmasının devre dışı kalması	3,00	5,00	7,00	4,50	6,50	8,50	5,00	7,00	9,00	2,20	3,40	5,40
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	4,30	6,30	8,30	6,20	8,20	9,40	5,60	7,60	9,20	1,40	1,80	3,80
	Asansör, toplayıcı ve verici arızaları	3,40	5,40	7,40	4,50	6,50	8,50	4,10	6,10	8,10	2,30	3,60	5,60
	İzolasyon takımlarının (ayna, nipel) aşınmış olması	3,00	5,00	7,00	4,10	6,10	8,10	5,00	7,00	9,00	2,75	4,50	6,50
	Yüzey kontrolünün yapılmaması	2,80	4,60	6,60	4,50	6,50	8,50	5,00	7,00	9,00	2,55	4,10	6,10
DOLGU EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,60	4,20	6,20	4,10	6,10	8,10	5,00	7,00	9,00	2,55	4,10	6,10
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	2,55	4,10	6,10	3,40	5,40	7,40	2,60	3,80	5,80	2,35	3,70	5,70
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	2,60	4,20	6,20	5,60	7,60	9,20	4,25	6,00	8,00	2,80	4,60	6,60
	Operatör tarafından, yanlış takımın seçimi	2,75	4,50	6,50	4,40	6,40	8,00	3,00	5,00	7,00	2,00	3,00	5,00
	Takımların yeterli bakımlarının yapılmaması	2,35	3,70	5,70	4,50	6,50	8,50	4,50	6,50	8,50	2,55	4,10	6,10
	Makine rezistanslarının arızalı olması	2,55	4,10	6,10	3,40	5,40	7,40	3,00	5,00	7,00	2,55	4,10	6,10
	Toplayıcı ve vericilerin arızalı olması	2,80	4,60	6,60	3,80	5,80	7,80	2,75	4,50	6,50	1,55	2,10	4,10
	Boya makinesinin arızalı olması	2,60	4,20	6,20	3,40	5,40	7,40	2,75	4,50	6,50	1,75	2,50	4,50
	Dolguda açık olması	3,00	5,00	7,00	5,10	7,10	8,70	5,60	7,60	9,20	2,15	3,30	5,30
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	2,00	3,00	5,00	5,60	7,60	9,20	4,50	6,50	8,50	2,45	3,90	5,90
	Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	2,80	4,60	6,60	4,50	6,50	8,50	5,00	7,00	9,00	2,65	4,30	6,30
KILIF EKSTRÜZYON	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,55	4,10	6,10	5,00	7,00	9,00	5,60	7,60	9,20	2,30	3,60	5,60
	Üretim formlarındaki set değerlerinin hatalı olması	2,55	4,10	6,10	3,55	5,20	7,20	5,05	7,05	8,55	2,55	4,10	6,10
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	2,80	4,60	6,60	4,50	6,50	8,50	5,20	7,20	8,80	2,35	3,70	5,70
	Operatör tarafından yanlış takımın seçimi	2,55	4,10	6,10	3,90	5,90	7,90	3,00	5,00	7,00	2,80	4,60	6,60
	Kılıf malzemesinin nemli olması	2,00	3,00	5,00	4,50	6,50	8,50	7,40	9,40	9,80	1,65	2,30	4,30
	Kılıf malzemesi kutusunun içine yabancı madde girmesi	2,80	4,60	6,60	4,50	6,50	8,50	4,25	6,00	8,00	2,35	3,70	5,70
	Boya malzemesinin bozuk olması	2,25	3,50	5,50	5,10	7,10	8,70	3,15	4,90	6,90	2,55	4,10	6,10

