

## ÜRÜN TASARIM SÜRECİNDE BULANIK KALİTE FONKSİYON GÖÇERİMİ VE BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNİN KULLANIMI

Esra AYTAÇ\*

Muhsin ÖZDEMİR\*\*

Selim BEKÇİOĞLU\*\*\*

### ÖZET

İşletmelerin kendilerini farklılaştırarak rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri; kalitenin yaratılması, korunması, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gibi konulara eğilmeleri ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla birçok kalite iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin başında Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) gelmektedir. Yöntemlerin bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Literatürde bu eksiklikleri gidermek için KFG ve HTEA, bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile birleştirilerek bulanık HTEA ve bulanık KFG olarak düzenlenmiştir. Bu çalışmada da bulanık KFG ve HTEA'nın kablo sektöründe uygulanabilirliği gösterilmeye çalışılmış, bulanık KFG ile bir kablo işletmesi için ürün geliştirilmiş ve bu ürünün gerçekleşmesi esnasında çıkabilecek hata türleri, bulanık HTEA ile belirlenmiş ve risklerine göre sıralanmıştır. Tüm değerlendirme süreçlerinde karar vericiler, doğal dile dayanan sözel terimleri kullanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** KFG, HTEA, Bulanık Kümeler, Bulanık KFG, Bulanık HTEA

**JEL Kodları:** C44, C61, L15, L60, M11

---

\* Yrd. Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi

\*\* Yrd. Doç. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi

\*\*\* Prof. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi

**THE USAGE OF FUZZY QUALITY FUNCTION  
DEPLOYMENT AND FUZZY FAILURE MODE AND  
EFFECTS ANALYSIS AT PRODUCT DESIGN PROCESS  
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. With this aim many quality improvement methods have been developed. Quality Function Deployment (QFD) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) come at the beginning of these methods.

Quality Function Deployment (QFD) is a customer-driven quality management and product development system for achieving higher customer satisfaction. The basic concept of QFD is to translate the customer requirements into product design or engineering characteristics and subsequently into parts characteristics, process plans and production requirements. Each translation uses a matrix, called the house of quality (HOQ) which provides a conceptual map for the design process, as a construct for understanding customer requirements and establishing priorities of engineering characteristics to satisfy them. Decision making process of QFD is based on subjective judgments and evaluations and linguistic terms such as 'low importance', 'high importance', 'strong relationship' and 'weak relationship' are usually used by decision makers. Most of these linguistic input variables are assumed to be precise and treated as numerical data. And also the data available for product design is often limited and may be inaccurate because of the uncertainties in the design process especially when a new product is developed, a certain degree of vagueness is often inevitable.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a powerful method for system safety and the reliability analysis of products and processes in a wide range of industries. 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. So the main objective of FMEA is to determine and prioritize the potential failure modes that could have a detrimental effect on the system and its performance. FMEA uses the risk priority number (RPN) while ranking the failure modes. The RPN is obtained by multiplying of three factors, which are the probability of failure, the severity of the failure and the probability of not detecting the failure. Some drawbacks have emerged as a result of increasing industrial applications of FMEA. The main drawback of RPN is various sets of probability of failure, the severity of the failure and the probability of not detecting the failure may produce same value of RPN, however, the risk implication may be totally different and may result in high-risk events going unnoticed. The other important drawback of the RPN ranking method is that it neglects the relative importance among probability of failure, the severity of the failure and the probability of not detecting the failure. The three factors are assumed to have the same importance but this situation is not suitable real life practical applications. And also FMEA has 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.

In order to eliminate these drawbacks of QFD and FMEA, in the literature these methods have been combined with fuzzy logic and fuzzy set theory and organized as

fuzzy QFD and fuzzy FMEA. Fuzzy sets and fuzzy logic are powerful mathematical tools for modeling uncertain systems in many areas while making decisions in the absence of complete and precise information. A fuzzy set is an extension of a crisp set and it is characterized by a membership function which assigns to each object a grade of membership ranging between zero and one.

In this study efforts have been made in order to indicate the feasibility of fuzzy FMEA and fuzzy QFD in the cable production sector. These methods have been applied to a real industrial case, which refers to one of the biggest cable company operated in Denizli, Turkey. A product for a cable company has been developed using fuzzy QFD. In this study the four-phase decision process has been considered. First of all the house of quality has begun with the customer attributes about the cable and then engineering characteristics have been defined by the company. The body and the roof of the house have been filled and the most important engineering characteristic has been found. In the next phase of this method, part matrix has been organized with the result of the first phase and the most important part characteristic of the cable has been found. In the third phase process matrix has been organized and the most important process during producing the cable has been found. And finally the production matrix has been organized and the most important production requirement or control action which is needed during the design and production processes for the cable has been found. After defining the most important engineering characteristic, part, process and control action of the cable, potential failure modes which might occur in the engineering and part characteristic, production process and the control action have been determined and evaluated in terms of occurrence of failure, the internal severity of the failure, the external severity of the failure and not detecting the failure by the decision makers. The decision makers in the cable company have used linguistic variables during evaluation process. Finally the determined failure modes have been ordered using fuzzy FMEA according to their riskiness. 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. From now on, the company will get a new ranking for every new product by adding new failure modes and be careful against the unexpected situation during the new product development. It's thought that these methods will serve as early warning system for the company.

**Keywords:** QFD, FMEA, Fuzzy Sets, Fuzzy QFD, Fuzzy FMEA

**JEL Codes:** C44, C61, L15, L60, M11

## 1. GİRİŞ

İşletmeler faaliyetlerini gerçekleştirirken farklı nedenlerden kaynaklanan hatalar ile karşılaşmaktadır. Önemli olan ürün henüz tasarım aşamasında iken hataların tahmin edilerek ortaya çıkmasını önlemek veya ortaya çıktığında bunları kontrol eden yöntemler veya düzeltici tedbirler uygulayabilmektir. Bu nedenle ürünlerin hatasız tasarımına yönelik kalite iyileştirmede çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunların başında ürünlerin veya hizmetlerin müşteri gereksinimlerine göre tasarlanması

gerektiğine dayanan (Hauser ve Clausing, 1988: 63) Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) ve sistem, tasarım, süreç veya hizmette oluşabilecek hataların değerlendirmesini yapan (Akın, 1998: 12) Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) gelmektedir. Bu analizler, farklı kaynaklardan birçok bilginin toplanmasını gerektirmekte ve üretim süreçleri, tasarım parametreleri gibi farklı faktörlerdeki değişkenlik nedeniyle kesin olmayış veya belirsizlik içermektedir (Yadav vd., 2008: 746). Ayrıca geçmişteki bilgiler de ürünlerin, süreçlerin veya sistemlerin gelecekteki durumlarını tahmin etmede yetersiz kalmaktadır (Sharma vd., 2007: 320). Bu nedenle kesin yerine, yaklaşık değerler kullanarak yaklaşık düşünme teknikleri, belirsizliğe belirlilik katmaktadır. Bu teknikler arasında bulanık küme teorisi ve bulanık mantık yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temelinde belirsizliğin yattığı ve Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantığın ana amacı, herhangi bir problemde tam ve kesin olmayan bilgiler var olduğunda insanlara doğru ve tutarlı bilgiler verebilmektir. Bulanık küme teorisi ise, bulanık mantık veya işlemcileri oluşturmak için gerekli alt yapıyı sağlamaktadır. Bulanık kümeler, farklı üyelik derecelerine sahip elemanlardan oluşan, üyelikten üye olmamaya geçişin keskin olmayıp, dereceli olduğu topluluktur (Bellman ve Zadeh, 1977: 106). Az, çok gibi sözel ifadeler kullanılarak bulanık kümelere esneklik kazandırılmakta ve esnek geçiş, üyelik fonksiyonları ile sağlanmaktadır (Jang vd., 1997: 13). E evrensel kümesinde tanımlı bulanık A kümesi,  $\mu_A$  üyelik fonksiyonu ile tanımlanmakta ve  $\mu_A : E \rightarrow [0,1]$  şeklinde gösterilmektedir.  $\mu_A(x)$  değeri, x elemanının üyelik derecesini göstermektedir. Literatürde üçgensel, yamuksal, Gaussian, çan eğrisi gibi farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır.

Bu çalışmada bulanık KFG ve bulanık HTEA birlikte kullanılarak bir ürünün hatasız ve güvenilir bir şekilde geliştirilebilmesine ilişkin bir uygulama gösterilmiştir. Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünde, KFG ve HTEA kısaca tanıtılmış ve bulanık KFG ve HTEA üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde uygulama aşamasında kullanılan bulanık KFG ve HTEA adımları anlatılmıştır. Beşinci bölümde kablo sektöründe bir uygulama gösterilmiştir ve sonuç bölümü ile çalışma tamamlanmıştır.

## 2. BULANIK KALİTE FONKSİYON GÖÇERİMİ

KFG, “kalite evi” denilen bir matrisle çalışmaktadır. Kalite evinin satırlarında müşteri gereksinimleri; sütunlarında teknik gereksinimler; gövdesinde bunlar arasındaki ilişkiler; çatısında ise teknik gereksinimlerin korelasyonları bulunmaktadır (Park ve Kim, 1998: 570). Kalite evi, “4 aşamalı model” veya “matrislerin matrisi” şeklinde ardışık olarak ürün, ürün parça, üretim süreci ve üretim planlama şeklinde kullanılmaktadır (Hauser ve Clausing, 1988: 73).

