



Sezgisel Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama

Intuitionistic Fuzzy Quality Function Deployment and an Application

Müge Bulut^{*1} , Ümit Sami Sakallı² 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 02/05/2020

Kabul / Accepted: 22/09/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Günümüzde hızla gelişmekte olan endüstriyel ürünlerdeki yenilikler, müşteri isteklerine cevap verebilmek, pazar koşullarına uyum sağlayabilme kabiliyeti ve rekabet açısından önemlidir. Müşteri ihtiyaç ve beklentileri, piyasada yer alan ürünler ve geliştirilmekte olan ürünler üzerinde büyük rol oynamaktadır. Kalite fonksiyon yayılımı, müşteri isteklerini dinleyerek ürün geliştirmede odaklanılması gereken teknik gereksinimlerin cevabını sunmaktadır. Bu araştırma, endüstriyel prizlerin ürün geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Çalışmada ürün geliştirme için bir araç olan kalite fonksiyon yayılımı modeli önerilmiştir. Çalışmanın amacı belirsizlik ortamında müşteri istekleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi en doğru şekilde incelemek ve ürün geliştirilmesi açısından odaklanılması gereken en önemli teknik gereksinimi ortaya koyabilmektir. Geleneksel kalite fonksiyon yayılımında uzman görüşlerini alma, müşteri istekleri önem derecesini ağırlıklandırma ve teknik gereksinimleri önem derecelerine göre sıralamada sınırlılıkları açısından eleştiriler yer almaktadır. Bu sınırlılıklar ile başa çıkabilmek ve sözel değişkenlerde belirsizliğin üstesinden gelebilmek için çalışmada müşteri istekleri ağırlıklandırılırken sezgisel bulanık AHP, müşteri istekleri ve teknik gereksinimlerin birbirleri ile ilişkileri incelenirken sezgisel bulanık VIKOR yöntemine başvurulmuş teknik gereksinimler yöntem sonucunda sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Ürün Geliştirme, Kalite Fonksiyon Yayılımı, Sezgisel Bulanık AHP, Sezgisel Bulanık VIKOR”

Abstract

Today, innovations in rapidly developing industrial products are important in terms of their ability to respond to customer requirements, to adapt to market conditions and competition. Quality function deployment provides the answer to the technical characteristics that should focus on product development by considering customer requirements. This research focuses on product development of industrial sockets. In the study, quality function deployment method, which is a tool for product development, was applied. The aim of the study is to examine the relationship between customer requirements and technical characteristics in the uncertainty environment in the most accurate way and to reveal the most important technical characteristics that should be focused on in terms of product development. There are criticisms in terms of their limitations in getting expert opinions, weighting the importance of customer requirements and ranking the technical requirements according to their importance in the spread of traditional quality function deployment. In order to deal with these limitations, intuitionistic fuzzy AHP, while investigating the relationship between customer requirements and technical characteristics, were listed as a result of the technical requirements applied to the intuitionistic fuzzy VIKOR method.

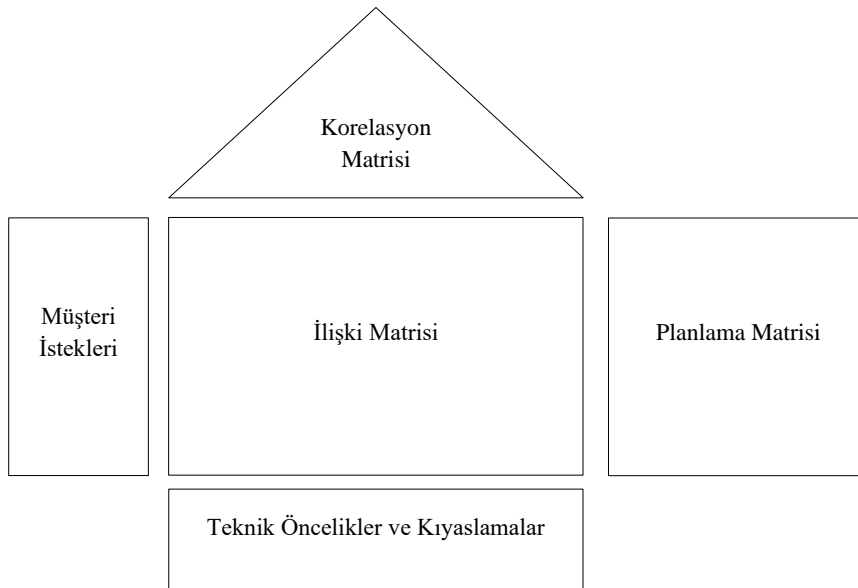
Key Words

“Product Development, Quality Function Deployment, Intuitionistic Fuzzy AHP, Intuitionistic Fuzzy VIKOR”

1. Giriş

Günümüzde hızla değişen, birbirine bağımlı duruma gelen pazar koşulları altında işletmeler ürün ortaya koyarken rekabetle de başa çıkabilme kabiliyeti göstermek durumundadır. Küreselleşmenin yarattığı rekabet ortamı ve değişim gösteren müşteri istekleri, işletmeleri daha iyi ürün sunmaya yönlendirmektedir. Bu yönelimle birlikte ürün geliştirme işletmeler için kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Ürün geliştirme, yenilik fikrinden itibaren satın alma, mühendislik, imalat, dağıtım, pazarlama ve satış fonksiyonları arasında tekrarlanan bir süreçtir. Ürün geliştirme işletmelerin yaşam döngüsünün uzaması, yenilenmesi için temel faaliyetleri arasındadır. Otomotivden yazılıma kadar değişen endüstrilerde müşterileri için heyecan verici ürün geliştirebilmek müşteri odaklı işletmeleri daha avantajlı duruma getirmektedir. Yeniliklerin hızla arttığı piyasa koşulları ile birlikte müşterilerin sunulan ürün ve hizmete karşı beklentileri de artmaktadır. Ürün geliştirme sürecinde müşterilerin ne istediğini anlayabilmek, üründen beklenen faydalarının ne olduğunu belirleyebilmek önemli rol oynamaktadır. İşletmeler artan müşteri beklentileri karşısında mevcut olan ürün ve hizmetlerini geliştirmek için kalite iyileştirme yöntemlerine başvurumaktadırlar. Kalite fonksiyon yayılımı da temeline müşteri odaklılığı yerleştirmiş iyileştirme araçlardan biridir. Kalite fonksiyon yayılımı, Japonya sanayisinin taklit etme ve kopyalama yolundan ayrıldığı, özgünlük temelli ürün geliştirmeye gittikleri, 1960'larda Yoji Akao tarafından ortaya atılan bir yöntemdir (Akao ve Mazur, 2003). Kalite fonksiyon yayılımı, endüstride ürün geliştirme problemi için tercih edilen bir araçtır (Poel, 2007). Literatürde ürün geliştirme problemine yönelik, otomotiv camı (Feili vd., 2018), CNC makinesi ürün geliştirme (Collange ve Kongrasert, 2017), döner şalter ürün geliştirmesi (Vinodh ve Rathod, 2012), ambalaj filmi geliştirme (Pur vd., 2012), sürüş aynası geliştirme (Özcan ve Akman, 2011) gibi çeşitli ürünlerin geliştirmesi alanında kalite fonksiyon yayılımı çalışmaları sunulmuştur. Kalite fonksiyon yayılımı ayrıca seçim problemlerinde de yararlanılan bir yöntem olduğu görülmüştür. Azadnia ve Ghadimi (2018), Başkır (2017), Mesbah vd. (2015), Pasha ve Tavakoli (2015) tedarikçi seçiminde kalite fonksiyon yayılımından yararlanmışlardır. Bunun yanı sıra yalın araçların seçimi (Kumar ve Parameshwaran, 2018), ideal gaz yakıtı seçimi (Bilgen ve Akbaş, 2017), tesis yer seçimi (Kumar ve Kumanan, 2011) gibi seçim problemlerinde kalite fonksiyon yayılımının uygulanabilirliği görülmüştür.

