

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEREDDÜTLÜ BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
YÖNTEMLERİ ESASLI KALİTE FONKSİYON YAYILIMI
YAKLAŞIMI VE BRODE ÜRETİMİNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra BAKDAAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEREDDÜTLÜ BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
YÖNTEMLERİ ESASLI KALİTE FONKSİYON YAYILIMI
YAKLAŞIMI VE BRODE ÜRETİMİNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra BAKDAAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esra TEKEZ

TEMMUZ 2023

Büşra BAKDAAL tarafından hazırlanan “Tereddütlü Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Esaslı Kalite Fonksiyon Yayılımı Yaklaşımı ve Brode Üretiminde Bir Uygulama” adlı tez çalışması 27.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Semra BORAN Sakarya Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Esra TEKEZ (Danışman) Sakarya Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Caner ERDEN Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	.....



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “TEREDDÜTLÜ BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ ESASLI KALİTE FONKSİYON YAYILIMI YAKLAŞIMI VE BRODE ÜRETİMİNDE BİR UYGULAMA” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Öğrencinin Adı Soyadı





Aileme ve kendime



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans yaptığım süre boyunca yardımlarını ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Esra TEKEZ'e, uygulama çalışmam sırasında değerli fikirleriyle bana yardımcı olan Ruşen KAHRAMAN'a ve beni profesyonel iş dünyasıyla tanıştıran Abidin Demiray DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince ve hayatımın her döneminde bana güvenen, cesaretlendiren ve destek olan babam İhsan BAKDAAL, annem Ayşe BAKDAAL, kardeşim ve eşi Beyza-Hakan KURTBOĞAN'a teşekkür ederim.

Büşra BAKDAAL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE METHOD	15
3.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD-Quality Function Deployment)	15
3.2. Bulanık Kümeler	17
3.3. Üçgensel Bulanık Sayılar	19
3.4. Tereddütlü Bulanık Kümeler	20
3.4.1. Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesi (HFLTS)	21
3.5. Tereddütlü Bulanık SWARA	24
3.6. Tereddütlü Bulanık DEMATEL	27
3.7. Tereddütlü Bulanık MOORA	30
4. UYGULAMA	35
4.1. Müşteri İsteklerinin Belirlenmesi	38
4.2. Teknik Gereksinimlerin Belirlenmesi	42
4.3. Tereddütlü Bulanık SWARA ile Müşteri İsteklerinin Ağırlıklandırılması	48
4.4. Tereddütlü Bulanık DEMATEL ile Korelasyon Matrisinin Oluşturulması	55
4.5. Tereddütlü Bulanık MOORA ile İlişki Matrisinin Oluşturulması	64
5. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ VE Tartışma	75
5.1. Tereddütlü Bulanık SWARA Tabanlı QFD	75
5.2. Tereddütlü Bulanık SWARA ve Tereddütlü Bulanık DEMATEL Tabanlı QFD	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	89
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ	98



KISALTMALAR

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

HFLTS : Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesi

HF SWARA : Tereddütlü Bulanık Adımsal Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi

HF MOORA : Tereddütlü Bulanık Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon

HF DEMATEL: Tereddütlü Bulanık Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı

TFN : Üçgensel Bulanık Sayılar

OWA : Sıralı Ağırlıklı Bütünleştirme

QFD : Kalite Fonksiyon Yayılımı



SİMGELER

μ	: Ortalama
σ	: Standart Sapma
K	: Ağırlık vektörü
k	: Kriter katsayıları
w	: Kriter ağırlığı
Z	: Doğrudan etki matrisi
X^*	: Normalleştirilmiş değer
T	: Toplam etki matrisi
$\tilde{D}$	: Bulanık satır toplamı
$\tilde{R}$	: Bulanık sütun toplamı
$\tilde{X}$	: Bulanık karar matrisi
RI	: Önem değeri
W	: Alternatif ağırlığı



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Literatür araştırması özeti.	11
Tablo 3.1. Bulanık küme çeşitlerinin tarihsel gelişimi.....	17
Tablo 3.2. Dilsel ifadelerin üçgensel bulanık sayı olarak gösterimi (Chang ve ark, 2011).	25
Tablo 3.3. Müşteri isteklerinin arasındaki ikili karşılaştırmaların dilsel ölçek tablosu (Kaya, Erginel, 2022, Chang, 1996).	26
Tablo 3.4. Tereddütlü Bulanık MOORA için dilsel ölçek tablosu (Viedma ve ark, 2004).	30
Tablo 4.1. Uzmanlar Hakkında Bilgi.	37
Tablo 4.2. Müşteri İstekleri.	38
Tablo 4.3. Teknik Gereksinimler.	42
Tablo 4.4. Geometrik ortalamaya göre müşteri isteklerinin sıralanması.....	48
Tablo 4.5. Müşteri isteklerinin tereddütlü bulanık dilsel ifadeler ile değerlendirilmesi.	49
Tablo 4.6. Müşteri istekleri kolektif görüşlerinin OWA ağırlıklarıyla sıralanması. .	49
Tablo 4.7. Müşteri istekleri arasındaki karşılaştırmalı tereddütlü dilsel değerlendirmeleri.	50
Tablo 4.8. Müşteri isteklerinin karşılaştırmalı önem değerleri.	52
Tablo 4.9. Müşteri isteklerinin katsayıları.....	53
Tablo 4.10. Müşteri isteklerinin önem vektörü.	54
Tablo 4.11. Müşteri isteklerinin ağırlıkları.....	55
Tablo 4.12. Uzman 1'e göre teknik gereksinimlerin tereddütlü bulanık dilsel ifadelerle değerlendirilmesi.	56
Tablo 4.13. Teknik gereksinimlerin tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri.	57
Tablo 4.14. Teknik gereksinimlerin kolektif tereddütlü bulanık kümeleri.	58
Tablo 4.15. Bulanık direkt ilişki matrisi.....	59
Tablo 4.16. Normalize direkt ilişki matrisi.	60
Tablo 4.17. Toplam ilişki matrisi.	61
Tablo 4.18. Teknik gereksinimler arasındaki ilişki yoğunluğu ve etki faktörleri.	62
Tablo 4.19. Teknik gereksinimler ile müşteri istekleri arasındaki ilişkinin kolektif tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri.	64
Tablo 4.20. Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin karar matrisi.	65
Tablo 4.21. Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin normalize karar matrisi.....	67
Tablo 4.22. Kriter ağırlıklarıyla çarpılmış normalize karar matrisi.	68
Tablo 4.23. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.....	69
Tablo 4.24. Teknik gereksinimlerin oran metodu ile sıralanması.	70
Tablo 4.25. Ağırlıklandırılmış karar matrisinin referans noktaları.	71

Tablo 4.26. Referans noktası yaklaşımına göre elde edilen sonuçlar ve sıralama. ...	73
Tablo 5.1. Teknik gereksinimler için uygulamadan elde edilen durulaştırılmış değerler ve nihai sıralar.	80



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Kalite Evi Genel Yapısı.	16
Şekil 3.2. Üçgensel bulanık sayı grafiği.	19
Şekil 3.3. Tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesinin bulanık zarf temsiline dönüşümü süreci (Liu, Rodriguez, 2014).	21
Şekil 4.1. Kalite evinde tereddütlü bulanık kümeler ile ÇKKV tekniklerinin kullanımı.	36
Şekil 4.2. Ön ip kopuğu.	39
Şekil 4.3. Arka ip kopuğu.	39
Şekil 4.4. Kumaş yırtığı.	40
Şekil 4.5. Desen kayması.	40
Şekil 4.6. Lekeli kumaş.	40
Şekil 4.7. Ezilmiş ürün.	41
Şekil 4.8. Fazla parçalardan arındırılmamış ürünler.	41
Şekil 4.9. Ürün içine gizlenmiş yabancı cisim.	42
Şekil 4.10. İp topakları.	44
Şekil 4.11. Fikseleme işlemi.	45
Şekil 4.12. Hammadde seçimi.	46
Şekil 4.13. Tablo 3.3'deki üçgensel bulanık sayıların grafik üzerinde gösterimi.	52
Şekil 4.14. Neden-Sonuç diyagramı.	64
Şekil 5.1. Kalite evi.	79
Şekil 5.2. Teknik gereksinimler için elde edilen nihai sıralamaların grafik üzerinde gösterimi.	82



TEREDDÜTLÜ BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ ESASLI KALİTE FONKSİYON YAYILIMI YAKLAŞIMI VE BRODE ÜRETİMİNDE BİR UYGULAMA

ÖZET

Tekstil sektöründe yeni pazarların ortaya çıkmasıyla brode üretiminin önemi de artmıştır. Dış giyimden ev tekstiline kadar her ortamda kullanılabilen brode üretimine artan talepler doğrultusunda, tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar geçen süreçler içerisinde müşteri beklentilerini de beraberinde getirir. Bu çalışmada müşteri isteklerine en kısa sürede ve sonuç odaklı cevaplar verebilmek adına teknik gereksinimlerin özelliklerinin araştırılması ve önceliklerinin belirlenebilmesi için Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yönteminden yararlanılmıştır. Kalite Fonksiyon Yayılımı birçok imalat endüstrisinde, planlama yönetimi için kullanılan önemli bir araçtır ve kalite evi yapısı içinde müşteri isteklerini teknik gereksinimlere dönüştürür. Buna yaparken teknik gereksinimlerin kendi aralarında oluşabilen korelasyonu da dikkate alarak teknik gereksinimler ile müşteri istekleri arasındaki ilişkinin belirlenmesini amaçlar. Bununla birlikte geleneksel QFD metodu, uzman görüşlerinin toplanması, müşteri isteklerinin ağırlıklarının belirlenmesi ve teknik gereksinimlerin sıralanması konusundaki eksik yönleri tarafından çokça eleştirilmiştir. Bu çalışmada, bahsedilen eksikliklerin üstesinden gelebilmek ve bu yöntemin etkinliği arttırabilmek amacıyla, çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinin QFD yöntemine entegrasyonu sağlanarak uygulanmıştır. Buna ilaveten değerlendirme sürecindeki belirsizliğin yönetilebilmesi için Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesi (HFLTS) kullanılmıştır. Uygulama sırasında kriter ve alternatifleri belirlerken alanında uzman kişilerden oluşan bir grup kurulmuştur. Uzmanların değerlendirme yaparken görüşlerinin belirlenmesi konusunda kararsız kalmaları, tereddüt yaşamaları gibi durumlara karşın oluşacak belirsizliğin daha iyi yönetilebilmesi amacıyla tereddütlü bulanık dilsel ifadelerden faydalanılmıştır. Ayrıca tereddütlü bulanık dilsel ifadelerin bütünleştirilmesi için OWA operatörü kullanılmıştır. Bu çalışmada tereddütlü bulanık ortamda SWARA, DEMATEL ve MOORA yöntemlerini QFD yöntemine entegre edilmesi ile analitik bir model sunulmuştur. Kalite evi yapısının oluşumunda müşteri isteklerinin önem değerleri Tereddütlü Bulanık SWARA ile elde edilmiş ve böylece müşteri isteklerinin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Devamında müşteri isteklerini karşılamak üzere belirlenen teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek amacıyla Tereddütlü Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Sonrasında ise teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için Tereddütlü Bulanık MOORA yöntemleri uygulanmıştır. Bu çalışmada önerilen bu model tekstil sektöründe brode imalatı yapan bir fabrikada uygulanarak müşteri isteklerini karşılayabilecek nitelikte teknik gereksinimlerin belirlenmesi ve önem değerlerinin elde edilmesi ile birlikte önceliklendirilmesi sağlanmıştır.



QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT APPROACH BASED ON HESITANT FUZZY MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS AND AN APPLICATION IN EMBROIDERY PRODUCTION

SUMMARY

The importance of embroidery production has increased with the emergence of new markets in the textile industry. Embroidered fabrics used in outerwear, fancy clothing, and home textiles bring along customer expectations throughout the processes from design to production, in line with the increasing demand. Since embroidered fabrics are custom-made for customers, meeting their expectations is crucial. In this study, the Quality Function Deployment (QFD) method was used to investigate the characteristics of technical requirements and determine their priorities in order to provide customer-oriented and result-focused responses to customer demands in the shortest possible time. QFD is an important tool used in many manufacturing industries for planning management and transforms customer demands into technical requirements within the structure of the quality house. In doing so, it aims to determine the relationship between technical requirements and customer demands, taking into account the correlation that can be established among technical requirements. However, the traditional QFD method has been criticized for its shortcomings in gathering expert opinions, determining the weights of customer demands, and ranking technical requirements. QFD is a method that helps translate customer voice into engineering characteristics for a product or service, thus assisting in the development of the product or service and determining its features. In this study, in order to overcome the mentioned shortcomings and increase the effectiveness of this method, the integration of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques with the QFD method was implemented. Additionally, the Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS) were used to manage the uncertainty in the evaluation process. HFLTS is used to define decision-makers' preferences and transforms linguistic terms into mathematical forms. Triangular fuzzy numbers (TFN) are more commonly preferred due to their ease of use. It is possible for experts to express different opinions when evaluating the same alternative. This situation, which arises from their knowledge, experience, environment, problem solving approaches, cannot be ignored. If they are completely confident in their opinions, they can make an evaluation using a single linguistic term such as "the degree of occurrence of defects on the product surface is an important indicator." On the contrary, when they have doubts in their opinions, they can specify a range by saying "the degree of occurrence of defects on the product surface is between important and moderate" or they can make an evaluation with an open-ended statement by saying "the degree of occurrence of defects on the product surface is more than important". Based on this idea, the study is built on the foundation of the Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS) that have a flexible structure, which enables us to achieve the most suitable result and allows decision-makers to make multiple choices and describe their preferences. During the application, a group

of experts consisting of knowledgeable individuals in the field was formed to determine the criteria and alternatives. These experts were selected from employees of the company where the study was conducted. These individuals, referred to as decision-makers, contributed to the study by utilizing their knowledge, expertise, and experience in the industry and production. In order to better manage the uncertainty that may arise when determining the opinions of experts during the evaluation process and when they have doubts or hesitation, hesitant fuzzy linguistic expressions were utilized. Additionally, the OWA operator was used to aggregate hesitant fuzzy linguistic expressions. Linguistic expressions are transformed into Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS). The Ordered Weighted Aggregation (OWA) operator is used to obtain the fuzzy envelope of HFLTS by considering the opinions of all decision-makers. In this study, an analytical model was presented by integrating the SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis), DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory), and MOORA (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis) methods into the QFD method within the hesitant fuzzy environment. The importance values of customer requirements in the formation of the quality house structure were obtained using Hesitant Fuzzy SWARA, thus ensuring the weighting of customer requirements. The main difference between the hesitant fuzzy SWARA method and the traditional SWARA method lies in the use of hesitant fuzzy linguistic term sets. With using HFLTS, decision-makers can evaluate criteria using several linguistic terms to eliminate uncertainties they face during evaluation. Subsequently, the Hesitant Fuzzy DEMATEL method was used to determine the relationship between the identified technical requirements to meet customer demands. The key feature of the DEMATEL method is to propose the most influential alternative among the alternatives. Hesitant fuzzy sets are used to cope with uncertainties arising from human judgments during the evaluation of these alternatives. Therefore, in this study, the Hesitant Fuzzy DEMATEL method was employed to determine the relationship between technical requirements. Finally, the Hesitant Fuzzy MOORA methods were applied to evaluate the impact of technical requirements on customer requirements. This method supports the solution of decision-making problems by prioritizing and ranking alternatives. It is recommended to use hesitant fuzzy sets in conjunction with it to cope with uncertainties that may arise during decision-making. In this study, the Ratio Method and Reference Point approach of the Hesitant Fuzzy MOORA technique were utilized. The proposed model was implemented in a factory that manufactures embroidery in the textile sector to identify technical requirements that can meet customer demands and to prioritize them. The use of HFLTS allows decision-makers to express their evaluations more flexibly under uncertainty. Based on this, the aggregation of hesitant fuzzy linguistic evaluations with OWA was achieved. The Hesitant Fuzzy SWARA technique has the ability to evaluate decision-makers' linguistic expressions in calculating the weights of customer requirements, as it is an expert-oriented method that allows prioritization under uncertainty. The Hesitant Fuzzy DEMATEL technique was used to obtain the impact weights of technical requirements. It also has the ability to demonstrate the cause-effect relationship of technical requirements in the cause-effect diagram. The MOORA technique is a developed method for determining the prioritization of alternatives. The Hesitant Fuzzy MOORA technique has been an effective tool in determining the impact of technical requirements on customer requirements in hesitant situations in this study. This thesis aims to fulfill ten different customer demands with fifteen specified technical requirements. It includes an applicable method for

businesses engaged in embroidery production in the textile sector. It enables the management of uncertainties on decision-makers through hesitant linguistic expressions. Its flexibility in usage allows for easy integration with decision-making techniques. Furthermore, the utilization of the OWA operator in the study contributes to the effective management of decision-makers preferences in evaluation input data. The integrated QFD methodology with decision-making techniques in the hesitant fuzzy environment, presented in this thesis, provides researchers with a comprehensive and systematic approach that can be applied to enhance product performance and customer satisfaction.



1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişmekte olan endüstriyel ürünlerdeki yenilikler ile müşteri isteklerine cevap verebilmek, pazar koşullarına uyum sağlayabilme kabiliyeti ve rekabet açısından önemlidir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan tekniklerden biri olan Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD), müşteri isteklerini dinleyerek ürün geliştirmede odaklanılması gereken teknik gereksinimlere cevap verebilmek için kullanışlı bir yöntem haline gelmiştir (Vinodh ve Chintha, 2009).

Küresel rekabet ortamında müşteri sesinin dikkatlice dinlenerek teknik gereksinimlere çevrilmesi işletmeler için hayati önem taşımaktadır. Bu durum üretim organizasyonlarının kalite yönetimi konusunda daha fazla uygulama çalışmaları yapmasını tetiklemiştir. Kalite evi, müşterilerin sesine cevap verme ilkesine dayalı, yüksek kalitede ürünler geliştirme temelinde önerilen bir yöntemdir. Bu hizmet doğrultusunda QFD' nin uygulama alanları için kesin bir sınır olmamakla beraber, ürün geliştirme, kalite yönetimi, müşteri istekleri analizi, ürün tasarımı, planlama, mühendislik, karar verme, yönetim, maliyetlendirme gibi daha birçok alanda kullanılabilir (Chang ve Wu, 2002).

Üretim organizasyonlarını değerlendirirken sayısal veriler kullanılmasına rağmen, uzmanlar genellikle değerlendirmelerini dilsel ifadelerle sunmayı tercih ederler. Buna karşılık müşteri isteklerinin önem düzeylerinin belirlenmesi, müşteri istekleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkinin tespit edilmesi ve alternatiflerin değerlendirmelerini yaparken tam sayısal değerlerle ifade edebilmeleri uzmanlar için oldukça zordur. Bulanık küme teorisi, dilsel ifadelerin dönüştürülmesinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Onar ve ark, 2016).

Geleneksel bulanık kümelerde üyelik fonksiyonunu belirlemek bir uzman görüşüne başvurmak veya o süreç ile ilgili uzmanlık bilgisinin alınması ile mümkün olur. Bir karar probleminde karar vericilerin, kriterlerin hangi kümeye ait olduğunu belirlerken kararsız kalması, problemin doğru tanımlanmasını zorlaştırabilir. Böyle bir durum üzerine Torra 2010 yılında yapmış olduğu tereddütlü bulanık kümeler çalışması ile bulanık küme teorisine bir adım daha değer kazandırmıştır. Bunun ardından

Rodriguez ve ark. (2012) tereddütlü bulanık kümelerin dilsel ifadeleri üzerine yoğunlaşarak, araştırmacıların kullanımına sunmuştur. Zaman içerisinde araştırmacılar tarafından tereddütlü bulanık kümeler üzerine birçok çalışma yapılmış ve tereddütlü olma halinin yansıtıldığı sezgisel bulanık kümeler, aralık değerli tereddütlü bulanık kümeler gibi birden fazla varyantı araştırmacıların çalışmalarına kaynak sunulmuştur.

Uzmanların aynı alternatifini değerlendirirken farklı görüş bildirmeleri olası bir durumdur. Sahip oldukları bilgi ve deneyim, yetiştikleri ortam ve problem çözme yaklaşımlarından kaynaklanan bu durum göz ardı edilemez bir vakadır. Eğer görüşlerinden tamamıyla eminlerse “ürün yüzeyinde oluşan ezik olma derecesi önemli bir göstergedir” gibi tek bir dilsel terim kullanarak değerlendirme yapabilirler. Aksine, görüşlerinde tereddüt ettikleri zaman “ürün yüzeyinde oluşan ezik olma derecesi önemli ve orta düzey arasındadır” diyerek aralık belirtebilir ya da “ürün yüzeyinde oluşan ezik olma derecesi önemli’ den fazladır” diyerek ucu açık bir yargıyla değerlendirme yapabilirler. Bu düşünceye dayanarak en uygun sonucun elde edilebileceği ve aynı zamanda esnek bir yapıya sahip Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesi (HFLTS-Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets) yapılan çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, uzman görüşlerinin değerlendirilmesinde Sıralı Ağırlıklı Bütünleştirme (OWA) operatörü kullanılmıştır. Bu operatör, birden fazla görüşün toplanmasını sağlar ve bu işlem, tereddütlü bulanık kümelerin birleştirilmesine dayanır (Viedma ve ark., 2004).

Müşteri isteklerine karşılık gelen teknik gereksinimlerin belirlenmesi önemli bir konudur. Bununla birlikte müşteri sesine cevap verebilme yeteneğine sahip QFD teknik gereksinimlerin önceliklendirilmesi için etkili bir yöntemdir. Bu yöntem müşteri sesinin dinlenmesi ile başlar ve daha sonra bu isteklere karşılık teknik gereksinimler belirlenerek, müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arası ilişki ortaya çıkartılır. Bu çalışmada QFD tekniğini adımlarının uygulamasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden yararlanılarak kalite evi inşa edilmiştir.