KFG’de subjektif yargılar ve değerlendirmeler (Shiplely vd., 2004: 295) kullanılmakta ve bunlar, “düşük önemli”, “güçlü ilişki” gibi belirsiz ve kesin olmayan ifadeler şeklinde belirtilmektedir (Zhai vd., 2008: 615). Bu ifadelerin kesin olduğu düşünülmekte ve sayısal değerlerle değerlendirilmektedir. Oysa ki sözel ifadeler kesin değerler yerine belirsiz değerlerle yaklaşmak daha doğrudur (Shen vd., 2001: 65,67). Ayrıca ürünlerin tasarımında işletmenin elinde ürüne ilişkin hiç bilgi bulunmayabilmekte veya sınırlı bilgi bulunabilmektedir. Bu nedenle belirsizlik kaçınılmaz olmaktadır (Chen vd., 2006: 1554). Bu belirsizliği yok etmek için yöntem bulanık küme teorisi ile birleştirilmiştir. Bu çalışmalar arasında Khoo ve Ho (1996), bulanık KFG’yi üçgenel bulanık sayılar kullanarak gerçekleştirmiştir. Vanegas ve Tabib (2001), KFG’nin optimum hedeflerine karar vermek ve yargılardaki belirsizliği modelleyebilmek için bir yöntem önermiş ve bulanık sayıları kullanarak müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi modellemeye çalışmıştır. Shen vd. (2001), KFG’deki teknik özelliklerin sıralanmasındaki duyarlılığı durulaştırma yöntemi ve üyelik fonksiyonları bakımından değerlendirmiştir. Fung vd. (2005), KFG’nin planlama aşaması için fonksiyonel ilişkileri tahmin etmede bulanık doğrusal regresyonu önermiştir.

## 3. BULANIK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

HTEA, hataların risklerini belirlemek ve hataları sıralamak için risk öncelik sayısını (RÖS) kullanmaktadır. RÖS, hatanın şiddeti (hata ortaya çıktığında iç veya dış müşterinin karşılaştığı durum), hatanın ortaya çıkma sıklığı ve hatanın tespit edilebilirliği (hatalı ürün, müşteriye

ulaşmadan işletme tarafından fark edilmesi) faktörlerine ilişkin derecelerin çarpımıdır.

HTEA'nın uygulamalarda birtakım eksiklikleri bulunduğundan literatürde bulanık kümeler ile birleştirilerek bulanık HTEA olarak düzenlemiştir. Yöntemin, bulanık HTEA olarak düzenlenmesini gerektiren eksiklikleri şu şekildedir:

- HTEA tüm risk faktörlerine eşit ağırlık verdiği için (Braglia vd., 2003a: 503; Sharma vd., 2005: 989) RÖS'teki faktörlerin değerleri farklı olsa bile, hesaplama sonucunda aynı RÖS değerinde birden fazla hata türü çıkabilmekte ve hatalar, aynı sıralamaya sahipmiş gibi değerlendirilebilmektedir. Bu durum yüksek şiddetli herhangi bir hata türünün dikkatten kaçmasına (Sharma vd., 2008: 566), kaynak ve zaman israfına, yüksek riskli bir olayın fark edilmemesine ve ölüm, yaralanma gibi ciddi problemlere yol açabilmektedir (Pillay ve Wang, 2003: 72). Bu durum, risk faktörlerine ağırlık vermekle giderilebilmektedir. Bu ağırlıklar için, literatürde kabul görmüş değerler bulunmamakta, bunlar da belirsiz olup, işletmenin yapısına, sürece veya sisteme göre farklılık göstermektedir (Tay ve Lim, 2006: 1050).
- Risk faktörlerinin değerleri, önceden hazırlanmış değerlendirme tablolarından atanmakta ama tablolardaki derecelendirmeleri belirlemek özellikle tasarım aşamasında kolay olmamaktadır (Chang vd., 1999: 1078). Özellikle güvenilirliğe ilişkin performans, emniyet gibi kavramlara kesin değerler atamak kolay değildir (Xu vd., 2002: 17; Wang vd., 2009: 1196). Bunların yerine; “az”, “önemli”, “yüksek” gibi sözel terimleri kullanmak, daha kolay ve gerçekçi olmaktadır (Xu vd., 2002: 17).
- RÖS'te karar vericiler, her potansiyel problem için deneyimlerini ve yargılarını kullanmakta (Peleaz ve Bowles, 1994: 450,451), karar vericilerin bilgi ve deneyim farklılıkları da HTEA'nın sonuçlarını etkileyen önemli bir konu olmaktadır. Bu nedenle HTEA'daki karar vericilere, bilgi ve deneyimlerine göre ağırlık vermek, analizin doğruluğunu olumlu yönde etkileyecektir. Karar vericilere atanacak bu ağırlıklar da kesin olmamakta ve yaklaşık olarak ifade edilebilmektedir. Bu anlamda HTEA'da kullanılan birçok bilgi, bulanık mantığın yapısına uygun olup (Xu vd., 2002:

18), kullanılan bilgileri, sözel terimlerle ifade etmek analize katılanlar açısından daha anlaşılır olmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında bulanık kural tabanları yardımıyla Peleaz ve Bowles (1994), su tankının vanasındaki; Xu vd. (2002), mekanik bir sistemdeki; Guimaraes ve Lapa (2004), kimyasal ve debi kontrol sistemindeki; Sharma vd. (2005) ve Sharma vd. (2007), bir kâğıt değirmeninin besleme ve yıkama sistemindeki; Tay ve Lim (2006) bir yarı iletken üreticisi firmadaki hata türlerini risklerine göre sıralamıştır. Chang vd. (1999), Pillay ve Wang (2003), Sharma vd. (2008), HTEA’da bulanık ve gri teoriyi birlikte kullanmıştır. Braglia vd. (2003b), bulanık TOPSIS ve HTEA yöntemlerini birlikte bir buzdolabı üreticisi firmada uygulamıştır. Garcia vd. (2005), HTEA’yı bulanık mantık ve veri zarflama analiziyle birleştirmiştir. Zafiroopoulos ve Dialynas (2005), elektronik aygıttaki hata türlerini bulanık HTEA ile sıralamıştır. Chin vd. (2008), yeni bir ürün geliştirmede materyal ve parça seçiminin kalite ve güvenilirlik değerlendirmesinde bulanık HTEA kullanmıştır. Wang vd. (2009), bulanık HTEA’da bulanık ağırlıklı geometrik ortalama yöntemini tanıtmıştır. Chen ve Ko (2009a, 2009b), yarı iletken ambalaj kutusunun tasarımında; Liu (2009), vakumlu araçların tasarımında Bulanık KFG ile bulanık HTEA’yı birlikte kullanmıştır.

## 4. YÖNTEM

### 4.1. Bulanık KFG

Çalışma ilk olarak bulanık KFG uygulamasıyla başlamaktadır. Bulanık KFG’nin her aşamasındaki matrislerin hazırlanmasında şu adımlar izlenir:

**Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi:** Oluşturulan KFG takımı, müşteri gereksinimlerini belirlemiş ve bunları, kalite evinin satırlarına yerleştirmiştir.

**Müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılması:** Bu adımda gereksinimlerin, müşteri açısından önem derecelerine göre sıralaması yapılmıştır. Bu sıralama için literatürdeki bazı çalışmalarda, Saaty (1970)’nin geliştirdiği, kriterlerin ikili karşılaştırmalarına dayanan,

kriterlerin birbirlerine göre ne kadar önemli ve tercih edilir olduğunu değerlendiren (Özgörmüş vd., 2005: 112) Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmaktadır. Karar vericiler kriterleri değerlendirirken kesin yargılarda bulunamadıkları ve belirsizliği yansıtamadıkları için AHS, bulanık kümeler ile birleştirilmiş ve ikili karşılaştırma matrisinde bulanık sayılar ve işlemler kullanılmıştır (Güngör vd., 2009: 642). Bu çalışmada müşteri gereksinimlerinin ağırlıklandırılmasında Buckley (1985) tarafından önerilen bulanık AHS kullanılmıştır. Yöntemin adımları şu şekildedir:

**Adım 1:** Hiyerarşik sistem içinde tüm kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisleri (Eşitlik 1) (Hsieh vd., 2004: 576), Çizelge 1’de gösterilen sözel terimler kullanılarak oluşturulmuştur.

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

Burada  $\tilde{a}_{ij}$ , karar vericinin bir kriteri diğerinden ne kadar tercih ettiğini gösteren ikili karşılaştırmadır (Cebeci, 2009: 8907).

**Çizelge 1.** Bulanık Önem Dereceleri

Sözel Terim	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Tam olarak eşit derecede önemli	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf derecede daha 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*, 95 (3), s. 651.

**Adım 2:** İkili karşılaştırma matrisleriyle her kriterin ağırlıklarının bulunması için bulanık geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

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

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (3)$$

Burada  $\tilde{r}_i$ , i. kriterin diğer kriterlerle olan bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamasını,  $\tilde{w}_i$ , i. kriterin bulanık ağırlığını göstermektedir (Hsieh vd., 2004: 577).  $\tilde{a}_{ij}$  üçgensel bulanık sayının alt, orta ve üst değerleri sırasıyla  $a_{iL,j}$ ,  $a_{iM,j}$ ,  $a_{iU,j}$  olarak yazıldığında Eşitlik (2) şu şekli almaktadır:

$$\tilde{r}_i = (r_{iL}, r_{iM}, r_{iU}) = \left( \left( \prod a_{iL,j} \right)^{1/n}, \left( \prod a_{iM,j} \right)^{1/n}, \left( \prod a_{iU,j} \right)^{1/n} \right) \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

i. kriterin bulanık ağırlığının alt, orta ve üst değerleri, Eşitlik (5) ile hesaplanabilmektedir (Güngör vd., 2009: 644):

$$\tilde{w}_i = (w_{iL}, w_{iM}, w_{iU}) = \left( \frac{r_{iL}}{\sum_{i=1}^n r_{iU}}, \frac{r_{iM}}{\sum_{i=1}^n r_{iM}}, \frac{r_{iU}}{\sum_{i=1}^n r_{iL}} \right) \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

Her kriter için bulunan bulanık ağırlıklar, Eşitlik (6) ile bulanık olmayan tek değere çevrilmektedir. Burada  $a_1, a_2, a_3$ ; üçgensel bulanık sayının sırasıyla alt (L), orta (M) ve üst (U) değerini göstermektedir.