Kalite fonksiyon yayılımının gerçekleştirmek istediği amaç, yöntemin ilk aracı olan kalite evi ile başlayarak müşteri isteklerinin hangi malzeme veya parça, organizasyonda yer alan hangi süreç ve üretim yöntemi kullanılarak kim tarafından, nasıl, nerede, ne zaman, hangi araçlarla, ne kadar karşılanacağını belirlemektir (Yenginol, 2008). Kalite evi matrisi, pazar araştırmaları ve piyasadaki diğer ürünlerle kıyaslamalar sonucunda elde edilen müşteri isteklerini, yeni veya iyileştirilecek bir ürün tasarımı için gerekli olan önceliklendirilmiş mühendislik özelliklerine dönüştürerek kalite fonksiyon yayılımının temel yapısını oluşturur. Kalite evi yaklaşımının genel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Geleneksel kalite fonksiyon yayılımında müşteri isteklerinin belirlenmesinin ardından bu isteklerin önem dereceleri bir ölçekle belirlenmelidir. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki sonucunda ulaşılan teknik gereksinim öncelikleri bağımsız puanlama yöntemi ile belirlenir (Franceschini ve Rosetto, 1998). Bağımsız puanlama yöntemi, ordinal bir ölçekte verilen bilginin kardinal olarak sunulmuş bir tanıtımdır. Ordinal bilgilerin bir kardinal ölçüğe dönüştürülmesi işlemi gelişigüzel bir işlemdir. Bu noktada ilişki matrisi katsayılarının ordinal bir ölçekten kardinal olana dönüştürülmesi tasarımcılar tarafından bir miktar tereddüt yaratması durumunda, farklı ilkelere dayanan bir toplama modeli olarak çok kriterli karar verme yöntemleri bu problem ile başa çıkılmasına izin vermektedir (Franceschini ve Rosetto, 1995). Kalite fonksiyon yayılımında çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasını bir diğer avantajı ise müşteri istekleri ağırlığını hesaplarken çift yönlü karşılaştırma yaparak teknik gereksinimlerin yanlış sıralanmasının önüne geçmesidir (Huang vd., 2019). Çok kriterli karar verme problemlerinde kriterlerin belirgin oranlarla belirtilebilmesi için, oranları ve önem dereceleri kesin bir şekilde bilinmelidir. Fakat, gerçek hayatta karşımıza çıkan birçok karar verme durumları amaç ve kısıtlamaların kesin olarak bilinmediği bir ortamda gerçekleşir (Bellman ve Zadeh, 1970). 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi, dilsel değişkenler ile belirsiz ve öznel yargı içeren problemlerin tanımlanmasını sağlamaktadır. Bulanık mantık anlayışı, çok kriterli karar verme yöntemlerinde yer alan karar verici görüşlerini ve kalitatif verileri analiz etmeye daha eğilimli olduğu için son zamanlarda bu yöntemlerde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Erginel vd., 2010).



Şekil 1. Kalite Evi

Geleneksel kalite fonksiyonunda müşteri istekleri ağırlığını, teknik gereksinimlerin yanlış sıralanmasına yol açabilecek şekilde çift yönlü bir karşılaştırma yapmadan belirlemesi, teknik gereksinimlerin önceliklendirilmesinde doğrusal toplama modelinin kullanılmasından dolayı karar vericilerin tercih durumlarının dikkate alınmaması (Huang vd., 2019) ve insan kararlarında meydana gelen belirsiz durumlara ilişkin çözüm sunabilmek için son zamanlarda bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile entegre edildiği çalışmaların önem kazandığı görülmüştür. Feili vd. (2018), çalışmalarında müşteri istekleri ağırlığını elde etmede bulanık ANP yönteminden yararlanmışlardır. Chen vd. (2017), güneş pilinin yeni ürün geliştirme problemine yönelik müşteri istekleri ve teknik gereksinim sayısını sınırlamak için bulanık DELPHI yöntemine başvurmuşlardır. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimlerin kendi arasında karşılıklı bağımlılığı ve müşteri isteklerinin teknik gereksinimler üzerinde etkisini analiz etmek için bulanık DEMATEL yöntemi uygulanmıştır. Teknik gereksinimlerin önceliklerini elde etmek için bulanık ANP'ye başvurulmuştur. Zadrafi vd. (2018), İran'da film endüstrisi müşteri memnuniyetine yönelik sunulan bulanık QFD çalışmasında müşteri isteklerini TOPSIS yöntemi ile ağırlıklandırmıştır. Yücenur vd. (2020), küçük ev aletleri tasarımında teknik gereksinimlerin sıralanmasında bulanık VIKOR'dan yararlanmışlardır.

Kalite fonksiyon yayılımından bulanık küme teorisine başvurulmasıyla birlikte literatürde bulanık küme teorisinin uzantılarına da başvurulduğu görülmüştür. Atanassov tarafından tanımlanan sezgisel bulanık küme teorisinin kalite fonksiyon yayılımında yararlandığı ilk çalışma Wang vd. (2014) tarafından bilgi yönetim sistemi seçim problemine yönelik gerçekleştirilmiştir. Jian vd. (2016), web servisi seçim problemini sezgisel bulanık sayılarla ifade ettikleri kalite fonksiyon yayılımı uygulaması sunmuşlardır. Büyüközkan ve Uztürk (2019), akıllı buzdolabı tasarımı için karar vericilere daha esnek bir ortam yaratabilmek için aralıklı sezgisel bulanık kümelerden yararlanarak kalite fonksiyon yayılımı ile bütünleştirmişlerdir. Deveci vd.(2019), halk otobüsü işletmecilerinin yolcu taleplerini hizmet kalitesi yönelik aralık değerli sezgisel bulanık kalite fonksiyon yayılımı sunmuşlardır. Onar vd.(2016), iş istasyonu seçim problemine yönelik müşteri isteklerini tereddütlü bulanık AHP tekniği ile incelemişlerdir. Çalışmada uzmanların tereddüt durumlarını tereddütlü bulanık dilsel terim kümeleri ile yakalayarak yenilikçi bir yaklaşım sunmuşlardır. Dinçer vd. (2019), avrupa enerji yatırım politikalarının performans sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik müşteri isteklerini tereddütlü bulanık AHP ile incelemişlerdir. Piengang vd. (2019), planlama ve programlama yazılımı seçiminde kalite fonksiyon yayılımına başvurarak kriter ağırlıkları bulanık AHP, kriterler ile alternatifler arasındaki ilişki bulanık VIKOR aracılığıyla sıralamıştır. Wang vd.(2017), elektrikli araçlara yönelik teknik gereksinimlerin önem derecesini elde etmede tereddütlü bulanık VIKOR tercih etmişlerdir. Li ve Song (2016), kompresör tabanlı hizmet tasarımına yönelik kaba VIKOR'dan yararlandıkları kalite fonksiyon yayılımı sunmuşlardır.

Bu çalışmada müşteri ifadeleri ve uzman görüşlerinin kesin olmayan ifadelerindeki tereddütlüğü ile başa çıkabilmek için sezgisel bulanık küme teorisinden yararlanılmıştır. Çalışmada müşteri istekleri önceliklendirilirken geleneksel kalite fonksiyonunda ordinal ölçeklerde ifade edilen müşteri isteklerinin sayısal bir ölçeğe çevrilirken oluşan hata ve tutarsızlıklarla başa çıkabilmek için, sezgisel bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Müşteri isteklerinin teknik gereksinimlere dönüştürülürken geleneksel kalite fonksiyon yayılımının dikkate almadığı karar vericilerin tercih durumlarını göz önünde bulundurabilmek için en önemli teknik gereksinimi elde etmede sezgisel bulanık VIKOR yöntemine başvurulmuştur. Literatürde kalite fonksiyon yayılımında sezgisel bulanık küme teorisi altında AHP ve VIKOR yöntemlerinin beraber kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Çalışma beş kısımdan oluşmaktadır. İkinci kısımda sezgisel bulanık küme teorisi tanımları sunulmaktadır. Üçüncü kısımda önerilen sezgisel bulanık kalite fonksiyon yayılımına yer verilmiştir. Dördüncü kısımda önerilen sezgisel bulanık kalite fonksiyon yayılımının uygulanabilirliğini göstermek için, endüstriyel priz üreten bir işletmenin ürün geliştirmesi için uygulanan vaka çalışmasını sunar. Son bölümde uygulanan çalışma değerlendirilmiş ve ileride yapılabilecek çalışmalar tartışılmıştır.

2. Sezgisel Bulanık Küme Teorisi

L.A. Zadeh tarafından geliştirilen (Zadeh, 1965) bulanık küme teorisine göre kümenin elemanlarına 0-1 arasında değişen üyelik derecesi atamaktır. Ancak günlük hayatta, bir elemanın bir kümeye ait olma derecesi tanımlanabilir ama bu ait olma derecesi içinde ait olmama durumunu da içerir. Diğer bir ifadeyle, nesnenin kümeye üye olma derecesi konusunda belirsizlik ve tereddütler olabilir. Bu nedenle sezgisel bulanık kümeler tanımlanarak ve belirsizliği ifade edebilmek için üye olma derecesinin yanında bir de üye olmama derecesi ortaya konulmuştur (Davarzani ve Khorheh, 2013). Bir elemanın üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı bire eşittir. Fakat gerçek uygulamalarda, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamının birden daha az olabilir. Bu nedenle, Atanassov bir elemanın bir kümeye üye olma derecesi, üye olmama derecesi ve tereddütlük derecesi (belirlenemezlik derecesi) ile ifade edilen ve bulanık küme teorisinin genelleştirilmiş bir şekli olan sezgisel bulanık küme teorisini geliştirdi (Atanassov, 1986). $X = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$ sonlu bir evrensel küme olsun. X kümesindeki bir sezgisel bulanık küme A aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$A = \{(\langle x_j, \mu_A(x_j), \nu_A(x_j) \rangle, > | x_j \in X)\}$$

