
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 <b>SAKARYA</b> UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 17-04-2017		
	<u>Kabul/Accepted</u> 25-09-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.306684	

## Ergonomik ürün tasarımına bütünleşik bir yaklaşım

Burak Efe<sup>\*1</sup>, Ömer Faruk Efe<sup>2</sup>, Mustafa Kurt<sup>3</sup>

### ÖZ

Günümüzde teknoloji hızlı gelişmekte ve müşterilerin ürünlerden beklentileri artmaktadır. Bu nedenle müşteri isteklerinin ön plana çıkması ve sürekli değişmesi ürün tasarımını geçmişe göre daha önemli kılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan çamaşır makinesini üreten firmalar pazar payına sahip olabilmeleri için müşteri isteklerini göz önünde bulundurmak zorundadır. Müşteri isteklerinden birisi de ergonomik kullanım kolaylığıdır. Bu çalışmada ergonomik bir çamaşır makinesi tasarımında müşteri isteklerine ve firma kapasitesine göre teknik özellikler üzerinde iyileştirme yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada kalite fonksiyon yayılımı yöntemi ve bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için önerilmiştir. Kalite fonksiyon yayılımı müşteri istekleri ve teknik özellikler arasındaki ilişkiyi belirleyebilmektedir. Bu sonuçlara göre ergonomik bir çamaşır makinesi tasarımı için hangi teknik özelliğin daha önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak bu sonuç sadece müşteri isteklerine göre belirlenmiştir. Firma kapasitesi ihmal edildiği için firmanın zaman ve maliyet açısından problemlerle karşılaşması ve pazar rekabetinde geri kalması söz konusudur. Firma ergonomik bir çamaşır makinesi tasarlarlarken müşteri isteklerinin maksimize edilmesi, maliyetin düşürülmesi, zamanın minimize edilmesi gibi farklı amaçlara sahiptir. Bu çalışma bu problemi ortadan kaldırmak için müşteri istekleri ve firma kapasitesini birlikte inceleyen Zimmermann ve hibrid yaklaşım olmak üzere iki bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımını önermiş ve elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ergonomik çamaşır makinesi, Kalite fonksiyon yayılımı, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama, Ürün tasarımı

## An integrated approach for ergonomic product design

### ABSTRACT

Nowadays technology develops rapidly and the customer requirements (CRs) on product increase. Therefore, the CRs change continuously and are more important than past so that product design is more important than past. Firms, which manufacture the washing machines used commonly, must consider the CRs to have the market share. One of the CRs is ergonomic ease of use. This paper aims to improve on technical characteristics in an ergonomic washing machine design according to the CRs and the capacity of the firm. This paper proposes an integrated approach, which consists of quality function deployment (QFD) method and fuzzy multi-objective linear programming (FMOLP) method, for an ergonomic washing machine design. QFD method defines the relation between the CRs and technical characteristics. This result presents the importance degrees of technical characteristics for an ergonomic washing machine design but this result is defined according to only the CRs. Firm can meet with some problems in terms of time and cost due to neglecting of the capacity of the firm thus the firm can fall behind in market competitive. The

<sup>\*1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, burakefe0642@gmail.com

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, omerfarukefe86@gmail.com

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, mkurt@gazi.edu.tr

firm considers different objectives such as maximizing the CRs, minimizing the cost and minimizing the time for an ergonomic washing machine design. This paper proposes two FMOLP methods, which consist of Zimmermann and hybrid approaches, to overcome this drawback so that the obtained results are compared.

**Keywords:** Ergonomic washing machine, Quality function deployment, fuzzy multi-objective linear programming, product design

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılamak için üretilen ürünler, üreticilerin pazardan önemli bir pay almalarını sağlamak için yetersizdir. Çünkü müşterilerin istekleri beklenilenden daha yüksektir. Bu durum, tasarım aşamasında yeni ürün geliştirmeyi daha önemli ve zor kılmıştır [1]. Yeni ürün geliştirme (YÜG) ve inovasyon sıklıkla pazarda rekabetin anahtar süreçleri olarak tanımlanır. YÜG, yüksek hata oranının sonuçlarının yüksek maliyete neden olacağını ifade etmektedir [2]. Firmalar YÜG sürecinde rekabet avantajlarını kaybetmenin yüksek riskleriyle karşılaşır [3].

Firmalar YÜG sürecinde iki tip hatalı karar verdiği belirlenmiştir [3,4]:

1. Firmalar potansiyel olarak başarısız yeni ürün fikrini sürdürmeye karar verebilirler. Kalitesiz yeni ürünün ticarileştirmesini sonlandırma katlanılmaz maliyet ve kaynak tüketimine neden olacak. YÜG projelerini başladıktan sonra sonlandırmak yöneticiler için zordur. Bu yüzden, ticarileştirilen yeni ürün proje yaklaşımlarının maliyetleri normal olarak artan oranda büyümektedir. Zarara neden olan bu maliyetler YÜG sürecindeki kararların gelecekte devam edip etmeyeceğinde büyük bir etkiye sahiptir.
2. Firmalar potansiyel olarak başarılı yeni ürünü geliştirmemeye karar verebilirler. Bu durum doğal olarak yatırım fırsatlarının kaçmasına neden olacaktır.

Müşteri istekleri çok hızlı bir şekilde değişmektedir. Bu yüzden firmaların müşteri isteklerine hızlı ve doğru biçimde cevap verebilmesi firmaların pazarda yer alabilmeleri için oldukça önemlidir. Tasarım prosesinin ilk