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

**Teknik gereksinimlerin belirlenmesi:** Teknik gereksinimler, müşteri gereksinimlerinin nasıl gerçekleştirileceğine ilişkin temel tasarım özellikleri olup işletme tarafından belirlenmiştir.

**Teknik gereksinimlerin korelasyonlarının kurulması:** Kalite evinin çatısındaki ilişkiler için güçlü ( $\bullet$ ), orta (O), zayıf ( $\Delta$ ) olarak üç sözel terim kullanılmıştır. Bu sözel terimlere 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 atanmıştır.

**Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkilerin kurulması:** Bu ilişkiler için de zayıf, orta ve güçlü olarak üç sözel terim kullanılmıştır. Çalışmada kalite evinin çatısında tanımlanan ilişkilerin teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılmasında kullanıldığı ve Wassermann (1993) tarafından önerilen normalize edilmiş ilişki formülünün, Chen ve Weng (2003) tarafından düzenlenmiş şekli kullanılmıştır. i. müşteri gereksinimi ile j. teknik gereksinim arasındaki normalize edilmiş bulanık ilişkiyi gösteren  $\tilde{R}'_{ij}$ , farklı  $\alpha$ -kesmelerinde hesaplanabilmektedir. Bulanık kümelerde  $\alpha$  kesim kümesi, çoklu klasik küme olarak

belirlenebilmekte (Baykal ve Beyan, 2004: 87), kapalı aralık şeklindeki bu kesmeler, bulanık sayı işlemleri gibi düşünülmekte ve aralık işlemleri yapılabilmektedir. Bu şekilde  $\tilde{R}'_{ij}$ 'nin, farklı  $\alpha$ -kesmelerinde alt (L) ve üst (U) sınırları, Eşitlik (7a) ve (7b) ile hesaplanabilmektedir (Chen ve Weng, 2003: 563):

$$(R'_{ij})_{\alpha}^L = \frac{\sum_{k=1}^n (R_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kj})_{\alpha}^L}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n (R_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kl})_{\alpha}^U + \sum_{k=1}^n (R_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kj})_{\alpha}^L} \quad (7a)$$

$$(R'_{ij})_{\alpha}^U = \frac{\sum_{k=1}^n (R_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kj})_{\alpha}^U}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{k=1}^n (R_{ik})_{\alpha}^L (\gamma_{kl})_{\alpha}^L + \sum_{k=1}^n (R_{ik})_{\alpha}^U (\gamma_{kj})_{\alpha}^U} \quad (7b)$$

Burada  $(R_{ik})_{\alpha}^L$  ve  $(R_{ik})_{\alpha}^U$ , i. müşteri gereksinimi ile k. teknik gereksinim arasındaki bulanık ilişki  $\tilde{R}_{ik}$ 'nin farklı  $\alpha$ -kesmelerindeki alt ve üst sınırlarını;  $(\gamma_{kj})_{\alpha}^L$  ve  $(\gamma_{kj})_{\alpha}^U$ , ise k. teknik gereksinim ile j. teknik gereksinim arasındaki bulanık ilişki  $(\tilde{\gamma}_{kj})$ 'nin  $\alpha$ -kesmelerindeki alt ve üst sınırlarını göstermektedir.

**Teknik gereksinimlerin ağırlıklandırılması:** Bu adım, teknik gereksinimlerin her birine ağırlık atamak anlamındadır. Çalışmada bu ağırlıklar için bir önceki adımda hesaplanan normalize ilişki değerleri ile müşteri gereksinimlerinin ağırlığı kullanılmıştır. Buna göre her teknik gereksinimin farklı  $\alpha$ -kesmelerindeki ağırlığı şöyle bulunmuştur (Chen ve Weng, 2003: 564):

$$(W_j)_{\alpha} = [(W_j)_{\alpha}^L, (W_j)_{\alpha}^U] = \left[ \sum_{i=1}^m k_i \cdot (R'_{ij})_{\alpha}^L, \sum_{i=1}^m k_i \cdot (R'_{ij})_{\alpha}^U \right] \quad (8)$$

Burada  $k_i$ , i. müşteri gereksiniminin ağırlığını ( $i=1,2,\dots,m$ ),  $\tilde{R}'_{ij}$ , i. müşteri isteği ile j. teknik gereksinim arasındaki normalize edilmiş bulanık ilişki derecesini göstermektedir.

## 4.2. Bulanık HTEA

### 4.2.1. Risk faktörlerinin belirlenmesi ve ağırlıklarının bulunması

Bu çalışmada bulanık KFG ile oluşturulan kalite evlerindeki en yüksek ağırlık değerine sahip sütun elemanı için bulanık HTEA uygulaması yapılarak bu sütun elemanları gerçekleştirilirken karşılaşılabilecek hata türleri belirlenmiş ve bu hatalar, risklerine göre sıralanmıştır. Bu değerlendirmede hatanın ortaya çıkma sıklığı (O), hatanın tespit edilemeyebilirliği (T) faktörleri kullanılırken hatanın şiddetine ilişkin faktör, hatanın iç müşteriye olan içsel şiddeti (İŞ) ve dış müşteriye olan dışsal şiddeti (DŞ) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Karar vericilerin hata türlerini risk faktörleri bazında değerlendirebilmeleri için sözel terimler, sözel terimlere de üçgensel bulanık sayılar atanmış ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Oluşturulan takımdaki karar vericilerin (KV) bilgi ve deneyimlerinin birbirinden farklı olduğu düşünülerek, her karar vericiye ağırlık atanmıştır. Karar vericilerin ağırlıkları, uygulama süresince sabit tutulmayarak KFG’nin aşamalarına paralel olarak belirlenmiş ve hata türlerinin değerlendirilmesinde, karar vericilerin her aşamadaki bilgi ve deneyimlerine göre değiştirilmiştir.

Bu çalışmada risk faktörlerine üçgensel bulanık sayı olarak ağırlıklar atanmıştır. Risk faktörlerinin bulanık ağırlıklarının bulunabilmesinde bulanık AHS yöntemi kullanılmıştır. Buna göre risk faktörlerine atanacak ağırlıkların karar vericiden karar vericiye değişebileceği düşünülerek, her karar verici, risk faktörleri arasında ikili karşılaştırma yapmak suretiyle kendi bulanık ağırlığını belirlemiştir. Karar vericiler bazında belirlenen her farklı bulanık ağırlık, karar vericilerin deneyimlerine göre değerlendirilerek risk faktörlerine ilişkin çalışmada kullanılan bütünleştirilmiş bulanık ağırlıklar elde edilmiştir. Bütünleştirilmiş bulanık ağırlıklar, Eşitlik (9)-(12) ile hesaplanmıştır:

$$\tilde{w}^O = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^O = \left( \sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^O, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^O, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^O \right) \quad (9)$$

$$\tilde{w}^{İŞ} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^{İŞ} = \left( \sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^{İŞ}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^{İŞ}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^{İŞ} \right) \quad (10)$$

$$\tilde{w}^{DS} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^{DS} = \left( \sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^{DS}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^{DS}, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^{DS} \right) \quad (11)$$

$$\tilde{w}^T = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^T = \left( \sum_{j=1}^m h_j w_{jL}^T, \sum_{j=1}^m h_j w_{jM}^T, \sum_{j=1}^m h_j w_{jU}^T \right) \quad (12)$$

Burada  $h_j$  : j. karar verici için atanan ağırlığı ( $j = 1, 2, \dots, m$ );

$\tilde{w}_j^O$ ,  $\tilde{w}_j^{İŞ}$ ,  $\tilde{w}_j^{DŞ}$  ve  $\tilde{w}_j^T$  : j. karar vericinin belirlediği ortaya çıkma sıklığının, içsel şiddetin, dışsal şiddetin ve tespit edilemeyebilirliğin bulanık ağırlığını;

$\tilde{w}^O$ ,  $\tilde{w}^{İŞ}$ ,  $\tilde{w}^{DŞ}$  ve  $\tilde{w}^T$  : Her risk faktörünün bütünleştirilmiş bulanık ağırlığını göstermektedir.

**Çizelge 2.** Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel Terimler

<i>Sözel terimler</i>	<i>O</i>	<i>İŞ</i>	<i>DŞ</i>	<i>T</i>
Çok düşük (ÇD) (1,1,3)	Oldukça düşük bir olasılıkla çıkar.	Üretim hattına hiçbir etkisi yoktur.	Üründe hiçbir etkisi yoktur. Müşteri, hatanın farkında değildir.	Mutlaka tespit edilir.
Düşük (D) (2,3,5)	Nadiren ortaya çıkar.	Üretim hattına zarar verir.	Üründe önemsiz etkiye sahiptir ve müşteri tarafından fark edilmektedir.	Tespit edilebilme olasılığı yüksektir.
Orta (O) (3,5,7)	Orta sıklıkta ortaya çıkar.	Üretim hattına zarar verir ve güvenlik ile ilgili konularda anızalar vardır.	Üründe orta şiddette etkiye sahiptir ve müşteri kullanımında rahatsızlık duyar.	Tespit edilebilmesi orta derecededir.
Yüksek (Y) (5,7,9)	Sık sık ortaya çıkar.	Üretim hattına zarar verir, ürünün bir kısmı yeniden işlenir, bir kısmı hurdaya ayrılır.	Müşterinin memnuniyetsizlik derecesi oldukça yüksektir.	Tespit edilebilirliği zordur.
Çok yüksek (ÇY) (8,10,10)	Sürekli ortaya çıkar.	Üretim hattına büyük zarar verir, ürünün tümü atılır.	Müşterinin güvenliği açısından ciddi sonuçlar söz konusudur.	Tespit edilebilmesine inkân yoktur.