Şeklinde tanımlanır. Ve $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ ve $\nu_A: X \rightarrow [0,1]$ fonksiyonları sırasıyla x_j elemanın A kümesine üye olma ve üye olmama derecesini gösterir. Her $x_j \in X$ için

$$0 \leq \mu_A(x_j) + \nu_A(x_j) \leq 1$$

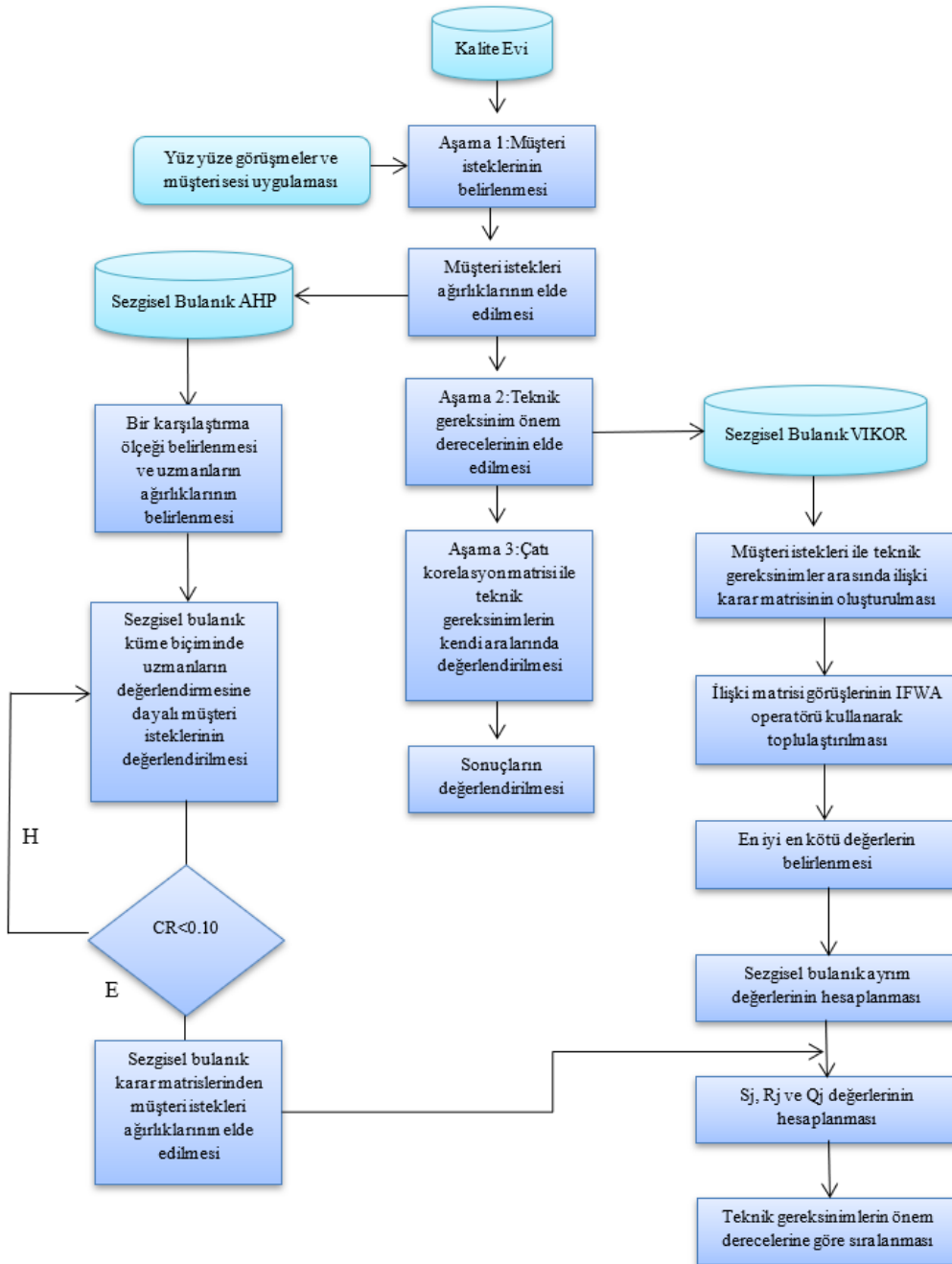
koşulu geçerlidir. $\pi_A(x_j) = 1 - \mu_A(x_j) - \nu_A(x_j)$ değeri x_j elemanın A kümesine sezgisel bulanık indeksidir (belirlenemezlik derecesi veya tereddütlük derecesi). Açık ki, tereddütlük derecesi her $x_j \in X$ için 0-1 arasında değişmektedir, yani

$$0 \leq \pi_A(x_j) \leq 1$$

Tereddütlük derecesi belirli bir konu hakkında, bir uzmanın kararsızlığını ya da bilginin eksikliğini yansıtır. Bu nedenle, sezgisel bulanık kümelerde bilginin ifade edilmesi bulanık kümelere göre daha kolaydır.

3. Önerilen Kalite Fonksiyon Yayılımı

Bu çalışma, ürün geliştirme sürecinin kalite fonksiyon yayılımı ile detaylandırılması, değerlendirmelerin daha doğru ve tutarlı sonuçlar elde etmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve VIKOR yöntemlerinden yararlanılması, bu değerlendirmelerde bulanık küme teorisine başvurulmasıyla dilsel ifadeler nedeniyle kaynaklanan belirsizliği en aza indirilmesini hedeflemektedir. Önerilen Kalite Fonksiyon Yayılımı modeli akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir. Önerilen modelimizde tek bir matris inşa edilmiştir. Modelin ilk aşamasında, ürün geliştirme sürecinin başlangıcını oluşturan müşteri istekleri çeşitli müşteri sesi uygulamaları (anket, şikayet vs.) kullanılarak toplanır. Müşteri istekleri ağırlıklarını elde etmek için sezgisel bulanık AHP yöntemine başvurulur. İkinci aşamada müşteri isteklerini en iyi şekilde karşılayabilmek için geliştirilecek ürün üzerinde dikkate alınması gereken teknik gereksinimler uzmanlar tarafından belirlenir. Belirlenen teknik gereksinimlerin müşteri istekleri ile oluşturduğu ilişkiler sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile incelenir. Sezgisel bulanık AHP ile ulaşılan müşteri istekleri ağırlıkları teknik gereksinimlerin öncelik sıralaması olan S_j , R_j ve Q_j değerlerine girdi sağlanır. Çalışmanın üçüncü ve son aşamasında teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonlar çatı matrisi oluşturularak incelenir.



Şekil 2. Önerilen Kalite Fonksiyon Yayılımı Modelinin Akış Şeması

3.1. Sezgisel Bulanık AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1968'de Myres ve Alpert'in çalışmalarıyla ilk kez gündeme gelmiştir. Daha sonra 1977'de, Profesör Thomas Lorie Saaty tarafından geliştirilmiş ve karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır (Yaraloğlu, 2001). AHP, bir karar problemi üzerinde, önceden oluşturulmuş bir karşılaştırma ve puanlama skalası kullanarak, karara etki eden faktörler, kriterler ve alt kriterleri önem değerleri açısından birebir karşılaştırmalara dayanan bir sistemdir (Demirer,2017). Kalite fonksiyon yayılımı ve AHP kullanmanın temel avantajı, seçimleri fonksiyonel amacı yerine getirmedeki etkililik sırasına göre sıralama becerileridir. AHP birbiriyle ilişkili hedeflerin karşılanması gereken rakip seçenekler arasında ayrım yapar. AHP basit matematiksel formülasyonlara dayanmaktadır (Mayyas vd., 2011). Fakat AHP, insan düşünce sisteminin işleyişini tam olarak yansıtamamaktadır. Bu yüzden AHP, bulanık mantık anlayışıyla birleştirilerek hiyerarşik bulanık problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından ele alınan birçok bulanık AHP metodu vardır. Laarhoven ve Pedrycz 1983'te bulanık karşılaştırma yargılarını üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği ilk bulanık AHP yöntemini önermiştir. Buckley (1985), Laarhoven ve Pedrycz'in bulanık AHP modelinde yer alan lineer denklemlerdeki sorunlarını dikkate alarak, bulanık ağırlıkların hesaplanmasında geometrik ortalama yöntemini ve bulanık oranlar için yamuk bulanık sayılar kullanmıştır. Chang (1996) tarafından geliştirilen yeni bulanık AHP yaklaşımında ikili karşılaştırma ölçeği için üçgensel bulanık sayılar önererek ve ikili kıyaslamaların sentetik kapsam değeri için kapsam analizi yöntemini kullanmıştır (Durdudiler, 2006). Literatürde bulanık küme teorisinin uzantısı olan sezgisel bulanık küme teorisi altında AHP yöntemi birkaç araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Sezgisel bulanık AHP ilk olarak Malek vd. tarafından 2006'da deprem hassasiyeti haritalaması üzerine sunulmuştur. Sadiq ve Tesfamariam (2009), AHP'deki muğlaklık ve iki anlamlı belirsizliği çevresel karar alma için sezgisel bulanık küme teorisinden yararlanarak incelemişlerdir. Abdullah, Sunadia ve Imran (2009), tereddüt derecesinin değerlerini sezgisel bulanık küme tercih ölçüm gösteriminin bir bileşeni olarak düşünmeden sezgisel bulanık küme üyelik fonksiyonu ve üye olmayan fonksiyonun iki gösterimini kullanan yeni bir AHP önermiştir. Feng vd. (2011), tüm karar bilgilerinin sezgisel bulanık değerlerle temsil edildiği sezgisel bulanık karşılaştırma matrisinin özvektörlerini sentezleyen sezgisel bulanık AHP'yi önermişlerdir. Abdullah ve Najib (2014), yeni bir ikili eşleştirme karşılaştırma matrisi değerlendirmesi tercih ölçeğine sahip yeni bir sezgisel bulanık AHP önermiştir. Bu yeni tercih ölçeği, tereddüt derecesinin değerlerini kullanarak matris değerlendirmesi için yeni bir tutarlılık testi önerilmesine neden olmaktadır. Tereddüt derecesine sahip yeni tercih ölçeği, uzmanların sezgisel Abdullah ve Najib (2014) tarafından sunulan sezgisel bulanık AHP adımları şu şekildedir.