Bu çalışmada tereddütlü dilsel terim setlerini kullanan SWARA, DEMATEL ve MULTIMOORA ÇKKV tekniklerinin QFD ye entegre edilmiş yeni bir modeli geliştirilmiştir. İlk olarak HFLTS ile karar vericilerin belirsiz görüşleri ile başa çıkmak

amaçlanmıştır. Daha sonra müşteri isteklerinin derecelendirilmesinde HF-SWARA, teknik gereksinimlerin korelasyonunu ölçmek için HF-DEMATEL ve teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisini belirlemek için HF-MOORA tekniklerinden yararlanılmıştır. Son olarak geliştirilen bu model tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir firmada uygulanmıştır.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra ikinci bölümde süreç iyileştirme amaçlı kullanılan QFD ve ÇKKV teknikleri ile ilgili yapılan çalışmalar, bulanık küme ve tereddütlü bulanık kümelerle dair literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan materyal ve metotlar tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında yapılan uygulamanın anlatımına yer verilmiştir ve son olarak elde edilen sonuçlar tartışılırken, bu sonuçlar üzerine QFD ile ilişkili alternatif yöntemler ile karşılaştırmalı bir analiz sunulmuştur.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tekstil sektörü diğer imalat endüstrilerine göre daha çok müşteri odaklı bir yapıya sahiptir. Bu sektörde faaliyet gösteren işletmeler, müşterilerin beklentilerini doğru tespit etmek ve bunları kalite politikalarına nasıl entegre edeceği konusunda, küresel rekabet ortamında birbirleriyle mücadele vermektedir. Bu mücadele esnasında müşteri memnuniyetinin sağlanması için kalitenin öznitelikleri esas alınarak teknik gereksinimlerin belirlenmesi oldukça önemli bir husustur. Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD), müşteri taleplerini teknik gereksinimlere dönüştürme aşamasında, kalitenin özniteliklerine sahip çıkmak için kullanılan etkili bir araçtır. Literatür başlığı altında sırasıyla, tekstil sektöründe yapılan QFD çalışmaları, ÇKKV teknikleri ile desteklenmiş QFD çalışmaları, Tereddütlü Bulanık Kümelerin ÇKKV teknikleriyle birlikte kullanıldığı çalışmalar ve son olarak Tereddütlü Bulanık Kümelerin ÇKKV teknikleriyle, Kalite evinde beraber kullanıldığı çalışmalar araştırılmış ve aşağıda verilmiştir.

Erdil (2019), tekstil sektöründe müşteri isteklerini ve teknik gereksinimleri birbirine bağlamak için Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemini kullanmıştır. Türkiye’de üretilen tekstil ürünlerinin sürdürülebilirlik özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır.

Aydın ve ark. (2023), Hazır giyim endüstrisinde, müşteri beklentilerini belirlemek ve teknik özellikleri önceliklendirmek için kalite fonksiyon yayılımından faydalanmışlardır. Müşteri memnuniyetini esas alarak, doğrusal programlama tabanlı bir kalite evi inşa etmişlerdir.

Rajamanickam ve ark. (2009), tekstil ürünlerinin tasarımı için gerekli performans kriterlerini, kumaş ve giysi yapısı, üretimde kullanılacak malzemelerin nitelikleri ve kullanılacak imalat teknolojilerini belirleyebilmek amacıyla QFD ile eş zamanlı mühendislik araçlarını entegre ederek yeni bir tasarım geliştirme metodolojisi sunmuşlardır.

Salahuddin ve Romeo (2020), giyilebilir teknolojilerin, müşteri ihtiyaçlarını hangi düzeyde karşıladığını tespit etmek amacıyla kalite ve teknik niteliklere odaklanmışlardır. Müşteriler ve üreticiler arasındaki iletişimi sağlayabilmek adına

müşteri sesini dinlemeyi sağlayan bir araç olarak kullanılan Kalite Fonksiyon Yayılımından faydalanmışlardır.

Hergeth (2004), tekstil ve konfeksiyon endüstrisinde yeni ürünler geliştirmek amacıyla işletmelerin baskı altında olduğunu tespit etmiştir. Müşteri memnuniyetini üst seviyelerde tutabilmek için kalite fonksiyon yayılımı kullanarak ürün geliştirme döngüsünü kısa sürede gerçekleştirmeyi hedeflemiştir. Bu kapsamda başarılı olacak bir şirketin rekabet ortamında daha güçlü bir davranış sergileyeceğini savunmuştur.

Süder (2003), tekstil sektöründe kumaş üretimi yapan bir firmada Kalite Evinden yararlanarak, kumaşın yapısının değişmesi yönünde müşteri beklentilerini analiz ederek, bu isteklere cevap verebilmek adına teknik gereksinimleri belirlemeyi amaçlamıştır. Müşteri isteklerinin ağırlıklandırılmasında Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) tekniğinden faydalanmıştır.

Aslan ve Gries (2014), tekstil sektöründe kullanılan üretim makinalarının, pazarlama stratejilerinin ve simülasyon araçlarının geliştirilmesi için QFD tekniğinin nasıl uygulanması gerektiği üzerine bir çalışma yaparak müşteri beklentilerini karşılamayı hedeflemişlerdir.

Atasağun ve ark. (2019), Türkiye’de iç giyim endüstrisinde tüketicilerin sergiledikleri davranışları analiz etmek amacıyla müşteri beklentilerini ve etki faktörlerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda elde ettikleri veriler doğrultusunda, QFD tekniğini kullanarak iç giysi üretiminde en etkili faktörleri belirlemiş ve müşteri beklentilerine göre ürün gelişimine yardımcı olmuşlardır.

Tatman (2020), müşteri beklentilerine uygun bornoz tasarlayabilmek için AHP ve QFD tekniklerini kullanmışlardır. Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ile müşteri beklentilerini önceliklendirerek, tüketicilerin bornoz ürünlerinde en çok hangi özelliklere dikkat ettiğini tespit ederek bu özellikleri kalite evi ile çözümlenmiştir.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde kalite evinin farklı endüstrilerde de kullanımının mevcut olduğu ve genellikle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinin kullanımıyla desteklendiği tespit edilmiştir. QFD tabanlı karar verme problemlerinde müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkinin bulanık setler ile ölçülmesi, kurulan modelin belirsizliklerle başa çıkabilme yeteneğinin gelişmesine katkı sağlamıştır.

Vinodh ve Chintha (2010), elektronik anahtar üretiminde bir vaka çalışmasını ele alarak üretim organizasyonlarında yalın araçların kullanılmasının önemli bir husus olduğunu savunmuşlardır. Bu savunma kapsamında müşteri isteklerini, teknik özniteliklere dönüştürürken yaygın olarak kullanılan kalite fonksiyon yayılımından faydalanmışlardır. Bulanık küme biçiminde uzman değerlendirmelerine dayalı QFD yöntemini uygulamışlardır.

Reda ve Dvivedi (2022), imalat endüstrisinde bir üretim hattını ele alarak, bu hatta yalın araçların kullanımı için Bulanık QFD ve Bulanık FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) yöntemlerini kullanmışlardır. Üretim hattında oluşan atıkları müşteri istekleri olarak ele almışlar ve Bulanık FMEA ile atıkları önceliklendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre teknik gereksinim olarak belirlenen yalın araçlar arasında seçim yapmışlardır.

Younesi ve Roghanian (2015), bir şirketin ürettiği ürün için en iyi tasarım kriterini belirlemeye yönelik bulanık ortamda entegre bir QFD, DEMATEL ve ANP (Analytic Network Process – Analitik Ağ Süreci) yöntemlerini kullanmışlardır. Müşteri istekleri arasındaki korelasyonu bulmak için Bulanık DEMATEL, teknik gereksinimlerin ağırlıklarını belirleyebilmek için bulanık ANP yöntemlerini kullanmışlardır.

Wang (2015), iş zekası kullanıcılarını daha iyi değerlendirmek için pazarlama gereksinimlerine karşılık gelen teknik öznitelikleri tespit ederek bulanık ÇKKV tabanlı QFD yöntemini önermişlerdir. İş zekası satıcılarının performans puanlarını belirlemek için bulanık Delphi (grup tahmin yöntemi), müşteri istekleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için Bulanık DEMATEL ve iş zekası sistemlerini önermek için Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Proses) kullanmışlardır.

Bulanık kümelerin zaman içerisinde gelişerek alt kümelerinin oluşumuyla kullanım alanlarının genişlediğini vurgulamak amacıyla kaynak araştırması yapılmıştır. Özellikle veri ya da bilgi eksikliğinden kaynaklanan problemlerde, üyelik derecesini oluştururken kullanılan tereddütlü bulanık kümeler, genellikle karar vericilerin, tercihlerini sunarken farklı görüşlere sahip olması ve birden fazla değer arasında kararsız kalması durumunda başvurulmuş bir yöntemdir. Literatürde Tereddütlü Bulanık Kümelerin ÇKKV teknikleriyle birlikte kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

Xu ve ark. (2022), entegre enerji sistemlerinde teknoloji, siyaset, ekonomi ve toplum sınıflarından 16 risk faktörü belirlemişler ardından tereddütlü bulanık kümeler,

DEMATEL ve Kümülatif Olasılık Teorisi (CPT) yaklaşımlarını birleştirerek belirlenen riskler üzerinde değerlendirme çalışması yapmışlardır.

Tu ve ark. (2021), bölgesel su kaynakları koordinasyonunu sürdürülebilirlik çatısı altında inceleyerek bölgesel performans düzeyleri hakkında önerilerde bulunmuşlardır. Göstergelerin önem yargılarını belirlemede Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesi, indikatör ağırlıklarının belirlenmesinde Aralık Değerli Tereddütlü Bulanık DEMATEL ve bölgeler arası karşılaştırma yapmak için VIKOR yönteminden faydalanmışlardır.

Asan ve ark. (2018), çalışmalarında klasik DEMATEL yöntemini genişletmeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda bulanık ortamda üyelik derecelerinin atanmasında ortaya çıkabilecek insan şüphesinden kaynaklanan belirsizlikleri göz ardı edecek bir yöntem geliştirmişlerdir. Kararsızlıkları kısmen veya tamamen ortadan kaldıracabilecek bir yöntem olan Aralık Değerli Tereddütlü Bulanık metodolojisinden faydalanarak DEMATEL yöntemini klasik, bulanık ve aralık değerli tereddütlü bulanık ortamlarda inceleyerek genişletmişlerdir.

Mardani ve ark. (2020), Covid-19 pandemisi sırasında dijital sağlık çalışmalarının kritik özelliklerini değerlendirmek ve sıralamak için SWARA ve WASPAS (Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi) tekniklerini kullanarak Tereddütlü Bulanık dilsel terimler ile yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda dijital sağlık çalışmalarında karşılaşılan problemlerin giderilmesine yönelik önerilerde bulunmuşlardır.

