



# Journal of Turkish Operations Management

## BULANIK KALİTE FONKSİYON YAYILIMI (BKFY) TEMELLİ TASARIM GELİŞTİRME YAKLAŞIMI

Gülin Feryal CAN<sup>1</sup>, Kumru Didem ATALAY<sup>2</sup>, Ergün ERASLAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, gfcan@baskent.edu.tr

<sup>2</sup>Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, katalay@baskent.edu.tr

<sup>3</sup>Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, eraslan@ybu.edu.tr

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 12.12.2017

Revised: 18.12.2017

Accepted: 28.12.2017

### Research Article

#### Keywords:

QFD, Fuzzy Set, Fuzzy Number,  
Electronic Card Holder, Design

### ABSTRACT

Electronic card holder systems have great importance to provide flight safety. Since these systems are high-cost systems, the design phase should be carried out in a planned manner. Reducing the design cost of electronic card holder systems and enhancing their functional performance characteristics is highly regarded and studied extensively by aircraft manufacturers. Many experts work in the design phase and therefore subjective judgements and evaluations bring uncertainties. In this context, the use of fuzzy set theory together with Quality Function Deployment (QFD) in the design phase will increase the performance of the QFD which will provide more accurate solutions. In the study, efficiency of the design process is tried to increase by using two phase Fuzzy OFD (FQFD) in the design process of electronic card holder systems based on company requirements. It is aimed to decrease production tolerances in electronic card holder systems. In the first phase, relative absolute weight of company's requirements and relative importance weights of engineering metrics are identified. In the second phase, it was decided which piece characteristics will be changed in the new design. As a result, the need for minimum compression force among technical requirements and the ability to dissipate heat among company's requirements are identified as the most important issues. According to these, it was decided to make changes on control box guard.

### MAKALE GİRİŞİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 12.12.2017

Revize: 18.12.2017

Kabul: 28.12.2017

### Araştırma Makalesi

#### Anahtar Kelimeler:

KFY, bulanık küme, bulanık sayı,  
elektronik kart tutucu, tasarım

### ÖZET

Elektronik kart tutucu sistemleri uçuş güvenliğinin sağlanması açısından büyük öneme sahiptir. Bu sistemler, yüksek maliyetli sistemler oldukları için tasarım aşaması planlı bir şekilde yürütülmelidir. Elektronik kart tutucu sistemlerinin tasarım maliyetlerini azaltmak ve fonksiyonel performans özelliklerini arttırmak, uçak üreticileri tarafından oldukça önemsenmekte ve üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Tasarım aşamasında birçok uzman görev almakta ve bu nedenle subjektif yargılar ve değerlendirmeler belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda, tasarım aşamasında KFY ile bulanık küme teorisinin birlikte kullanılması daha hassas çözümler elde edilmesini sağlayacak ve KFY'nin performansını arttıracaktır. Çalışmada, elektronik kart tutucu sistemlerinin tasarlanması sürecinde firma istekleri temelinde iki aşamalı bulanık kalite fonksiyon yayılımı (BKFY) yaklaşımı kullanılarak sürecin etkinliği arttırılmaya çalışılmıştır. Burada amaç, elektronik kart tutucu sistemlerindeki üretim toleranslarını azaltmaktır. Birinci aşamada, firma isteklerinin görece mutlak ağırlıkları ve mühendislik metriklerinin görece önem ağırlıkları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise yeni tasarımda hangi parça karakteristikleri üzerinde değişim yapılacağına karar verilmiştir. Sonuç olarak; teknik gereksinimler arasından minimum sıkıştırma kuvvetine ihtiyaç duyulması gereksinimi, firma istekleri arasından da ısıyı yayabilme özelliğinin olması en önemli unsurlar olarak belirlenmiştir. Buna göre kontrol kutusu muhafazasının üzerinde tasarım değişikliğinin yapılması gerektiği belirlenmiştir.

## 1. Giriş

Rakip firmalar ve ikame ürünler nedeni ile rekabetin yoğun olarak yaşandığı pazarlarda firmaların varlıklarını sürdürebilmeleri için müşteri istek ve gereksinimlerini anlayarak buna uygun üretim yapmaları zorunlu hale gelmiştir (Kağnıcıoğlu, 2002). Müşteri odaklılık, müşteri profilinin günümüzde değişmesi nedeni ile bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüz müşteri profili, her ürünü kabul etmeyen, yalnızca ihtiyaçlarını gidermekle yetinmeyen, estetik açısından da beklentileri olan, tasarım ve fiyat açısından araştırma bilincine sahip olan bir yapıya sahiptir (Bevan, 1999). Buna göre, müşterinin önem verdiği ürün özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak ve bunu ürünün tasarım sürecine aktarmak çok önemlidir.

Tasarım faaliyetleri, belirsizlik içeren karmaşık süreçlerdir. Her bir tasarım kriterinin ürünün performansı üzerinde yaratabileceği etki farklıdır ve tasarım kriterlerindeki değişimlerin birbirini nasıl etkileyeceği ve bu etkileşimin ürün performansına nasıl yansıtacağı belirsizdir. Bu belirsizlik ancak ürün testlerinde ya da ürün müşteri tarafından kullanılmaya başlandığında kesinleşir. Bu nedenle, tasarım ekibinin bu konulara ilişkin öngörüsünün olması beklenir. Öngörü oluşturabilmek ise bilgi, deneyim gerektiren geleceğe yönelik bir karar verme sürecidir. Bu karar verme sürecini kolaylaştırmak için geçmişe yönelik tasarım verilerinin bulunması büyük önem taşımaktadır. Ancak bu tür veriler firmada mevcut olmadığında, tasarlanan ürünle ilgili karşılaşılan karar konuları tasarım ekibi için belirsizlik içermektedir. Bu belirsizlik nedeni ile ürüne ilişkin verilecek olan kararlar öznellik içerecektir. Bu kapsamda, tasarım ekibi deneyim, bilgi, farklı departmanlarda çalışma gibi özellikler açısından değişkenlik gösteren bireylerden oluştuğu için ilgili bireylerin öznel yargılarını modellemek amacıyla farklı mantıksal sistemlere ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca çoğu tasarım parametresinin uzmanlar tarafından öngörülen değerleri “yüksek” “düşük” gibi dilsel ifadelerle tanımlanmaktadır. Bu ifadeleri matematiksel operasyonlarda kullanabilmek için de farklı yaklaşımlar ile süreci yönetmek gerekmektedir. Bütün bu sebepler nedeni ile bulanık mantık, tasarım kararlarının alınması ve ürüne aktarılmasında kullanılabilir pratik ve güçlü bir yaklaşımdır.