#### 4.2.2. Hata türlerinin risk faktörleri bazında değerlendirilmesi

Karar vericiler tarafından belirlenen her hata türünün risk faktörleri bazında Çizelge 2’de verilen sözel terimleri kullanarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Her karar verici tarafından yapılan ayrıntılı değerlendirmenin, hata türlerinin risklerine göre sıralanmasında kullanılabilmesi için tek bir değere dönüştürülmesi gerekmektedir. Her karar verici tarafından yapılan ayrıntılı değerlendirmeler, Eşitlik (13)-(16) kullanılarak tek bir değere dönüştürülmüştür:

$$\tilde{R}_i^O = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^O = \left( \sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^O \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$\tilde{R}_i^{IS} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^{IS} = \left( \sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^{IS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^{IS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^{IS} \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$\tilde{R}_i^{DS} = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^{DS} = \left( \sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^{DS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^{DS}, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^{DS} \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$\tilde{R}_i^T = \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^T = \left( \sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^T, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^T, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^T \right) \quad i = 1, \dots, n \quad (16)$$

Burada  $H_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ): Belirlenen hata türlerini;

$\tilde{R}_{ij}^O$ ,  $\tilde{R}_{ij}^{IS}$ ,  $\tilde{R}_{ij}^{DS}$  ve  $\tilde{R}_{ij}^T$ :  $j$ . karar verici tarafından  $i$ . hata türü için belirlenen ortaya çıkma sıklığının, içsel şiddetin, dışsal şiddetin ve tespit edilemeyebilirliğin bulanık değerlerini;

$\tilde{R}_i^O$ ,  $\tilde{R}_i^{IS}$ ,  $\tilde{R}_i^{DS}$  ve  $\tilde{R}_i^T$ :  $i$ . hata türü için risk faktörlerinin bütüleştirilmiş bulanık değerlerini göstermektedir.

#### 4.2.3. Hata türlerinin sıralanması

Bu aşamada hata türlerinin sıralanması için bulanık risk öncelik sayısı (BRÖS) bulunmalıdır. Bu çalışmada BRÖS hesaplaması, Wang, Chin, Poon ve Yang (2009) tarafından önerilen yöntem ile yapılmıştır. BRÖS, bulanık sayılar olarak ifade edilen risk faktörleri ve risk ağırlıkları kullanılarak elde edilmiştir. Bu şekilde  $i$ . hata türü için BRÖS şöyle bulunmaktadır:

BRÖS =

$$\left(\tilde{R}_i^O\right)^{\frac{\tilde{w}^O}{\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T}} \times \left(\tilde{R}_i^{IS}\right)^{\frac{\tilde{w}^{IS}}{\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T}} \times \left(\tilde{R}_i^{DS}\right)^{\frac{\tilde{w}^{DS}}{\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T}} \times \left(\tilde{R}_i^T\right)^{\frac{\tilde{w}^T}{\tilde{w}^O + \tilde{w}^{IS} + \tilde{w}^{DS} + \tilde{w}^T}} \quad (17)$$

Eşitlik (17), bulanık ağırlıklı geometrik ortalama kavramına denk düşmektedir. Bulanık ağırlıklı ortalama problemlerinin çözümünde bir yol, matematiksel programlama olup, bu çalışmada matematiksel programlamaya dayanan Wang, Chin, Poon ve Yang (2009) tarafından önerilen bulanık ağırlıklı geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık ağırlıkları  $\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_n$  olan  $\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n$  şeklindeki n tane pozitif bulanık sayının  $\tilde{y}_G$  bulanık ağırlıklı geometrik ortalaması şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\tilde{y}_G = \left(\tilde{x}_1\right)^{\frac{\tilde{w}_1}{\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + \dots + \tilde{w}_n}} \cdot \left(\tilde{x}_2\right)^{\frac{\tilde{w}_2}{\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + \dots + \tilde{w}_n}} \dots \left(\tilde{x}_n\right)^{\frac{\tilde{w}_n}{\tilde{w}_1 + \tilde{w}_2 + \dots + \tilde{w}_n}} = \prod_{i=1}^n \left(\tilde{x}_i\right)^{\frac{\tilde{w}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i}} \quad (18)$$

Bu hesaplamalar sonucu hesaplanan  $\tilde{y}_G$  değeri,  $\alpha$ -kesmeleri ve genişletme prensibi ile hesaplanabilmekte ve  $(\tilde{y}_G)_\alpha = \left[ (y_G)_\alpha^L, (y_G)_\alpha^U \right]$  aralığı,  $\tilde{y}_G$ 'nin farklı  $\alpha$ -kesmelerindeki alt ve üst sınırları olmaktadır. Bu alt ve üst sınırlar, Model (19a) ve (19b)'de verilen matematiksel modeller ile çözülmektedir:

$$(y_G)_\alpha^L = \text{Min} \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (19a)$$

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

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

$$(y_G)_\alpha^U = \text{Max} \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (19b)$$

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

Bu fonksiyonların da artan fonksiyon olduğu düşünüldüğünde Model (20a) ve (20b) şu şekilde yazılabilmektedir:

$$(y_G)_\alpha^L = \text{Min exp} \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln(x_i)_\alpha^L}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (20a)$$

$$\begin{aligned} \text{Kısıtlar } (w_i)_\alpha^L \leq w_i \leq (w_i)_\alpha^U, \quad i = 1, \dots, n \\ (y_G)_\alpha^U = \text{Max exp} \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln(x_i)_\alpha^U}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (20b) \end{aligned}$$

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

Model (20a) ve (20b)'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 (20a) ve (20b), Modeller (21a) ve (21b)'deki gibi yazılabilmektedir:

$$\text{Amaç fonk.} \quad \text{Min } z_1 = \sum_{i=1}^n u_i \ln(x_i)_\alpha^L \quad (21a)$$

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

$$\text{Amaç fonk.} \quad \text{Max } z_2 = \sum_{i=1}^n u_i \ln(x_i)_\alpha^U \quad (21b)$$

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

Bu modellerden elde edilen optimal amaç fonksiyonu değerlerinin  $z_1^*$  ve  $z_2^*$  olduğu düşünüldüğünde, bu değer yardımıyla,  $(y_G)_\alpha^L = \exp(z_1^*)$  ve  $(y_G)_\alpha^U = \exp(z_2^*)$  elde edilmektedir (Wang vd., 2009: 1200-1201). Bu şekilde bu çalışmada BRÖS'ün farklı  $\alpha$  kesmelerindeki alt ve üst sınırları, Model (22a) ve (22b)'nin çözümü ile elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Min } z_1 &= u_1 \ln(R_i^O)_\alpha^L + u_2 \ln(R_i^{IS})_\alpha^L + u_3 \ln(R_i^{DS})_\alpha^L + u_4 \ln(R_i^T)_\alpha^L \\
u_1 + u_2 + u_3 + u_4 &= 1 \\
(w^O)_\alpha^L \cdot z &\leq u_1 \leq (w^O)_\alpha^U \cdot z \\
(w^{IS})_\alpha^L \cdot z &\leq u_2 \leq (w^{IS})_\alpha^U \cdot z \\
(w^{DS})_\alpha^L \cdot z &\leq u_3 \leq (w^{DS})_\alpha^U \cdot z \\
(w^T)_\alpha^L \cdot z &\leq u_4 \leq (w^T)_\alpha^U \cdot z \\
z &\geq 0
\end{aligned} \tag{22a}$$

$$\begin{aligned}
\text{Max } z_2 &= u_1 \ln(R_i^O)_\alpha^U + u_2 \ln(R_i^{IS})_\alpha^U + u_3 \ln(R_i^{DS})_\alpha^U + u_4 \ln(R_i^T)_\alpha^U \\
u_1 + u_2 + u_3 + u_4 &= 1 \\
(w^O)_\alpha^L \cdot z &\leq u_1 \leq (w^O)_\alpha^U \cdot z \\
(w^{IS})_\alpha^L \cdot z &\leq u_2 \leq (w^{IS})_\alpha^U \cdot z \\
(w^{DS})_\alpha^L \cdot z &\leq u_3 \leq (w^{DS})_\alpha^U \cdot z \\
(w^T)_\alpha^L \cdot z &\leq u_4 \leq (w^T)_\alpha^U \cdot z \\
z &\geq 0
\end{aligned} \tag{22b}$$

Model (22a) ve (22b)'nin çözümü sonucu elde edilen optimal değerlerin üstel fonksiyonlarının alınması ile  $(BRÖS_i)_\alpha^L = \exp(z_1^*)$  ve  $(BRÖS_i)_\alpha^U = \exp(z_2^*)$  bulunmaktadır. Bulunan bu değerler, BRÖS'ün farklı  $\alpha$  kesmelerindeki alt ve üst sınırlarıdır (Wang vd., 2009: 1200-1201). Bulanık sayı olarak elde edilen RÖS değeri, sıralama amaçlı kullanılabilmesi için Eşitlik (6) ile durulaştırılmış ve hata türleri, risklerine göre sıralanmıştır.

## 5. UYGULAMA

Çalışmada incelenen işletme, Denizli İmalat Sanayi'nde faaliyet gösteren bir kablo üreticisi ve ihracatçısıdır. Çalışma, dört karar vericiden oluşan bir takımın kurulması ile başlamıştır. Bu takımın işletmenin

üretim bölümünden 1, kalite kontrol bölümünden 2 ve planlama bölümünden 1 karar verici bulunmaktadır. Karar vericiler ile işletmenin geliştirmek istediği kablunun seçimi yapılmıştır. Kablunun seçimi esnasında işletmenin bir müşterisinin talebinden yola çıkılmıştır. Seçilen kablo, yangına dayanıklı ve enerji iletiminde açık ve kapalı alanlarda kullanılan toprak altı alçak gerilim kablosudur. Kablunun damar sayısı, kesiti gibi kimliğini belirleyen temel bilgilerin oluşturulmasından sonra bulanık KFG'ye geçilmiştir.