	Rezistanların arızalı olması	2,80	4,60	6,60	4,10	6,10	8,10	5,00	7,00	9,00	2,35	3,70	5,70
	Takımların, operatör tarafından kontrol edilmemesi	2,55	4,10	6,10	3,40	5,40	7,40	5,00	7,00	9,00	3,50	5,30	7,30
	Boyamanın dalgalı olması	2,20	3,40	5,40	3,80	5,80	7,80	4,50	6,50	8,50	2,35	3,70	5,70
	Verici ve toplayıcı hatalarının olması	2,80	4,60	6,60	4,50	6,50	8,50	4,60	6,60	8,60	1,40	1,80	3,80
	Kablonun yanması	3,00	5,00	7,00	5,60	7,60	9,20	5,45	7,20	8,40	2,75	4,50	6,50
	Sarım öncesi tahta makara hazırlığının yetersiz yapılması veya hiç yapılmaması	2,20	3,40	5,40	4,10	6,10	8,10	5,25	6,75	7,65	3,00	4,30	6,30
	Zırh tellerinin birbirinin üstüne binmesi	3,45	5,20	7,20	5,10	7,10	8,70	5,60	7,60	9,20	3,65	5,20	7,20
	Başlangıç sentesinin kontrol edilmemesi	2,65	4,30	6,30	4,10	6,10	8,10	6,05	8,05	9,35	2,80	4,60	6,60
	Katerpil kayış renginin yanlış seçimi	2,35	3,70	5,70	3,00	5,00	7,00	3,00	5,00	7,00	2,10	3,20	5,20
	Ürüne ilişkin doğru plastiğin seçilmemesi	2,55	4,10	6,10	5,60	7,60	9,20	5,10	7,10	8,70	2,80	4,60	6,60
	Spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması	2,55	4,10	6,10	5,60	7,60	9,20	8,00	10,00	10,00	2,00	3,00	5,00
	Spark cihazının uygulamaya alınmaması	1,60	2,20	4,20	5,10	7,10	8,70	6,75	8,75	9,25	2,00	3,00	5,00
	Markalama diskinin hatalı olması	3,00	5,00	7,00	6,65	8,65	9,55	8,00	10,00	10,00	2,25	3,50	5,50
TEL BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,35	3,70	5,70	4,50	6,50	8,50	3,40	5,40	7,40	2,10	3,20	5,20
	Büküm yönünün yanlış seçilmesi	1,65	2,30	4,30	5,10	7,10	8,70	5,00	7,00	9,00	1,70	2,40	4,40
	Bakır büküm hatvesinin yanlış ayarlanması	3,00	5,00	7,00	3,90	5,90	7,90	3,80	5,80	7,80	2,55	4,10	6,10
	Vericilerin hava ayarının yapılmaması	2,80	4,60	6,60	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	2,20	3,40	5,40
	Kaynağın, doğru veya sağlam yapılmaması	3,00	5,00	7,00	5,10	7,10	8,70	5,45	7,20	8,40	4,90	6,65	7,95
	Yanlış haddenin takılması	2,00	3,00	5,00	4,50	6,50	8,50	4,00	5,50	7,50	1,45	1,90	3,90
	Mika bandın hasarlı/arızalı olması	2,00	3,00	5,00	4,10	6,10	8,10	4,50	6,50	8,50	1,80	2,60	4,60
	Mika bandın yanlış seçilmesi	2,75	4,50	6,50	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	2,35	3,70	5,70
	Mika bandın bindirme oranının ayarlanmaması	3,00	5,00	7,00	4,30	6,30	8,30	3,90	5,90	7,90	3,15	4,90	6,90
	Mika bandın kopması	3,70	5,70	7,70	4,50	6,50	8,50	3,70	5,70	7,70	3,00	5,00	7,00
	Bükülü bakırın kopması	3,00	5,00	7,00	5,10	7,10	8,70	5,60	7,60	9,20	2,15	3,30	5,30
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	2,45	3,90	5,90	5,60	7,60	9,20	5,60	7,60	9,20	2,00	3,00	5,00
İZOLE BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,35	3,70	5,70	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	2,10	3,20	5,20
	Büküm esnasında izolelerin ezilmesi	2,25	3,50	5,50	5,60	7,60	9,20	4,60	6,60	8,60	2,35	3,70	5,70
	Hatvesinin yanlış ayarlanması	2,35	3,70	5,70	3,15	4,90	6,90	3,40	5,40	7,40	2,60	4,20	6,20
	Damar atlamalarının olması	3,00	5,00	7,00	6,65	8,65	9,55	6,65	8,65	9,55	2,80	4,60	6,60
	Damar sıralamasının yanlış yapılması	2,00	3,00	5,00	6,65	8,65	9,55	6,65	8,65	9,55	1,80	2,60	4,60
	Makaronun iyi yapılmaması	3,00	5,00	7,00	6,65	8,65	9,55	7,25	9,25	9,75	1,90	2,80	4,80