Bulanık mantık ilk kez 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh’in bulanık mantığı geliştirmesinin amacı belirsizliği dilsel değişkenleri kullanarak matematiksel olarak modelleyebilmektir (Klir and Yuan, 1995). Bulanık mantık ile yüksek karmaşıklığa sahip, davranışları tam anlamıyla belirlenemeyen sistemlerin davranışları bilimsel olarak tanımlanabilmekte ve hızlı çözüm gerektiren durumlarda yaklaşık değerlendirmelerle çözümler elde edilebilmektedir (Zadeh, 1965).

Bununla birlikte, tasarım parametreleri müşteri isteklerinin karşılanıp karşılanmamasını doğrudan etkileyeceği için hangi tasarım parametresinin firma tarafından sağlanması gerektiği önem taşımaktadır. Tasarım parametreleri mühendislik metrikleri olmakla birlikte, ürünlerdeki teknik gereklilikler olarak ta tanımlanmaktadır. Bu açıdan, müşteri isteklerinin teknik gerekliliklere dönüştürülerek üretim sürecine aktarılması gerekmektedir. Literatürde bu amaç ile çalışan ve yaygın bir şekilde kullanılan KFY yöntemi üretim sürecinin şekillendirilmesinde firmaya destek olacaktır.

KFY, ilk kez 1966 yılında Yoji Ako tarafından Japonya’da önerilmiş ve dünya çapında popüler bir yaklaşım haline gelmiştir. KFY, müşteri ihtiyaçlarını firmanın karşılaması gereken teknik gerekliliklere çevirebilen sistematik bir yöntemdir. KFY’nin uygulanabilmesi için farklı fonksiyonel alanlarda uzmanlığa sahip kişilerden bir takım oluşturulması gerekir. KFY’ni uygulayan firmalar, daha güvenilir ve daha kaliteli ürünleri yüksek verimlilik düzeyi ile üretebilmektedir. Son yıllarda KFY ile gerçekleştirilen çalışmalardan bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

Ko ve Chen (2014) bulanık doğrusal programlama ile KFY’ni birleştirerek yeni ürün planlamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, müşteri istekleri ile teknik gereklilikler arasındaki ilişki Chen and Weng’in modeli kullanılarak belirlenmiştir. Yan ve Ma (2015) en iyi Çin restoranı ve en iyi esnek imalat sistemi seçiminde BKFY’ni uygulamışlardır. Raut ve Mahajan (2015) BKFY ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses (BAHP) yöntemlerini birleştirerek Hindistan’daki en iyi konut projesini belirlemişlerdir.

Büyükozan ve Çiftçi (2015) ürün iyileştirme stratejilerinin seçiminde bulanık mantık temelli çok kriterli karar verme yapısı ile KFY'ni birleştirmişlerdir. Wu ve Ho (2015) yeşil cep telefonu tasarımında üretim hedeflerini belirlemek için BKFY kullanmışlardır. Zaim vd. (2016) KFY ile Analitik Ağ Prosesini (ANP) birleştirerek üründe karşılanması gereken teknik gerekliliklerin öncelik sıralamasını bulanık ortamda elde etmişlerdir. Lima-Junior and Carpinetti (2016) tedarikçi seçiminde BKFY'ni kullanmışlardır. Onar vd. (2016) bilgisayarlı iş istasyonlarının tasarım gerekliliklerini belirlemek için BKFY'ni uygulamışlardır. Vinodh vd. (2017) elektronik ürünlerde sürdürülebilir tasarımın sağlanması amacıyla BKFY'ni kullanmışlardır. Wu vd. (2017) demir yolu yemek hizmeti istasyonlarının değerlendirmesinde robast KFY yaklaşımını uygulamışlardır. Wu vd. (2017) elektrikli araçların tasarımında hesitant bulanık kümeler ile KFY, DEMATEL (decision-making trial and evaluation laboratory) ve VIKOR (Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerini entegre ederek kullanmışlardır. Azadnia ve Ghadimi (2018) sipariş tahsisi ve tedarikçi seçiminde bulanık çok amaçlı programlama ile BKFY'ni entegre ederek kullanmışlardır.

Çalışmada, iki aşamalı bir BKFY yöntemi önerilmiştir. Birinci aşamada, firma istekleri müşteri istekleri olarak tanımlanmış ve mühendislik metrikleri teknik gereklilikler olarak belirlenmiştir. Bu aşamada, firma isteklerinin mutlak görelî ağırlıkları ve mühendislik metriklerinin görelî önem ağırlıkları elde edilmiştir. İkinci aşamada, birinci aşamada ele alınan mühendislik metrikleri müşteri istekleri olarak tanımlanmış ve teknik gereklilikler bölümünde parça karakteristikleri konumlandırılmıştır. Bu şamada da parça karakteristiklerinin görelî önem ağırlıkları elde edilmiştir. Buna göre, birinci aşamadaki firma isteklerinin gerçekleştirilebilmesi için hangi parça karakteristiklerinde tasarım değişikliğinin yapılması gerektiğine karar verilmiştir.

Literatürden de görüldüğü gibi KFY farklı alanlarda ve farklı yaklaşımlarla birleştirilerek uygulanmıştır. Ancak uçuş güvenliğinin sağlanmasında önemli bir yere sahip olan elektronik kart tutucu sistemlerinin tasarım sürecinde BKFY kullanılmamıştır. Bununla birlikte iki aşamalı bir BKFY yöntemi de henüz araştırmacılar tarafından geliştirilmemiştir. Bu açıardan gerçekleştirilen çalışma, BKFY için yeni bir bakış açısı sağlamakla birlikte, elektronik sektörü için literatüre katkı sağlayabilecek ve uçak üretim firmalarındaki yöneticilerin tasarım kararlarına destek olabilecek bir çalışmadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık mantıktan bahsedilmiş, üçüncü bölümünde KFY, BKFY'na yer verilmiş, dördüncü bölümde elektronik kart tutucu sistemleri tasarım sürecinde BKFY'nın kullanılmasına ilişkin gerçekleştirilen uygulama anlatılmış, beşinci bölümde ise sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

## 2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık mantığın temeli, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık mantık, verilerin tamamına ulaşılamadığı veya belirsizliklerin bulunduğu durumlarda çözüm üretebilen bir araçtır. Bu nedenle kesin yaklaşımlar yerine, belirsizliği de göz önüne alarak yaklaşık düşünme tekniğini hesaba katan bulanık mantık daha hassas sonuçlar elde etmeye olanak sağlamaktadır. İki değerli mantık yapısına sahip klasik mantık, matematiğin sağlam temeller üzerine oturmasına olanak sağlar. Ancak gerçek hayat problemlerinin çoğunu bu katı ikili mantık sistemi ile modellemek her zaman mümkün olmayabilir.