### 5.1. Ürün Matrisinin Oluşturulması

Ürün matrisindeki müşteri gereksinimleri için işletmenin müşteri temsilcileri ile görüşülmüş ve müşteriden gelen ihtiyaçlar gruplanmıştır. Müşteri gereksinimleri; kablunun bakır ve çelik tel iletkenliği ( $C_1$ ), yangın esnasındaki davranışları ( $C_2$ ), soğuk havaya dayanıklılığı ( $C_3$ ), damar ve kılıf rengi ( $C_4$ ), yırtılma direnci ( $C_5$ ), esnekliği ( $C_6$ ) ve fiyatı ( $C_7$ ) olarak belirlenmiştir. Müşteri gereksinimlerinin ağırlıkları için, Çizelge 3'te verilen ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve Buckley (1985) tarafından önerilen bulanık AHS ile müşteri gereksinimlerinin bulanık ağırlıkları hesaplanmıştır.

Müşteri gereksinimlerini karşılamak için işletme tarafından belirlenen teknik gereksinimler; kullanılacak bakır miktarı ( $E_1$ ), galvanizli çelik tel miktarı ( $E_2$ ), mika bant miktarı ( $E_3$ ), boyanın tipi ve miktarı ( $E_4$ ), kılıf malzemesinin tipi ve miktarı ( $E_5$ ), dolgu malzemesinin tipi ve miktarı ( $E_6$ ), izolasyon malzemesinin tipi ve miktarı ( $E_7$ ) olarak belirlenmiştir.

Oluşturulan takım, kalite evindeki ilişkileri belirlenen sözel terimler yardımıyla değerlendirmiş ve KFG'nin ürün kavramına ilişkin ilk kalite evi (Şekil 1) oluşturulmuştur. Eşitlik (7a) ve (7b) ile hesaplanan normalize edilmiş ilişki değerleri, müşteri gereksinimlerinin ağırlık verileri kullanılarak teknik gereksinimlerin farklı  $\alpha$ - kesmelerindeki ağırlıkları Eşitlik (8) ile hesaplanmış ve Çizelge 4 oluşturulmuştur. Eşitlik (6) ile durulaştırılan bu ağırlıkların normalize edilmiş değerleri, Çizelge 4'ün son iki satırında görülmektedir. Buna göre "kullanılacak kılıf malzemesinin tipi ve miktarı" en yüksek ağırlığa sahip teknik gereksinim olarak bulunmuştur.

	$k_{11}$	Kullanılacak bakır	Kullanılacak çelik tel	Kullanılacak mika bant	Kullanılacak boya	Kullanılacak kılıf malz	Kullanılacak dolgu malz	Kullanılacak izolasyon malz
Bakır ve çelik tel iletenliği	0,1932	●	●					○
Yangın ortamındaki davranışı	0,1932			●		●	●	○
Soğuk havaya dayanıklılığı	0,1652					●	○	△
Darmer ve kılıf örgü	0,0703				●	△		△
Yrılma direnci	0,1467					●		
Esnelik	0,0999	●	○			●	○	△
Fiyat	0,1315	●	△	●	△	△	△	○

Şekil 1. Ürün Matrisi

### 5.1.1. Hata türlerinin sıralanması

Bu aşamada en yüksek ağırlığa sahip “kılıf malzemesinin tipi ve miktarı” olarak belirlenen teknik gereksinim üzerinde durulmuştur. Öncelikle risk faktörlerinin ağırlıklarının bulanık AHS ile hesaplanması için her karar verici tarafından Çizelge 5a – 5d’de verilen ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve risk faktörlerinin karar vericiler bazında bulanık ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çalışmanın birinci aşaması için karar vericilere bilgi ve deneyimlerine göre ağırlıklar; 1. karar verici için % 20, 2. karar verici için % 25, 3. karar verici için % 35, 4. karar verici için % 20 olarak belirlenmiştir. Buna göre Eşitlik (9)-(12) ile birinci aşama için risk faktörlerine atanacak bütünleştirilmiş bulanık ağırlıklar hesaplanmış ve Çizelge 6’da verilmiştir.

Oluşturulan takım ile kılıf malzemesine ilişkin hatanın çıkabileceği her noktanın ayrıntılı analizi yapılarak hata türleri; kullanılacak kılıf malzemesi siparişinin hatalı verilmesi ( $H_1$ ), sipariş edilen ile fabrikaya gelen kılıf malzemesinin farklı olması ( $H_2$ ), gelen kılıf malzemesi miktarının yetersiz olması ( $H_3$ ), gelen kılıf malzemesinin ambalajının bozuk olması ( $H_4$ ), plastiğin nemli olması ( $H_5$ ), kılıf malzemesinin fabrikaya ulaştırılmasında meydana gelen hasarlar ( $H_6$ ) olarak belirlenmiştir.

Belirlenen hata türleri her karar verici tarafından sözel terimler ile değerlendirilmiş ve Çizelge 7 oluşturulmuştur. Bu sözel değerlendirmeler, Eşitlik (13)-(16) ile bütünleştirilmiş değerlere

çevrilmiştir. Bütünleştirilmiş bu değerler, risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları, Model (22a) ve (22b) ile hata türlerinin BRÖS değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7’de verilmiştir. Hesaplanan BRÖS değerleri durulaştırılmış ve Çizelge 7’nin son sütununda verilmiştir. Çizelge 7’ye göre kılıf malzemesinde, plastiğin nemli olması riski en yüksek hata türü olarak bulunmuştur.

## 5.2. Ürün Parça, Üretim Süreçleri ve Üretim Matrislerinin Oluşturulması

Ürün parça matrisinde ürün kavramı, ürün parçalarına dönüşmüştür. Kalite evinin satırlarında, bir önceki kalite evinin sütunlarındaki teknik gereksinimler yer almıştır. Bu aşamanın ilk girdisi, bir önceki kalite evinin çıktısı olan ve Çizelge 4’te verilen teknik gereksinimlerin ağırlığıdır. Kalite evinin sütunlarında ise, ürünü oluşturan parçalar olan bükülü bakır (P<sub>1</sub>), izole (P<sub>2</sub>), dolgu (P<sub>3</sub>), zırh (P<sub>4</sub>) ve dış kılıf (P<sub>5</sub>) yer almış ve Şekil 2’deki kalite evi oluşturulmuştur.

Üretim süreçleri matrisinde ürün parça kavramı, parçaları oluşturan üretim süreçlerine dönüştürülmüştür. Kalite evinin satırlarında, bir önceki kalite evinin sütunlarındaki ürünün temel parçaları yer almıştır. Üretim süreçleri ise; tel çekme (Ü<sub>1</sub>), ekstrüzyon [izole (Ü<sub>2</sub>), dolgu (Ü<sub>3</sub>), kılıf (Ü<sub>4</sub>)], soğutma [izole (Ü<sub>5</sub>), dolgu (Ü<sub>6</sub>), kılıf (Ü<sub>7</sub>)], bükme [(tel (Ü<sub>8</sub>), izole (Ü<sub>9</sub>), zırh (Ü<sub>10</sub>)], kılıf markalama (Ü<sub>11</sub>), ambalaj, etiketleme ve sevkiyat (Ü<sub>12</sub>) olarak belirlenmiş ve Şekil 3’teki kalite evi oluşturulmuştur.

Üretim matrisinde üretim süreçleri, bu üretim süreçleri gerçekleştirilirken veya gerçekleştirildikten sonra yerine getirilmesi gereken kontrol faaliyetlerine dönüştürülmüştür. Kalite evinin satırlarında, bir önceki kalite evinin sütunlarındaki üretim süreçleri bulunmaktadır. Kalite evinin sütunlarında ise; direnç kontrolü (ÜK<sub>1</sub>), çap kontrolü (ÜK<sub>2</sub>), et kalınlığı kontrolü (ÜK<sub>3</sub>), yüzey kontrolü (ÜK<sub>4</sub>), gerilim ve kopukluk kontrolü (ÜK<sub>5</sub>), uzama ve mukavemet kontrolü (ÜK<sub>6</sub>), metre ve markalama kontrolü (ÜK<sub>7</sub>), makara bilgileri kontrolü (ÜK<sub>8</sub>) ve alev testleri (ÜK<sub>9</sub>) yer almış ve Şekil 4’teki kalite evi oluşturulmuştur.

Her kalite evinde normalize edilmiş ilişki değerleri, bir önceki aşamadaki sütun ağırlık değerleri ve Eşitlik (8) kullanılarak üretim

parçalarının, üretim süreçlerinin ve üretim kontrollerinin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Çizelge 8-10’da görülmektedir. Bu çizelgelerden ürün parçalarından “dış kılıfın”, üretim süreçlerinden “izole ekstrüzyonun” ve üretim kontrollerinden “yüzey kontrolünün” en yüksek ağırlığa sahip olduğu görülmektedir.