Saraji ve ark. (2022), Covid-19 pandemisinde çevrimiçi eğitimlerde karşılaşılan zorlukları ele almışlardır. Anket çalışması yaparak sisteme gerekli olan bilgiyi toplamışlardır. Toplanan bilgiler doğrultusunda karşılaşılan zorlukların önemini değerlendirmek için SWARA tekniğini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre eğitim kurumları arasında sıralama yapmak için Tereddütlü Bulanık MULTIMOORA yönteminden faydalanmışlardır. Çalışmanın sonucunda çevrimiçi eğitimin zorlukları olduğunu savunmuşlardır.

Frangqiu ve ark. (2022), enerji sistemleri üzerine risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. Risk faktörlerini analiz etmek amacıyla Tereddütlü Bulanık kümelerden faydalanarak DEMATEL ve CPT yaklaşımlarını önermişlerdir. Risk faktörleri

arasındaki etki ilişkilerini ve subjektif ağırlıklarını belirlemişlerdir. Uygulama çalışmasının sonucunda risk faktörlerini azaltmaya yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir.

Rani ve ark. (2020), sürdürülebilir tedarikçi seçimi için nitel ve nicel kriterleri tereddütlü bulanık dilsel terim kümelerinden faydalanarak uzman değerlendirmelerine sunmuşlardır. Tereddütlü bulanık SWARA yönteminde kriter ağırlıklarını belirleyip daha sonra CORPAS (Complex Proportional Assessment – Karmaşık Orantılı Değerlendirme) yöntemiyle sürdürülebilir tedarikçileri değerlendirip, en iyi seçimi yapmayı amaçlamışlardır.

Karamaşa (2022), insanların kamu yönetimini güven duygusu üzerine bir uygulama çalışması yapmıştır. Güven duygusunun öne çıkan kriterlerini Tereddütlü Bulanık ortamda SWARA tekniği ile değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda kriterlerin önem düzeyini belirlemiştir.

Literatürde yapılan tüm incelemeler sonucunda Tereddütlü Bulanık Kümelerin ÇKKV teknikleriyle, Kalite evinde beraber kullanıldığı çalışmalar araştırılmıştır. Araştırma sonucunda Tereddütlü bulanık ortamda ÇKKV teknikleri destekli QFD çalışmalarına az sayıda rastlanmıştır. Tespit edilen bu çalışmalar aşağıdaki paragraflarda özetlenmiştir.

Onar ve ark. (2016), QFD için dilsel terim kümelerine dayanan yeni bir tereddütlü bulanık ÇKKV yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemin, bulanık ortamda uygulanması ile geleneksel QFD yaklaşımından daha verimli olduğunu savunmuşlardır. Aynı zamanda karar vericilerin birden fazla dilsel değerlendirmelerini bir araya getirebilme yeteneğine sahiptir. Müşteri isteklerinin ağırlıklandırılmasında Tereddütlü Bulanık AHP tekniğini uygulamışlardır. Çalışmanın doğruluğunu test etmek amacıyla duyarlılık analizi ile sistemin güvenilirliğini test etmişlerdir.

Wu ve Wang (2016), elektrikli araçların geliştirilmesine yönelik tereddütlü bulanık ortamda QFD yönteminden faydalanmışlardır. Müşteri taleplerini karşılıklı analiz etmek ve ağırlıklarını belirlemek için Tereddütlü Bulanık DEMATEL, müşteri özelliklerini önceliklendirmek için Tereddütlü Bulanık VIKOR kullanmışlardır.

Dinçer ve ark. (2019), enerji sektöründen doğan müşteri ihtiyaç boyutlarının değerlendirilmesi için Tereddütlü Bulanık dilsel terimler kümesinden faydalanarak bir kalite evi inşa etmişlerdir. Müşteri isteklerinin ağırlıklandırılmasında Tereddütlü Bulanık AHP, ilişki matrisinin oluşturulmasında Tereddütlü Bulanık DEMATEL ve

alternatifler arasındaki sıralamayı belirleyebilmek için ise Tereddütlü Bulanık TOPSIS tekniklerinden faydalanmışlardır.

Büyüközkan ve Güler (2021), verimli tedarik zinciri analitiği ile araç değerlendirmesi için bir entegre değerlendirme çerçevesi önermişlerdir. Tereddütlü bulanık dilsel terimlerin bulanık zarf tekniği ile AHP ve MULTIMOORA yöntemlerini ile beraber kullanmışlardır. Kriter ağırlıklarını Tereddütlü Bulanık AHP yöntemi ile hesaplamışlardır. Daha sonra MULTIMOORA yöntemiyle bulanık zarf tekniğini birleştirerek farklı tedarik zinciri analitikleri arasında sıralama yapmışlardır. Son olarak VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) ile önerilen sistemin tutarlılığını ispat etmişlerdir.

Chen ve ark. (2021), CNC takım tezgahında kalite özelliklerini QFD ile geliştirmek amacıyla yeni bir entegre Çok Kriterli Karar Verme yöntemi önermişlerdir. Bu önermede karar vericilerin dilbilimsel görüşleriyle başa çıkabilmek için Tereddütlü Bulanık Dilsel Terim Kümelerini kullanmışlardır. Uygulama çalışmasında müşteri gereksinimlerinin ağırlıklarını hesaplamak için entropi, kalite özellikleri arasındaki neden-sonuç ilişkisini belirleyebilmek için Tereddütlü Bulanık DEMATEL ve etki ağırlıklarını önceliklendirmek için Tereddütlü Bulanık MOORA yöntemlerini kullanmışlardır.

Kaya ve Erginel (2020), sürdürülebilir havaalanı tasarımı için kalite fonksiyon yayılımından faydalanmışlardır. Yolcu gereksinimlerinin önceliklerini, tasarım özneliklerini ve ilişki matrisini değerlendirirken insan yargılarından doğacak belirsizliklerle başa çıkabilmek için tereddütlü bulanık terimleri kullanmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında tereddütlü bulanık SWARA yöntemi ile yolcu gereksinimlerinin önem derecelerini belirlemişlerdir. Daha sonra Tereddütlü Bulanık QFD tekniği ile belirlenen önem ağırlıklarını kullanarak sürdürülebilir tasarım gereksinimlerini önceliklendirmişlerdir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda tekstil endüstrisinde brode imalatı üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında hem brode imalatına yeni bir yaklaşım getirmek hem de tereddütlü bulanık kümelerden faydalanarak QFD tekniğinin SWARA, DEMATEL ve MOORA teknikleri ile entegrasyonu sağlanarak literatüre katkı sunulması amaçlanmıştır.

Literatür araştırmasının özeti Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Literatür araştırması özeti.

Yıl	Yazar	Uygulama Alanı	Küme Çeşidi	Teknik
2003	Süder	Kumaş yapılarının insan vücuduna uyumu	-	AHP, QFD
2004	Hergeth	Konfeksiyon endüstrisinde yeni ürünler geliştirmek	-	QFD
2009	Rajamanickam ve ark.	Tekstil ürünlerinin tasarımı için gerekli performans kriterlerini belirlemek	-	Eş Zamanlı Mühendislik, QFD
2014	Aslan ve Gries	Tekstil sektöründe kullanılan üretim makinalarının geliştirilmesi	-	QFD
2019	Erdil	Sürdürülebilir tekstil ürünleri üzerinde müşteri isteklerinin değerlendirilmesi	-	QFD
2019	Atasağun ve ark.	İç giyim endüstrisinde tüketicilerin sergiledikleri davranışları analiz etmek	-	QFD
2020	Salahuddin ve Romeo	Giyilebilir teknolojiler için müşteri beklentilerin değerlendirmek	-	QFD
2020	Tatman	Ev tekstili ürünlerinde müşteri beklentilerine çözüm üretmek	-	AHP, QFD
2023	Aydın ve ark.	Hazır giyim endüstrisinde müşteri beklentilerini karşılamak	-	Doğrusal Programlama, QFD
2010	Vinodh ve Chintha	Elektronik anahtar üretiminde yalın araçların kullanımı	Bulanık	QFD

Tablo 2.1. (Devamı) Literatür araştırması özeti.

Yıl	Yazar	Uygulama Alanı	Küme Çeşidi	Teknik
2015	Younesi ve Roghanian	Ürün tasarımının geliştirilmesi	Bulanık	QFD, DEMATEL, ANP
2015	Wang	İş zekası sistemlerinde kullanıcı puanlarını belirlemek	Bulanık	QFD, DEMATEL, AHP
2016	Wu ve Wang	Elektrikli araçların geliştirilmesi	Tereddütlü Bulanık	QFD, DEMATEL, VIKOR
2016	Onar ve ark.	Kalite Fonksiyon Yayılımının farklı ortamlarda incelenmesi	Tereddütlü Bulanık	QFD, AHP
2018	Asan ve ark.	ÇKKV yöntemlerinin bulanık ortamlarda genişletilmesi	Aralık Değerli Tereddütlü Bulanık	DEMATEL
2019	Dinçer ve ark.	Enerji sektöründe müşteri ihtiyaç boyutlarının değerlendirilmesi	Tereddütlü Bulanık	DEMATEL, TOPSIS
2020	Mardani ve ark.	Covid-19 pandemisinde dijital sağlık çalışmalarının önemi	Tereddütlü Bulanık	SWARA, WASPAS
2020	Rani ve ark.	Sürdürülebilir tedarikçi seçimi	Tereddütlü Bulanık	SWARA, CORPAS
2020	Kaya ve Erginel	Sürdürülebilir havaalanı tasarımı	Tereddütlü Bulanık	QFD, SWARA
2021	Tu ve ark.	Sürdürülebilir bölgesel su kaynaklarının performans düzeylerini belirlemek	Tereddütlü Bulanık	DEMATEL, VIKOR
2021	Chen ve ark.	CNC takım tezgahlarındaki kalite özelliklerini önceliklendirmek	Tereddütlü Bulanık	DEMATEL, MOORA

Tablo 2.1. (Devamı) Literatür araştırması özeti.