Bulanık mantığın ana amacı, herhangi bir problemde tam ve kesin olmayan bilgiler var olduğunda insanlara doğru ve tutarlı bilgiler sunabilmektir. Bulanık mantık için gerekli olan altyapıyı sağlamak için bulanık küme teorisi tanımlanmıştır. İnsanın kesin olmayan bilgiyi anlama ve analiz etme yeteneğinden yola çıkan Zadeh (1977), kesinlik içermeyen problemleri çözmek ve insan düşüncesinin anahtar elemanlarının sayılar değil dilsel ifadeler olduğu fikrini dayanak alarak bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Bulanık küme kuramında kümeye ait olma derecelerini tanımlayan üyelik fonksiyonları oldukça önemli bir yer tutar (Bellman ve Zadeh, 1977). A kümesi bir bulanık küme ise,  $\mu_A(x)$  değerine  $x$ 'in A kümesine üyelik derecesi denir.

A kümesinin üyelik fonksiyonu,

$$\forall x \in X: \mu_A(x) \in [0.1]$$

biçiminde ifade edilir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonunun aldığı değerler [0.1] aralığında olmasına rağmen farklı aralıklarda da üyelik fonksiyonları tanımlamak mümkündür. Fakat her bir üyelik fonksiyonunun elemanı X evrensel kümesinin içinde yer almalı ve tanımlanan aralıkta gerçek sayılar olmalıdır (Dubois and Prade, 1980).

Üyelik fonksiyonları arasında literatürde en çok kullanılanları üçgensel, yamuksal, Gaussian fonksiyonlardır. Gündelik yaşamda pek çok yargıya belirsizlik altında varılır ve kesinlik yaklaşımıyla belirsizlik gerçekçi bir şekilde modellenemez. Üyelik fonksiyonları kullanılarak bu tarz modellemeleri yapabilmeye olanağı doğmaktadır. Bununla birlikte probleme uygun üyelik fonksiyonunun seçimi de ayrıca önem teşkil etmektedir. Üyelik dereceleri ise üyelik fonksiyonları kullanılarak elde edilir. Üyelik derecesi kesikli veriler için sübjektif olarak da belirlenebilir (Zadeh, 1987).

Üçgensel bulanık sayı  $\tilde{A}$ , (a,b,c) üçlüsü ile gösterilir ve üçgensel üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  is Eşitlik (1) ile verilmiştir (Klir and Yuan, 1995):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ or } x > c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

burada a,b and c reel sayılar olup  $a \leq b \leq c$  eşitsizliği sağlanmalıdır.  $\tilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$  ve  $\tilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ , iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere bulanık aritmetiksel işlemler Eşitlik (2), (3), (4), (5) ve (6) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2). \quad (2)$$

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2). \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2). \quad (4)$$

$$\tilde{A}_1 \oslash \tilde{A}_2 = (a_1 / c_2, b_1 / b_2, c_1 / a_2). \quad (5)$$

$$\lambda \odot \tilde{A} = (\lambda * a, \lambda * b, \lambda * c). \quad (6)$$

Üçgensel bulanık sayı  $\tilde{A}$  eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılır.

$$A_{duru} = \frac{a + 4b + c}{6} \quad (7)$$

### 3. Metot

#### 3.1 Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)

KFY, müşterinin istek ve beklentilerini ürüne yansıtabilmek amacıyla tasarım aşamasında ürünün teknik özelliklerinin, süreç özelliklerinin ve üretim aşamasındaki gereksinimlerin önceden planlanması amacıyla geliştirilen bir sistematiktir. KFY ile müşteri istek ve beklentilerinin belirlenerek bu istek ve beklentilerin karşılanabilmesi için ürünün ilgili teknik gereklilikleri tanımlanır. Teknik gerekliliklere ait göreceli önemler belirlenerek hangi teknik gerekliliğin daha öncelikli olarak karşılanması gerektiği saptanır. Ayrıca müşteri isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklar bulunarak, müşteri isteklerinin bir sıralaması yapılır. KFY'nın bir uygulama aracı olan kalite evi bu tarz problemleri çözümlenmek amacıyla kullanılabilir.

KFY’da müşteri istekleri belirlenirken müşteri ile birebir görüşme, anket uygulama, odak grup kurma gibi stratejiler izlenebilir. Ya da problemin yapısına göre konusunda uzman olan karar vericilerden fikir alınabilir. Müşteri istekleri, bir anlamda KFY çalışmasının amacını oluşturur. Sonrasında bu isteklerin önem ağırlıkları belirlenerek hangi müşteri isteğinin öncelikli olduğu tanımlanır. Teknik gereklilikler kısmında ise, müşteri isteklerinin nasıl karşılanacağı belirlenir. Aslında bu gereklilikler, müşteri isteklerinin üründeki hangi teknik özelliklerle sağlanacağına bir tanımıdır. Kalite evinin “ilişkiler” olarak ifade edilen kısmında ise müşteri istekleri ile teknik gereklilikler ilişkilendirilir. Burada, hangi müşteri isteğini karşılamak için hangi teknik gerekliliğin karşılanması gerektiği belirlenir. Bu belirleme, müşteri istekleri ile teknik gereklilikler arasında tanımlanan ilişki derecesine göre gerçekleştirilir. Burada amaç, herhangi bir müşteri isteğini karşılamada en güçlü etkiye sahip teknik gereksinimi bulmaktır.

“Müşteri algısı” ve “hedef değer” bölümlerinde firma müşteri gözüyle ürünün rakip firma ürünlerine göre durumunu belirler. İyileştirme oranı ise bu iki değer yardımıyla hesaplanan, müşteri algısının hedef değere göre durumunu belirler. Öncelik faktörü üründe hangi müşteri isteklerinin öncelikle geliştirilmesi gerektiğini ortaya koyar. Mutlak ağırlık her bir müşteri isteğinin önem ağırlığı, iyileştirme oranı ve öncelik faktörünü dikkate alarak hesaplanır. Göreli mutlak ağırlık ise müşteri isteklerinin sıralanmasını verir.