aşamasında müşteri istekleri belirlenmeli, bu müşteri istekleri baz alınarak ürün spesifikasyonlarının bir listesi geliştirilmelidir. Bu spesifikasyonlar ürün tarafından sağlanmalıdır. Konsept tasarımının sonraki aşaması tasarım prosesidir ve alt sistemlerin kurulmasını kapsar. Çeşitli konseptler belirlendikten sonra en yüksek performansı ve en düşük maliyeti veren alt kümelerden oluşan en iyi kombinasyon seçilir. Bu proses konsept seçimi olarak adlandırılır. Bu aşamadan sonra tasarım prosesi detaylı çözüme doğru ilerler. Konsept gelişim prosesinin aşamalarından biri olan konsept seçiminin amacı, prosesin başlangıcında en uygun olanı seçmektir. Ürün konsept seçim aşaması ürün geliştirme prosesinin en önemli adımıdır. Prosesin ilerleyen aşamalarında tasarımı değiştirmek maliyetli ve zor bir iştir. Maliyetlerin yaklaşık olarak %60-80'i bu aşamada ortaya çıkmaktadır. Yeni bir ürünün başarılı şekilde piyasaya sunulması iyi tanımlanmış bir ürün geliştirme prosesinin sonucudur. Ürün geliştirme prosesi; planlama, konsept geliştirme, sistem-düzey tasarımı, detaylı tasarım, deneme ve ayıklama, ve deneme üretimi aşamalarından oluşur. Ürün gelişim prosesi planlama aşaması ile başlar. Bu aşamanın çıktıları aynı zamanda konsept gelişim aşamasının girdisini oluşturmaktadır ve bu girdiler ürün geliştirme takımına yol göstermektedir. Ürün gelişim prosesinin son aşaması ürünün piyasaya sunulması ve satın alınması için ürünün hazır hale getirilmesidir. Yeni bir ürünün başarılı şekilde piyasaya sunulması iyi tanımlanmış bir ürün geliştirme prosesinin sonucudur. Ürün geliştirme prosesi; planlama, konsept geliştirme, sistem-düzey tasarımı, detaylı tasarım, deneme ve ayıklama, ve deneme üretimi aşamalarından oluşur. Ürün gelişim prosesi planlama aşaması ile başlar. Bu aşamanın çıktıları aynı zamanda konsept gelişim aşamasının girdisini oluşturmaktadır ve bu girdiler ürün geliştirme takımına yol göstermektedir. Ürün gelişim prosesinin son aşaması ürünün piyasaya sunulması

ve satın alınması için ürünün hazır hale getirilmesidir [5].

Müşteri memnuniyeti toplam kalite yönetiminin nihai hedefidir. Firmalar yüksek müşteri memnuniyetini başarmak için daha fazla bir şeyler sağlamalı ve tüm şikâyetleri elimine etmelidir [6]. Müşteri şikâyetlerinin, hata raporlarının az olması yüksek müşteri memnuniyeti olduğunu ifade etmemektedir. Müşteri isteklerini karşılamak için pazar araştırması yapılması gerekmektedir.

Pazar araştırmasının genel hedefleri aşağıdaki gibidir [7]:

1. Müşteri ihtiyaçlarını belirlemek
2. Mevcut müşteri memnuniyetini ölçmek
3. Müşteri devamlılık ve bağlılık durumlarını analiz etmek

Ersöz ve Aktepe [8] veri analizi ve analitik ağ sürecini KFY'de birleştirerek beyaz eşya üretimi yapan bir firmada incelemiştir. Onar vd. [9] tereddütlü bulanık sayı temelli KFY yöntemini bilgisayar iş istasyonu seçiminde kullanmışlardır. Çelik vd. [10] nakliye yatırım süreci için bulanık KFY metodunu incelemiştir. Huang vd. [11] tasarım konsept üretimi ve değerlendirmesinde bütünleşik bir yaklaşımı formüle etmek için genetik algoritma ve sinir ağlarıyla bulanık kümeleri birleştirdi. Ancak, önerilen yaklaşım karmaşık algoritma yapılarına ve uzun eğitim sürecine sahiptir. Ayağ ve Özdemir [12] bir yeni ürün geliştirme ortamında geliştirilen tasarım alternatiflerini değerlendirmek için AHP (analitik hiyerarşi prosesi)'nin daha genel biçimi ve analitik ağ sürecindeki bulanık mantığını sunmuştur. Shidpour vd. [13] kaba küme ve bulanık küme teorilerini birleştirerek tasarım konsept değerlendirmesi yapmışlardır. Efe vd. [5] ergonomik cep telefonu ürün konsept seçimi için sezgisel bulanık TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) yöntemini incelemiştir. Xiao vd. [14] işbirlikçi tasarım ortamlarına oyun teorisini uyguladı ve çıktıdaki bazı öznellikleri nicelleştirmek için tasarım yeterlilik indislerini kullanmışlardır. Ayağ [15] yeni ürün geliştirmede konsept seçimi için dönüştürülmüş TOPSIS ve AAS (analitik ağ süreci) süreçlerini birleştirmiştir. Goswami vd. [16] tasarım konsept seçimi için KFY,

fonksiyonel analiz sistem tekniği ve AHP yaklaşımlarını kullanmışlardır. Han vd. [17] en iyi konsept seçimi için bayes ağı temelli yapay sinir ağları yaklaşımını sunmuşlardır.

Bu çalışmada kalite fonksiyon yayılımı yöntemi ve bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için önerilmiştir. Günümüzde çamaşır makinesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla çamaşır makinesi pazarı oldukça hareketlidir. Bu pazardan pay alabilmek için işletmeler büyük rekabet içerisindedir. Bu yüzden işletmeler müşteri isteklerine hızlı cevap verebilmelidir. Müşteriler bir çamaşır makinesi alırken birçok faktörü göz önünde bulundurmaktadır.

Müşterilerin önem verdiği konulardan birisi de ergonomik kullanım kolaylığıdır. Bu çalışmada ergonomik bir çamaşır makinesi tasarımı için hangi müşteri isteklerinin ve teknik özelliklerinin olduğu belirlenmiştir. Müşteri isteklerine göre teknik özellikler üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu bağlantıyı sağlayabilmek için kalite fonksiyon yayılımı tercih edilmiştir. Kalite fonksiyon yayılımı müşteri istekleri ve teknik özellikler arasındaki ilişkiyi belirleyebilmektedir. Ayrıca teknik özellikler arasındaki korelasyon ve müşteri istekleri arasındaki korelasyonu belirleyebilmektedir. Bu ilişki ve korelasyon değerlerinin normalize edilmesi sonucunda teknik özelliklerin önem dereceleri belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ergonomik bir çamaşır makinesi tasarımı için hangi teknik özelliğin daha önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak sadece bu sonuç sadece müşteri isteklerine göre belirlenmiştir. Firma bu istekleri karşılarken kendi kapasitesini de göz önünde bulundurmak zorundadır. Bu bakımdan firma ergonomik bir çamaşır makinesi tasarlarırken müşteri isteklerinin maksimize edilmesi, maliyetin düşürülmesi, zamanın minimize edilmesi gibi farklı amaçlara sahiptir. Müşteri isteklerini maksimize etmek için kalite fonksiyonu yayılımı sonucunda belirlenen teknik özelliklerin önem dereceleri ele alınmıştır. Maliyet minimizasyonu için teknik özelliklerin iyileştirilmesi sonucunda meydana gelecek maliyet incelenmiştir. Zaman minimizasyonu için teknik özelliklerin iyileştirilmesi için gerekli zaman incelenmiştir. Bu üç amaç fonksiyonunu eş zamanlı olarak incelemek için çok amaçlı matematiksel programlama yaklaşımından