Yıl	Yazar	Uygulama Alanı	Küme Çeşidi	Teknik
2021	Büyükozan ve Güler	Tedarik zinciri analitiği ile araç değerlendirme	Tereddütlü Bulanık	DEMATEL, AHP, VIKOR
2022	Xu ve ark.	Entegre enerji sistemlerinde risk analizi	Tereddütlü Bulanık	DEMATEL, CPT
2022	Reda ve Dvivedi	Üretim hattında oluşan atıkların, yalın araçlar ile giderilmesi	Bulanık	QFD, FMEA
2022	Saraji ve ark.	Covid-19 pandemisinde çevrimiçi eğitimin zorlukları	Tereddütlü Bulanık	SWARA, MULTIMOORA
2022	Frangqiu ve ark.	Enerji sistemleri üzerine risk değerlendirme	Tereddütlü Bulanık	DEMATEL, CPT
2022	Karamaşa	Vatandaşların kamu yönetimine olan güveninin araştırılması	Tereddütlü Bulanık	SWARA



3. MATERİYAL VE METHOD

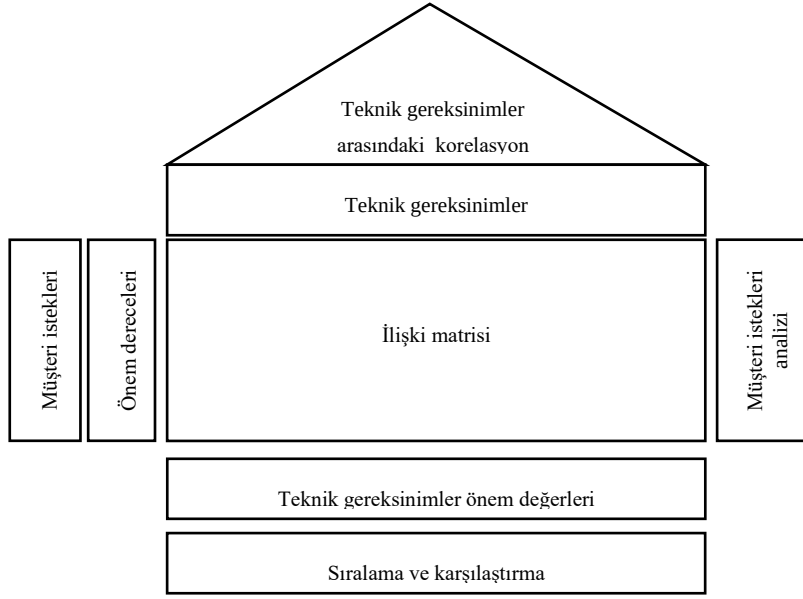
3.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD-Quality Function Deployment)

QFD ilk olarak Japonya’da 1960’ların sonunda Yoji Akao tarafından Mitsubishi tersanesinde geliştirilmiştir (Akao, 1972). Daha sonra Toyota ve tedarik zinciri dahil olmak üzere diğer şirketler tarafından benimsenmiştir. 1980’lerin başında ABD’de başlıca üç büyük otomotiv şirketi ve birkaç elektronik üreticisi tarafından tanıtılan bu yöntem Ford, Toyota, Fca Toshiba, Apple, IBM, Sony, Fujitsu gibi büyük markalar tarafından da kullanılmaya başlanmıştır. QFD’nin kabulü ve büyümesi ilk zamanlarda yavaşta olsa kısa zamanda popülerlik kazanarak günümüzde sağlık, üretim ve hizmet sektörlerinde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır (Kiran, 2017).

İnsana hizmet eden sektörlerin ilk hedefi müşteri memnuniyetidir. Amaç ve hedeflerimizi belirlerken müşteri ihtiyaçlarından yola çıkarak, QFD metodundan faydalanabiliriz.

QFD müşteri sesini bir üretim veya hizmet için mühendislik özelliklerine dönüştürmeye yardımcı olan bir yöntemdir. Ürün veya hizmetin geliştirilmesine, karakteristiğinin özelliğinin belirlenmesine yardımcı olur.

Kalite evinin uygulama aşamalarında ilk olarak müşteri beklentileri ile sisteme veri girişi sağlanır ve bu veriler arasında karşılaştırma yapılarak önem dereceleri belirlenir. Daha sonra müşteri beklentilerini yerine getirebilecek teknik gereksinimler araştırılarak, teknik gereksinimler arasında ikili karşılaştırma yapılır ve korelasyon matrisi oluşturulur. Son olarak teknik gereksinimlerin müşteri beklentileri üzerine etkisi hesaplanarak, çatı matrisi ilişki matrisine etki ettirilir ve teknik gereksinimler arası karşılaştırmalı bir sıralama elde edilir. Kalite evinin genel yapısı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kalite Evi Genel Yapısı.

Müşteri isteklerini, ölçülebilen performans değişikliklerine dönüştürüp, optimize edilmiş bir süreç ve iyi bir dağıtım odaklı ve takım çalışmasını geliştiren bir kalite metodolojisi (Sevük, 1998). Bu metodoloji ile süreçte oluşan problemler azalmış, ürün geliştirme süreci kısalmış ve karlılıkta artış sağlanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, karar vericilerin tereddütlü bulanık ortamda yapılandırılmış bir metodoloji içinde müşteri isteklerini karşılayabilecek teknik gereksinimleri belirlemelerine yardımcı olmaktır. Tereddütlü bulanık dilsel terimlerin tercih edilmesi ile karar vericilerin kararsız görüşleri ile başa çıkılabilir. Yapılan çalışmanın QFD temelinde uygulanması teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisini öne çıkarmada oldukça önemli bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada QFD'yi ÇKKV yöntemleri ile entegre ederek daha başarılı sonuçlar elde etmek amaçlanmıştır.

QFD metodunun işlem adımları aşağıda açıklanmıştır (Vinodh ve Chintha, 2010).

1. Adım : Müşteri isteklerinin ağırlıkları (w_j) eşitlik 3.1 kullanılarak ilişki matrisi değerleri (R_{ij}) ile çarpılır (Vinodh ve Chintha, 2010).

$$RI_j = \sum_{i=1}^n w_i \otimes R_{ij} , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3.1)$$

2. Adım : Kalite evi yapısında teknik gereksinimler arasındaki korelasyon ($T_{jj'}$) eşitlik 3.2 kullanılarak ilişki matrisine etki ettirilir (Vinodh ve Chintha, 2010).

$$skor_j = RI_j \oplus \sum_{j' \neq j} T_{jj'} \otimes RI_{j'}, \quad T: \text{çatı korelasyonu} \quad (3.2)$$

3.2. Bulanık Kümeler

Aristo mantığı olarak ifade edilen bir önermenin sadece doğru-yanlış, var-yok, siyah-beyaz gibi iki değerli bir sistem içerisinde değerlendirilmesinin gerçek hayat problemlerini modellemekten uzak kalması nedeniyle Zadeh (1965) tarafından bulanık küme teorisi önerilmiştir. Klasik küme teorisinde bir nesne, bir kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir. Bu sözel ifade matematiksel olarak ifade edildiğinde bir nesne bir kümenin elemanı ise “1” değilse “0” değerini alır. Bulanık mantık teorisinde ise bir nesnenin kümeye aitlik derecesi vardır ve bu değer $[0,1]$ arasında değişkenlik gösterebilir (Zadeh, 1965). Zaman içerisinde araştırmacılar tarafından, kümenin elemanlarının kümeye ait olup olmadığı konusunda herhangi bir yargıya sahip olmamasının da derecesinin belirlenmesi ile ilgili çeşitli bulanık küme teorileri geliştirilmiştir (Altanassov, 1986). Bulanık kümelerin zaman içerisindeki değişimi aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bulanık küme çeşitlerinin tarihsel gelişimi.

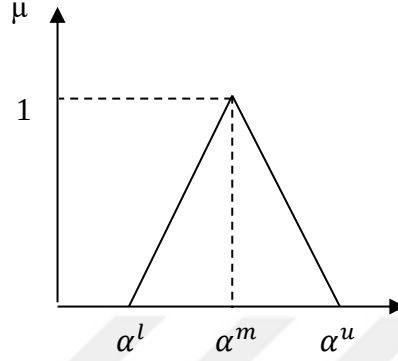
YAZAR	KÜME ADI	AÇIKLAMA
Zadeh (1965)	Klasik bulanık küme	Üyelik fonksiyonu $[0,1]$ arasında herhangi bir değer alır, iki boyutludur
Zadeh (1975)	Tip-2 bulanık küme	Klasik bulanık kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonunun üç boyutlu olarak tanımlanmış halidir
Zadeh (1975), Jahn (1975)	Aralık değerli bulanık küme	Tip-2 bulanık kümelerin özel bir hali olup, uzmanlar tarafından üyelik derecesinin alt ve üst sınırı belirlenir ve esneklik kazandırılır
Altanassov (1986)	Sezgisel bulanık küme	Karar vericiler tarafından bir elemanın kümeye ait olma ve olmama derecelerinin tam olarak belirlenemediği durumlarda problemi modellemek için bir tereddüt (kararsızlık) derecesi belirlenir
Yager (1986)	Bulanık çoklu küme	Bir küme içerisinde tekrar eden aynı elemanın olabileceği mantığıyla önerilmiştir. Kaç kere tekrarlandığını gösteren bir sayma fonksiyonu önerilmiştir

Tablo 3.1. (Devamı) Bulanık küme çeşitlerinin tarihsel gelişimi.

YAZAR	KÜME ADI	AÇIKLAMA
Zhang (1994)	Bipolar küme	Üyelik fonksiyonu bir kısıt ve bu kısıtın karşı kısıtının memnuniyet derecesi ile belirlenir. $[0,1]$ ile $[-1,1]$ arasında değer alır
Smarandache (1998)	Nötrosofik küme	Üye olma derecesi, doğru olma alt derecesi; tereddüt derecesi, belirli olmama alt derecesi; üye olmama derecesi, yanlış olma alt derecesini temsil eder
Garibaldi ve Özen (2007)	Durağan olmayan bulanık küme	Tip-2 bulanık kümelerin uzantısıdır. Üç boyutlu üyelik fonksiyonuna sınırlandırma getirilmiş halidir
Torra (2010)	Tereddütlü (kararsız) bulanık küme	Bir elemanın kümeye ait olma derecesinin birden fazla değere sahip olabileceği mantığını esas alarak geliştirilmiştir
Yager (2013)	Pisagor bulanık küme	Sezgisel bulanık küme mantığını temel alan uzman, bir elemanın kümeye ait olma ve olmama derecelerini belirler ancak bunların karelerinin toplamı 1'i geçemez. Bu sayede değerlendirme ölçeği genişler
Chong (2014)	Resimli bulanık küme	Sezgisel bulanık kümenin uzantısıdır. Bir elemanın kümeye ait olup olmama, çekimsiz ve reddetme derecelerini tanımlar
Yager (2017)	q seviyeli bulanık küme	Aitlik derecesi q.dereceden üsleri alınarak tanımlanır
Kutlu, Gündoğdu ve Kahraman (2019)	Küresel bulanık kümeler	Pisagor, sezgisel, nötrosofik kümelerin uzantısıdır. Uzmanlar tarafından kümeye ait olan üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesi belirlenir ve bunların karelerinin toplamı 1 değerine eşit ve daha küçük olabilir. Küresel uzaklık kavramı kullanılır.
Senapati ve Yager (2020)	Fermatean bulanık küme	q seviyeli bulanık kümenin uzantısıdır. $q=3$ alınarak özel bir küme tanımı geliştirilmiştir.

3.3. Üçgensel Bulanık Sayılar

Bulanık mantık destekli karar verme uygulamalarında işlem kolaylığı sağlaması sebebiyle en sık kullanılan bulanık sayı türü, üçgensel bulanık sayılardır. Üçgensel bulanık sayılar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Üçgensel bulanık sayı grafiği.