Adım 1: Çok kriterli karar verme probleminin hiyerarşi yapısını oluşturulması.

Adım 2: Sezgisel bulanık AHP'nin çift yönlü karşılaştırma ölçeğini üçgensel sezgisel bulanık sayılar karar matrisinin tercih ölçeğiyle ölçeklendirilmesi. Tercih ölçeği Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AHP tercihinin sezgisel bulanık kümeye ve karşılıklı formlarına dönüştürülmesi

Çiftler arası karşılaştırma tercihi	AHP tercih numarası	Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayı Karşılığı	Karşı Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayı
Eşit Önemli	1	(0,02 0,18 0,8)	(0,02 0,18 0,8)
Orta Değer	2	(0,06 0,23 0,7)	(0,23 0,06 0,7)
Biraz Önemli	3	(0,13 0,27 0,6)	(0,27 0,13 0,6)
Orta Değer	4	(0,22 0,28 0,5)	(0,28 0,22 0,5)
Güçlü Önemli	5	(0,33 0,27 0,4)	(0,27 0,33 0,4)
Orta Değer	6	(0,47 0,23 0,3)	(0,23 0,47 0,3)
Çok Güçlü Önemli	7	(0,62 0,18 0,2)	(0,18 0,62 0,2)
Orta Değer	8	(0,8 0,1 0,1)	(0,1 0,8 0,1)
Kesinlikle Önemli	9	(1 0 0)	(0 1 0)

Adım 3: Uzmanların ağırlıklarının belirlenmesi. Uzmanların önemi dilsel değişkenler olarak kabul edilir. Dilsel değişkenler için tanımlanan üçgensel sezgisel bulanık sayılar Tablo 2'de verilmiştir. Bu bilgiler ışığında, $D_k (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$ k. uzmanın sezgisel bulanık bir sayı cinsinden değerlendirmesidir. Buna göre, k. uzmanın ağırlığı Eşitlik (1) ile hesaplanabilir (Boran vd., 2009).

$$\lambda_k = \frac{\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right)}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right))} \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1, k = (1, 2, \dots, l) \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Tablo 2. Uzmanların önemi için dilsel değişkenler (Abdullah ve Najib, 2014)

Dilsel Değişkenler	Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayılar
Çok Önemli	(0.90,0.05,0.05)
Önemli	(0.75,0.20,0.05)
Biraz Önemli	(0.50,0.40,0.10)
Önemsiz	(0.25,0.60,0.15)
Çok Önemsiz	(0.10,0.80,0.10)

Adım 4: Uzmanların görüşüne dayanan toplu sezgisel bulanık karar matrisi oluşturulması. $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ k. uzmanın sezgisel bulanık karar matrisi olsun. $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ tüm uzmanların ağırlıkları olsun ve $\sum_{k=1}^t \lambda = 1 \in [0,1]$. Grup karar alma sürecinde, (Xu, 2007) tarafından önerilen sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama (IFWA) operatörünü uygulayarak, toplu kararların bir araya getirilmiş sezgisel bulanık karar matrisi oluşturmak için tüm bireysel karar görüşlerinin grup görüşüne birleştirilmesi gerekir. Toplama Eşitlik (2) kullanılarak yapılır.

$$\begin{aligned}
 r_{ij} &= IFWA_{\lambda} (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)} \dots r_{ij}^{(t)}) \\
 &= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_t r_{ij}^{(t)} \\
 &= (1 - \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}), \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \\
 &\prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}))
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Buradan

$$\begin{aligned}
 r_{ij} &= (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij}), \mu_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \\
 v_{ij} &= \prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}) \\
 \pi_{ij} &= \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ifade etmektedir.

Adım 5: Toplu sezgisel bulanık karar matrisinin tutarlılık oranını (C.R) hesaplanır. Toplu sezgisel bulanık matris, üçgensel sezgisel bulanık sayıların tutarlılık derecelerinde ifade etmekte tereddüt değeri olan $\pi(x)$ değerini içerdiğinden, genel tutarlılık değerini hesaplamak için Abdullah ve Najib (2014) yeni bir yöntem sunmuştur. Rastgele endekslerin (RI) değeri Saaty'den alınmıştır (Saaty, 1990). Tablo 3'de gösterilmiştir. Daha sonra yeni tutarlılık oranı Eşitlik (4)'te verilmiştir. Burada $(\lambda_{max} - n)$, her bir kriterin birleştirilmiş sezgisel bulanık matrisinde olan $\pi(x)$ değerlerinin ortalaması olduğunu varsayın. Burada n, matrisin boyutunu belirtir.

$$\text{Tutarlılık oranı, } C.R = \frac{(\lambda_{max} - n)/n - 1}{RI}
 \tag{4}$$

Tablo 3. Matris boyutlarının rastgele endeksleri

n	1-2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

C.R 0.10'u geçmezse kabul edilebilir (Ariff vd., 2008). C.R 0.10'dan büyükse, karar matrisi tutarsız olarak kabul edilmelidir. Tutarlılığın sağlanmasını sağlamak için karar matrisi yeniden yapılmalıdır.

Adım 6: Birleştirilmiş ağırlıklı sezgisel bulanık karar matrisinin sezgisel bulanık entropi ağırlıkları hesaplanması Eşitlik (5)'te gösterilmiştir (Abdullah ve Najib, 2014).

$$\bar{w}_i = -\frac{1}{n \ln 2} [\mu_i \ln \mu_i + v_i \ln v_i - (1 - \pi_i) \ln(1 - \pi_i) - \pi_i \ln 2]
 \tag{5}$$

Eşitlik (5)'te $\mu_i = 0, v_i = 0, \pi_i = 1$ değerleri aldığında $\mu_i \ln \mu_i = 0, v_i \ln v_i = 0, (1 - \pi_i) \ln(1 - \pi_i) = 0$ olur. Eğer $\mu_i = 1, v_i = 0, \pi_i = 0$ değerleri alırsa $\mu_i \ln \mu_i = 0, v_i \ln v_i = 0, (1 - \pi_i) \ln(1 - \pi_i) = 0$ olur.

Son olarak her bir IF matrisinin final entropi ağırlığı, aşağıdaki Eşitlik (6) kullanılarak tanımlanır:

$$w_i = \frac{1 - \bar{w}_i}{n - \sum_{j=1}^n \bar{w}_j}, \sum_{j=1}^n w_j = 1
 \tag{6}$$

3.2. Sezgisel Bulanık VIKOR

VIKOR yöntemi, karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiştir. Bu yöntem, çelişkili kriterler varlığında bir dizi alternatifin sıralanmasına ve seçilmesine odaklanır. “İdeal” çözüme özel “yakınlık” ölçüsüne dayanan çok kriterli sıralama endeksini sunar (Opricovic, 1998). VIKOR yönteminde kullanılan karar matrisi belirsiz ve kesin olmayan verileri içerdiğinde, VIKOR yönteminin bulanık bir uzantısı kullanılmalıdır. Literatürde (Wang vd., 2006) tarafından sıradan bulanık VIKOR yöntemi ve Devi (2011) tarafından sezgisel bulanık VIKOR ve Liao ve Xu (2013) tarafından tereddüt bulanık VIKOR geliştirilmiştir (Kahraman vd., 2019). Bu çalışmada kalite fonksiyon yayılımı için teknik gereksinimlerin Chatterjee vd. (2013) çalışmalarından uyarlanan sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile sıralanmıştır. Sezgisel bulanık VIKOR adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Teknik gereksinimler için ayrı sezgisel bulanık değerlerini grup sezgisel bulanık değerlerinde birleştirilmesi. Uzmanların ifadelerinin yardımıyla toplu sezgisel bulanık tercih ilişkisi matrisi oluşturulur. İlişki matrisi oluşturulurken Tablo 4’de verilen dilsel değişkenlerden yararlanır. Burada $R = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$, teknik gereksinimler için k. uzmanın sezgisel bulanık karar matrisi olarak tanımlanır. Uzmanların ağırlıklarını kullanma Eşitlik (1)’de hesaplandığında uzmanların tek tek görüşleri Eşitlik (2) kullanılarak sezgisel bulanık karar matrisine birleştirilir.