**Çizelge 3.** Müşteri Gereksinimleri İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	<i>Bulanık ağırlıklar</i>
$C_1$	(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)	(0,1194 , 0,1959 , 0,3041)
$C_2$	(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)	(0,1194 , 0,1959 , 0,3041)
$C_3$	(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)	(0,0979 , 0,1647 , 0,2755)
$C_4$	(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)	(0,0460 , 0,0700 , 0,1132)
$C_5$	(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)	(0,0872 , 0,1453 , 0,2480)
$C_6$	(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)	(0,0624 , 0,0987 , 0,1666)
$C_7$	(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)	(0,0790 , 0,1294 , 0,2247)

**Çizelge 4.** Farklı  $\alpha$  Kesmelerinde Teknik Gereksinimlerin Bulanık Ağırlıkları

$\alpha$	$E_1$		$E_2$		$E_3$		$E_4$		$E_5$		$E_6$		$E_7$	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
<b>0</b>	0,071	0,278	0,061	0,247	0,033	0,166	0,014	0,103	0,209	0,476	0,038	0,293	0,049	0,378
<b>0,4</b>	0,097	0,221	0,085	0,196	0,047	0,125	0,022	0,073	0,236	0,390	0,065	0,216	0,090	0,290
<b>0,8</b>	0,130	0,171	0,115	0,152	0,066	0,091	0,034	0,051	0,273	0,323	0,102	0,152	0,144	0,211
<b>1</b>	0,150	0,150	0,133	0,133	0,078	0,078	0,042	0,042	0,296	0,296	0,126	0,126	0,176	0,176
<b>Duru.</b>	0,158		0,140		0,085		0,047		0,311		0,139		0,189	
<b>Norm.</b>	0,148		0,131		0,079		0,044		0,291		0,130		0,176	

**Çizelge 5a.** KV<sub>1</sub> için Risk Faktörlerinin İkili Karşılaştırma Matrisi

	$O$	$İŞ$	$DŞ$	$T$	<i>Bulanık ağırlıklar</i>
$O$	(1, 1, 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1 , 3/2 , 2)	(0,127 , 0,202 , 0,329)
$İŞ$	(3/2 , 2 , 5/2)	(1, 1, 1)	(1 , 3/2 , 2)	(1 , 3/2 , 2)	(0,210 , 0,349 , 0,544)
$DŞ$	(1 , 3/2 , 2)	(1/2 , 2/3 , 1)	(1, 1, 1)	(3/2 , 2 , 5/2)	(0,177 , 0,285 , 0,458)
$T$	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 2/3 , 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1, 1, 1)	(0,107 , 0,165 , 0,277)

**Çizelge 5b.** KV<sub>2</sub> için Risk Faktörlerinin İkili Karşılaştırma Matrisi

	$O$	$İŞ$	$DŞ$	$T$	<i>Bulanık ağırlıklar</i>
$O$	(1, 1, 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(1 , 3/2 , 2)	(0,120 0,178 0,268)
$İŞ$	(3/2 , 2 , 5/2)	(1, 1, 1)	(2/5 , 1/2 , 2/3)	(2 , 5/2 , 3)	(0,199 0,286 0,413)
$DŞ$	(3/2 , 2 , 5/2)	(3/2 , 2 , 5/2)	(1, 1, 1)	(2 , 5/2 , 3)	(0,277 0,405 0,575)
$T$	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/3 , 2/5 , 1/2)	(1/3 , 2/5 , 1/2)	(1, 1, 1)	(0,092 0,130 0,195)

**Çizelge 5c.** KV<sub>3</sub> için Risk Faktörlerinin İkili Karşılaştırma Matrisi

	<i>O</i>	<i>İŞ</i>	<i>DŞ</i>	<i>T</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>
<i>O</i>	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 1, 3/2)	(0,100 0,163 0,258)
<i>İŞ</i>	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(3/2, 2, 5/2)	(0,183 0,274 0,407)
<i>DŞ</i>	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(2, 5/2, 3)	(0,274 0,409 0,593)
<i>T</i>	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/3, 2/5, 1/2)	(1, 1, 1)	0,103 0,154 0,258

**Çizelge 5d.** KV<sub>4</sub> için Risk Faktörlerinin İkili Karşılaştırma Matrisi

	<i>O</i>	<i>İŞ</i>	<i>DŞ</i>	<i>T</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>
<i>O</i>	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(0,113 0,207 0,382)
<i>İŞ</i>	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	(0,157 0,293 0,531)
<i>DŞ</i>	(3/2, 2, 5/2)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0,187 0,293 0,480)
<i>T</i>	(1/2, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0,125 0,207 0,321)

**Çizelge 6.** Risk Faktörlerinin Bulanık Ağırlıkları (1. aşama)

<i>Risk faktörleri</i>	<i>Bulanık ağırlıklar</i>		
	$(w)^L$	$(w)^M$	$(w)^U$
<i>O</i>	0,11	0,18	0,30
<i>İŞ</i>	0,18	0,29	0,46
<i>DŞ</i>	0,24	0,36	0,54
<i>T</i>	0,11	0,17	0,27

### 5.2.1. Hata türlerinin belirlenmesi ve sıralanması

Çalışmanın bu aşamasında ürün parçaları içinde en yüksek ağırlığa sahip ürün parçası olan “dış kılıfa” ilişkin hata türleri; dış kılıflı kablodaki iletken direncinin standart değerden yüksek olması (H<sub>7</sub>), dış kılıfın sentesinin kayması (H<sub>8</sub>), dış kılıflı kablo çapının istenilen değerden küçük veya büyük çıkması (H<sub>9</sub>), dış kılıfın uzama ve mukavemet değerlerinin standart değerden düşük çıkması (H<sub>10</sub>), dış kılıf yüzeyinin bozuk olması (H<sub>11</sub>), dış kılıflı kablonun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi (H<sub>12</sub>), dış kılıflı kablonun alev testlerinin olumsuz gelmesi (H<sub>13</sub>), sarım sırasında alt ucun makara içinde kalması (H<sub>14</sub>), markalamada kesit, damar sayısı vb. bilgilerin yanlış yazılması (H<sub>15</sub>), markalamada bilgilerin net bir şekilde okunmaması (H<sub>16</sub>), dış kılıflı kablonun sarımının bozuk yapılması (H<sub>17</sub>) olarak belirlenmiştir. İkinci

aşama için çalışmaya katılan karar vericilere atanan ağırlık, birinci aşamadaki ile aynı tutulmuş ve birinci aşamada kullanılan karar vericilerin ağırlıkları ile risk faktörlerinin ağırlıkları (Çizelge 6) kullanılmıştır.

Üretim süreçleri içinde en yüksek ağırlığa sahip süreç olan “izole ekstrüzyona” ilişkin hata türleri; operatör tarafından yanlış bakırın takılması (H<sub>18</sub>), operatör tarafından yanlış plastiğin seçilmesi (H<sub>19</sub>), operatör tarafından yanlış takımın seçimi (H<sub>20</sub>), izolede kullanılacak plastiğin nemli olması veya içine yabancı madde girmesi (H<sub>21</sub>), katalizörün veya boyanın bozuk olması (H<sub>22</sub>), üretim formlarındaki ayar değerlerinin veya katalizör bilgilerinin sisteme doğru girilmemesi (H<sub>23</sub>), üretimin başlangıcında sente kaçıklığının olması (H<sub>24</sub>), izolasyon malzemesinin yanması (H<sub>25</sub>), motanın, ekstrüdere plastik vermemesi (H<sub>26</sub>), izolode spark açıklarının bulunması (H<sub>27</sub>), spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması (H<sub>28</sub>) olarak belirlenmiştir. Üçüncü aşama için karar vericilere atanan ağırlıklar değiştirilmiş ve 1. karar verici için % 20, 2. karar verici için % 35, 3. karar verici için % 25, 4. karar verici için % 20 olarak belirlenmiştir. Bu ağırlık değerleri ve Çizelge 5a - 5d’de verilen ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla üçüncü aşamadaki risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları, Çizelge 11’deki gibi oluşturulmuştur.

**Çizelge 7.** “Kılıf Malzemesine” İlişkin Hata Türlerinin Sözel Terimler ile Değerlendirilmesi, BRÖS Değerleri ve BRÖS’ün Bulanık Olmayan Değerleri

	KV <sub>1</sub>				KV <sub>2</sub>				KV <sub>3</sub>				KV <sub>4</sub>				(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>L</sup>	(BRÖS) <sub>α=1</sub>	(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>U</sup>	Bulanık olm. değer
	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T				
H <sub>18</sub>	D	Y	O	ÇD	D	Y	Y	ÇD	ÇD	O	O	D	ÇD	Y	O	ÇD	2,1712	3,9212	6,8923	4,1247
H <sub>19</sub>	D	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	ÇD	ÇD	Y	Y	D	ÇD	O	Y	ÇD	2,3974	4,3366	7,5723	4,5527
H <sub>20</sub>	D	Y	Y	D	D	Y	O	ÇD	ÇD	Y	O	ÇD	D	Y	O	D	2,3294	4,1984	7,1421	4,3775
H <sub>21</sub>	ÇD	Y	O	ÇD	D	Y	Y	ÇD	ÇD	Y	Y	D	D	Y	Y	ÇD	2,3876	4,3211	7,5496	4,5369
H <sub>22</sub>	O	ÇY	Y	ÇD	Y	Y	Y	O	O	O	O	O	O	Y	Y	D	3,5544	5,8282	8,0341	5,8169
H <sub>23</sub>	D	O	Y	ÇD	O	O	O	ÇD	ÇD	D	D	D	D	O	O	ÇD	2,0767	3,5434	6,0219	3,7121

	$k_{2J}$	Bü kilitli Bakır	İzole	Dolgu	Zırh	Kılıf
Küll. bakar	0,148	•	○			
Küll. galvanizli çelik tel	0,131			Δ	•	•
Küll. miha bant	0,079	○	○			
Küll. boya	0,044		•	○		○
Küll. kılıf malz.	0,291					•
Küll. dolgu malz.	0,130			•	•	
Küll. izolasyon malz.	0,176	○	•			

Şekil 2. Ürün Parça Matrisi

$k_{3G}$	Tel çekme	Ekstrüzyon			Soğutma			Bükme			Kılıf markalama	Ambalaj ve etiketleme
		İzole	Dolgu	Kılıf	İzole	Dolgu	Kılıf	Tel	İzole	Zırh		
Bü kilitli bakır	•	○	Δ					○	○			
İzole		○	○		•	○		○	•			
Dolgu		○	•		•	•	Δ		Δ	•		
Zırh			•	○	•	•			Δ	•		
Dış Kılıf			Δ	•		Δ	•			•	•	•