Pozitif üçgensel bulanık sayı $\tilde{\alpha} = (\alpha^l, \alpha^m, \alpha^u)$ şeklinde ifade edilmektedir. Küme elemanları arasında $\alpha^l < \alpha^m < \alpha^u$ ilişkisi vardır. α üçgensel bulanık sayısının üyelik fonksiyonu eşitlik 3.3’de gösterildiği gibidir (Wu ve ark, 2020)

$$\mu_{\alpha} = \begin{cases} 0 & x < \alpha^l \\ \frac{x - \alpha^l}{\alpha^m - \alpha^l} & \alpha^l \leq x < \alpha^m \\ \frac{\alpha^u - x}{\alpha^u - \alpha^m} & \alpha^m \leq x < \alpha^u \\ 0 & x > \alpha^u \end{cases} \quad (3.3)$$

Herhangi iki üçgensel bulanık sayı göz önüne alındığında $\alpha = (\alpha^l, \alpha^m, \alpha^u)$ ve $\beta = (\beta^l, \beta^m, \beta^u)$ temel aritmetik işlemler (eşitlik 3.4, 3.5, 3.6, 3.7’de) aşağıdaki gibi hesaplanır (Wang ve ark, 2018).

$$\alpha + \beta = (\alpha^l + \beta^l, \alpha^m + \beta^m, \alpha^u + \beta^u) \quad (3.4)$$

$$\alpha - \beta = (\alpha^l - \beta^l, \alpha^m - \beta^m, \alpha^u - \beta^u) \quad (3.5)$$

$$\omega \alpha = (\omega \alpha^l, \omega \alpha^m, \omega \alpha^u) = \begin{cases} (\omega \alpha^l, \omega \alpha^m, \omega \alpha^u) & \omega \geq 0 \\ (\omega \alpha^u, \omega \alpha^m, \omega \alpha^l) & \omega < 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \left(\frac{\alpha^l}{\beta^u}, \frac{\alpha^m}{\beta^m}, \frac{\alpha^u}{\beta^l} \right) \quad (3.7)$$

Üçgensel bulanık sayıların durulaştırılması eşitlik 3.8’de gösterildiği gibi hesaplanır (Chanas, 2001).

$$\text{Durulaştırılmış Değer} = \frac{\alpha^l + 2 \times \alpha^m + \alpha^u}{4} \quad (3.8)$$

3.4. Tereddütlü Bulanık Kümeler

Zadeh’ in bulanık kümeleriyle birlikte belirsiz bilgilerin modellenmesi mümkün hale gelmiştir. Bu model ile birçok araştırma önemli başarılar elde etmiştir. Zamanla dilsel ifadeler arasında oluşan kararsızlıklar bulanık kümelerin farklı şekillerde modellenmesine imkan sağlamıştır. Tip-2 bulanık kümeler (Zadeh, 1975), Sezgisel Bulanık Kümeler (Altanassov, 1986), Tereddütlü Bulanık Kümeler (Torra, 2010) bu modellere örnek olarak gösterilebilir. Tip-2 bulanık kümeler, klasik bulanık kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonunun üç boyutlu olarak tanımlanmış halidir. Sezgisel bulanık kümeler, bir elemanın kümeye ait olma ve olmama derecelerinin tam olarak belirlenemediği durumlarda modellenir. Tereddütlü (kararsız) bulanık kümeler, bir elemanın kümeye ait olma derecesinin birden fazla değere sahip olabileceği mantığını esas alarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak kabaca tanımlanmış bir kümenin alt ve üst sınırları, aitlik derecesi ve muhtemel unsurları ‘tereddütlü değerlendirmeler’ ile ifade edilir.

X bir referans kümesi olarak kabul edilsin. Bu referans kümesi Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimleri tanımlayan bir fonksiyon olarak tanımlanır ve $x \in X$, $[0, 1]$ arasında değerler alır. $A = \{(x, h_A(x)) | x \in X\}$ üyeliğini temsil eden $h_A(x)$, tereddütlü bulanık elaman olarak adlandırılır.

Dilsel değişkenleri ölçmek için Torra (2010), tereddütlü bulanık kümeleri aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

h , h_1 ve h_2 üç farklı tereddütlü bulanık eleman olmak üzere, operasyon kuralları aşağıdaki gibi verilmiştir. (Torra, 2010; Xia and Xu, 2011).

$$h' = \bigcup_{\beta \in h} \{1 - \beta\}$$

$$h_1 \cup h_2 = \bigcup_{\beta_1 \in h_1, \beta_2 \in h_2} \max\{\beta_1, \beta_2\}$$

$$h_1 \cap h_2 = \bigcap_{\beta_1 \in h_1, \beta_2 \in h_2} \min\{\beta_1, \beta_2\}$$

$$h^\lambda = \bigcup_{\beta \in h} \{\beta^\lambda\}$$

$$\lambda h = \{1 - (1 - \beta)^\lambda\}$$

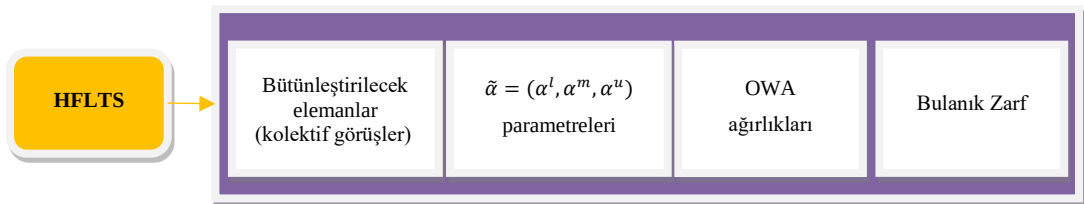
$$h_1 \oplus h_2 = \bigcup_{\beta_1 \in h_1, \beta_2 \in h_2} \{\beta_1 + \beta_2 - \beta_1 \beta_2\}$$

$$h_1 \otimes h_2 = \bigcup_{\beta_1 \in h_1, \beta_2 \in h_2} \{\beta_1 \beta_2\}$$

3.4.1. Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesi (HFLTS)

Uzmanlar bir değerlendirme yaparken bazen dilsel terimler kümesiyle eşleşmeyen görüşlere sahip olurlar, bu nedenle HFLTS ortaya çıkmıştır. Temelinde karar vericilerin birden fazla dil terimi arasında görüş bildirme imkanı saklıdır (Liu ve Rodriguez, 2014).

HFLTS karar vericilerin tercihlerini tanımlamak için kullanılır. Dilsel terimleri matematiksel forma dönüştürür. Yamuk ve üçgensel bulanık sayılar arasında üçgensel bulanık sayılar (TFN-Triangular Fuzzy Numbers) kullanım kolaylığı açısından daha çok tercih edilir. Şekil 3.3’de tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesinin bulanık zarf temsiline dönüşümü gösteren süreç şeması verilmiştir.



Şekil 3.3. Tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesinin bulanık zarf temsiline dönüşümü süreci (Liu, Rodriguez, 2014).

Karar vericiler aynı anda birkaç dilsel terimi değerlendirebileceğinden ve karmaşık bir görüşe sahip olabileceğinden Rodriguez ve ark. (2012) uzmanların karar verme sürecinde birden fazla tercihi temsil edebilecekleri HFLTS kavramını önermiştir.

HFLTS, dilsel yargıları temsil etme konusunda yargıya esneklik kazandırmıştır. Böylece karar vericiler birden fazla tercih yapabilir ve tercihlerini betimleyebilir konuma gelmiştir (Liao ve ark, 2014).

Uzmanların değerlendirme yaparken birkaç terim arasında tereddüt etmesi sonucunda tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesi (HFLTS) tanıtılmıştır. HFLTS ile uzmanlar görüşlerini “Düşük ve Orta arasında” , ”Yüksekten fazla” , ”Ortadan düşük” şeklinde karşılaştırılabilir dilsel terimlerle ifade edebilirler (Rodriguez,2012).

S dilbilimsel terim kümesi olsun, H_S S’deki sonlu sıralı Tereddütlü Bulanık dilsel terimler kümesi olarak tanımlanır. Matematiksel model eşitlik 3.9’da verilmiştir (Rodriguez ve ark, 2012).

$$H_S = \{\langle x, h(x) \rangle | x \in X\} \quad (3.9)$$

$h(x)$ S kümesinin üyelik derecesini ifade eder.

EGH, bağlamdan bağımsız dilbilgisinden elde edilen S_U dilsel tanımını S dilbilimsel terim kümesindeki HFLTS H_S 'ye dönüştürebilen bir dönüştürme işlevidir. H_S dilsel terimler kümesindeki mantıksal ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E_{GH}: S_U \rightarrow H_S$$

Karar vericilerin bilgi birikim, deneyim ve tecrübelerine göre karşılaştırmalı dilsel ifadeler aşağıdaki gibi HFLTS’ ye dönüştürülebilir:

$$E_{GH}(s_i) = \{s_i | s_i \in S\} = \{s_i\}$$

$$E_{GH}(s_i \text{ ve } s_j \text{ arasında}) = \{s_k | s_k \in S, s_i \leq s_k \leq s_j\} = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}$$

$$E_{GH}(s_i \text{ den aşağıda}) = \{s_k | s_k \in S, s_k \leq s_i\} = \{s_0, s_1, \dots, s_i\}$$

$$E_{GH}(s_i \text{ den yukarıda}) = \{s_k | s_k \in S, s_k \geq s_i\} = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_g\}$$

Dilsel değerlendirmeler Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Kümesine (HFLTS) dönüştürülür. HFLTS tüm karar vericilerin görüşlerinin dikkate alınmasıyla yeni bir bulanık zarf oluşturmak için başka bir ifadeyle HFLTS ’yi temsil eden bulanık bir üyelik işlevi elde etmek amacıyla OWA (Ordered Weighted Aggregation - Sıralı Ağırlıklı Bütünleştirme) operatörü kullanılır. Bu çalışmada tereddütlü bulanık dilsel terimlerin bulanık üyelik fonksiyonları, OWA operatörünün kullanımı ile bütünleştirildi. OWA ’nın farklı hesaplama şekilleri de literatürde mevcuttur (Xu ve

Xia, 2011; Delgado ve ark, 1998; Liu ve Han, 2008). Bu çalışmada normal dağılıma dayanan yöntemi kullanılmıştır (Xu, 2005).