Tablo 4. Teknik gereksinimlerin değerlendirilmesi için dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	μ	ν	π
Aşırı Kötü (AK)	0	0,9	0,1
Çok Kötü (ÇK)	0,1	0,85	0,05
Kötü (K)	0,25	0,6	0,15
Orta Kötü (OK)	0,4	0,5	0,1
Orta (O)	0,5	0,45	0,05
Kısmen İyi (Kİ)	0,6	0,3	0,1
İyi (İ)	0,75	0,1	0,15
Çok İyi (Çİ)	0,9	0,05	0,05
Aşırı İyi (Aİ)	1	0	0

Adım 2: Pozitif ve negatif ideal çözümleri bulunur. Burada A^* , pozitif ideal çözüm olarak tanımlanır ve A^- , negatif ideal çözüm olarak tanımlanır. J_1 fayda kriterleri seti, J_2 maliyet kriterleri setini ifade eder.

$$A^* = (\tilde{r}_1^*, \tilde{r}_2^*, \dots, \tilde{r}_n^*) \tilde{r}_j^* = (\mu_j^*, \nu_j^*, \pi_j^*), j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eşitlik (7)}$$

$$A^- = (\tilde{r}_1^-, \tilde{r}_2^-, \dots, \tilde{r}_n^-) \tilde{r}_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eşitlik (8)}$$

Buradan

$$\mu_j^* = (\text{Max}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Min}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_2)$$

$$\nu_j^* = (\text{Max}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Min}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_2)$$

$$\mu_j^- = (\text{Min}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Max}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_2)$$

$$\nu_j^- = (\text{Min}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Max}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_2)$$

Adım 3: Öklid mesafesi (Szmidi ve Kacprzyk, 2000) kullanılarak normalleştirilmiş sezgisel bulanık ayırım hesaplanır.

$$d(\hat{a}_j^*, \hat{r}_{ij}^*) = \sqrt{\frac{1}{2}((\mu_j^* - \mu_{ij})^2 + (\nu_j^* - \nu_{ij})^2 + (\pi_j^* - \pi_{ij})^2)} \quad \text{Eşitlik (9)}$$

$$d(\hat{a}_j^*, \hat{a}_j^-) = \sqrt{\frac{1}{2}((\mu_j^* - \mu_j^-)^2 + (\nu_j^* - \nu_j^-)^2 + (\pi_j^* - \pi_j^-)^2)} \quad \text{Eşitlik (10)}$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{d(\hat{a}_j^*, \hat{r}_{ij}^*)}{d(\hat{a}_j^*, \hat{a}_j^-)} \quad \text{Eşitlik (11)}$$

$$R_i = \text{Max}_{1 \leq j \leq n} \{w_j \frac{d(\hat{a}_j^*, \hat{r}_{ij}^*)}{d(\hat{a}_j^*, \hat{a}_j^-)}\} \quad \text{Eşitlik (12)}$$

Adım 5: Her teknik gereksinim için yakınlık katsayılarının derecesini hesaplanır.

$$Q_i = \alpha \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \alpha) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{Eşitlik (13)}$$

Buradan

$$S^* = \min_{1 \leq j \leq m} \{S_j\} \quad R^* = \min_{1 \leq j \leq m} \{R_j\}$$

$$S^- = \max_{1 \leq j \leq m} \{S_j\} \quad R^- = \min_{1 \leq j \leq m} \{R_j\}$$

α , maksimum grup fayda ağırlığı olmalıdır. Buna göre $(1 - \alpha)$ bireysel pişmanlık ağırlığıdır, $\alpha \in [0, 1]$.

Adım 6: S, R ve Q değerlerine göre teknik gereksinimler sıralanır. Üç sıralama listesi nihai sonucu temsil eder. Daha sonra, eğer aşağıdaki koşullar yerine getirilirse, uzlaşmacı çözüm olarak kabul edilir.

1. Kabul edilebilir avantaj : $Q_{\text{Teknik Gereksinim}(2)} - Q_{\text{Teknik Gereksinim}(1)} \geq \frac{1}{m-1}$, burada $Q_{\text{Teknik Gereksinim}(2)}$, Q_i listesindeki ikinci teknik gereksinim konumundadır.
2. Kabul edilebilir kararlılık : $Q_{\text{Teknik Gereksinim}(1)}$, S_i ve / veya R_i 'ye göre sıralandığında en iyisi olmalıdır.

Eğer ikinci koşul yerine getirilmezse, Teknik Gereksinim₍₁₎ ve Teknik Gereksinim₍₂₎'den oluşan set önerilir. Eğer birinci koşul yerine getirilmezse, Teknik Gereksinim₍₁₎, Teknik Gereksinim₍₂₎... Teknik Gereksinim_(m)'den oluşan set önerilir.

Buradan

$$\text{Teknik Gereksinim}_{(M)} = Q_{\text{Teknik Gereksinim}_{(M)}} - Q_{\text{Teknik Gereksinim}_{(1)}} < \frac{1}{m-1} \quad \text{Eşitlik (14)}$$

4. Uygulama

Önerilen Kalite Fonksiyonu Yayılım modeli priz üretimi yapan bir işletmede uygulanmıştır. Ağır sanayi koşulları altında çalışma ortamının koşullarına uygun ürün ve ekipman kullanmak işletmeler açısından büyük önem taşımaktadır. Endüstriyel prizler maden, mermer ocakları gibi ağır çalışma koşullarında kullanılan, yüksek dayanımları ile büyük akımları taşıyabilen ekipmanlardır. Bu ekipmanların gövde malzemesinde yaygın olarak polyamid plastik kullanılmaktadır. Pin (kovan) kısımlarından kullanılan iletken malzeme ise pirinçten oluşmaktadır. Endüstriyel prizler çalışma koşullarına göre priz in toz ve su geçirmezlik derecesini ifade eden IP44, IP45, IP67 gibi ana kategorilerden oluşmaktadır. Sayı ne kadar büyük olursa, toz ve su geçirmezlik performansı o kadar iyidir. Bu çalışma 125 amper, gövde malzemesi polyamid malzemedenden oluşan, IP67 sınıfına dahil, 380V-450V arasında çalışabilen uzatma prizi ürün geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır.

Priz ürün geliştirme için sunulan sezgisel bulanık kalite fonksiyonunda müşteri istekleri yüz yüze görüşmeler ve işletmenin sunmuş olduğu müşterinin sesi uygulaması sonucunda toplanılmıştır. Müşteri isteklerinin ve teknik gereksinimlerin önemini belirlemek için uzman görüşlerini tamamlamak için üretim müdürü, kalite mühendislerin oluşan 3 uzman seçilmiştir. Uzmanlarla mülakat sonucunda priz ürün geliştirme için Tablo 1'de gösterildiği gibi 5 müşteri isteği ve 9 teknik gereksinim tanımlanmıştır.

Tablo 5. Endüstriyel prize ait müşteri istekleri ve teknik gereksinimler

Müşteri İstekleri	Teknik Gereksinimler
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	Rakor ve Kelepçe Sistemi
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	Klemens Vida Sistemi
Kapağın Kırılmaması	Conta Kalınlığı
Montajın Kolay Olması	Kovan Boyutu
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	Krom-Nikel Miktarı
	Kovan Hammadde Cinsi
	Hammadde Cinsi
	Darbe Direnci
	Çeper Kalınlığı

Uzmanların ağırlıkları Tablo 2'deki dilsel değişkenler kullanılarak Eşitlik (1) uygulanmıştır. Uzmanların ağırlıkları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Uzmanların ağırlıkları

Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
Çok Önemli	Biraz Önemli	Önemli
0,4132	0,2423	0,3443

Aşama 1: Müşteri isteklerinin ağırlıklarının sezgisel bulanık AHP ile elde edilmesi

Müşteri istekleri önem dereceleri belirlenirken sezgisel bulanık AHP'den yararlanılmıştır. Uzmanlardan Tablo 1'deki dilsel değişkenlere göre her bir müşteri isteği karşılaştırması için ağırlık vermeleri istenmiştir. Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da uzmanların müşteri isteklerine ait ikili karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 7. Uzman 1 için müşteri isteklerinin ikili karşılaştırmaların sezgisel bulanık sayılarla gösterilmesi

	Mİ-1			Mİ2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,33	0,27	0,4	0,33	0,27	0,4	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,27	0,13	0,6	0,02	0,18	0,8	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2	0,33	0,27	0,4
Mİ-3	0,27	0,33	0,4	0,18	0,62	0,2	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,33	0,27	0,4
Mİ-4	0,27	0,33	0,4	0,18	0,62	0,2	0,27	0,13	0,6	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,27	0,33	0,4	0,27	0,33	0,4	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8

Tablo 8. Uzman 2 için müşteri isteklerinin ikili karşılaştırmaların sezgisel bulanık sayılarla gösterilmesi

	Mİ-1			Mİ2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2	0,13	0,27	0,6	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,62	0,18	0,2	0,27	0,33	0,4
Mİ-3	0,27	0,13	0,6	0,27	0,13	0,6	0,02	0,18	0,8	0,62	0,18	0,2	0,18	0,62	0,2
Mİ-4	0,18	0,62	0,2	0,18	0,62	0,2	0,18	0,62	0,2	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8

Tablo 9. Uzman 3 için müşteri isteklerinin ikili karşılaştırmaların sezgisel bulanık sayılarla gösterilmesi

	Mİ-1			Mİ2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,33	0,27	0,4	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8	0,62	0,18	0,2	0,33	0,27	0,4	0,27	0,33	0,4
Mİ-3	0,27	0,33	0,4	0,18	0,62	0,2	0,02	0,18	0,8	0,27	0,13	0,6	0,62	0,18	0,2
Mİ-4	0,27	0,33	0,4	0,27	0,33	0,4	0,13	0,27	0,6	0,02	0,18	0,8	0,27	0,33	0,4
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,02	0,18	0,8