Müşteri isteklerine ait göreli mutlak ağırlıklar ile teknik gerekliliklerden elde edilen göreli önem ağırlıkları birbiriyle uyumlu olmalıdır. Buna göre, müşterinin isteklerini karşılayan bir ürün, teknik özellikler açısından da diğer rakip ürünlere göre daha iyi konumda olacaktır. Buradan firma açısından hangi teknik özelliklere odaklanması gerektiği belirlenecek ve bu belirlemeler firmanın amaç ve hedeflerini oluşturacaktır.

### 3.2. Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı (BKFY) Temelli Tasarım Geliştirme Yaklaşımı

Çalışmada önerilen yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. Bu yaklaşım temelinde KFY kullanılmıştır. Birinci aşamada teknik gereklilikler olarak mühendislik metrikleri alınmış ve buna karşılık müşteri istekleri firma istekleri olarak tanımlanmıştır. Burada amaç mühendislik metrikleri ile firma isteklerini ilişkilendirerek firma isteklerinin sıralamasını elde etmektir. İkinci aşamada ise, mühendislik metrikleri müşteri istekleri olarak alınmış, teknik gereklilikler kısmında ise parça karakteristikleri yer almıştır. Ayrıca, birinci aşamadan elde edilen mühendislik metriklerine ait ağırlıklar kullanılmıştır. Buna göre, hangi parça karakteristikleri üzerinde tasarım değişikliğinin yapılacağını belirlemek amacıyla iki aşamadan oluşan, KFY temelli, önerilen algoritma aşağıda verilmiştir.

#### Aşama 1: Firma isteklerinin göreli mutlak ağırlıklarının belirlenmesi

**Adım 1:** Firma isteklerini belirle.

Firma tarafından karar konusunda bilgi ve deneyimi olan üst düzey yöneticilerden seçilen karar verici ekibi tarafından ürün tasarımında yapılması istenilen değişikliklerin belirlenir.

**Adım 2:** Teknik gereklilikler olan mühendislik metriklerini firma isteklerini gerçekleştirmek için oluştur ve firma isteklerinin önem ağırlıklarını belirle.

Her bir karar verici Tablo 1 ile verilen bulanık önem skalasını kullanarak her bir firma isteği için değerlendirmesini yapar. Bu değerlendirmeler Eşitlik (2) ve (6) kullanılarak birleştirilir.

**Tablo 1.** Bulanık Önem /ilişki skalası

Dilsel değişkenler	Üçgensel bulanık sayı
Çok düşük önemli (ÇDÖ)/Zayıf ilişki	(0.1,0.1,0.2)
Orta derecede önemli (ODÖ)/Orta ilişki	(0.2,0.3,0.4)
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)/Güçlü ilişki	(0.8,0.9,0.9)

**Adım 3:** Firma istekleri ile mühendislik metrikleri arasındaki ilişkiyi belirle.

Her bir karar verici Tablo 1 ile verilen bulanık ilişki skalasını kullanarak her bir firma isteği ile her bir mühendislik metriği arasındaki ilişkinin derecesini belirler. Bu değerlendirmelerin Eşitlik (2) ve (6) kullanılarak birleştirilir.

**Adım 4:** Mühendislik metriklerinin göreceli önem ağırlıklarını belirle.

Firma isteklerinin bulanık önem ağırlıkları ile mühendislik metriklerinin bulanık ilişki dereceleri ile çarpılarak mühendislik metriklerinin bulanık göreceli önem ağırlıkları bulunur ve Eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılır.

**Adım 5:** Firma isteklerine ait müşteri algısı hedef değerleri belirle.

Karar vericiden tarafından müşteri algısının ve hedef değerlerinin Tablo 2’de verilen bulanık değerlendirme skalası kullanılarak belirlenmesi istenir.

**Tablo 2.** Bulanık değerlendirme skalası

Dilsel değişkenler	Üçgensel bulanık sayı
En kötü (EK)	(0.1,0.1,0.2)
Kötü (K)	(0.1,0.2,0.3)
Orta (O)	(0.2,0.3,0.4)
İyi (İ)	(0.3,0.4,0.5)
En iyi (Eİ)	(0.4,0.5,0.5)

**Adım 6:** Firma isteklerinin bulanık iyileşme oranının hesapla.

Eşitlik (5) kullanılarak bulanık hedef değerleri bulanık müşteri algısına bölünerek bulanık iyileşme oranı hesaplanır.

**Adım 7:** Firma isteklerine ait öncelik faktörünü belirle.

Tablo 3’de verilen öncelik skalası kullanılarak karar verici tarafından firma isteklerine ait öncelik faktörleri atanır.

**Tablo 3.** Öncelik Faktörü skalası

Öncelik tanımı	Derece
Önceliksiz	1
Öncelikli	1.2
En Öncelikli	1.5

**Adım 8:** Firma isteklerinin bulanık mutlak ağırlığı hesapla.

Firma isteklerinin bulanık mutlak ağırlıkları, Eşitlik (2) ve (6) kullanılarak, bulanık önem ağırlığı bulanık iyileşme oranı ve öncelik faktörünün çarpımı olarak hesaplanır ve Eşitlik (7) yardımıyla durulaştırılır.

**Adım 9:** Firma isteklerinin göreceli mutlak ağırlığını hesapla.

Firma isteklerinin göreceli mutlak ağırlıkları, mutlak ağırlığın toplam mutlak ağırlığa bölünmesi ile

hesaplanır ve 100 ile çarpılarak yeni tasarım için firma istekleri görelî mutlak ağırlıklarına göre sıralanır.

## **Aşama 2: Parça karakteristiklerinin görelî önem ağırlıklarını belirle.**

**Adım 1:** Parça karakteristiklerini oluştur.

Ürün ağacında yer alan alt montaj parçaları parça karakteristikleri olarak alınır.

**Adım 2:** Parça karakteristiklerinin görelî önem ağırlığını hesapla.

Aşama 1 de bulunan mühendislik metriklerine ait görelî ağırlıklar, önem ağırlıkları olarak alınıp, yeni teknik gereklilikler olarak da parça karakteristikleri belirlenir. Parça karakteristikleri ile mühendislik metrikleri arasındaki ilişki matrisi oluşturulur. Buna göre mühendislik metriklerinin önem ağırlıkları ile parça karakteristiklerinin bulanık ilişki dereceleri çarpılarak parça karakteristiklerinin bulanık görelî önem ağırlıkları Eşitlik (2) ve Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır ve Eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılır. Buna göre parça karakteristikleri görelî önem ağırlıklarına göre sıralanır.