yararlanılmıştır. Çok amaçlı programlama yaklaşımında bulanık mantık kavramı ele alınmıştır. Tiwari et al. [18] ve Zimmermann [19] tarafından önerilmiş olan bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı incelenmiş ve iki yaklaşımın sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma dört kısımdan oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan yöntemler bölüm 2’de anlatılmıştır. Kalite fonksiyon yayılımı ve bulanık doğrusal programlama yaklaşımı bu kısımda anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için uygulama yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Son bölümde sonuç kısmı anlatılmıştır.

## 2. YÖNTEMLER (METHODS)

### 2.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment)

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ilk olarak 1972 yılında Japon Mitsubishi firması ile başlayıp, 1984’den sonra da ABD’de incelenen ve kullanılan ve bugün tüm dünyada kabul gören bir kalite tekniğidir. KFY, esas olarak müşteri isteklerini ölçülebilen performans değişikliklerine dönüştürüp, optimize edilmiş bir süreç ve iyi bir dağıtım/satış kanalı elde edilmesine yardımcı olan müşteri odaklı ve takım çalışmasını gerektiren bir kalite metodolojisidir [20,21].

Kalite fonksiyon yayılımı (KFY), tasarım gerekliliklerindeki (TG) müşteri istekleri (Mİ) belirleyen müşteri odaklı bir ürün geliştirme tekniğidir. KFY ürün geliştirme ve tasarımı, kalite yönetimi ve planlaması, karar verme, üretim, hizmet ve eğitim gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Kalite fonksiyonu yayılımında kalite evi olarak adlandırılan ilişki matrisi, ilgili Mİ’nin performansına TG’nin etkisini gösteren Mİ ve TG arasındaki ilişki yoğunluğunu göstermektedir. Ayrıca her bir TG’nin arasındaki korelasyon ve her bir Mİ’nin arasındaki korelasyon kalite evinde gösterilmektedir. Kalite evinde belirtilen bilgiler kullanılarak tasarım ekibi maksimum müşteri memnuniyetini sağlamak için TG’lerin önceliklerini belirlemelidir.

Kalite fonksiyon yayılımı (KFY) ürün tasarım geliştirme sürecinde en önemli araçların biri olarak küresel kabul görmüştür. KFY’nin yapısından kaynaklanan problem yeterli önceliklendirme

stratejilerinden yoksun olmasıdır. Sınırlı kaynaklarla maksimum müşteri memnuniyetini kazanmak amacıyla optimizasyon teknikleri tasarım ve operasyonel süreçte kullanılan doğru ve güvenilir ürün parametrelerini sağlamak için KFY analizinde kullanılabilir [22]. KFY birçok sanayi sektöründe müşteri memnuniyetini iyileştirmek ve müşteri isteklerini karşılamak için yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. KFY süreci kalite evi olarak bilinen birikimli matrisler sistemini kullanmaktadır. Bir eve benzeyen bu kavramsal harita, ürünü/hizmeti geliştirmeye yardım etmek için rekabetçi performans ve teknik özellikleri müşteri istekleriyle ilişkilendiren bilgiyi incelemektedir. Kalite evi, müşteri istekleri, müşteri öncelik oranları, ürün veya hizmet için gerekli teknik özellikler ve rekabetçilerle ilgili performans verisi arasındaki ilişkileri ölçmektedir [24]. Şekil 1 farklı birimlerden oluşan bir kalite evini göstermektedir [25]. Uygulayıcılar, final ağırlığı olarak bilinen toplam önem oranını belirlemek için bu birimlerdeki bilgileri birleştirirler. Final ağırlığı, müşteri memnuniyetine teknik özelliklerin katkısının öncelikliğini belirler. Şekil 1’de gösterilen A bölgesi müşteri istekleri arasındaki ilişkiyi, B bölgesi ise teknik özellikler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Normalize edilmiş ilişki matris değerleri daha anlamlı gösterim vermek için kullanılırlar. Teknik özellikler ve müşteri istekleri arasındaki ilişkiyi hesaplayan m müşteri isteği ve n teknik özellik için Chen ve Chen [26] tarafından önerilen model aşağıda gösterilmiştir:

$$R_{ij}^{norm} = \frac{\left( \sum_{k=1}^n \gamma_{kj} \right) R_{ij}}{\sum_{j=1}^n \left( \sum_{k=1}^n \gamma_{kj} \right) R_{ij}} \quad (1)$$