	Makine gerginliğinin ayarlanmaması	2,80	4,60	6,60	5,00	7,00	9,00	4,25	6,00	8,00	2,00	3,00	5,00
	Büküm esnasında yüzey kontrolünün yapılmaması	3,70	5,70	7,70	4,70	6,70	8,30	6,65	8,65	9,55	2,80	4,60	6,60
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	2,35	3,70	5,70	4,50	6,50	8,50	5,00	7,00	9,00	3,00	5,00	7,00
ZIRH BÜKME	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,35	3,70	5,70	5,00	7,00	9,00	5,00	7,00	9,00	1,75	2,50	4,50
	Hatvesinin yanlış ayarlanması	3,00	5,00	7,00	3,40	5,40	7,40	3,40	5,40	7,40	2,35	3,70	5,70
	Operatör tarafından, bir önceki yarı mamul kartlarındaki uyarıcı açıklamaların dikkate alınmaması	2,80	4,60	6,60	5,60	7,60	9,20	6,20	8,20	9,40	3,50	5,30	7,30
	Verici sepete yüklenen zırh tellerinin iş emrindeki belirtilen çapta olmaması	2,00	3,00	5,00	3,30	5,10	7,10	3,40	5,40	7,40	5,50	7,25	8,15
	Vericiye yüklenen sepetlerdeki bazı zırh tellerinin etiket bilgilerinin yanlış olması	2,00	3,00	5,00	4,60	6,60	8,60	3,45	4,80	6,80	2,60	4,20	6,20
	Zırh tellerinin kopması	3,00	5,00	7,00	5,60	7,60	9,20	2,75	4,50	6,50	1,90	2,80	4,80
	Zırh teli kaynaklarının, teknik olarak doğru ve sağlam yapılmaması	2,80	4,60	6,60	3,00	5,00	7,00	2,55	4,10	6,10	2,80	4,60	6,60
	Dolgu çapının kalın olarak üretilmesi	2,80	4,60	6,60	4,10	6,10	8,10	2,90	4,40	6,40	2,80	4,60	6,60
	Ürüne ait etiket bilgilerinin hatalı hazırlanması	2,00	3,00	5,00	2,20	3,40	5,40	1,95	2,90	4,90	3,25	4,80	6,80
	SOĞUTMA	Soğutma suyunun sıcaklığının yüksek olması	2,35	3,70	5,70	4,50	6,50	8,50	5,00	7,00	9,00	2,80	4,60
Havuz içindeki ruloların dönmemesi		4,10	6,10	8,10	4,10	6,10	8,10	4,50	6,50	8,50	3,70	5,70	7,70
Havuz içindeki kablo yüzeyinin bozulması		2,55	4,10	6,10	5,10	7,10	8,70	4,50	6,50	8,50	4,10	6,10	8,10
Havuzdaki su seviyelerinin kontrol edilmemesi		2,00	3,00	5,00	5,00	7,00	9,00	4,20	6,20	8,20	2,00	3,00	5,00
Havuz uzunluğunun (soğutma kanalının) yetersiz olması		2,00	3,00	5,00	4,50	6,50	8,50	5,60	7,60	9,20	2,00	3,00	5,00
KILIF MARKALAMA	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,15	3,30	5,30	5,60	7,60	9,20	8,00	10,00	10,00	2,35	3,70	5,70
	Markalama diskinin, kılıf yüzeyini ezmesi	2,35	3,70	5,70	5,00	7,00	9,00	7,40	9,40	9,80	2,10	3,20	5,20
	Metre atlamasının olması	3,00	5,00	7,00	6,20	8,20	9,40	7,25	9,25	9,75	2,75	4,50	6,50
	Markalama diskinin, kablonun üzerinden kayması	2,45	3,90	5,90	5,70	7,70	8,90	5,70	7,70	8,90	2,25	3,50	5,50
	Operatörün yanlış diski kullanması	2,00	3,00	5,00	5,60	7,60	9,20	7,25	9,25	9,75	1,80	2,60	4,60
	Markalama diskini üreten firmanın, markalama yazısını diske hatalı işlemesi	2,35	3,70	5,70	5,00	7,00	9,00	6,65	8,65	9,55	2,55	4,10	6,10
	Operatörün yanlış markalama tipi uygulaması	1,45	1,90	3,90	5,60	7,60	9,20	6,75	8,75	9,25	1,65	2,30	4,30
	Standarda uygun markalamanın yapılmaması	4,60	6,60	8,60	5,60	7,60	9,20	5,70	7,70	8,90	2,55	4,10	6,10
	Kılıf renginin müşterinin isteğine uygun olmaması	2,20	3,40	5,40	3,00	5,00	7,00	5,60	7,60	9,20	2,35	3,70	5,70

AMB., ETİKET. VE SEVK.	İş emrindeki mühendislik tanımlarının yanlış olması	2,35	3,70	5,70	4,85	6,60	8,20	4,85	6,60	8,20	1,55	2,10	4,10
	Siparişin sisteme yanlış girilmesi	2,00	3,00	5,00	5,20	7,20	8,80	6,25	8,25	9,15	1,65	2,30	4,30
	Etiketlin yanlış hazırlanması	2,00	3,00	5,00	4,60	6,60	8,60	6,25	8,25	9,15	1,65	2,30	4,30
	Etiketlin, yanlış makaraya takılması	1,65	2,30	4,30	5,00	7,00	9,00	6,05	7,85	8,75	1,65	2,30	4,30
	Müşteri logosunun makaraya yanlış vurulması	1,75	2,50	4,50	3,40	5,40	7,40	5,75	7,75	8,65	2,20	3,40	5,40
	Kablo sarımının makaraya bozuk yapılması	2,80	4,60	6,60	4,10	6,10	8,10	5,15	7,15	8,45	2,35	3,70	5,70
	Ürünün iş emrine uygun sevk makarasına sarılmaması veya uygun makaranın stoklarda kalmaması	3,00	5,00	7,00	5,60	7,60	9,20	5,10	7,10	8,70	1,45	1,90	3,90
	Yüklemenin uygun bir şekilde yapılmaması	2,00	3,00	5,00	5,90	7,65	8,55	6,65	8,65	9,55	2,40	3,80	5,80

Ek 17a: Üretimin $\alpha=1$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (4. Aşama)