## **4. Elektronik kart tutucu sistemlerinde BKFY Temelli Tasarım Geliştirme Yaklaşımının Uygulanması**

Çalışmada, askeri ve ticari uçaklarda kullanılan motor ve uçuş kontrol kutuları içindeki elektronik kartlar için takılabilir modül sabitleme sisteminin yeniden tasarımını gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Uygulamanın yapıldığı firma İngiltere’de faaliyet gösteren dünya çapında bir havacılık firmasıdır. Firma, 1999’da kurulan dünya çapında dördüncü büyük havacılık firmasıdır ve 100.000’den fazla çalışanı bulunmaktadır. Ayrıca askeri ve ticari uçakların uçuş ve motor kontrol elektroniklerinin lider üreticilerinden birisidir.

Üretilen kontrol sistemleri uçuş ve motor kontrol uygulamalarında askeri ve ticari uçaklar için kullanılmaktadır. Bu kontroller, kontrol kutusuna (ana gövde) sabitlenmiş birçok farklı kart modülünden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında, tasarım ekibi tarafından alüminyum kontrol kutusuna sabitlenmiş kartlara ait kama sabitleme mekanizmalarının yeniden tasarlanması üzerinde çalışılmıştır. Şekil 1’de alüminyum kontrol kutusu ve takılabilir modüller gösterilmektedir.



Şekil 1. Alüminyum kontrol kutusu ve takılabilir modüller

Kartların kontrol kutusuna sabitlenmesinin iki önemli nedeni bulunmaktadır: Birincisi kartların kontrol kutusundan düşmesini engellemektir. Çünkü kontrol kutusu yüksek titreşim ortamında çalışmaktadır. İkincisi ise; kartların sabitlenmesinin baskılı devre kartlarından ısının kontrol kutusuna yayılmasını bir ısı yolu üzerinden sağlamasıdır. Çünkü kontrollerdeki elektronikler yüksek ısı üretmektedirler ve ortam ısıyla birleşince baskılı devre kartlarının arızalanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yeterli bir ısı yolunun oluşturulması gerekmektedir. Kartları sabitlemek için kullanılan mevcut sistem Şekil 2’de verilen kama kilit kelepçesidir.



Şekil 2. Kart Kilitleme Yuvası

Bu kelepçeler baskılı devre kartı üzerindeki ısı alıcılarına vidalanmaktadır. Ardından kartlar, kontrol kutusu içerisine işlenmiş olan yuvaların içine kaydırılmaktadır. Bu kaydırma işlemi kart sabitlenene kadar devam etmektedir. Şekil 3’de baskılı devre kartı ile kart kilitleme yuvası gösterilmektedir.



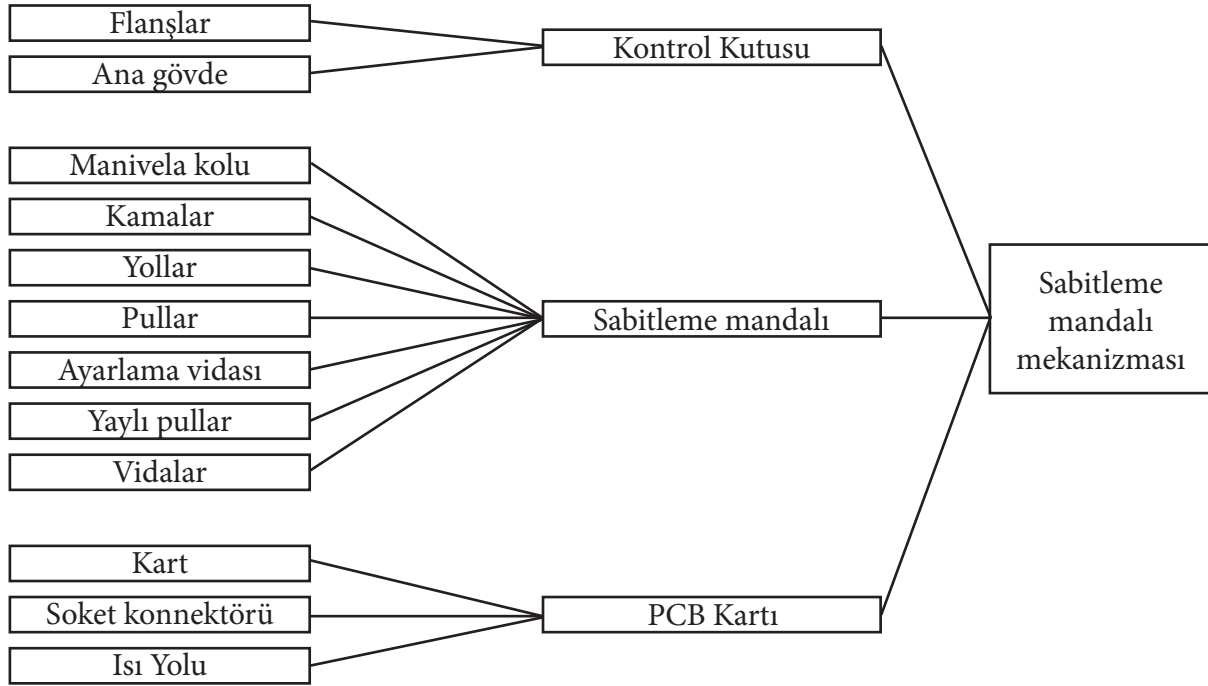
Şekil 3. Baskılı Devre Kartı ile Kart Kilitleme Yuvası

Çalışmada, daha düşük toleranslarda üretimin yapılabilmesi için ürün tasarımında dikkat edilmesi gereken konular beş kategoride incelenmiştir. Bunlar, işleme toleransları, uygulanan sabitleme kuvveti, çalıştırma sistemi, titreşim ve termal performanstır.