Uzmanların görüşleri Eşitlik (2) kullanılarak toplulaştırılır. Toplulaştırılmış sezgisel bulanık karar matrisi Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. 3 uzmana yönelik müşteri istekleri ile ilgili değerlendirmelerinin toplu sezgisel bulanık karar matrisleri

	Mİ-1			Mİ-2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,16	0,44	0,401	0,29	0,27	0,444	0,416	0,245	0,339	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,502	0,157	0,34	0,02	0,18	0,8	0,54	0,2	0,266	0,538	0,207	0,255	0,295	0,3	0,401
Mİ-3	0,27	0,263	0,467	0,2	0,425	0,373	0,02	0,18	0,8	0,33	0,19	0,48	0,421	0,29	0,292
Mİ-4	0,249	0,384	0,366	0,21	0,499	0,289	0,2	0,24	0,553	0,02	0,18	0,8	0,212	0,5	0,289
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,31	0,293	0,401	0,35	0,35	0,295	0,538	0,207	0,255	0,02	0,18	0,8

Tablo 11. Toplu sezgisel bulanık matris

	μ	ν	π
Mİ-1	0,5690	0,0561	0,3748
Mİ-2	0,6595	0,0374	0,3029
Mİ-3	0,4639	0,0598	0,4761
Mİ-4	0,3411	0,1042	0,5545
Mİ-5	0,5225	0,0826	0,3948

Tablo 11’de verilen toplu sezgisel bulanık matrisin Eşitlik (4) kullanılarak tutarlılık oranı elde edilir. Tutarlılık oranı Eşitlik (15)’te verilmiştir. Müşteri isteği sayısı 5 olduğu için Tablo 3’e göre RI değeri 1,12 alınmıştır. Tutarlılık oranı 0,093898 elde edilmiştir. 0,1’den küçük olduğundan uzmanların değerlendirmelerinin tutarlı olduğu söylenebilir.

$$\frac{(0,3748+0,3029+0,4761+0,5545+0,3948)}{5} /_{1,12} = 0,093898$$

Eşitlik (15)

Tablo 10’da verilen birleştirilmiş ağırlıklı sezgisel bulanık karar matrisin 3 uzmana yönelik müşteri istekleri ile ilgili değerlendirmelerinin Eşitlik (5) ile entropi ağırlıkları ve Eşitlik (6) ile elde edilen toplam nihai entropi ağırlıkları Tablo 12’de verilmiştir. Elde edilen son ağırlıklara müşteri istekleri önem dereceleri ağırlıkları 0,20294 0,209180 0,19840 0,190970 0,19849 elde edilmiştir.

Tablo 12. Müşteri isteklerinin final entropi ağırlıkları

	Entropi Ağırlığı	Final Entropi
Mİ-1	0,1294	0,20294
Mİ-2	0,1027	0,20918
Mİ-3	0,1489	0,19840
Mİ-4	0,1808	0,19097
Mİ-5	0,1485	0,19849

Aşama 2: Teknik gereksinimlerin önem derecelerine göre sıralamasını sezgisel bulanık VIKOR ile belirlenmesi.

Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler seçilen uzmanların görüşlerinden yararlanılır. İlişkiler incelenirken Tablo 4’te verilen dilsel değişkenlerden yararlanılır. Uzman görüşü altında müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki matrisi Tablo 13’te gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 13. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki matrisi

Müşteri İstekleri/Teknik Gereksinimler	Rakor ve Kelepeç Sistemi	Klemens Vida Sistemi	Conta Kalınlığı	Kovan Boyutu	Krom-Nikel Miktarı	Kovan Hammadde Cinsi	Hammadde Cinsi	Darbe Direnci	Çeper Kalınlığı
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	Aİ,Çİ,İ	Çİ,İ,Kİ	Çİ,Çİ,Ç,					P,OK,OK	
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	ÇK,K,OK	O,Kİ,İ	K,OK,OK	Çİ,İ,O	İ,İ,İ	OK,O,Kİ	Çİ,Aİ,İ	ÇK,ÇK,ÇK	
Kapağın Kırılmaması							İ,İ,İ	Çİ,İ,İ	
Montajın Kolay Olması	İ,Kİ,Kİ	Çİ,İ,Kİ							
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	O,O,O	ÇK,K,OK	İ,Kİ,Kİ	K,K,K	O,OK,OK		O,O,O	İ,İ,O	Çİ,O,OK

Eşitlik (2) kullanılarak uzmanların görüşleri Tablo 14’te gösterilen toplulaştırılmış sezgisel bulanık karar matrisine dönüştürülür.

Tablo 14. Topluştırılmış sezgisel bulanık karar matrisi

	Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması			Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması			Kapağın Kırılmaması			Montajın Kolay Olması			Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Rakor ve Kelepçe Sistemi	1	0	0	0,2511	0,6507	0,0981	0	0,9	0,1	0,6706	0,1905	0,1388	0,5	0,45	0,05
Klemens Vida Sistemi	0,7987	0,1096	0,0916	0,6269	0,2429	0,1301	0	0,9	0,1	0,7987	0,1096	0,0916	0,2511	0,6507	0,0981
Conta Kalınlığı	0,9	0,05	0,05	0,3420	0,5391	0,1188	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,6706	0,1905	0,1388
Kovan Boyutu	0	0,9	0,1	0,7826	0,1260	0,0912	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,25	0,6	0,15
Krom-Nikel Miktarı	0	0,9	0,1	0,75	0,1	0,15	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,4435	0,4786	0,0777
Kovan Hammadde Cinsi	0	0,9	0,1	0,5007	0,4087	0,0904	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1
Hammadde Cinsi	0	0,9	0,1	1	0	0	0,75	0,1	0,15	0	0,9	0,1	0,5	0,45	0,05
Darbe Direnci	0,3420	0,5391	0,1188	0,1	0,85	0,05	0,8288	0,0750	0,0961	0	0,9	0,1	0,6825	0,1678	0,1495
Çeper Kalınlığı	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,7826	0,1260	0,0912

Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15. Pozitif ve negatif ideal çözümler

	A*			A-		
	μ	ν	π	μ	ν	π
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	1	0,9	0,118833	0	0	0
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	1	0,9	0,15	0	0	0
Kapağın Kırılmaması	0,82880731	0,9	0,15	0	0,075092	0,0961005
Montajın Kolay Olması	0,7987288	0,9	0,138864	0	0,109625	0,0916462
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	0,7826517	0,9	0,15	0	0,126053	0,05

Teknik gereksinimlerin Eşitlik (11), Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) kullanılarak $S(A_i)$, $R(A_i)$ ve $Q(A_i)$ sıralamaları bulunur Tablo 16'da verilmiştir. $\alpha = 0,5$ alınmıştır.

Tablo 16. Teknik gereksinimlerin kullanılarak $S(A_i)$, $R(A_i)$ ve $Q(A_i)$ sıralamaları

	S(Ai)	R(Ai)	Q(Ai)	Önem Sıralaması
Rakor ve Kelepçe Sistemi	0,6189	0,1407	0,0200	1
Klemens Vida Sistemi	0,6204	0,1407	0,0276	2
Conta Kalınlığı	0,6506	0,1407	0,1754	3
Kovan Boyutu	0,6611	0,1502	0,5551	7
Krom-Nikel Miktarı	0,6543	0,1502	0,5216	5
Kovan Hammadde Cinsi	0,6762	0,1502	0,6292	8
Hammadde Cinsi	0,6604	0,1502	0,5516	6
Darbe Direnci	0,6615	0,1401	0,2088	4
Çeper Kalınlığı	0,7209	0,1547	1	9

Aşama 3: Teknik gereksinimler arasında oluşan korelasyonun belirlenmesi.

Müşteri isteklerine cevap vermek için uzmanlar tarafından tanımlanan teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki etkileşimleri pozitif veya negatif yönde olabilir. Yani bir teknik gereksinimde pozitif gelişme sağlanması, bir diğerini yine pozitif yönde ya da negatif yönde etkileyebilir. Korelasyon matrisi çelişkili ilişkilere dikkat çekerek hızlı çözümler üretmeye imkan verir. Bir teknik gereksinimi sağlamak için hangi teknik gereksinimden vazgeçmemiz gerektiğinin adaletli bir şekilde cevabını sunar (Franceschini, 2016). Çinpolat (2007)'in ortaya koyduğu korelasyon dereceleri ve bu derecelere ait semboller Tablo 17'de verilmiştir. Şekil 3'te priz ürün geliştirmesine yönelik üzerinde durulması gereken teknik gereksinimlerin kendi aralarında oluşturdukları korelasyon (çatı) matrisi verilmiştir.