	$k_{4,H}$	<i>Direnç Kontrolü</i>	<i>Çap Kontrolü</i>	<i>Et Kalınlığı Kontrolü</i>	<i>Yüzey Kontrolü</i>	<i>Gerilim ve Kopukluk Kontrolü</i>	<i>Uzama ve Mukavemet Kontrolü</i>	<i>Metre ve Markalama Kontrolü</i>	<i>Makara Bilgileri Kontrolü</i>	<i>Alev Testleri</i>	
<i>Tel çekme</i>	0,046	0,153	0,209		0,190	0,078	0,185		0,185		
<i>Ekstrüzyon</i>	<i>İzole</i>	0,126	0,114	0,174	0,174	0,161	0,068	0,161		0,148	
	<i>Dolgu</i>	0,120	0,089	0,152	0,180	0,170	0,074	0,168		0,168	
	<i>Kılıf</i>	0,092	0,082	0,130	0,148	0,155	0,055	0,127	0,097	0,130	0,076
<i>Soğutma</i>	<i>İzole</i>	0,036	0,137	0,201	0,246	0,205		0,211			
	<i>Dolgu</i>	0,102	0,137	0,201	0,246	0,205		0,211			
	<i>Kılıf</i>	0,101	0,091	0,148	0,178	0,198		0,158	0,136		0,091
<i>Bükme</i>	<i>Tel</i>	0,075	0,179	0,199		0,194	0,079	0,161		0,188	
	<i>İzole</i>	0,092	0,089	0,142	0,170	0,168	0,068	0,141		0,132	0,090
	<i>Zırh</i>	0,099	0,144	0,154		0,220	0,085	0,134		0,171	0,093
<i>Kılıf markalama</i>	0,061	0,063		0,164	0,253			0,203	0,213	0,104	
<i>Amb.,Etiket.ve Sevk.</i>	0,051		0,134	0,149	0,157	0,061	0,153	0,123	0,165	0,057	

Ek 17b: Üretimin $\alpha=0$ için normalize edilmiş ilişki değerleri (4. Aşama)

	$k_{4,H}$	Direnç kontrolü		Çap kontrolü		Et kalınlığı kontrolü		Yüzey kontrolü		Gerilim ve kopukluk kontrolü		Uzama ve mukavemet kontrolü		Metre ve markalama kontrolü		Makara bilgileri kontrolü		Alev testleri		
		L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	
<i>Tel çekme</i>	0,046	0,056	0,373	0,078	0,463			0,065	0,439	0,010	0,246	0,065	0,434			0,065	0,434			
<i>Ekstrüzyon</i>	<i>İzole</i>	0,126	0,038	0,294	0,065	0,396	0,065	0,396	0,057	0,380	0,020	0,194	0,057	0,380			0,048	0,364		
	<i>Dolgu</i>	0,120	0,010	0,313	0,034	0,429	0,056	0,473	0,057	0,459	0,024	0,245	0,040	0,456			0,049	0,461		
	<i>Kılıf</i>	0,092	0,026	0,227	0,045	0,327	0,054	0,357	0,052	0,376	0,014	0,170	0,039	0,330	0,032	0,259	0,042	0,333	0,026	0,207
<i>Soğutma</i>	<i>İzole</i>	0,036	0,018	0,475	0,035	0,576	0,063	0,640	0,058	0,602			0,044	0,588						
	<i>Dolgu</i>	0,102	0,018	0,475	0,035	0,576	0,063	0,640	0,058	0,602			0,044	0,588						
	<i>Kılıf</i>	0,101	0,011	0,360	0,022	0,479	0,040	0,527	0,057	0,576			0,028	0,497	0,045	0,437			0,011	0,360
<i>Bükme</i>	<i>Tel</i>	0,075	0,065	0,436	0,067	0,471			0,066	0,466	0,012	0,263	0,037	0,423			0,066	0,460		
	<i>İzole</i>	0,092	0,024	0,272	0,041	0,378	0,054	0,429	0,055	0,430	0,019	0,212	0,041	0,384			0,041	0,364	0,022	0,271
	<i>Zırh</i>	0,099	0,042	0,432	0,029	0,457			0,069	0,573	0,011	0,314	0,015	0,444			0,057	0,490	0,018	0,321
<i>Kılıf markalama</i>	0,061	0,008	0,217			0,041	0,416	0,096	0,542					0,085	0,446	0,087	0,472	0,021	0,298	
<i>Ambalaj ve etiketleme</i>	0,051			0,046	0,332	0,057	0,351	0,058	0,369	0,018	0,179	0,051	0,372	0,042	0,310	0,055	0,392	0,015	0,177	