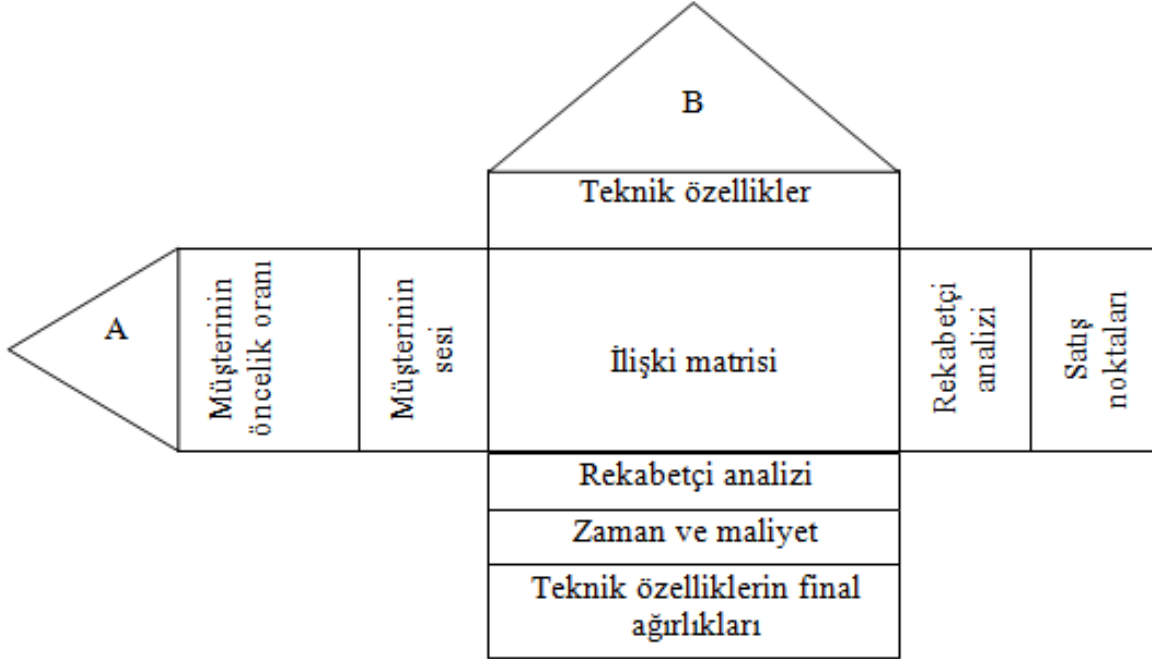
$\gamma_{kj}$ , j. teknik özellik ve k. teknik özellik arasındaki korelasyon derecesini gösteren değerdir.  $R_{ik}$ , i. müşteri isteği ve k. teknik özellik arasındaki ilişki derecesini gösteren değerdir.  $R_{ij}^{norm}$  değeri ise j. teknik özellik belli seviyede karşılandığında i. müşteri isteğinin karşılanma seviyesindeki artan değişim olarak yorumlanabilir.

$$IR_i = \frac{\left( \sum_{l=1}^m \beta_{il} \right) d_i}{\sum_{i=1}^m \left( \sum_{l=1}^m \beta_{il} \right) d_i}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$\beta_{ij}$ , i. ve j. müşteri istekleri arasındaki korelasyon değeridir.  $d_i$  ise i. müşteri isteğinin önem derecesidir. Her bir teknik özelliğin skoru aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$AS_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}^{norm} * IR_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$AS_j$ , j. teknik özelliğin mutlak skorudur.  $IR_i$  ise i. müşteri isteğinin korelasyonlu önem derecesidir. KFY'nin öncelikleri en yüksek skordan en düşük skora her bir teknik özelliğe artan sayıya göre atanarak elde edilebilir.



Şekil 1. Tipik bir kalite evi (A typical quality house)

## 2.2. Bulanık Doğrusal Programlama (Fuzzy Linear Programming)

Zimmermann [19] tarafından önerilen bulanık doğrusal programlama bulanık hedef ve bulanık kısıtlardan oluşmaktadır. Zimmermann [19] tarafından önerilen doğrusal programlama aşağıdaki gibidir:

$$\text{Minimize } Z = Cx \quad (4)$$

Kısıtlar;

$$Ax \leq b \quad (5)$$

$$x \geq 0 \quad (6)$$

Bulanıklaştırmadan sonra eşitlikler aşağıdaki gibi dönüştürülür:

$$\tilde{C} \lesssim Z \quad (7)$$

$$\tilde{A}x \lesssim b \quad (8)$$

$$x \geq 0 \quad (9)$$

$\lesssim$  sembolü eşit veya daha küçük anlamındadır.  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{C}$  bulanık sayıları ifade etmektedir.

## 3. UYGULAMA (APPLICATION)

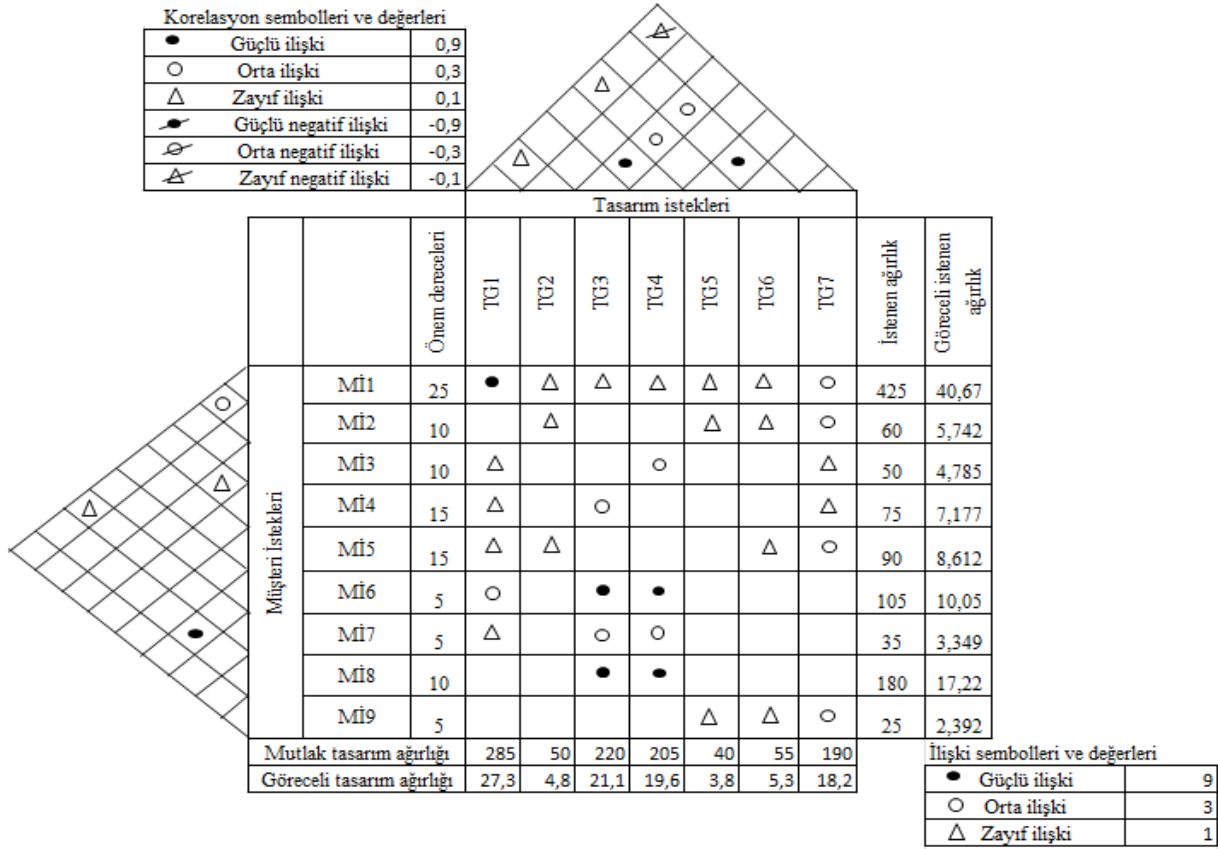
Ergonomik bir çamaşır makinesi tasarımı için 5 kişilik bir uzman komiteden ortak bir görüş alınmıştır. Uzman kişiler, çamaşır makinesini aktif olarak kullanan ve aynı zamanda çamaşır makinesi üretiminde çalışan mühendislerdir. Uzman grup ilk olarak ergonomik çamaşır makinesi için tasarım gereklilikleri ve müşteri isteklerini belirlemiştir. Daha sonra tasarım gereklilikleri arasındaki korelasyon, müşteri istekleri arasındaki korelasyon belirlenmiştir. Ayrıca tasarım gereklilikleri ve müşteri istekleri arasındaki ilişkiyi de belirlemiştir. Uzman grup müşteri isteklerinin önem derecelerini beyin fırtınası yoluyla değerlendirmiş ve ortak bir görüş olarak belirlemiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi ergonomik bir çamaşır makinesi tasarlamak için kalite fonksiyon yayılımı kullanılmıştır. Ergonomik bir çamaşır makinesi için müşteri istekleri (Mİ) satın alma maliyeti (Mİ1), çalıştırma maliyeti (Mİ2), kurutma