İşleme toleransları açısından incelendiğinde kartların sabitleneceği yuvaların toleransları  $\pm 5$  mil, kontrol kutusu içindeki toleransları ise  $\pm 3$  mil’dir. Yeni tasarımda bu toleransların yuvalar için  $\pm 10$  mile, baskılı devre kartı için ise yine  $\pm 10$  mile çıkarılması planlanmaktadır. Toplam sabitleme toleransı ise  $\pm 20$  mile kadar uygun olarak değerlendirilmiştir. Mevcut tasarımda kartları sabitlemek için 29 lbf’luk bir sabitleme kuvvetinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. Yeni tasarımda ise bu sabitleme kuvvetinin minimum 75 lbf’luk maksimum 125 lbf’luk olması hedeflenmektedir. Mevcut baskılı devre kartlarını kontrol kutusuna takmak için operatörün kart kilitleme kolunu bastırmak zorunda kalmaktadır. Yeni tasarımda bu çalıştırma prensibi devam edecektir. Titreşim, baskılı devre kartlarının çalışması açısından hayati öneme sahiptir. Eğer baskılı devre kartı çok fazla titreşirse içindeki bileşenler bozulabilir ya da kırılabilir. Yeni tasarımın 24 Hz’e kadar sinüzoidal titreşime dayanıklı olması istenmektedir. baskılı devre kartı tarafından üretilen ısı, kontrol kutusunun duvarından sabitleme sistemine doğru yayılmaktadır. Yeni tasarımın bu ısıya eşit ya da daha fazla ısıya dayanıklı olması hedeflenmektedir.



Mevcut kontrol kutuları sağlam ve güvenilir olmalarına rağmen sabitleme sisteminin toplam maliyeti yüksektir. Yüksek maliyetin en önemli sebeplerinden biri yüksek toleranslardır. Bu toleransların hepsi yüksek sıcaklık ve titreşim ortamında modülleri güvende tutmak amacıyla belirlenmiştir. Yeni tasarımın daha esnek toleranslarla aynı güvenlik, kontrol ve güvenilirlik seviyelerini karşılaması gerekmektedir. Firma tarafından, maliyeti en küçüklemek amacıyla mevcut teknik toleranslardan farklı toleranslara sahip bir modül sabitleme sisteminin yeniden tasarlanması istenmiştir. Bu kapsamda, alüminyum kontrol kutusu, kart sabitleme kama kelepçesi ve takılabilir modüller (baskı devre kartı ve alüminyum ısı yolu) yeniden tasarlanması gereken parçalardır. Şekil 4'te bu parçalara ait alt montaj parçalarını gösteren ağaç yapısı verilmiştir.



Şekil 4. Alt montaj parçalarını gösteren ağaç yapısı

Çalışmada Şekil 4'de verilen ürün ağacında gösterilen alt montaj parçalardan hangisine yönelik tasarım değişikliklerinin öncelikli olarak yapılacağını belirlemek amacıyla önerilen BKFY temelli tasarım geliştirme yaklaşımı kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada firma isteklerinin görece önem ağırlıklarını bulmak amacıyla teknik gereklilikler olan mühendislik metrikleri ile ilişkileri ve karar vericiler tarafından firma istekleri için yapılan önem değerlendirmeleri kullanılmıştır. İkinci aşamada, birinci aşamadan elde edilen firma isteklerine ait görece önem ağırlıkları teknik gereklilikler olarak alınan parça karakteristikleri ile ilişkilendirilerek parça karakteristiklerinin görece önem ağırlıkları bulunmuştur. Bu aşamada firma istekleri olarak birinci aşamada ele alınan mühendislik metrikleri kullanılmış ve birinci aşamada hesaplanan mühendislik metriklerine ait görece önem ağırlıkları, önem değerlendirmesi olarak kullanılmıştır.

### Aşama 1

Kalite evi oluşturulurken, öncelikle firma tarafından tanımlanan, ürün özellikleri ile ilgili istek ve ihtiyaçların tasarım mühendisi tarafından tespit edilmesi istenmiştir. Bu istek ve ihtiyaçlar Tablo 4 ile gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Firma istekleri

<b>Firma istekleri</b>
Isıyı yayabilme özelliği
Titreşime dayanım özelliği
Mümkün olduğunca hafif olması
Kolay kurulabilmesi
Kolay taşınabilmesi
Kolay imal edilebilmesi
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması
Uygun fiyatı olması

Kalite Evi'nin teknik bilgileri ile ilgili kısmı oluştururken firma isteklerini karşılayacak teknik gereklilikler yani mühendislik metrikleri belirlenmiş ve Tablo 5 ile verilmiştir. Burada firma istek ve ihtiyaçlarının hangi teknik gereksinimlerle karşılanacağı belirlenmiştir.

**Tablo 5. Aşama 1: Teknik gereklilikler; Mühendislik metrikleri**

<b>Mühendislik metrikleri</b>
Termal iletkenlik
Parça sayısı
Baskılı devre kartının çıkarma süresi
Baskılı devre kartının takma ve çıkarma için gerekli olan araç sayısı
Minimum sıkıştırma kuvveti
Ağırlık
Kontrol kutusunun montaj süresi
Dizme toleransı
Boyut
Yapısal bütünlük
Titreşim test performansı
Toplam maliyet

Firma isteklerinin önem ağırlıkları tasarım mühendisi tarafından Tablo 1 ile verilen bulanık önem skalası kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 6 ile sunulmuştur.

**Tablo 6.** Firma isteklerinin önem ağırlıkları

<b>Firma istekleri</b>	<b>Bulanık önem ağırlığı</b>		
Isıyı yayabilme özelliği	0.8	0.9	0.9
Titreşime dayanım özelliği	0.8	0.9	0.9
Mümkün olduğunca hafif olması	0.1	0.1	0.2
Kolay kurulabilmesi	0.2	0.3	0.4
Kolay taşınabilmesi	0.2	0.3	0.4
Kolay imal edilebilmesi	0.1	0.1	0.2
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi	0.2	0.3	0.4
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması	0.8	0.9	0.9
Uygun fiyatı olması	0.8	0.9	0.9

Her bir firma isteği ile her mühendislik metriği arasındaki ilişki derecesi belirlenmiştir. Tablo 1 ile verilen bulanık ilişki skalası kullanılarak oluşturulan ilişki matrisi Tablo 7 ile gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Firma istekleri ile mühendislik metrikleri arasındaki bulanık ilişki matrisi

Firma istekleri	Mühendislik metrikleri								
	Temel iletkenlik			...			Tutma sisteminin toplam maliyeti		
Isıyı yayabilme özelliği	0.8	0.9	0.9	...	...	...			
Titreşime dayanım özelliği				...	...	...			
Mümkün olduğunca hafif olması	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Kolay kurulabilmesi				...	...	...			
Kolay taşınabilmesi				...	...	...			
Kolay imal edilebilmesi	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi				...	...	...			
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması				...	...	...	0.1	0.1	0.2
Uygun fiyatı olması	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.8	0.9	0.9

Mühendislik metriklerinin göreceli önem ağırlıkları Tablo 8 ile verilmiştir.