Ek 18: Üretim için belirlenen hata türlerinin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	HATA TÜRLERİ	KV ₁				KV ₂				KV ₃				KV ₄			
		O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T
DİRENÇ KONTROLÜ	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	ÇD	Y	O	ÇD	ÇD	Y	Y	ÇD	ÇD	Y	Y	D	D	O	O	ÇD
	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	D	ÇY	Y	D	D	Y	Y	O	D	Y	O	O	D	Y	Y	D
	Numunenin, ölçüm için ortam şartlarında bekletilmemesi	D	O	Y	ÇD	D	O	O	D	D	Y	O	D	D	O	O	D
	Cihazın köprü doğrulamasının yapılmaması	D	O	D	ÇD	O	O	O	ÇD	D	O	D	D	O	Y	O	ÇD
	Cihazın bağlantılarının doğru bir şekilde yapılmaması	ÇD	O	D	D	ÇD	D	ÇD	D	D	D	D	D	D	O	O	D
	Operatörün, numuneyi cihaza doğru bir şekilde yerleştirmemesi	D	O	O	ÇD	D	Y	O	D	D	O	O	D	D	D	ÇD	D
	Operatörün, cihazın parametrelere ilişkin set değerlerini göstergeden takip etmemesi	D	Y	O	D	O	Y	ÇY	D	O	Y	ÇY	D	D	O	O	D
	Operatörün, kayıt formlarına okuduğu direnç değerini yanlış yazması	D	Y	Y	O	O	Y	O	D	D	O	Y	D	D	O	O	O
	Operatörün, imalât direnç çizelgesindeki değeri yanlış okuması ve numune için uygun olmayan değeri kabul etmesi	D	ÇY	ÇY	O	D	Y	O	D	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D
ÇAP KONTROLÜ	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	ÇD	Y	Y	ÇD	D	Y	O	D	ÇD	Y	O	ÇD	D	O	O	D
	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	ÇD	Y	Y	ÇD	ÇD	Y	O	D	D	O	O	ÇD	D	Y	O	D
	Operatörün ölçüm şeklinin, olması gerekenden farklı yapması	ÇD	ÇY	Y	ÇD	D	Y	O	D	D	O	O	O	D	O	Y	O
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	Y	D	D	O	Y	D	D	Y	Y	D
	Çap kontrolünde operatörün numunede seçim noktasını yanlış belirlemesi	D	Y	Y	O	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	Y	O

ET KALINLIĞI KONTROLÜ	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	ÇD	O	O	ÇD	D	Y	O	D	ÇD	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	D
	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	ÇD	Y	Y	D	D	Y	Y	D	D	O	D	ÇD	D	Y	O	D
	Operatörün, okuduğu et kalınlığı değerini kayıt formlarına yanlış yazması	D	Y	Y	D	D	Y	O	D	D	O	O	D	D	Y	O	D
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	D	Y	Y	D	D	Y	O	D	D	O	O	D	D	Y	Y	D
	Operatörün, et kalınlığı ölçüm noktasını yanlış seçmesi	D	O	O	D	D	O	Y	D	D	O	O	D	ÇD	O	O	D
	Operatörün, ölçüm esnasında yapması gereken sıfırlama ayarını yapmaması/yanlış yerde yapması	D	Y	Y	D	D	Y	D	D	D	O	D	D	D	Y	D	D
YÜZEY KONTROLÜ	Yüzeydeki problemlerin (sivilcelenmeler, çukurluk, renkte matlaşma vb.) kontrol operatörünün gözünden kaçması	O	Y	Y	ÇD	D	Y	ÇY	O	D	O	O	D	D	O	ÇY	D
	Operatörün, yüzeydeki problemi gördüğü halde inisiyatif kullanarak problemi önemsememesi	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	O	O	D	O	O	Y	D
	Operatörün, problemlili yüzeyi sarımsın altında kaldığı için görememesi	O	Y	Y	Y	O	Y	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	O	Y	Y	Y
GERİLİM VE KOPIKLUK KONTROLÜ	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	ÇD	ÇY	ÇY	D	D	Y	ÇY	ÇD	ÇD	Y	Y	ÇD	ÇD	Y	O	ÇD
	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	ÇD	ÇY	Y	D	ÇD	Y	ÇY	D	D	Y	Y	ÇD	ÇD	Y	ÇY	ÇD
	Operatörün, gerekli emniyet tedbirlerini almaması	D	ÇY	ÇD	D	ÇD	ÇY	ÇD	ÇD	ÇD	ÇY	ÇD	ÇD	ÇD	ÇY	D	ÇD
	Operatörün, gerilim uygulayacağı kabloya yanlış voltaj değeri vermesi	D	ÇY	ÇY	O	O	ÇY	ÇY	Y	D	Y	Y	Y	D	Y	ÇY	Y
	Operatörün, gerilim esnasında beklenmesi gereken süreye uymaması	D	Y	Y	O	O	ÇY	Y	Y	O	O	O	Y	O	Y	O	Y
	Operatörün, her damara gerilim vermemesi	D	Y	ÇY	O	D	ÇY	ÇY	Y	D	ÇY	ÇY	Y	ÇD	ÇY	ÇY	Y
	Operatörün, bağlantı kablolarını kontrol etmemesi	D	Y	Y	D	ÇD	ÇY	ÇY	Y	D	ÇY	ÇY	Y	D	ÇY	ÇY	Y
	Operatörün, ölçme esnasında bağlantıları yanlış yapması	ÇD	ÇY	ÇY	O	ÇD	ÇY	ÇY	O	D	ÇY	ÇY	Y	D	ÇY	ÇY	Y
	Operatörün, kablo uçlarını bağlamamış olması	ÇD	ÇY	ÇY	Y	D	ÇY	ÇY	Y	D	ÇY	ÇY	Y	ÇD	ÇY	ÇY	Y