Tablo 17. Korelasyon derecesi ve sembolleri (Çinpolat, 2007)

Korelasyon Derecesi	Sembol
Güçlü Olumlu İlişki	++
Olumlu İlişki	+
Olumsuz İlişki	-
Güçlü Olumsuz İlişki	--

Müşteri İstekleri/Teknik Gereksinimler	Müşteri İstekleri Önem Dereceleri	Rakor ve Kelepçe Sistemi	Klemens Vida Sistemi	Conta Kalınlığı	Kovan Boyutu	Krom-Nikel Miktarı	Kovan Hammadde Cinsi	Hammadde Cinsi	Darbe Direnci	Çeper Kalınlığı
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	0,20294	Aİ,Çİ,İ	Çİ,İ,Kİ	Çİ,Çİ,Ç					P,OK,OK	
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	0,20918	ÇK,K,OK	O,Kİ,İ	K,OK,OK	Çİ,İ,O	İ,İ,İ	OK,O,Kİ	Çİ,Aİ,İ	ÇK,ÇK,ÇK	
Kapağın Kırılmaması	0,19840							İ,İ,İ	Çİ,İ,İ	
Montajın Kolay Olması	0,19097	İ,Kİ,Kİ	Çİ,İ,Kİ							
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	0,19849	O,O,O	ÇK,K,OK	İ,Kİ,Kİ	K,K,K	O,OK,O K		O,O,O	İ,İ,O	Çİ,O,OK
Teknik Gereksinim Önem Dereceleri										
Sj Değeri		0,6189	0,6204	0,6506	0,6611	0,6543	0,6762	0,6604	0,6615	0,7209
Rj Değeri		0,1407	0,1407	0,1407	0,1502	0,1502	0,1502	0,1502	0,1401	0,1547
Qj Değeri		0,0200	0,0276	0,1754	0,5551	0,5216	0,6292	0,5516	0,2088	1
Teknik Önem Derecesi Sıralamaları		1	2	3	7	5	8	6	4	9

Çatı Korelasyonu:	++	+	--	-
	Güçlü Olumlu İlişki	Olumlu İlişki	Güçlü Olumsuz İlişki	Olumsuz İlişki

Şekil 3. Kalite Evi

Müşteri isteklerinin önem derecelerinin sezgisel bulanık AHP yöntemiyle elde edilmesinin sonucunda en önemli müşteri isteği fiş ve prizın yapışmamasıdır. Fiş ve prizın birbirine yapışma problemi prizın kovan kısmına su girmesi sonucu ortaya çıkabiliyor. Ayrıca kovan üzerindeki krom nikel miktarı da bu problem üzerinde rol oynamaktadır. Çünkü kovan kısmı korozyona uğrar. Korozyon sonucu akım iletkenliği azalır. Akım iletkenliğinin azalması da fiş ve prizın birbirine yapışmasına ve kovan koruyucu gövdesinin yanmasına neden olmaktadır. Fiş ve prizın yapışmaması müşteri isteğini takiben priz ve kablonun ayrılmaması (0,20294), ortam koşullarına uyum sağlaması (0,19849), kapağın kırılmaması (0,19840) ve montajın kolay olması (0,19097) öneme sahiptir.

Sezgisel bulanık VIKOR sonucunda müşteri isteklerini en iyi şekilde karşılamada üzerinde durulması gereken teknik gereksinimler rakor kelepçe sistemi, klemens vida sistemi, conta kalınlığı, krom nikel miktarı, hammadde cinsi, kovan boyutu, darbe direnci, kovan hammadde cinsi ve çeper kalınlığı olarak sıralanmıştır. En önemli teknik gereksinim olan rakor kelepçe sistemi, priz ile kablonun kenetlenmesini sağlayan içerisinde conta bulunan sistemin dıştan sıkılmasını sağlayan bir mekanizmadır. Rakor kelepçe sistemi kırılmalara, darbelere karşı, direnç gösterecek bir iyileştirme yapılmalıdır. Ayrıca rakor kelepçe sisteminin vida mekanizmasında iyileştirmeye gidilmesi prizın olası düşmelerine karşı dayanıklılık göstermesini sağlayacaktır. Bu sistemde meydana gelebilecek problemler ürünün ortam şartlarına uyumunu ve iyi performans göstermesini etkilemektedir. Klemens vida sisteminin geliştirilmesi kablonun çekilerek kullanılması nedeniyle prizden ayrılması sonucu oluşabilecek elektrik iletimi aksaklıkları önenebilecek böylece çalışma ortamı verimi artacaktır. Conta kalınlığı teknik gereksinimi ürünün su geçirmezliğini etkilediği için iyileştirme çalışmalarında göz önünde bulundurulmalıdır. Darbe direnci üzerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları ürünün ağır sanayi ve çalışma koşulları altında daha iyi performans göstermesini sağlayacaktır. Krom-nikel miktarı teknik gereksinimi üzerinde yapılacak çalışmalar, akım iletimini iyileştirecek, korozyona karşı dayanımını arttıracaktır. Seçilecek hammadde cinsinde geliştirmeye gidilmesi ürünün kullanıldığı ortam koşullarında oluşabilecek aşınmalara, kimyasal maddelere karşı direnç, sıcaklık farklarına karşı direnç sağlama özelliğini etkileyecektir. Akım iletimini sağlayan kovanların boyutu teknik gereksinimi iyileştirmesi ürünün yanma problemlerinin önüne geçmesini sağlayacaktır. Kovan hammadde cinsinde gerçekleştirecek iyileştirmeler yanma problemlerinin önüne geçerek ürün ömrünün artmasını sağlayacaktır. Ürünün dış bölmesini kaplayan çeper bölümünün kalınlığında iyileştirmeye gidilmesi, ürünün maruz kaldığı çarpma ihtimallerine karşı dayanım sağlayacaktır.

Teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyon incelendiğinde, conta kalınlığının artırılması rakor kelepçe sisteminin güçlü olumlu yönde performans göstermesi yönünde bir etki yaratmaktadır. Krom nikel miktarı ile kovan boyutu arasında güçlü olumsuz bir korelasyon vardır. Krom nikel miktarı arttırıldıkça kovan boyutu azalacaktır. Krom nikel malzemesi iletkenliği arttıran ve böylece yanma ihtimalini azaltan bir malzemedir. Bu malzemenin azalması kovan boyutunu azaltacaktır. Kovan boyutunun azaltılması veya arttırılması iletkenliğin daha iyi olması ile ilgilidir. Krom nikel miktarı arttııkça iletkenliği arttıracak bu da kovan boyutunda artışa neden olmayacaktır. Kovan hammadde cinsinde yapılacak bir iyileştirme kovan boyutunu güçlü olumsuz yönde etkileyen bir korelasyon doğurmaktadır. Yine bunun nedeni iletkenlik ile ilgilidir. Hammadde cinsinden yapılacak bir iyileştirme ürünün darbeye gösterdiği direnci arttıracaktır. Çeper kalınlığı arttııkça darbe direnci de güçlü olumlu yönde artacaktır.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada endüstriyel priz ürün geliştirilmesi üzerine toplam kalite yönteminin araçlarından biri olan kalite fonksiyon yayılımını uygulanmıştır. Çalışmada müşterilerin ürüne yönelik istekleri yüz yüze görüşmeler ve işletmenin müşterileri ile iletişim kurduğu müşterinin sesi uygulamaları aracılığıyla elde edilmiştir. Müşteri istekleri önceliğini elde etmede çift ikili karşılaştırmaya başvurmak ve tutarlı sonuçlar alabilmek için karar vericilerinin fikir birliğine dayanan sezgisel AHP yöntemine başvurulmuştur. Sezgisel bulanık AHP sonucunda müşteri istekleri önem dereceleri sırasıyla fiş ve prizın birbirine yapışmaması, priz ve kablonun ayrılmaması, ortam koşullarına uyum sağlaması, kapağın kırılmaması ve montajın kolay olması olarak elde edilmiştir. Müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi ve ürün üzerinde yaşanan problemlerin azaltılabilmesi için müşteri istekleri, ürünü iyileştirme ve geliştirme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken teknik gereksinimlerine dönüştürülmüştür. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasında meydana gelen ilişkiler karar vericilerin tercih davranışlarını göz önünde bulundurabilmek ve tam olarak elde edebilmek için sezgisel bulanık VIKOR yöntemine başvurulmuştur. Sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile teknik gereksinim önem sıralamaları rakor kelepçe sistemi, klemens vida sistemi, conta kalınlığı, darbe direnci, krom nikel miktarı, hammadde cinsi, kovan boyutu, kovan hammadde cinsi ve çeper kalınlığı olarak sıralanmıştır.

Önerilen sezgisel kalite fonksiyon yayılımı modelinde müşteri ve mühendislerin ürüne yönelik gereksinimlerinin ortaya çıkarılması, karar vericilerin kararlarında fikirlerinin bir araya getirilmesi, insan görüşlerinde oluşabilecek belirsiz ve kesin olmayan bilgilerle başa çıkabilmek hedeflenmiştir. Çalışmada sezgisel bulanık küme teorisi aracılığıyla klasik bulanık kümelerin ifade edemediği, karar verici görüşünün müşteri gereksinimi ve teknik gereksinimin sahip olduğu önem bilgisinde yetersiz kaldığı durumlar ortaya konulmuştur. Sezgisel AHP ve VIKOR yöntemleri ile ürünün yeniden üretim kararına ulaşmadan önce tutarlı, uzlaşmacı ürün gereksinimleri dönüşümü elde edilmiştir. Literatürde sezgisel bulanık küme teorisi altında AHP ve VIKOR yönteminin bir arada kullanıldığı kalite fonksiyon yayılımı bulunmadığı için gelecekteki çalışmalara yol gösterici niteliğindedir. Önerilen model ürün geliştirilmenin yanı sıra hizmet iyileştirme çalışmalarına uygulanabilir, kalite fonksiyon yayılımının diğer fazlarına genişletilebilir.