**Tablo 8.** Mühendislik Metriklerinin önem ağırlıkları

Aşama 1: Teknik gereklilikler; Mühendislik metrikleri	Bulanık önem ağırlığı			Durulaştırılmış	Göreceli önem ağırlığı (%)
Termal iletkenlik	0.7	0.9	1.1	0.9	8.4
Parça sayısı	0.9	1.2	1.6	1.2	11.1
Baskılı devre kartının çıkarma süresi	0.3	0.5	0.7	0.5	4.3
Baskılı devre kartını takma ve çıkarma için gerekli olan araç sayısı	0.4	0.6	0.9	0.6	5.8
Minimum sıkıştırma kuvveti	1.4	1.8	2.0	1.7	15.9
Ağırlık	0.3	0.4	0.7	0.4	4.1
Kontrol kutusunun montaj süresi	0.3	0.5	0.7	0.5	4.3
Dizme toleransı	1.0	1.4	1.7	1.3	12.4
Boyut	0.7	0.9	1.1	0.9	8.4
Yapısal bütünlük	0.8	1.1	1.2	1.1	9.7
Titreşim test performansı	0.6	0.8	0.8	0.8	7.2
Toplam maliyet	0.7	0.9	1.1	0.9	8.4

Kalite evi Aşama 1'den de görüldüğü gibi müşteri gerekliliklerinin karşılanması açısından en önemli olan mühendislik metrikleri sırasıyla Tablo 8'de verilmiştir. Mühendislik metrikleri arasında minimum sıkıştırma kuvveti (% 15.9) müşteri isteklerini karşılaması açısından en yüksek öneme sahiptir. Bu teknik gereksinimi sırasıyla dizme toleransı (% 12.4) ve parça sayısı (% 11.1) izlemektedir.

Firma isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklarını elde etmek amacıyla tasarım mühendisi tarafından atanan ve müşteri algısına ve hedef değerlere ait bulanık değerlendirmeler Tablo 9 ile verilmiştir.

**Tablo 9.** Müşteri algısına ve hedef değerlere ait bulanık değerlendirmeler

Firma istekleri	Müşteri Algısı			Hedef Değer		
Isıyı yayabilme özelliği	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
Titreşime dayanım özelliği	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5
Mümkün olduğunca hafif olması	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5
Kolay kurulabilmesi	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
Kolay taşınabilmesi	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
Kolay imal edilebilmesi	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Uygun fiyatı olması	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5

Tablo 9’da verilen müşteri algısı ve hedef değerler kullanılarak bulanık iyileştirme oranı hesaplanmış ve tasarım mühendisi tarafından verilen öncelik faktörü kullanılarak bulanık mutlak ağırlıklar hesaplanmıştır. Eşitlik (7) kullanılarak durulaştırılmıştır. Buna göre, göreceli mutlak ağırlıklar elde edilmiş ve Tablo 10 ile verilmiştir

**Tablo 10.** Firma isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklar

Firma istekleri	Bulanık iyileştirme oranı			Öncelik faktörü	Bulanık mutlak ağırlık			Durulaştırılmış mutlak ağırlık	Göreceli mutlak ağırlık (%)
Isıyı yayabilme özelliği	0.8	1.3	2.5	1.5	0.9	1.8	3.4	1.9	22.7
Titreşime dayanım özelliği	0.8	1.3	1.7	1.2	0.8	1.4	1.8	1.3	15.8
Mümkün olduğunca hafif olması	0.8	1.3	1.7	1.2	0.1	0.2	0.4	0.2	2.2
Kolay kurulabilmesi	1.0	1.7	2.5	1.2	0.2	0.6	1.2	0.6	7.6
Kolay taşınabilmesi	1.0	1.7	2.5	1.2	0.2	0.6	1.2	0.6	7.6
Kolay imal edilebilmesi	2.0	5.0	5.0	1.2	0.2	0.6	1.2	0.6	7.6
Baskılı devre kartının kilitli olup olmadığını belirtmesi	0.8	1.0	1.3	1.5	0.2	0.5	0.8	0.5	5.5
Farklı kontrol kutusu boy ve genişliklerine uygun tasarlanması	0.8	1.0	1.3	1.2	0.8	1.1	1.4	1.1	12.8
Uygun fiyatı olması	0.8	1.3	2.5	1.2	0.7	1.4	2.7	1.5	18.2

Tablo 10’den da görüldüğü gibi müşteri istekleri açısından bakıldığında en önemli müşteri isteği ısıyı yayabilme özelliği (%22.7) olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla fiyatının uygun olması (%18.2) ve titreşime dayanıklı olması (%15.8) takip etmektedir.

## Aşama 2

Aşama 1 de elde edilen firma isteklerine ait göreceli mutlak ağırlıklar, Aşama 2 de mühendislik metriklerinin göreceli önem ağırlığı olarak alınmıştır. Teknik gereklilik olarak ürün ağacında yer alan alt montaj parçaları olarak ele alınmıştır. Kalite evinde bu parçalar parça karakteristikleri olarak ifade edilmiştir. Her bir mühendislik metriği ile her parça karakteristiğinin arasındaki ilişki derecesi belirlenmiştir. Tablo 1 ile verilen bulanık ilişki skalası kullanılarak oluşturulan bulanık ilişki matrisi Tablo 11 ile gösterilmiştir.

**Tablo 11.** Mühendislik metrikleri ile parça karakteristiklerinin bulanık ilişki matrisi

Mühendislik metrikleri	Parça Karakteristikleri								
	Kontrol kutusu muhafazası						Baskılı devre kartı/ısı alıcı		
Termal iletkenlik	0.8	0.9	0.9	...	...	...	0.8	0.9	0.9
Parça Sayısı				...	...	...			
Baskılı devre kartını çıkarma süresi				...	...	...			
Baskılı devre kartını takma ve çıkarma için gerekli olan alet sayısı				...	...	...			
Minimum sıkıştırma kuvveti	0.8	0.9	0.9	...	...	...			
Ağırlık	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Kontrol kutusunun montaj süresi	0.2	0.3	0.4	...	...	...			
Dizme toleransı	0.8	0.9	0.9	...	...	...	0.2	0.3	0.4
Boyut				...	...	...			
Yapısal Bütünlük				...	...	...	0.2	0.3	0.4
Titreşim test performansı	0.1	0.1	0.2	...	...	...	0.1	0.1	0.2
Tutma sisteminin toplam maliyeti	0.2	0.3	0.4	...	...	...			

Bu aşamada mühendislik metrikleri, teknik gereklilikler olarak alınan parça karakteristikleri ile ilişkilendirilerek, parça karakteristiklerine ait görece önem ağırlıkları bulunmuş ve Tablo 12’de verilmiştir.