UZAMA VE MUKAVEMET KONTROLÜ	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	ÇD	Y	Y	ÇD	D	Y	O	D	ÇD	Y	O	ÇD	ÇD	Y	O	ÇD	
	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibi yapılmasına rağmen sapma göstermesi	ÇD	Y	Y	D	ÇD	Y	Y	D	D	Y	O	ÇD	D	Y	O	D	
	Cihazın ekstansiyometre ayarının kontrol edilmemesi	D	Y	Y	D	D	Y	D	D	D	Y	D	D	D	O	D	D	
	Cihazın hız doğrulamasının yapılmaması	D	Y	Y	D	O	Y	O	D	D	O	O	D	D	O	O	D	
	Ölçüm sonucunu etkileyecek giriş parametrelerinin (et kalınlığı, çap, ağırlık, yoğunluk vb.), cihaza hatalı girilmesi	D	Y	Y	D	O	Y	ÇY	O	D	D	Y	Y	D	D	ÇY	Y	D
	Cihazın çenelerinin test esnasında numuneyi tam kavramaması	D	Y	Y	D	D	Y	O	D	D	O	O	D	D	Y	O	D	
	Operatör, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	D	Y	Y	ÇD	O	Y	Y	D	D	O	O	D	D	Y	O	D	
	Operatörün, kayıt formlarına okuduğu uzama ve mukavemet değerini yanlış yazması	D	Y	Y	ÇD	D	O	Y	D	D	O	D	ÇD	D	O	O	ÇD	
METRE VE MARK. KONTROLÜ	Kablo üzerindeki markalama hatasının, operatörün gözünden kaçması	D	ÇY	ÇY	Y	O	Y	ÇY	Y	D	Y	ÇY	D	D	Y	ÇY	D	
	Markalama ve metrenin silik yazılması	O	Y	Y	O	O	Y	ÇY	Y	O	Y	Y	O	O	ÇY	ÇY	O	
	Metre ve markalamanın hatalı okunması	D	ÇY	ÇY	O	O	Y	Y	Y	O	Y	ÇY	O	O	Y	Y	O	
BİLG. MAK. KONTROLÜ	Isıl işleme tabi olmayan makaranın kullanılması	D	D	D	D	ÇD	Y	O	D	D	D	O	D	D	O	O	D	
	Makaranın yapısında bozuklukların olması	O	Y	O	ÇD	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	ÇY	D	
	Operatörün, makaranın üzerine yanlış şablon vurması	O	ÇY	O	O	O	Y	D	O	D	D	D	D	D	O	D	D	
ALEV TESTLERİ	Testlerin, standardına uygun (talimatlara) bir şekilde yapılmaması	ÇD	ÇY	ÇY	ÇD	ÇD	Y	Y	D	D	Y	O	D	D	ÇY	O	D	
	Test ekipmanlarının, kalibrasyonlarının veya doğrulamalarının yapılmaması	ÇD	Y	Y	D	D	Y	Y	D	ÇD	Y	D	ÇD	ÇD	Y	D	D	
	Test esnasında, güvenlik önlemlerinin kontrol edilmemesi	D	ÇY	ÇD	D	D	ÇY	ÇD	ÇD	ÇD	ÇY	ÇD	ÇD	D	ÇY	D	D	

Merdiven testinde, numune sayısının hatalı hesaplanması	ÇD	ÇY	ÇY	ÇD	D	Y	Y	D	ÇD	Y	O	ÇD	D	Y	Y	D
Alev altında akımı iletme testinde, bağlantı noktalarının hatalı yapılması	D	Y	D	ÇD	D	Y	Y	D	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	O	D
Alev sıcaklığının, istenilen seviyede olmaması	D	ÇY	ÇY	D	ÇD	ÇY	ÇY	O	D	D	ÇY	D	D	D	Y	ÇD
Alevin, kablo yüzeyine doğrudan temas etmemesi	D	ÇY	ÇY	D	D	Y	ÇY	D	D	Y	ÇY	D	D	Y	Y	D

Ek 19: Üretim için belirlenen hata türlerinin bütünleştirilmiş bulanık değerleri (4. Aşama)