performansı (Mİ3), yıkama performansı (Mİ4), güvenilirlik (Mİ5), geniş açıda yukarı açılabilen kapılar (Mİ6), otomatik ve güvenli kazan pozisyon ayarı (Mİ7), çamaşırın kolay doldurulması veya kazandan dışarı alınması (Mİ8), deterjan kutusu biçimi (Mİ9) olmak üzere 9 tanedir. Ergonomik bir çamaşır makinesi için tasarım gereklilikleri (TG) ise yükü belirleme (TG1), sertliği ölçme (TG2), kirli parçaları yükleme (TG3), temiz parçaları boşaltma (TG4), su doldurma (TG5), su boşaltma (TG6), yıkama (TG7) olmak üzere 7 tanedir. TG'ler kendi arasında korelasyon değerlerine,

Mİ'ler kendi arasında korelasyon değerlerine sahiptir. Korelasyon değerleri zayıf, orta, güçlü, zayıf negatif, orta negatif ve güçlü negatif olmak üzere 0.1, 0.3, 0.9, -0.1, -0.3 ve -0.9 olarak belirlenmiştir. TG'ler ve Mİ'ler arasında ilişki vardır.

İlişkiler zayıf, orta ve güçlü olmak üzere sırasıyla 1,3 ve 9 değerleri olarak belirlenmiştir.



**Şekil 2.** Ergonomik çamaşır makinesi için kalite fonksiyon yayılımı (Quality function deployment for an ergonomic washing machine)

Lyman normalizasyon modeli temelli KFY yaklaşımı sonucunda ergonomik bir çamaşır makinesi tasarlamak için teknik özelliklerin önem dereceleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre TG'lerin sıralaması Tablo 1'deki gibi TG3> TG4> TG7> TG1> TG6> TG5> TG2 olarak belirlenmiş ve mutlak tasarım ağırlıkları sırasıyla 23.615, 20.235, 18.371, 17.166, 8.452, 6.236, 5.927 olarak belirlenmiştir.

Firma sadece KFY sonuçlarına göre ergonomik çamaşır makinesi tasarlırsa uzun dönemde bazı problemlerle karşılaşabilir. Çünkü firma zaman,

maliyet, müşteri memnuniyeti gibi bazı kısıtlamalara sahiptir. KFY sonucunda belirlenen en önemli teknik özellik ilk olarak ele alınırsa bu teknik özellik oldukça fazla zamana ve maliyete sebep olabilir. İşletme zaman ve maliyet açısından belirli bir kapasiteye sahip olduğu için bu kapasiteyi çok iyi kullanıp ergonomik çamaşır makinesi tasarımı hedefine ulaşmalıdır. Bir teknik özellik için ayrılan fazla maliyet ve zaman diğer teknik özellikler için ayrılan maliyet ve zamanı azaltacaktır. Bu problemlerin üstesinden gelmek için bu çalışmada çok amaçlı matematiksel programlama yaklaşımı önerilmiştir. Çok amaçlı matematiksel programlama için hibrid ve Zimmermann yaklaşımları incelenmiş ve iki farklı

yaklaşımın sonuçları karşılaştırılmıştır. Firma ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için 60000 TL'lik bir bütçe ayırmıştır. Firmanın her bir TG'yi ele aldığı durumda gerekli olan maliyet ve zaman verileri Tablo 2'de sunulmuştur. Firma üç farklı

amacı eş zamanlı olarak incelemek istemektedir. Bu yüzden çok amaçlı matematiksel model önerilmiş ve eşitlikler (10)-(15) kullanılmıştır.