**Tablo 12.** Parça karakteristiklerinin görece önem ağırlıkları

Aşama 2: Teknik gereklilikler; Parça karakteristikleri	Bulanık önem ağırlığı			Durulaştırılmış önem ağırlığı	Göreceli önem Ağırlığı (%)
Kontrol kutusu muhafazası	33.0	37.9	40.3	37.5	25.3
Ayarlama vidası	14.7	16.3	18.3	16.4	11.0
Yaylı pullar	15.9	18.2	20.6	18.2	12.3
Yollar	4.9	6.7	9.7	6.9	4.6
Arka kama	7.2	8.8	14.4	9.5	6.4
Arka dış gövde	3.2	3.2	6.4	3.7	2.5
Merkez gövde	3.2	3.2	6.4	3.7	2.5
Ön dış gövde	3.2	3.2	6.4	3.7	2.5
Ön kama	7.2	8.8	14.4	9.5	6.4
Kaldırma kolu	10.6	13.6	18.2	13.9	9.4
Pim	7.1	9.7	14.2	10.0	6.7
Baskılı devre kartı/Isı alıcı	12.2	15.3	18.6	15.3	10.3

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada, uzmanlar arasındaki görüş farklılıklarının, tasarım kararları alınırken kullanılan dilsel değişkenlerin süreçte yarattığı belirsizliği modelleyebilmek için KFY ile bulanık mantık birleştirilmiştir. Böylece tasarım kararlarının daha esnek bir ortamda ve bilimsel bir temelde alınması sağlanmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre teknik gereksinimler arasında minimum sıkıştırma kuvvetine ihtiyaç duyulması gereksiniminin firma tarafından öncelikle sağlanması gereken bir teknik özellik olduğu

belirlenmiştir. Minimum sıkıştırma kuvvetinin sağlanabilmesi için kullanılacak olan kontrol kutusu muhafazasının tasarımına, kullanılan ayarlama vidalarına ve yaylı pullara önem verilmelidir. Teknik gereksinimler açısından müşteri isteklerini karşılamada ikinci sırada yer alan dizme toleransı için de yine kontrol kutusu muhafazasının tasarımı önem taşımaktadır. Kutunun en boy ve yükseklik ölçülerine göre kartların dizilmesinde dikkat edilecek toleranslar değişecektir.

Müşteri istekleri arasında ise ısıyı yayabilme özelliği en önemli müşteri isteği olarak ortaya çıkmıştır. Eğer kutunun baskılı devre kartı tarafından iletilen ısıyı yayma özelliği olmazsa yüksek ısı nedeniyle toleranslar, kartlar ve kutunun formu bozulabilir. Bu durum kartların yuvalarından çıkmasına neden olabilir.

Gelecek dönem çalışmaları için. KFY başka yaklaşımlarla birleştirilerek uçuş güvenliği açısından önem taşıyan farklı parçaların tasarımında kullanılabilir. Tasarım kararlarındaki şüphe derecesini yansıtabilmek amacıyla sezgisel bulanık küme teorisi ile entegre edilebilir.

## Kaynaklar

Azadnia, A. H. & Ghadimi, P. (2018). An Integrated Approach of Fuzzy Quality Function Deployment and Fuzzy Multi-Objective Programming Tosustainable Supplier Selection and Order Allocation. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 11(1): 191-200.

Bellman, R. E. & Zadeh, L. A. (1977). Local and fuzzy logics. *Modern uses of multiple-valued logic*, 103-165.

Bevan, N. (1999). Quality in use: meeting user needs for quality. *The Journal of Systems and Software*, 49(1): 89-96.

Büyüközkan, G. & Çifçi, G. (2015). An extended quality function deployment incorporating fuzzy logic and GDM under different preference structures. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(3): 438-454.

Chen, L. H. & Weng, M. C. (2003). A Fuzzy Model for Exploiting Quality Function Deployment. *Mathematical and Computer Modelling*, 38 (5–6): 559–570.

Dubois, D. & Prade, H. (1980). Systems of linear fuzzy constraints. *Fuzzy sets and systems*, 3(1): 37-48.  
Kağnıcıoğlu, H.C. (2002). Ürün Tasarımında Kalite Fonksiyon Yayılımı. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. Uludağ Üniversitesi*, 1:177–188.

Klir, G.J. & Yuan, B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logics*. Prentice Hall PTR. 1995.

Ko, W. C. & Chen, L. H. (2014). An approach of new product planning using quality function deployment and fuzzy linear programming model. *International Journal of Production Research*, 52(6): 1728-1743.

Lima-Junior, F.R. & Carpinetti, L.C.R. (2016). A multicriteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection. *Computers and Industrial Engineering*, 201:269-285..

Onar, S.Ç., Büyüközkan, G., Öztayşi, B., Kahraman, C. (2016). A new hesitant fuzzy QFD approach: An application to computer workstation selection. *Applied Soft Computing*, 46:1-16.

Raut, R. D. & Mahajan, V. C. (2015). A new strategic approach of fuzzy-quality function deployment and analytical hierarchy process in construction industry.

International Journal of Logistics Systems and Management, 20(2). 260-290.

Vinodh, S., Manjunatheshwara, K. J., Sundaram, S. K. & Kirthivasan, V. (2017). Application of fuzzy quality function deployment for sustainable design of consumer electronics products: a case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(4). 1021-1030.

Wu, S. M., Liu, H. C. & Wang, L. E. (2017). Hesitant fuzzy integrated MCDM approach for quality function deployment: a case study in electric vehicle. *International Journal of Production Research*, 55(15): 4436-4449.

Wu, X., Nie, L. & Xu, M. (2017). Robust fuzzy quality function deployment based on the mean-end-chain concept: service station evaluation problem for rail catering services. *European Journal of Operational Research*.

Wu, Y. H. & Ho, C. C. (2015). Integration of green quality function deployment and fuzzy theory: a case study on green mobile phone design. *Journal of Cleaner Production*, 108: 271-280.

Yan, H. B. & Ma, T. (2015). A group decision-making approach to uncertain quality function deployment based on fuzzy preference relation and fuzzy majority. *European Journal of Operational Research*, 241(3). 815-829.

Zadeh, L. A. (1987). *Fuzzy sets and applications: selected papers*.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8: 338-353.

Zaim, S., Sevkli, M., Akdağ, H.C., Demirel, Ö.F., Yayla, A.Y. (2016). Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development. *Expert Systems with Applications*. 41:4464-4474.