Şekil 3. Üretim Süreçleri Matrisi

	$k_{4H}$	Direnc Kontrolü	Çap Kontrolü	Et Kalınlığı Kontrolü	Yırcı Kontrolü	Gerilim ve Kapıkkık Kontrolü	Uzama ve Makavemet Kontrolü	Mitre ve Markalama Kontrolü	Mikara Bilgileri Kontrolü	Alev Testleri
Ekstrüzyon	İzole	0,126	•	•	•	•	•		•	
	Dolgu	0,120	Δ	○	•	•	○		•	
	Kılıf	0,092	•	•	•	•	•	•	•	•
Soğutma	İzole	0,036	Δ	○	○		○			
	Dolgu	0,101	Δ	○	○	•	○			
	Kılıf	0,101	Δ	○	○	•	○	•		Δ
Bükme	Tel	0,074	•	•		○	Δ		•	
	İzole	0,091	•	Δ	•	•	•	•	•	○
	Zırh	0,099	•	Δ	•	•	○	Δ	•	○
Kılıf Markalama	0,061	Δ		Δ	•			•	•	○
Ambalaj, Etiketleme ve Sevki	0,052		•	•	•	•	•	•	•	

Şekil 4. Üretim Matrisi

**Çizelge 8.** Farklı  $\alpha$  Kesmelerinde Üretim Parçalarının Bulanık Ağırlıkları (2. aşama)

$\alpha$	$P_1$		$P_2$		$P_3$		$P_4$		$P_5$	
	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$
<b>0</b>	0,097	0,305	0,108	0,337	0,060	0,172	0,071	0,172	0,320	0,387
<b>0,4</b>	0,137	0,265	0,151	0,292	0,079	0,147	0,089	0,151	0,330	0,370
<b>0,8</b>	0,180	0,223	0,197	0,245	0,100	0,123	0,109	0,130	0,341	0,355
<b>1</b>	0,201	0,201	0,221	0,221	0,111	0,111	0,119	0,119	0,348	0,348
<b>Duru.</b>	0,201		0,222		0,113		0,120		0,350	
<b>Norm.</b>	0,200		0,220		0,112		0,119		0,348	

**Çizelge 9.** Farklı  $\alpha$  Kesmelerinde Ürün Süreçlerinin Bulanık Ağırlıkları (3.aşama)

$\alpha$	$U_1$				Ekstrüzyon				Soğutma				Bükme				$U_{11}$		$U_{12}$					
	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$				
<b>0</b>	0,017	0,109	0,041	0,290	0,027	0,317	0,038	0,199	0,013	0,090	0,032	0,249	0,042	0,224	0,024	0,183	0,022	0,242	0,041	0,218	0,027	0,133	0,020	0,119
<b>0,4</b>	0,025	0,079	0,068	0,218	0,033	0,219	0,036	0,152	0,019	0,063	0,033	0,177	0,061	0,167	0,038	0,130	0,040	0,167	0,040	0,163	0,039	0,100	0,030	0,087
<b>0,8</b>	0,038	0,036	0,105	0,133	0,090	0,144	0,080	0,112	0,029	0,043	0,082	0,122	0,088	0,123	0,039	0,089	0,069	0,110	0,085	0,119	0,054	0,074	0,043	0,062
<b>1</b>	0,046	0,046	0,128	0,138	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	0,063	0,063	0,032	0,032
<b>Duru.</b>	0,032		0,141		0,134		0,103		0,040		0,114		0,114		0,083		0,102		0,110		0,069		0,038	
<b>Norm.</b>	0,046		0,126		0,120		0,092		0,036		0,101		0,101		0,074		0,091		0,099		0,061		0,032	

**Çizelge 10.** Farklı  $\alpha$  Kesmelerinde Üretim Kontrollerinin Bulanık Ağırlıkları (4. aşama)

$\alpha$	$\text{ÜK}_1$		$\text{ÜK}_2$		$\text{ÜK}_3$		$\text{ÜK}_4$		$\text{ÜK}_5$		$\text{ÜK}_6$		$\text{ÜK}_7$		$\text{ÜK}_8$		$\text{ÜK}_9$	
	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$	$L$	$U$
<b>0</b>	0,026	0,328	0,041	0,412	0,043	0,364	0,061	0,482	0,012	0,160	0,038	0,414	0,015	0,112	0,041	0,316	0,009	0,139
<b>0,4</b>	0,049	0,215	0,074	0,288	0,072	0,258	0,097	0,339	0,022	0,102	0,071	0,288	0,023	0,075	0,065	0,223	0,019	0,089
<b>0,8</b>	0,083	0,136	0,122	0,192	0,115	0,175	0,151	0,230	0,038	0,063	0,119	0,190	0,034	0,051	0,101	0,152	0,033	0,055
<b>1</b>	0,107	0,107	0,154	0,154	0,142	0,142	0,187	0,187	0,050	0,050	0,152	0,152	0,042	0,042	0,124	0,124	0,043	0,043
<b>Duruş.</b>	0,130		0,178		0,163		0,215		0,062		0,176		0,049		0,142		0,053	
<b>Norm.</b>	0,112		0,153		0,139		0,184		0,053		0,151		0,042		0,122		0,046	

**Çizelge 11.** Risk Faktörlerinin Bulanık Ağırlıkları (3. ve 4. aşama)

Risk Faktörleri	3. aşama			4. aşama		
	$(w)^L$	$(w)^M$	$(w)^U$	$(w)^L$	$(w)^M$	$(w)^U$
<b>O</b>	0,12	0,18	0,30	0,11	0,19	0,31
<b>İŞ</b>	0,19	0,30	0,46	0,19	0,30	0,48
<b>DŞ</b>	0,24	0,36	0,54	0,22	0,34	0,52
<b>T</b>	0,10	0,16	0,25	0,11	0,17	0,27

**Çizelge 12.** *Dış Kılıfa* İlişkin Hata Türlerinin Sözel Terimler İle Değerlendirilmesi, BRÖS Değerleri ve BRÖS'ün Bulanık Olmayan Değerleri

	KV <sub>1</sub>				KV <sub>2</sub>				KV <sub>3</sub>				KV <sub>4</sub>				(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>L</sup>	(BRÖS) <sub>α=1</sub>	(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>U</sup>	Bulanık olm. değer
	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T				
H <sub>7</sub>	O	ÇY	Y	ÇD	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	Y	D	3,2602	5,6553	8,2937	5,6959
H <sub>8</sub>	O	Y	O	D	O	Y	Y	D	O	ÇY	O	D	O	Y	O	D	3,2034	5,5019	7,9106	5,5203
H <sub>9</sub>	Y	O	O	D	O	Y	Y	D	D	Y	D	D	O	Y	D	O	2,9722	4,8964	7,4343	4,9987
H <sub>10</sub>	O	O	O	D	O	Y	Y	D	O	ÇY	O	D	O	O	O	D	3,1174	5,3313	7,5663	5,3348
H <sub>11</sub>	Y	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	Y	ÇY	D	O	Y	ÇY	D	3,7475	6,2965	8,6098	6,2572
H <sub>12</sub>	ÇY	ÇY	ÇY	ÇD	O	Y	Y	ÇD	Y	ÇY	ÇY	D	Y	ÇY	ÇY	ÇD	4,0000	6,7281	8,8410	6,6256
H <sub>13</sub>	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	O	D	Y	ÇY	D	O	Y	ÇY	D	3,7412	6,5045	8,7076	6,4112
H <sub>14</sub>	O	Y	D	ÇD	D	Y	D	ÇD	D	Y	ÇD	D	D	Y	ÇD	ÇD	1,8408	3,0655	6,1196	3,3704
H <sub>15</sub>	O	ÇY	ÇY	ÇD	D	Y	Y	D	ÇD	Y	Y	D	D	Y	ÇY	D	3,0462	5,4603	8,2137	5,5168
H <sub>16</sub>	Y	Y	Y	D	O	Y	Y	ÇD	O	O	Y	D	Y	Y	ÇY	D	3,4178	5,7282	8,1727	5,7505
H <sub>17</sub>	O	Y	O	D	O	Y	O	D	D	O	O	ÇD	O	Y	O	D	2,6461	4,6062	7,1007	4,6952

**Çizelge 13.** *İzole Ekstrüzyon* için Hata Türlerinin Sözel Terimler ile Değerlendirilmesi, BRÖS ve BRÖS'ün Bulanık Olm. Değerleri

	KV <sub>1</sub>				KV <sub>2</sub>				KV <sub>3</sub>				KV <sub>4</sub>				(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>L</sup>	(BRÖS) <sub>α=1</sub>	(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>U</sup>	Bulanık olm. değer
	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T				
H <sub>18</sub>	D	ÇY	Y	O	D	Y	Y	D	D	O	D	D	ÇD	ÇY	Y	D	2,9233	5,0799	7,6347	5,1463
H <sub>19</sub>	D	ÇY	Y	D	D	Y	Y	D	D	Y	O	O	ÇD	Y	Y	D	2,9722	5,2326	7,9542	5,3094
H <sub>20</sub>	D	O	D	D	O	O	D	O	O	Y	O	O	D	O	D	D	2,5421	4,2652	6,6108	4,3690
H <sub>21</sub>	O	ÇY	O	D	O	Y	O	Y	O	Y	D	D	O	Y	D	D	3,0833	5,1712	7,6653	5,2389
H <sub>22</sub>	D	ÇY	Y	D	O	Y	O	Y	D	Y	O	O	O	Y	O	O	3,4349	5,6757	8,0317	5,6949
H <sub>23</sub>	O	Y	Y	O	O	O	O	O	D	Y	D	D	O	Y	O	O	3,1009	5,1330	7,4611	5,1824
H <sub>24</sub>	O	Y	D	D	O	Y	Y	O	O	Y	D	O	O	O	O	D	3,2133	5,3345	7,6293	5,3635
H <sub>25</sub>	O	ÇY	Y	ÇD	O	Y	Y	O	D	O	D	O	D	Y	O	D	3,2427	5,4298	7,7268	5,4481
H <sub>26</sub>	D	Y	O	ÇD	O	Y	O	D	O	Y	D	ÇD	O	Y	D	D	2,5839	4,4158	7,1685	4,5693
H <sub>27</sub>	O	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	O	O	Y	Y	D	O	Y	Y	O	3,7856	6,3847	8,6581	6,3304
H <sub>28</sub>	Y	ÇY	ÇY	D	O	Y	Y	ÇD	Y	Y	Y	ÇD	Y	ÇY	Y	D	3,5758	5,9697	8,3395	5,9990