$h = \cup_{\gamma \in h} \{\gamma\} = \{\gamma_j\}_{j=1}^p$ birden fazla HFLTS eşitlik 3.10'de verilen OWA i le toplu tercihe dönüştürülebilir.

$$OWA(\gamma_1, \gamma_1, \dots, \gamma_1) = \sum_{j=1}^p K_j b_j \quad (3.10)$$

$$K_j: \text{ağırlık vektörüdür ve } K_j \in [0,1], \sum_{j=1}^p K_j = 1 \text{ koşullarını sağlar}$$

OWA ağırlığının belirlenmesinde normal dağılıma dayalı bir yöntem önerilmiştir. İlgili vektör eşitlik 3.11 kullanılarak şu şekilde hesaplanır (Xu, 2005).

$$K_i = \frac{e^{-[(i-u_p)^2/2\sigma_p^2]}}{\sum_{i=1}^p e^{-[(i-u_p)^2/2\sigma_p^2]}} \quad (3.11)$$

$K = (K_1, K_2, \dots, K_p)^T$ OWA operatörünün ağırlık vektörüdür. Ağırlık vektörünü hesaplariken eşitlik 3.12 ve eşitlik 3.13 kullanılır.

u_p : koleksiyonun ortalaması

σ_p : koleksiyonun standart sapması ($\sigma_p > 0$)

$$u_p = \frac{1+p}{2} \quad (3.12)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (i - u_p)^2} \quad (3.13)$$

Tereddütlü Bulanık Dilsel Terim Kümelerinin (HFLTS) toplu performans değerleri OWA operatörü aracılığıyla elde edilir. OWA ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanır.

p=4 farklı dilsel ifade kullanımı olduğunda ortalama değer eşitlik 3.12 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$u_4 = \frac{1+p}{2} = \frac{1+4}{2} = 2,5$$

Ortalama sonucuna göre 4'lü dilsel ifade kullanımı için standart sapma eşitlik 3.13 kullanılarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (i - u_p)^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (i - u_4)^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{4} [(1 - 2,5)^2 + (2 - 2,5)^2 + (3 - 2,5)^2 + (4 - 2,5)^2]} = 1,118\end{aligned}$$

Ortalama ve standart sapma değerleri elde edildikten sonra eşitlik 3.11 kullanılarak OWA operatörünün ağırlık vektörü hesaplanır.

$$i = 1 \text{ için, } K_1 = \frac{e^{-[(1-2,5)^2/2(1,118)^2]}}{\sum_{i=1}^4 e^{-[(i-2,5)^2/2(1,118)^2]}} = \frac{0,407}{2,6237} = 0,155$$

$$i = 2 \text{ için, } K_1 = \frac{e^{-[(2-2,5)^2/2(1,118)^2]}}{\sum_{i=1}^4 e^{-[(i-2,5)^2/2(1,118)^2]}} = \frac{0,905}{2,6237} = 0,345$$

$$i = 3 \text{ için, } K_1 = \frac{e^{-[(3-2,5)^2/2(1,118)^2]}}{\sum_{i=1}^4 e^{-[(i-2,5)^2/2(1,118)^2]}} = \frac{0,905}{2,6237} = 0,345$$

$$i = 4 \text{ için, } K_1 = \frac{e^{-[(4-2,5)^2/2(1,118)^2]}}{\sum_{i=1}^4 e^{-[(i-2,5)^2/2(1,118)^2]}} = \frac{0,407}{2,6237} = 0,155$$

Bu değerler kullanılan farklı dilsel ifade sayısına göre değişmektedir.

3.5. Tereddütlü Bulanık SWARA

Adımsal ağırlık değerlendirme oran analizi olarak bilinen SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemi ilk olarak 2010 yılında Kersulienė ve ark. tarafından literatüre kazandırılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan SWARA metodunda uzmanların önceden belirlenen kriterleri kendi önceliklerine göre seçme ve sıralama imkanları vardır. Bu özellikle diğer ÇKKV yöntemlerine göre uzman görüşlerinin önemi daha fazladır. Temel özelliği, mevcut karar verme analitiğinin daha düşünceli bir şekilde uygulanmasına izin verir.

SWARA yöntemi için öncelikli olarak problemin amacı ve hedefi belirlenir. Daha sonra bu amaca hizmet eden istek ve gereksinim gibi ilgili kriterlerin belirlenmesiyle ilk adım atılmış olur.

Tereddütlü bulanık SWARA yönteminin, geleneksel SWARA yönteminden farkı tereddütlü bulanık dilsel terimlerin kullanılmasıdır. Böylece karar vericiler kriterleri

değerlendirirken yaşadıkları belirli-belirsiz zorlukları ortadan kaldırmak için birden fazla dilsel terim ile değerlendirme yapılabilmektedir.

Tereddütlü Bulanık SWARA yönteminin adımları aşağıda sunulmuştur;

1. Adım: Kriterlerin önem seviyesine göre sıralanması

Kriterler önem derecelerine göre sıralanırken iki farklı yol izlenebilir. Bu yollar a ve b maddeleri olarak aşağıda açıklanmıştır.

a) Geometrik ortalamaya göre sıralama: Karar vericiler tarafından en önemli kriter 1.sırada yer alacak şekilde önem sırasına göre azalan düzeyde sıralanır. Her bir karar verici ele alınan konunun stratejilerine ve planlarına göre sahip olduğu bilgi ve deneyimle bir sıralama yapar. Daha sonra elde edilen sıralamalar eşitlik 3.14'de verilen geometrik ortalama ile birleştirilerek nihai sıra elde edilir (Erdal, 2022).

$$\bar{t}_j = \sqrt[p]{\prod_{k=1}^p t_{jk}} \quad (3.14)$$

b) HFLTS ile OWA operatöründen faydalanarak sıralama: Karar vericiler kriterler arasında önem düzeyini belirlerken bulanık dilsel ifadelerden faydalanabilir. Kullanılan dilsel ölçek Tablo 3.2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.2. Dilsel ifadelerin üçgensel bulanık sayı olarak gösterimi (Chang ve ark, 2011).

Dilsel terimler	S _i	Kısaltma	Üçgensel sayılar
Çok düşük etki	S ₀	ÇD	(0.00,0.00,0.25)
Düşük etki	S ₁	D	(0.00,0.25,0.50)
Orta etki	S ₂	O	(0.25,0.50,0.75)
Yüksek etki	S ₃	Y	(0.50,0.75,1.00)
Çok yüksek etki	S ₄	ÇY	(0.75,1.00,1.00)

2. Adım: Karşılaştırmalı önem düzeyinin belirlenmesi (s_j)

Nihai sıraya göre kriterler bir önceki kritere göre Tablo 3.3'deki dilsel ölçek tablosu kullanılarak tereddütlü bulanık dilsel ifadeler ile değerlendirilir, n kriter için n-1 karşılaştırma yapılır. Bu karşılaştırma yapılırken karar vericiye “n.kriter n-1.kriterden ne kadar daha az önemlidir?” sorusu yöneltilir (Kersulienne ve ark., 2010, Kaya, ve Erginel, 2022).

Tablo 3.3. Müşteri isteklerinin arasındaki ikili karşılaştırmaların dilsel ölçek tablosu (Kaya, Erginel, 2022, Chang, 1996).

Dilsel terimler	S _i	Kısaltma	Üçgensel sayı
Eşit derecede önemli	S ₄	E	(1.000,1.000,1.000)
Biraz Az önemli	S ₃	BA	(0.667,1.000,1.500)
Az önemli	S ₂	A	(0.400,0.500,0.667)
Daha az önemli	S ₁	DA	(0.286,0.333,0.400)
Çok daha az önemli	S ₀	ÇA	(0.222,0.250,0.286)

Tereddütli bulanık değerlendirmeler ile bir veya birden fazla değerlendirme yapılabildiği gibi eğer bütünleştirilecek değerlendirme kümeleri farklı sayıda dilsel terim içeriyorsa, kümelerin içerisinde kolektif görüşler toplanır. Uzman değerlendirmelerinden elde edilen tereddütli dilsel unsurlar OWA ağırlıklarıyla eşitlik 3.10 kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmelidir. Elde edilen ortalama karşılaştırmalı önem değerlerini ($\tilde{s}_j$) temsil eder.

3. Adım: Kriter katsayılarının hesaplanması ($\tilde{k}_j$)

Kriter puanlarının elde edilmesiyle eşitlik 3.15'e göre kriterlerin katsayı değerleri hesaplanır. En üstteki değer en önemli kriter olduğu için 1 değerini alır (Kersulienne ve ark., 2010).

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1} & , j = 1 \\ \tilde{s}_j + \tilde{1} & , j > 1 \end{cases} \quad (3.15)$$

4. Adım: Önem vektörünün hesaplanması ($\tilde{q}_j$)

Her kriter için eşitlik 3.16'ya göre önem ağırlıkları hesaplanır (Kersulienne ve ark., 2010).

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1} & ,j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j} & ,j > 1 \end{cases} \quad (3.16)$$

5. Adım: Ağırlık değerinin hesaplanması ($\tilde{w}_j$)

Son olarak eşitlik 3.17 'ye göre kriter ağırlıkları hesaplanır (Kersulienne ve ark., 2010).

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \quad (3.17)$$

3.6. Tereddütlü Bulanık DEMATEL

Karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı olarak bilinen DEMATEL (Decision Making and Trial Evaluation Laboratory) yöntemi ilk olarak 1973 yılında Battelle Memorial enstitüsü tarafından literatüre kazandırılmıştır (Wu ve ark. 2016). DEMATEL çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Karmaşık alternatifler arasındaki etki ilişkisini sergilemek ve analiz etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Kriterler arasında nedensel ilişkileri görselleştirme yeteneğine sahip olduğundan karar verme probleminin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chang ve ark. 2011).

Başarıyı elde edebilmek için sadece açıkça erişilebilir bilgiyi dikkate almak değil aynı zamanda spesifik örtük bilgiyi de kullanmak çok önemlidir. Bireylerin gözlemlerinden ve deneyimlerinden kaynaklanan, örtük veya zımni bilgi olarak adlandırılan öznel temelli bilgi, tanımlanabilir olmalıdır. Ayrıca bu öznel bilgi haritayla tasvir edilebilir. Haritalama süreci sırasında nedensel bağlantıların kurulması yoluyla, öznel bir yargı önyargısı ortaya çıkabilir. DEMATEL, tespit edilen başarı faktörlerinin arasındaki nedensel karşılıklı bağımlılıkları tanımlamak ve ölçmek için toplanan bireysel örtük bilgiyi bir araya getiren cebirsel bir analiz yöntemidir. DEMATEL yöntemiyle karmaşık olan neden-sonuç ilişkisini görselleştirmek mümkün olsa da oluşan faktörlerin birbirine olan etkileşimi nicel olarak belirlemek oldukça zor olabilir. Bu nedenle etkileşim düzeyinin belirlenmesi için bulanık ortamda genişletilmesi gerekmektedir. DEMATEL yönteminin son adımında, tanımlanan başarı faktörleri ve performansla ilgili ilişkileri nedensel bir etki ilişki haritası tasvir edilir.

DEMATEL yönteminin temel özelliği alternatifler arasında bir diğer alternatifi etkileyen en önemli alternatifi önermektir. Bu alternatifleri değerlendirirken insan

yargılarından doğabilecek belirsizliklerle başa çıkabilmek için tereddütlü bulanık kümeler kullanılır. Sahip olduğu bu özellik bakımından bu çalışmada teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi belirlerken Tereddütlü Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.

Tereddütlü Bulanık DEMATEL yönteminin adımları aşağıda sunulmuştur (Frangqu ve ark. 2022);

1. Adım: Direkt ilişki matrisinin oluşturulması ($\tilde{Z}$)

n adet alternatif arasında tereddütlü bulanık dilsel terimler ile ikili karşılaştırma yapılarak direkt ilişki matrisi oluşturulur (Wu ve ark, 2016). İkili karşılaştırma matrisi için kullanılan bulanık derecelendirme ölçeği Tablo 3.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2' deki dilsel ölçek tablosu kullanılarak teknik gereksinimler arasındaki ilişki değerlendirilir. Değerlendirme sonucu elde edilen matris aşağıda verilen direkt ilişki matrisini oluşturur.