	<i>HATA TÜRLERİ</i>	<i>Ortaya Çıkma Sıklığı</i>			<i>İçsel Şiddeti</i>			<i>Dışsal Şiddeti</i>			<i>Tespit Edilememesi</i>		
		$(R_i^O)^L$	$(R_i^O)^M$	$(R_i^O)^U$	$(R_i^{İŞ})^L$	$(R_i^{İŞ})^M$	$(R_i^{İŞ})^U$	$(R_i^{DŞ})^L$	$(R_i^{DŞ})^M$	$(R_i^{DŞ})^U$	$(R_i^T)^L$	$(R_i^T)^M$	$(R_i^T)^U$
DİRENÇ KONTROLÜ	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	1,25	1,50	3,50	4,50	6,50	8,50	3,90	5,90	7,90	1,25	1,60	3,40
	Direnci ölçen cihazın, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	2,00	3,00	5,00	5,90	7,90	9,30	4,30	6,30	8,30	2,45	3,90	5,90
	Numunenin, ölçüm için ortam şartlarında bekletilmemesi	2,00	3,00	5,00	3,70	5,70	7,70	3,60	5,60	7,60	1,70	2,40	4,40
	Cihazın köprü doğrulamasının yapılmaması	2,35	3,70	5,70	3,50	5,50	7,50	2,35	3,70	5,70	1,25	1,60	3,40
	Cihazın bağlantılarının doğru bir şekilde yapılmaması	1,60	2,20	4,20	2,55	4,10	6,10	2,15	3,30	5,30	2,00	3,00	5,00
	Operatörün, numuneyi cihaza doğru bir şekilde yerleştirmemesi	2,00	3,00	5,00	2,95	4,70	6,70	2,50	4,00	6,00	1,70	2,40	4,40
	Operatörün, cihazın parametrelere ilişkin set değerlerini göstergeden takip etmemesi	2,45	3,90	5,90	4,50	6,50	8,50	5,25	7,25	8,35	2,00	3,00	5,00
	Operatörün, okuduğu direnç değerini kayıt formlarına yanlış yazması	2,10	3,20	5,20	3,80	5,80	7,80	4,30	6,30	8,30	2,55	4,10	6,10
	Operatörün, imalât direnç çizelgesindeki değeri yanlış okuması ve numune için uygun olmayan değeri kabul etmesi	2,25	3,50	5,50	5,90	7,90	9,30	5,70	7,70	9,10	2,30	3,60	5,60
ÇAP KONTROLÜ	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	1,35	1,70	3,70	4,50	6,50	8,50	3,60	5,60	7,60	1,35	1,70	3,70
	Çapı ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	1,60	2,20	4,20	4,30	6,30	8,30	3,60	5,60	7,60	1,35	1,70	3,70
	Operatörün ölçüm şeklinin olması gerekenden farklı olması	1,70	2,40	4,40	4,70	6,70	8,10	4,10	6,10	8,10	2,30	3,60	5,60

	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	2,00	3,00	5,00	5,20	7,20	8,60	5,90	7,90	9,30	2,00	3,00	5,00
	Çap kontrolünde operatörün, numunede seçim noktasını yanlış belirlemesi	2,60	4,20	6,20	4,10	6,10	8,10	3,60	5,60	7,60	3,00	5,00	7,00
ET KALINLIĞI KONTROLÜ	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	1,35	1,70	3,70	4,40	6,40	8,40	4,20	6,20	8,20	1,35	1,70	3,70
	Et kalınlığını ölçen aletin, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	1,70	2,40	4,40	4,30	6,30	8,30	3,45	5,10	7,10	1,65	2,30	4,30
	Operatörün, okuduğu et kalınlığı değerini kayıt formlarına yanlış yazması	2,00	3,00	5,00	4,30	6,30	8,30	3,60	5,60	7,60	2,00	3,00	5,00
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	2,00	3,00	5,00	4,30	6,30	8,30	4,10	6,10	8,10	2,00	3,00	5,00
	Operatörün et kalınlığı, ölçüm noktasını yanlış seçmesi	1,75	2,50	4,50	3,00	5,00	7,00	3,20	5,20	7,20	2,00	3,00	5,00
	Operatörün, ölçüm esnasında yapması gereken sıfırlama ayarını yapmaması/yanlış yerde yapması	2,00	3,00	5,00	4,30	6,30	8,30	2,90	4,20	6,20	2,00	3,00	5,00
YÜZEY KONTROLÜ	Yüzeydeki problemlerin (sivilcelenmeler, çukurluk, renkte matlaşma vb.) kontrol operatörünün gözünden kaçması	2,30	3,60	5,60	3,80	5,80	7,80	5,35	7,35	8,65	1,80	2,60	4,60
	Operatörün, yüzeydeki problemi gördüğü halde inisiyatif kullanarak problemi önemsememesi	2,70	4,40	6,40	3,80	5,80	7,80	4,30	6,30	8,30	2,00	3,00	5,00
	Operatörün, problemlili yüzeyi sarımın altında kaldığı için görememesi	3,70	5,70	7,70	5,00	7,00	9,00	5,30	7,30	9,10	5,00	7,00	9,00
GERİLİM VE KOPUKLUK KONTROLÜ	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	1,10	1,20	3,20	5,90	7,90	9,30	5,70	7,70	8,90	1,20	1,50	3,30
	Gerilim ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	1,35	1,70	3,70	5,90	7,90	9,30	6,05	8,05	9,35	1,40	1,80	3,80
	Operatörün, gerekli emniyet tedbirlerini almaması	1,30	1,60	3,60	8,00	10,00	10,00	1,25	1,50	3,50	1,20	1,50	3,30