**Tablo 1.** KFY sonuçları (The results of quality function deployment)

		Önem dereceleri	Korelasyonlu önem dereceleri	DR1	DR2	DR3	DR4	DR5	DR6	DR7	İstenen ağırlık	Göreceli istenen ağırlık
Müşteri İstekleri	CR1	25	27,0	0,394	0,084	0,111	0,084	0,137	0,097	0,093	27,0	27,0
	CR2	10	10,0	0	0,145	0	0	0,145	0,275	0,435	10,0	10,0
	CR3	10	8,5	0,188	0	0	0,624	0	0	0,188	8,5	8,5
	CR4	15	12,7	0,188	0	0,624	0	0	0	0,188	12,7	12,7
	CR5	15	11,6	0,138	0,19	0	0	0	0,172	0,5	11,6	11,6
	CR6	5	7,3	0,08	0	0,46	0,46	0	0	0	7,3	7,3
	CR7	5	4,2	0,08	0	0,46	0,46	0	0	0	4,2	4,2
	CR8	10	14,7	0	0	0,5	0,5	0	0	0	14,7	14,7
	CR9	5	3,9	0	0	0	0	0,279	0,279	0,442	3,9	3,9
	Mutlak tasarım ağırlığı			17,166	5,927	23,615	20,235	6,236	8,452	18,371		
	Göreceli tasarım ağırlığı			4	7	1	2	6	5	3		

**Tablo 2.** Firmanın belirlediği veriler (Data presented by the firm)

	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7
Maliyet (TL)	10000	8000	12000	11000	14000	15000	16000
Zaman (Gün)	10	5	15	15	7	8	9

**Tablo 3.** Amaç fonksiyon değerlerinin alt ve üst sınırları (Upper and lower values of objective functions)

$Z_1^-$	$Z_1^+$	$Z_2^-$	$Z_2^+$	$Z_3^-$	$Z_3^+$
55.772	85.314	37000	57000	34	54

Notasyonlar:

n: Teknik özellik toplam sayısı

NRTIR<sub>i</sub>: i. teknik özelliğin normalize edilmiş göreceli önem değeri

C<sub>i</sub>: i. teknik özelliğin maliyeti

t<sub>i</sub>: i. teknik özellik için gerekli süre

x<sub>i</sub>: i. teknik özelliğin ele alınma durumu, 0-1 değişken

S<sub>j</sub>: j. müşteri isteği için minimum memnuniyet seviyesi

R<sub>ij</sub>: i. teknik özellik ve j. müşteri isteği arasındaki ilişkinin normalize değeri

$$\text{Maksimize } Z_1 = \sum_{i=1}^n NRTIR_i \cdot x_i \quad (10)$$

$$\text{Minimize } Z_2 = \sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i \quad (11)$$

$$\text{Minimize } Z_3 = \sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i \quad (12)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i \leq 50000 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} \cdot x_i \geq S_j \quad \forall j \in MI \quad (14)$$

$$x_{1,2,3,4,5,6,7} = 0 \text{ veya } 1 \quad (15)$$

Yukarıdaki matematiksel model Z1 (teknik özelliklerin normalize edilmiş göreceli önem değerleri toplamı) amaç fonksiyonunu maksimize etmektedir. Böylece Z1 için üst sınır belirlenir. Aynı amaç fonksiyonu minimize edildiğinde Z1 için alt sınır belirlenir. Z2 (maliyet) ve Z3 (zaman) amaç fonksiyonlarını ise minimize etmektedir. Z1 için yapılan süreç Z2 ve Z3 için gerçekleştirilir. Çok amaçlı matematiksel modelin sonuçları GAMS (versiyon 22.5) yazılım paket programı yardımıyla belirlenir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Ergonomik çamaşır makinesi tasarımı problemi için kesin formülasyon olarak Tiwari vd. [18] tarafından önerilen ağırlıklı eklemeli model (hibrid yaklaşım) kullanılır. Üç farklı amaç fonksiyonunun ağırlıkları karar vericilerin ortak görüşü olarak belirlenmiştir. Kesin formülasyonda amaç ve kısıtların üyelik fonksiyonlarının eklemeli değeri maksimize edilir. Amaç fonksiyonundaki  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ve  $\lambda_3$  değerleri Z1, Z2 ve Z3 amaç fonksiyonlarının üyelik dereceleridir.  $\lambda$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ve  $\lambda_3$  değerleri sırasıyla 0.67, 0.114, 0.95 ve 1.00 olarak bulunmuştur. Hibrid yaklaşım sonucunda TG1, TG3 ve TG7 teknik özelliklerinin ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için ilk olarak ele alınması gerekli olduğu belirlenmiştir. Ergonomik çamaşır makinesi tasarımı problemi için ayrıca Zimmermann [19] tarafından önerilen yaklaşım kullanılır. Bu yaklaşımda tüm üyelik fonksiyonlarının ağırlıkları aynı incelenir. Zimmermann yaklaşımında  $\lambda$  tüm amaç fonksiyonları ve kısıtları için tüm üyelik fonksiyonu olarak belirlenir. Böylece  $\lambda$  (tüm üyelik fonksiyonu) maksimize edilir. GAMS

#### Hibrid yaklaşım

Maksimize  $0.35\lambda_1 + 0.40\lambda_2 + 0.25\lambda_3$

Kısıtlar

$$\lambda_1 \leq \frac{(17.166x_1 + 5.927x_2 + 23.615x_3 + 20.235x_4 + 6.236x_5 + 8.452x_6 + 18.371x_7) - 55.772}{29.542}$$

$$\lambda_2 \leq \frac{57000 - (10000x_1 + 8000x_2 + 12000x_3 + 11000x_4 + 14000x_5 + 15000x_6 + 16000x_7)}{20000}$$

$$\lambda_3 \leq \frac{54 - (10x_1 + 5x_2 + 15x_3 + 15x_4 + 7x_5 + 8x_6 + 9x_7)}{20}$$

$$(10000x_1 + 8000x_2 + 12000x_3 + 11000x_4 + 14000x_5 + 15000x_6 + 16000x_7) \leq 60000$$

$$(0.394x_1 + 0.084x_2 + 0.111x_3 + 0.084x_4 + 0.137x_5 + 0.097x_6 + 0.093x_7) \geq 0.35$$

$$(0.145x_2 + 0.145x_5 + 0.275x_6 + 0.435x_7) \geq 0.35$$

$$(0.188x_1 + 0.624x_4 + 0.188x_7) \geq 0.35$$

$$(0.188x_1 + 0.624x_3 + 0.188x_7) \geq 0.35$$

$$(0.138x_1 + 0.19x_2 + 0.172x_6 + 0.5x_7) \geq 0.35$$

$$(0.08x_1 + 0.46x_3 + 0.46x_4) \geq 0.35$$

$$(0.5x_3 + 0.5x_4) \geq 0.35$$

$$(0.279x_5 + 0.279x_6 + 0.442x_7) \geq 0.35$$

$$\lambda_{1,2,3} \in [0,1]$$

$$x_{1,2,3,4,5,6,7} = 0 \text{ veya } 1$$

Müşteri memnuniyeti kısıtlarında müşteri 6 ve 7'nin aynı eşitliğe sahip olmasından dolayı