**Çizelge 14.** *Yüzey Kontrolü* için Hata Türlerinin Sözel Terimler ile Değerlendirilmesi, BRÖS ve BRÖS'ün Bulanık Olm. Değerleri

	KV <sub>1</sub>				KV <sub>2</sub>				KV <sub>3</sub>				KV <sub>4</sub>				(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>L</sup>	(BRÖS) <sub>α=1</sub>	(BRÖS) <sub>α=0</sub> <sup>U</sup>	Bulanık olm. değer
	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T	O	İŞ	DŞ	T				
H <sub>29</sub>	O	Y	Y	ÇD	D	Y	ÇY	O	D	O	O	D	D	O	ÇY	D	2,8579	5,0108	7,5451	5,0744
H <sub>30</sub>	D	Y	Y	D	O	Y	Y	D	O	O	O	D	O	O	Y	D	2,9459	5,0622	7,5572	5,1253
H <sub>31</sub>	O	Y	Y	Y	O	Y	ÇY	Y	Y	Y	Y	O	Y	Y	Y	Y	4,5367	6,8285	8,9236	6,7957

Üretim kontrolleri içinde en yüksek ağırlığa sahip “yüzey kontrolüne” ilişkin hata türleri; yüzeydeki problemlerin operatörün gözünden kaçması (H<sub>29</sub>), operatörün yüzeydeki probleme ilişkin inisiyatif kullanması ve problemi önemsememesi (H<sub>30</sub>), operatörün problemlili yüzeyi sarımın altında kaldığı için görememesi (H<sub>31</sub>) olarak belirlenmiştir. Dördüncü aşama için karar vericilere atanan ağırlıklar değiştirilmiş ve 1. karar verici için % 30, 2. karar verici için % 10, 3. karar verici için % 35, 4. karar verici için % 25 olarak belirlenmiştir. Bu ağırlık değerleri ve Çizelge 5a – 5d’de verilen ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla dördüncü

aşamadaki risk faktörlerinin bulanık ağırlıkları, Çizelge 11'deki gibi oluşturulmuştur.

Karar vericiler, hata türlerini sözel terimler ile değerlendirmiş (Çizelge 12-14) ve elde edilen bütünleştirilmiş değerler ve Model (22a)-(22b) kullanılarak BRÖS değerleri elde edilmiş, BRÖS değerleri durulaştırılmış ve Çizelge 12-14'ün son sütunlarında verilmiştir. Buna göre *dış kılıfta*, dış kılıflı kablunun yüksek gerilim ve kopukluk testinin olumsuz gelmesi; *izole ekstrüzyonda*, izolode spark açıklarının bulunması ve spark test cihazının (yüksek A.C.) devre dışı kalması; *yüzey kontrolünde* operatörün problemlili yüzeyi sarımın altında kaldığı için görememesi en riskli hata türleri olarak belirlenmiştir.

## 6. SONUÇ

Bir ürün için tasarım, sadece parçaların veya üretim süreçlerinin tasarımından geçmemekte ürünün güvenilirliğinin de bu aşamada tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada müşteriye özel ürünün geliştirilmesi için bulanık KFG, ürünün üretimi esnasında çıkabilecek hatalar ve bunların etkileri, hataların risklerine göre sıralanması için bulanık HTEA kullanılmıştır. Yöntemlerin barındırdığı belirsizlikler, ürünün başlangıç aşamasında hata, arıza vb. kavramlarla ilgili yeterli bilginin bulunmayışı, karar vericilerin subjektif görüşleri, görüşlerin analize aktarılması vb. durumlar bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ile desteklenmiş ve gerekli işlemler gerçekleştirilmiştir. 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 olabilecek ve yöntemler, erken uyarı sistemi şeklinde görev yapacaktır. Yapılan çalışma, bir ürün için gerçekleştirilmesine rağmen sonuçlar güncellenerek, aynı özelliklerdeki ürün gruplarını da kapsayacak şekilde genellenebilir. Gelecek çalışmalarda sözel terimlere farklı şekillerde bulanık sayılar da atanabilir. Ayrıca hata türlerinin riskleri hesaplanırken işletmenin amacına, ihtiyacına uygun başka risk faktörleri eklenebilir. Risk faktörlerine atanan bulanık ağırlıklar, diğer

çok kriterli karar verme yöntemlerinden biriyle hesaplanabilir. Ayrıca analize katılan karar vericilerin sayısı arttırılabilir.

### KAYNAKÇA

Akın, B. (1998) ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), 1. Basım, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Baykal, N. ve Beyan, T. (2004a) Bulanık Mantık, İlke ve Temeller, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.

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.

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, 20 (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, 19 (5), ss. 425-443.

Buckley, J. J. (1985) "Fuzzy Hierarchical Analysis", Fuzzy Sets and Systems, 17 (3), ss. 233-247.

Cebeci, U. (2009) "Fuzzy AHP-Based Decision Support System for Selecting ERP Systems in Textile Industry by Using Balanced Scorecard", Expert Systems with Applications, 36 (5), ss. 8900-8909.

Chang, C.L., Wei, C.C. ve Lee, Y.H. (1999) "Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Method and Grey Theory", Kybernetes, 28 (9), ss. 1072-1080.

Chang, D.Y. (1996) "Application of The Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", European Journal of Operational Research, 95 (3), ss. 649-655.

Chen, L.H ve Weng, M.C. (2003) "A Fuzzy for Exploiting Quality Function Deployment", Mathematical and Computer Modelling, 38 (5-6), ss. 559-570.

Chen, L.H. ve Ko, W.C. (2009a) “Fuzzy Linear Programming Models for New Product Design Using QFD with FMEA”, *Applied Mathematical Modelling*, 33 (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*, 160 (18), ss. 2620-2639.

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*, 174 (3), ss. 1553–1566.

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*, 36 (7-8), ss. 633–649.

Fung R.Y. K., Chen, Y. ve Tang, J. (2005) “Estimating The Functional Relationships for Quality Function Deployment under Uncertainties”, *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (1), ss. 98-120.

Garcia, P. A., Schirru, A. R. ve Melo, P. F. F. (2005) “A Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for FMEA”, *Progress in Nuclear Energy*, 46 (3-4), ss. 359-373.

Guimaraes, A.C.F. ve Lapa, C.M.F. (2004) “Fuzzy FMEA Applied to PWR Chemical and Volume Control System”, *Progress in Nuclear Energy*, 44 (3), ss. 191-213.

Güngör, Z., Serhadhoğlu, G. ve Kesen S.E. (2009) “A Fuzzy AHP Approach to Personel Selection Problem”, *Applied Soft Computing*, 9 (2), ss. 641-646.

Hauser, J.R. ve Clausing, D. (1988), “The House of Quality”, *Harvard Business Review*, ss. 63–73.

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*, 22 (7), ss. 573-584.

Jang, J.S.R., Sun, C.T. ve Mizutani, E. (1997) *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, USA.

Khoo L. P. ve Ho, N. C. (1996) "Framework of a Fuzzy Quality Deployment System", *International Journal of Production Research*, 34 (2), ss. 299-311.

Liu, H.T. (2009) "The Extension of Fuzzy QFD: from Product Planning to Part Deployment", *Expert System with Applications*, 36 (8), ss. 11131-11144.

Özgörmüş, E., Mutlu, Ö. ve Güner, H. (2005) "Bulanık AHP ile Personel Seçimi", *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 25-27 Kasım 2005, ss. 111-115, İstanbul.

Park, T. ve Kim, K.J. (1998) "Determination of an Optimal Set of Design Requirements Using House of Quality", *Journal of Operations Management*, 16 (5), ss. 569-581.

Peleaz, C.E. ve Bowles, J. B. (1994) "Using Fuzzy Logic for System Criticality Analysis", *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 24-27 Ocak 1994, ss. 449-455, (Los Angeles) USA.

Pillay, A. ve Wang, J. (2003) "Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, 79 (1), ss. 69-85.

Sharma, R.K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2008) "Fuzzy Modeling of System Behavior for Risk and Reliability Analysis", *International Journal of Systems Science*, 39 (6), ss. 563-581.

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*, 22 (9), ss. 986-1004.

Sharma, R.K., Kumar, D. ve Kumar, P. (2007) "FM – a Pragmatic Tool to Model, Analyse and Predict Complex Behaviour of Industrial Systems", *Engineering Computations: International Journal for Computer-Aided Engineering and Software*, 24 (4), ss. 319-346.

Shen, X.X., Tan, K.C. ve Xie, M. (2001). "The Implementation of Quality Function Deployment Based on Linguistic Data", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12 (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.*, 11 (3), ss. 293–307.

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*, 23 (8), ss. 1047-1066.

Vanegas, L. ve Tabib, A. (2001) “A Fuzzy Quality Function Deployment (FQFD) Model for Deriving Optimum Targets”, *Int. J. Production Research*, 39(1), ss. 99-120.

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*, 36 (2), ss. 1195-1207.

Wassermann, G.S (1993) “On How To Prioritize Design Requirements During The QFD Planning Process”, *IIE Transactions*, 25 (3), ss. 59-65.

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*, 75 (1), ss. 17-29.

Yaday, O.M., Choudhary, N. ve Bilen, C. (2008) “Complex System Reliability Estimation Methodology in The Absence of Failure Data”, *Quality and Reliability Engineering International*, 24 (7), ss. 745-764.

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 & Reliability Management*, 22 (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*, 37 (5-6), ss. 613–624.