	Operatörün, gerilim uygulayacağı kabloya yanlış voltaj değeri vermesi	2,10	3,20	5,20	6,20	8,20	9,40	6,95	8,95	9,65	4,40	6,40	8,40
	Operatörün, gerilim esnasında beklenmesi gereken süreye uymaması	2,70	4,40	6,40	4,60	6,60	8,40	3,80	5,80	7,80	4,40	6,40	8,40
	Operatörün, her damara gerilim vermemesi	1,75	2,50	4,50	7,10	9,10	9,70	8,00	10,00	10,00	4,40	6,40	8,40
	Operatörün, bağlantı kablolarını kontrol etmemesi	1,90	2,80	4,80	7,10	9,10	9,70	7,10	9,10	9,70	4,10	5,80	7,80
	Operatörün, ölçme esnasında bağlantıları yanlış yapması	1,60	2,20	4,20	8,00	10,00	10,00	8,00	10,00	10,00	4,20	6,20	8,20
	Operatörün, kablo uçlarını bağlamamış olması	1,45	1,90	3,90	8,00	10,00	10,00	8,00	10,00	10,00	5,00	7,00	9,00
UZAMA VE MUKAVEMET KONTROLÜ	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmaması	1,10	1,20	3,20	5,00	7,00	9,00	3,60	5,60	7,60	1,10	1,20	3,20
	Uzama ve mukavemet ölçme cihazının, periyodik kalibrasyon takibinin yapılmasına rağmen sapma göstermesi	1,60	2,20	4,20	5,00	7,00	9,00	3,80	5,80	7,80	1,65	2,30	4,30
	Cihazın ekstansiyometre ayarının kontrol edilmemesi	2,00	3,00	5,00	4,50	6,50	8,50	2,90	4,20	6,20	2,00	3,00	5,00
	Cihazın hız doğrulamasının yapılmaması	2,10	3,20	5,20	3,80	5,80	7,80	3,60	5,60	7,60	2,00	3,00	5,00
	Ölçüm sonucunu etkileyecek giriş parametrelerinin (et kalınlığı, çap, ağırlık, yoğunluk vb.), cihaza hatalı girilmesi	2,10	3,20	5,20	5,75	7,75	9,25	5,30	7,30	9,10	2,10	3,20	5,20
	Cihazın çenelerinin test esnasında numuneyi tam kavramaması	2,00	3,00	5,00	4,30	6,30	8,30	3,60	5,60	7,60	2,00	3,00	5,00
	Operatörün, ölçülen ve/veya istenen değeri yanlış okuması	2,10	3,20	5,20	4,30	6,30	8,30	3,80	5,80	7,80	1,70	2,40	4,40
	Operatörün, okuduğu uzama ve mukavemet değerini kayıt formlarına yanlış yazması	2,00	3,00	5,00	3,60	5,60	7,60	3,45	5,10	7,10	1,10	1,20	3,20
MET. VE MARK.	Kablo üzerindeki markalama hatasının, operatörün gözünden kaçması	2,10	3,20	5,20	5,90	7,90	9,30	8,00	10,00	10,00	3,20	4,60	6,60
	Markalama ve metrenin silik yazılması	3,00	5,00	7,00	5,75	7,75	9,25	6,05	8,05	9,35	3,20	5,20	7,20
	Metre ve markalamanın hatalı okunması	2,70	4,40	6,40	5,90	7,90	9,30	6,95	8,95	9,65	3,20	5,20	7,20
MAK. BİLG.	Isıl işleme tabi olmayan makaranın kullanılması	1,90	2,80	4,80	2,55	3,90	5,90	2,70	4,40	6,40	2,00	3,00	5,00
	Makaranın yapısında bozuklukların olması	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	9,00	5,15	7,15	8,65	1,70	2,40	4,40

	Operatörün, makaranın üzerine yanlış şablon vurması	2,40	3,80	5,80	4,35	6,00	7,40	2,30	3,60	5,60	2,40	3,80	5,80
ALEV TESTLERİ	Testlerin, standardına uygun (talimatlara) bir şekilde yapılmaması	1,60	2,20	4,20	6,65	8,65	9,55	4,70	6,70	8,10	1,70	2,40	4,40
	Test ekipmanlarının, kalibrasyonlarının veya doğrulamalarının yapılmaması	1,10	1,20	3,20	5,00	7,00	9,00	3,20	4,60	6,60	1,65	2,30	4,30
	Test esnasında, güvenlik önlemlerinin kontrol edilmemesi	1,65	2,30	4,30	8,00	10,00	10,00	1,25	1,50	3,50	1,55	2,10	4,10
	Merdiven testinde, numune sayısının hatalı hesaplanması	1,35	1,70	3,70	5,90	7,90	9,30	5,20	7,20	8,60	1,35	1,70	3,70
	Alev altında akımı iletme testinde, bağlantı noktalarının hatalı yapılması	1,40	1,80	3,80	3,20	4,60	6,60	2,20	3,20	5,20	1,35	1,70	3,70
	Alev sıcaklığının, istenilen seviyede olmaması	1,90	2,80	4,80	4,40	5,80	7,00	7,25	9,25	9,75	1,85	2,70	4,70
	Alevin, kablo yüzeyine doğrudan temas etmemesi	2,00	3,00	5,00	5,90	7,90	9,30	7,25	9,25	9,75	2,00	3,00	5,00

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Esra AYTAÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : Çal/Denizli , 06.01.1980

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Fakültesi,
İşletme Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Pamukkale Üniversitesi, SBE, İşletme ABD
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar : Pamukkale Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü

İletişim

e-posta Adresi : esraytac@gmail.com

Tarih : 07.01.2011