(versiyon 22.5) yazılım paket programı yardımıyla hibrid ve Zimmermann yaklaşımlarının sonuçları belirlenmiş ve Tablo 4'te sunulmuştur.  $\lambda$  değeri ise 0.419 olarak belirlenmiştir. Zimmermann yaklaşımı sonucunda TG2, TG3, TG4 ve TG7 teknik özelliklerinin ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için ilk olarak ele alınması gerekli olduğu belirlenmiştir. Her iki yaklaşımda TG3 ve TG7 teknik özelliklerinin ele alınması gerektiği belirlenmiştir. KFY sonucunda teknik özelliklerin göreceli önem derecesine göre en önemli teknik özellik TG3 olarak belirlenmiştir. Firmanın kapasitelerine göre çok amaçlı matematiksel programlama hibrid ve Zimmermann olmak üzere iki farklı yaklaşımla incelenmiş ve her ikisinde de TG3 önemli bir teknik özellik olarak belirlenmiştir. TG7 ise KFY sonucunda 3. sırada iken matematiksel modellere göre her ikisinde de yer almıştır. Hâlbuki TG4 KFY sonucunda 2. sırada iken hibrid yaklaşımda ele alınmamıştır. Çünkü firmanın kapasitesiyle ilgili bir kısıtlama söz konusu olmuş olabilir.

matematiksel modelde tek bir eşitlik olarak gösterilmiştir.



*Zimmermann yaklaşım*Maksimize  $\lambda$ 

Kısıtlar

$$\lambda \leq \frac{(17.166x_1 + 5.927x_2 + 23.615x_3 + 20.235x_4 + 6.236x_5 + 8.452x_6 + 18.371x_7) - 55.772}{29.542}$$

$$\lambda \leq \frac{57000 - (10000x_1 + 8000x_2 + 12000x_3 + 11000x_4 + 14000x_5 + 15000x_6 + 16000x_7)}{20000}$$

$$\lambda \leq \frac{54 - (10x_1 + 5x_2 + 15x_3 + 15x_4 + 7x_5 + 8x_6 + 9x_7)}{20}$$

$$(10000x_1 + 8000x_2 + 12000x_3 + 11000x_4 + 14000x_5 + 15000x_6 + 16000x_7) \leq 60000$$

$$(0.394x_1 + 0.084x_2 + 0.111x_3 + 0.084x_4 + 0.137x_5 + 0.097x_6 + 0.093x_7) \geq 0.35$$

$$(0.145x_2 + 0.145x_5 + 0.275x_6 + 0.435x_7) \geq 0.35$$

$$(0.188x_1 + 0.624x_4 + 0.188x_7) \geq 0.35$$

$$(0.188x_1 + 0.624x_3 + 0.188x_7) \geq 0.35$$

$$(0.138x_1 + 0.19x_2 + 0.172x_6 + 0.5x_7) \geq 0.35$$

$$(0.08x_1 + 0.46x_3 + 0.46x_4) \geq 0.35$$

$$(0.5x_3 + 0.5x_4) \geq 0.35$$

$$(0.279x_5 + 0.279x_6 + 0.442x_7) \geq 0.35$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$x_{1,2,3,4,5,6,7} = 0 \text{ veya } 1$$

**Tablo 4.** Hibrid ve Zimmermann yaklaşımlarının karşılaştırması (Comparison of Hybrid and Zimmermann approaches)

Amaç fonksiyonu	Hibrid yaklaşım	Zimmermann yaklaşımı
Z <sub>1</sub>	59.152	68.147
Z <sub>2</sub>	38000	47000
Z <sub>3</sub>	34	44

**4. SONUÇ (CONCLUSION)**

Müşteri istekleri çok hızlı bir şekilde değişmektedir. Bu yüzden firmaların müşteri isteklerine hızlı ve doğru biçimde cevap verebilmesi firmaların pazarda yer alabilmeleri için oldukça önemlidir. Bu çalışmada kalite fonksiyon yayılımı yöntemi ve bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı ergonomik çamaşır makinesi tasarımı için önerilmiştir. Bu çalışma ergonomik bir çamaşır makinesi tasarımı için Chen ve Chen [26] tarafından önerilen kalite fonksiyon yayılımı yöntemini kullanmıştır. Sadece müşteri isteklerine göre bir ürün tasarımı yapmak firmanın kapasitesiyle uyuşmayabilir. Firma sadece KFY sonuçlarına göre ergonomik çamaşır

makinesi tasarlırsa uzun dönemde bazı problemlerle karşılaşabilir. Çünkü firma bu tasarım için belli zaman ve bütçeye sahiptir. KFY sonucunda belirlenen en önemli teknik özellik ilk olarak ele alınırsa bu teknik özellik oldukça fazla zamana ve maliyete sebep olabilir. İşletme zaman ve maliyet açısından belirli bir kapasiteye sahip olduğu için bu kapasiteyi çok iyi kullanıp ergonomik çamaşır makinesi tasarımı hedefine ulaşmalıdır. Bir teknik özellik için fazladan ayrılan maliyet ve zaman diğer teknik özellikler için ayrılan maliyet ve zamanı azaltacaktır. Bu yüzden birçok amacı eş zamanlı olarak incelemek zorundadır. Bu yüzden bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımını ele almıştır. Bulanık kavramı amaç fonksiyonları ve kısıtlarda kullanılmıştır. Bulanık çok amaçlı matematiksel programlama için hibrid ve Zimmermann yaklaşımları incelenmiş ve iki farklı yaklaşımın sonuçları karşılaştırılmıştır.