Referanslar

- Abdullah, L., & Najib, L. (2014). A new preference scale of intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process in multi-criteria decision making problems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(2), 1039-1049.
- Abdullah, L., Sunadia, J., & Imran, T. (2009). A new analytic hierarchy process in multi-attribute group decision making. *International Journal of Soft Computing*, 4(5), 208-214.
- Akbaş, H., & Bilgen, B. (2017). An integrated fuzzy qfd and topsis methodology for choosing the ideal gas fuel at wwtps. *Energy*, 125, 484-497.
- Akman, G., & Özcan, B. (2011). A fuzzy qfd approach to determine customer needs for driving mirror. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 19(10), 1-21.
- Ariff, H., Salit, M. S., Ismail, N., & Nukman, Y. (2008). Use of analytical hierarchy process (ahp) for selecting the best design concept. *Jurnal Teknologi*, 49(1), 1-18.
- Başkır, M. B. (2017). 4-Aşamalı bulanık kalite fonksiyon yayılımı yaklaşımı ile tedarikçi seçimi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 81-110.
- Başkır, M. B. Y., & Öksoy, D. T. D. (2011). Bulanık kalite fonksiyon yayılımı yaklaşımının iyileştirilmesi ve uygulamaları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17(4), 141-164.
- Bhuvanesh Kumar, M., & Parameshwaran, R. (2018). Fuzzy integrated qfd, fmea framework for the selection of lean tools in a manufacturing organisation. *Production Planning & Control*, 29(5), 403-417.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with topsis method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
- Brown, S. L., & Eisenhardt, K. M. (1995). Product development: Past research, present findings, and future directions. *Academy of management review*, 20(2), 343-378.
- Buckley, J. J., & Uppuluri, V. R. R. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. In *Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management, and Decision Making*, 389-401. Springer, Boston, MA.
- Büyüközkan, G., & Uztürk, D. (2019). Smart fridge design with interval-valued intuitionistic fuzzy qfd. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* 1170-1179, Springer, Cham.
- Chaghooshi, A. J., Khorasani, A., & Mesbah, M. (2015). Determine the correlation between supplier's evaluation criteria and customer's wants in automotive supply chain: by the approach of fuzzy-qfd and house of quality. *Global Journal of Management Studies and Researches*, 2(1), 48-59.
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy ahp. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- Chatterjee, K., Kar, M. B., & Kar, S. (2013). Strategic decisions using Intuitionistic fuzzy vikor method for information system (is) outsourcing. *International Symposium on Computational and Business Intelligence*, 123-126.
- Çinpolat, S. (2007). Kalite fonksiyon göçerimi ve hizmet sektöründe uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Demirer, A. (2017). Güneş enerjisi santrali yer seçimi probleminin analitik hiyerarşi prosesi yardımı ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi.
- Deveci, M., Öner, S. C., Canitez, F., & Öner, M. (2019). Evaluation of service quality in public bus transportation using interval-valued intuitionistic fuzzy qfd methodology. *Research in Transportation Business & Management*, 100387.
- Dincer, H., Yüksel, S., & Martinez, L. (2019). Balanced scorecard-based analysis about european energy investment policies: A hybrid hesitant fuzzy decision-making approach with quality function deployment. *Expert Systems with Applications*, 115, 152-171.

- Durdudiler, M. (2006). Perakende sektöründe tedarikçi performans değerlemesinde ahp ve bulanık ahp uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Feili, H., Qomi, M., Farzooghi, A., & Lashgari, H. (2018). Identification of design requirements in automotive glass manufacturing using fuzzy qfd. *International Conference on Research in Engineering Science and Technology*.
- Feili, H., Qomi, M., Zadrafı, S., & Asadi, A. (2018). Assessment of design and customer requirements in cinema industry (highest-grossing films) using fuzzy qfd. *7th International Conference of Science and Engineering*.
- Franceschini, F. (2016). *Advanced quality function deployment*. CRC Press.
- Ghadimi, P. Azadnia, A. H., & Azadnia, A. H.. (2017). An integrated approach of fuzzy quality function deployment and fuzzy multi-objective programming to sustainable supplier selection and order allocation. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 11(1), 1-22.
- Huang, J., You, X. Y., Liu, H. C., & Si, S. L. (2019). New approach for quality function deployment based on proportional hesitant fuzzy linguistic term sets and prospect theory. *International Journal of Production Research*, 57(5), 1283-1299.
- Jian, S., Xiu-yan, P., Ying, X., Pei-Lei, W., & Na-ji, M. (2016). A new method combining qfd with intuitionistic fuzzy sets for web services selection. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(11), 107-118.
- Khorheh, M.A., & Davarzani, H., (2013). A novel application of intuitionistic fuzzy sets theory in medical science: Bacillus colonies recognition. *Artif. Intell. Research*, 2, 1-17.
- Kumar, K., & Kumanan, S. (2011). An integrated fuzzy qfd and ahp approach for facility location selection. *IUP Journal of Supply Chain Management*, 8(4), 31-41.
- Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C., & Karaşan, A. (2019). Spherical fuzzy vikor method and its application to waste management. *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, 997-1005.
- Lee, A. H., Kang, H. Y., Lin, C. Y., & Chen, J. S. (2017). A novel fuzzy quality function deployment framework. *Quality technology & quantitative management*, 14(1), 44-73.
- Li, M., Jin, L., & Wang, J. (2014). A new MCDM method combining qfd with topsis for knowledge management system selection from the user's perspective in intuitionistic fuzzy environment. *Applied soft computing*, 21, 28-37.
- Li, X., & Song, W. (2016). A rough vikor-based qfd for prioritizing design attributes of product-related service. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- Liao, H., & Xu, Z. (2013). A vikor-based method for hesitant fuzzy multi-criteria decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 12(4), 373-392.
- Mayyas, A., Shen, Q., Mayyas, A., Shan, D., Qattawi, A., & Omar, M. (2011). Using quality function deployment and analytical hierarchy process for material selection of body-in-white. *Materials & Design*, 32(5), 2771-2782.
- Mazur, G. H. & Akao, Y. (2003). The leading edge in qfd: Past, present and future. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1), 20-35.
- Nilay Yücenur, G., Altun, G., & Erdem, M. Determining design attributes of a small household appliance using fuzzy vikor-based qfd method. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 272-284.
- 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.
- Opricovic, S. (1998). Multi-criteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1) 5-21.
- Piengang, F. C. N., Beauregard, Y., & Kenné, J. P. (2019). An aps software selection methodology integrating experts and decision-maker's opinions on selection criteria: A case study. *Cogent Engineering*, 6(1), 1594509.
- Pur, M. M., & Tabriz, A. A. (2012). SWOT analysis using of modified fuzzy qfd-a case study for strategy formulation in petrokaran film factory. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 41, 322-333.

- Rossetto, S. & Franceschini, F., (1995). Qfd: the problem of comparing technical/engineering design requirements. *Research in Engineering Design*, 7(4), 270-278.
- Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2009). Environmental decision-making under uncertainty using intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (if-ahp). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(1), 75-91.
- Silavi, T., Malek, M. R., & Delavar, M. R. (2006). Multicriteria map overlay in geospatial information system via intuitionistic fuzzy ahp method. In *Applied Artificial Intelligence*, 401-408.
- Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 114(3), 505-518.
- Tavakoli, M., & Pasha, N. (2015). Integrating fuzzy quality function deployment and linear goal programming for supplier selection. *Uncertain Supply Chain Management*, 3(1), 1-10.
- Van De Poel, I. (2007). Methodological problems in qfd and directions for future development. *Research in engineering design*, 18(1), 21-36.
- Van Laarhoven, P. J., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.
- Vinodh, S., & Rathod, G. (2012). Application of fuzzy logic-based environmental conscious qfd to rotary switch: A case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(2), 319-332.
- Vongvit, R., Kongprasert, N., Fournaise, T., & Collange, T. (2017). Integration of fuzzy-qfd and triz methodology for product development. In *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics*, 326-329.
- Wang, H., Qian, G., & Feng, X. (2011). An intuitionistic fuzzy ahp based on synthesis of eigenvectors and its application. *Information Technology Journal*, 10(10), 1850-1866.
- Wang, T. C., Liang, J. L., & Ho, C. Y. (2006). Multi-criteria decision analysis by using fuzzy vikor. *International Conference on Service Systems and Service Management 2*, 901-906.
- 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.
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1179-1187.
- Yaralıoğlu, K. (2001). Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi proses. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 129-142.
- Yenginol, F. (2000). Yeni ürün geliştirmede müşteri istek ve ihtiyaçlarını teknik karakteristiklere dönüştürmeyi sağlayan bir yöntem: Kalite fonksiyon geçirimi. *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*.
- Yenginol, F. (2008). Neden kalite fonksiyon" geçirimi" ? . *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 9(1), 7-15.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, vol. 8. Google Scholar Digital Library, 338-353.