Literatürde ergonomik özellikleri dikkate alınan bir çamaşır makinesi tasarımıyla ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma müşteri memnuniyetini en iyi şekilde yerine getirmek için KFY yaklaşımdan faydalanmıştır. Böylece

müşteri istekleri temelinde hangi teknik özelliklerde iyileştirme yapılması gerektiği belirlenmiştir. KFY sonucuna göre en önemli teknik özellikler sırasıyla kirli parçaları yükleme, temiz parçaları boşaltma, yıkama, yükü belirleme, su boşaltma, su doldurma ve sertliği ölçme olarak belirlenmiştir. KFY sonucunda sadece müşteri istekleri ele alınmış firmanın kapasitesi dikkate alınmamıştır. Firma kapasitesi ve müşteri gereksinimlerini birlikte ele almak için bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı önerilmiştir. Hibrid yaklaşım sonucuna göre kirli parçaları yükleme, yıkama ve yükü belirleme teknik özellikleri belirlenmiştir. Zimmermann yaklaşım sonucuna göre kirli parçaları yükleme, temiz parçaları boşaltma, yıkama ve sertliği ölçme teknik özellikleri belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda bütünlük kalite fonksiyon yayılımı yöntemi ve bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı farklı ürün tasarım problemleri için incelenebilir. Ayrıca KFY yönteminde bulanık mantık yaklaşımı incelenerek çalışma genişletilebilir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Yung, K. L., Ko, S. M., Kwan, F. Y., Tam, H. K., Lam, C. W., Ng, H. P., Lau, K. S., Application of function deployment model in decision making for new product development. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 14(3), 257-267, 2006. Yung, K.L.,
- [2] Schilling, M. A., ve C. W. Hill. 1998. "Managing the New Product Development Process: Strategic Imperatives." *The Academy of Management Executive*, 12 (3): 67-81, 1998.
- [3] Yan, H.B., Ma, T., A fuzzy group decision making approach to new product concept screening at the fuzzy front end. *International Journal of Production Research*, 53(13), 4021-4049, 2015.
- [4] Ozer, M. "Factors which Influence Decision Making in New Product Evaluation." *European Journal of Operational Research*, 163: 784-801, 2005.
- [5] Efe, B., Boran, F.E., Kurt M. "Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Ergonomik Ürün Konsept Seçimi." *SDÜ Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 3(3), 433-440, 2015.
- [6] Kondo, Y., Customer satisfaction: How can I measure it? *Total Quality Management*, 12(7), 867-872, 2001.
- [7] Gryna F. M. Quality planning and analysis: from product development through use. *McGraw-Hill*, New York, 2001.
- [8] Ersöz, S., Aktepe, A. An application of data envelopment analytic network process (DEANP) in quality function deployment (QFD), *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(2), 401-413, 2011.
- [9] Onar, S. Ç., Büyüközkan, G., Öztayşi, B., Kahraman, C. A new hesitant fuzzy QFD approach: An application to computer workstation selection, *Applied Soft Computing Journal*, 46, 1-16, 2016.
- [10] Celik, M., Cebi, S., Kahraman, C., Er, I.D. An integrated fuzzy QFD model proposal on routing of shipping investment decisions in crude oil tanker market, *Expert Systems with Applications*, 36 (3 PART 2), 6227-6235, 2009.
- [11] Huang, H.Z., Bo, R.F., ve Chen, W. An integrated computational intelligence approach to product concept generation and evaluation. *Mechanism and Machine Theory*, 41(5), 567-583, 2006.
- [12] Ayağ, Z. ve Özdemir, R.G. A hybrid approach to concept selection through fuzzy analytic network process. *Computers and Industrial Engineering*, 56(1), 368-379, 2009.
- [13] Shidpour, H., Da Cunha, C., Bernard, A. Group multi-criteria design concept evaluation using combined rough set theory and fuzzy set theory, (2016) *Expert Systems with Applications*, 64, 633-644.
- [14] Xiao, A., et al. Collaborative multidisciplinary decision making using game theory and design capability indices. *Research in Engineering Design*, 16 (1-2), 57-72, 2005.
- [15] Ayağ, Z. An integrated approach to concept evaluation in a new product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 27(5), 991-1005, 2016.

- [16] Goswami, M., Singh, J., & Kumar, V. An enterprise based decision support system for engineering aggregate selection: a case study. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 14(4), 2016.
- [17] Han, S., Seo, S., & Choi, H. J. (2015). A study on modeling customer preferences for conceptual design. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(12), 5083-5091.
- [18] Tiwari, R. N., Dharmahr, S., & Rao, J. R. Fuzzy goal programming-an additive model. *Fuzzy Sets and Systems*, 24(1), 27-34, 1987.
- [19] Zimmermann, H. J. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45-55, 1978.
- [20] Sevük, A. Kaynak Elektrodu Üretiminde Kalite Fonksiyon Açılımı (QFD) Yaklaşımına Bir Örnek. *Tüsiad-Kalder 7. Ulusal Kalite Kongresi, Tebliğler ve Özgeçmişler*, İstanbul, s. 133-160, 1998.
- [21] Güllü, E., Ulcay, Y. Kalite Fonksiyonu Yayılımı ve Bir Uygulama, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 71-91, 2002.
- [22] Raharjo, H., Xie, M., Brombacher, A.C., Prioritizing quality characteristics in dynamic quality function deployment. *International Journal of Production Research*, 44(23), 5005-5018, 2006.
- [23] Chan LK, Wu M. L. Quality function deployment: a literature review. *Eur J Oper Res*, 143:463-497, 2002.
- [24] Iqbal, Z., Grigg, N.P., Govindaraju, K., Campbell- Allen, N.M. A distance-based methodology for increased extraction of information from the roof matrices in QFD studies. *International Journal of Production Research*, 54 (11), 3277- 293, 2016.
- [25] Griffin, A., and J. R. Hauser. "The Voice of the Customer." *Marketing Science*, 12(1), 1-27, 1993.
- [26] Chen, L. H., Chen, C. N. Normalisation models for prioritising design requirements for quality function deployment processes. *International Journal of Production Research*, 52(2),299-313, 2014.