$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{z}_{12} & \tilde{z}_{1n} \\ \tilde{z}_{21} & 0 & \\ \tilde{z}_{n1} & & 0 \end{bmatrix}$$

2. Adım: Farklı uzman görüşlerinin bütünleştirilmesi

Tereddütlü bulanık dilsel terimlerin bulanık üyelik fonksiyonları, OWA operatörünün kullanımı ile bütünleştirilir (Chen ve ark. 2021). OWA operatörü eşitlik 3.10'da tanımlanmıştır.

3. Adım: Normalleştirilmiş ilişki matrisinin hesaplanması

Üçgensel bulanık sayıların satır toplamaları hesaplanır ve maksimum u_{ij} değeri elde edilir (Wu ve ark, 2016).

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (3.18)$$

Satır toplamalarının maksimum değeri elde edildikten sonra karar matrisinin tüm elemanları eşitlik 3.19 kullanılarak r değerine bölünerek normalize karar matrisi hesaplanır.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r} \right) \quad (3.19)$$

4. Adım: Toplam ilişki matrisinin hesaplanması

Toplam ilişki matrisini hesaplamak için öncelikle birim matrsten normalize edilmiş ilişki matrisi çıkartılarak tersi alınır. Daha sora elde edilen matris normalize edilmiş matrisle çarpılarak eşitlik 3.20 ‘de verilen toplam ilişki matrisi elde edilir (Wu ve ark, 2016).

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12..} & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & & \\ \vdots & & \\ \tilde{t}_{n1} & & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$$\tilde{t}_{ij} = (l_{ij}^{\prime\prime}, m_{ij}^{\prime\prime}, u_{ij}^{\prime\prime})$$

$$[l_{ij}^{\prime\prime}] = X_l \times (I - X_l)^{-1}$$

$$[m_{ij}^{\prime\prime}] = X_m \times (I - X_m)^{-1}$$

$$[u_{ij}^{\prime\prime}] = X_u \times (I - X_u)^{-1}$$

5. Adım: Neden – Sonuç ilişkisinin hesaplanması

Toplam ilişki matrisine dayanarak sırasıyla eşitlik 3.21 ve eşitlik 3.22 uygulanır. Sonucunda etkilenme derecesini ve etki derecesini temsil eden D (satır toplamları) ve R (sütun toplamları) değerleri elde edilir (Wu ve ark, 2016).

$$D = \sum_{j=1}^n x_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.21)$$

$$R = \sum_{i=1}^n x_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.22)$$

D_i+R_i göstergesi, i faktörünün etkileme ve etkilenme derecelerinin toplamıdır ve bu nedenle faktörler arasındaki ilişkinin yoğunluğunu temsil etmektedir. Başka bir deyişle, D_i+R_i değeri yüksek olan faktörler, diğer faktörlerle daha fazla ilişkilidir ve sistemde etkinliği olan faktördür. Bu gösterge faktörler arasındaki ilişki yoğunluğu hakkında bilgi verirken, ilişkinin yönü hakkında bilgi almak için D_i-R_i göstergesinden faydalanılır (Paksoy, 2017).

Bu çalışmada kalite evinin çatısında yer alan teknik gereksinimler arasındaki korelasyonun ortaya çıkartılabilmesi amacıyla tereddütlü bulanık DEMATEL tekniğinden faydalanılmış ve korelasyon değeri olarak bulanık D_i+R_i değeri kullanılmıştır.

3.7. Tereddütlü Bulanık MOORA

MOORA yöntemi Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon olarak dilimize çevrilmiştir. 2006 yılında Brauers, Zavadskas (2006) tarafından literatüre kazandırılan bu yöntem Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biridir. Daha sonra yöntemin farklı çözüm metodlarının uygulanmasıyla MULTIMOORA ismini almıştır (Brauers, Zavadskas, 2010). Alternatif ve kriterler arasındaki önceliklendirme ve sırlamayı yaparak karar verme problemlerinin çözümüne destek olmaktadır. Karar verme sırasında karşılaşılabilecek belirsizliklerle başa çıkabilmek adına tereddütlü bulanık kümeler ile beraber kullanımı önerilmektedir.

Tereddütlü Bulanık MOORA tekniğinin üç farklı çözüm yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlar Oran Metodu, Referans Noktası Yaklaşımı ve Tam Çarpım yaklaşımı olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada Oran Metodu ve Referans Noktası yaklaşımlarından faydalanılmıştır.

Tereddütlü Bulanık MOORA yönteminin uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır;

1. Adım: Karar matrisi oluşturulur

Tablo 3.4. Tereddütlü Bulanık MOORA için dilsel ölçek tablosu (Viedma ve ark, 2004).

Dilsel terimler	S_i	Kısaltma	Üçgensel sayı
Çok düşük	S_0	ÇD	(0.00,0.00,0.16)
Düşük	S_1	D	(0.00,0.16,0.34)
Orta düşük	S_2	OD	(0.16,0.34,0.50)
Orta	S_3	O	(0.34,0.50,0.66)
Orta yüksek	S_4	OY	(0.50,0.66,0.84)
Yüksek	S_5	Y	(0.66,0.84,1.00)
Çok yüksek	S_6	ÇY	(0.84,1.00,1.00)

Tablo 3.4’de verilen dilsel terimler kullanılarak alternatifler değerlendirilir ve aşağıda verilen ($\tilde{X}$) karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & C_1 & \dots & \dots & \dots & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} (x_{11}^l, x_{11}^m, x_{11}^u) & \dots & (x_{1n}^l, x_{1n}^m, x_{1n}^u) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_{m1}^l, x_{m1}^m, x_{m1}^u) & \dots & (x_{mn}^l, x_{mn}^m, x_{mn}^u) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Alternatiflerin değerlendirme değeri A_i ($i=1,2,\dots,m$), Kriterlerin değerlendirme değeri C_j ($j=1,2,\dots,n$) şeklinde ifade edilir (Chen ve ark, 2021).

2. Adım: Dilsel terimler HFLTS ‘ye dönüştürülür

Uzman görüşlerinden gelen “Düşük ve Orta arasında” , ”Yüksekten fazla” , ”Ortadan düşük” şeklinde karşılaştırılabilir dilsel terimlerin S_j değerleri ile ifade edilmesi sağlanır.

3. Adım: Tereddütlü bulanık dilsel terimlerin bütünleştirilmesi

Uzman görüşleri kolektif olarak bir araya getirilir ve tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesi oluşturulur. Tereddütlü bulanık dilsel terimlerin bulanık üyelik fonksiyonları, OWA operatörünün kullanımı ile bütünleştirildi. Bu birleşim sonucu üçgensel bulanık sayı elde edilir. Bulanık zarf toplama prosedürü SWARA ve DEMATEL yöntemlerinde uygulandığı gibidir.

4. Adım: Karar matrisinin normalleştirilmesi

Oluşturulan karar matrisinin daha doğru bir form alabilmesi ve karşılaştırılabilir bir yapıya sahip olması için matris üzerinde normalizasyon işlemi yapılır. Üçgensel bulanık sayılar üzerinde işlem yapıldığı için normalizasyon işlemi eşitlik 3.23, 3.24, 3.25 kullanılarak gerçekleştirilir. (Balezentis ve ark, 2012) $\tilde{X}_{ij}^* = (x_{ij}^{l*}, x_{ij}^{m*}, x_{ij}^{u*})$ üçgensel bulanık bir sayıdır.

$$x_{ij}^{l*} = \frac{x_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} \quad (3.23)$$

$$x_{ij}^{m*} = \frac{x_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} \quad (3.24)$$

$$x_{ij}^{u*} = \frac{x_{ij}^u}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} \quad (3.25)$$

5. Adım: Ağırlıklı normalize karar matrisinin hesaplanması

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elemanları aşağıdaki eşitlik 3.26, 3.27 ve 3.28 kullanılarak hesaplanır. Bu çalışmada önce Tereddütlü Bulanık SWARA yöntemiyle elde edilen müşteri istekleri ağırlıkları daha sonra Tereddütlü Bulanık DEMATEL yöntemi ile elde edilen teknik gereksinimlerin ağırlıkları kullanılır.

$$\tilde{V}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u)$$

$$v_{ij}^l = \bar{W}_i (\tilde{w}_j * x_{ij}^l) \quad (3.26)$$

$$v_{ij}^m = \bar{W}_i (\tilde{w}_j * x_{ij}^m) \quad (3.27)$$

$$v_{ij}^u = \bar{W}_i (\tilde{w}_j * x_{ij}^u) \quad (3.28)$$

w_j : müşteri istekleri ağırlığı

$\bar{W}_j$: teknik gereksinimlerin ağırlığı

6. Adım: Oran Metodu ile sıralama

g maksimize edilecek kriterleri, n ise minimize edilecek kriterleri temsil eder ve her bir alternatif için oran metodu eşitlik 3.29'daki denklem kullanılarak hesaplanır (Chen ve ark, 2021).

$$\tilde{u}_1 = \bar{W}_i \left(\sum_{j=1}^g w_j \tilde{x}_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j \tilde{x}_{ij}^* \right) = \left(\sum_{j=1}^g \tilde{V}_{ij} - \sum_{j=g+1}^n \tilde{V}_{ij} \right) \quad (3.29)$$

$j = 1, 2, \dots, g$: maksimize edilecek kriterler

$j = g + 1, g + 2, \dots, n$: minimize edilecek kriterler

Bu çalışmada kullanılan kriterlerin hepsi fayda kriteri olarak nitelendirilmiş ve oran metodu eşitlik 3.30'daki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\tilde{u}_1 = \bar{W}_i \left(\sum_{j=1}^g w_j \tilde{x}_{ij}^* \right) = \left(\sum_{j=1}^g \tilde{V}_{ij} \right) \quad (3.30)$$

Hesaplanan değerlere göre azalan sıralamada bir nihai sıra elde edilir.

7. Adım: Referans Noktası Metodu ile sıralama

Oran Metoduna ek olarak ağırlıklandırılmış karar matrisi üzerinden fayda kriterlerini maksimize edecek, maliyet kriterlerini minimize edecek şekilde referans noktaları belirlenir (Akkaya ve ark, 2015).

$$r_j^* = \begin{cases} \tilde{x}_j^+ = (\max_i v_{ij}^{l*}, \max_i v_{ij}^{m*}, \max_i v_{ij}^{u*}), & j \leq g \\ \tilde{x}_j^- = (\min_i v_{ij}^{l*}, \min_i v_{ij}^{m*}, \min_i v_{ij}^{u*}), & j > g \end{cases}$$

Eşitlik 3.31 kullanılarak kriterlerin referans noktasından uzaklıkları hesaplanır (Chen ve ark, 2021).

$$d(\tilde{V}_{ij}, r_j^*) = \sqrt{\frac{[(v_{ij}^{l*} - r_j^{l*})^2 + (v_{ij}^{m*} - r_j^{m*})^2 + (v_{ij}^{u*} - r_j^{u*})^2]}{3}} \quad (3.31)$$

Oluşan yeni matrise eşitlik 3.32 deki işlem uygulanarak sıralama yapılır. Hesaplanan değerlere göre artan sıralamada bir nihai sıra elde edilir. (Chen ve ark, 2021)

$$\tilde{u}_2 = \max\{d(v_{ij}^{l*}, r_j^*)\} \quad (3.32)$$

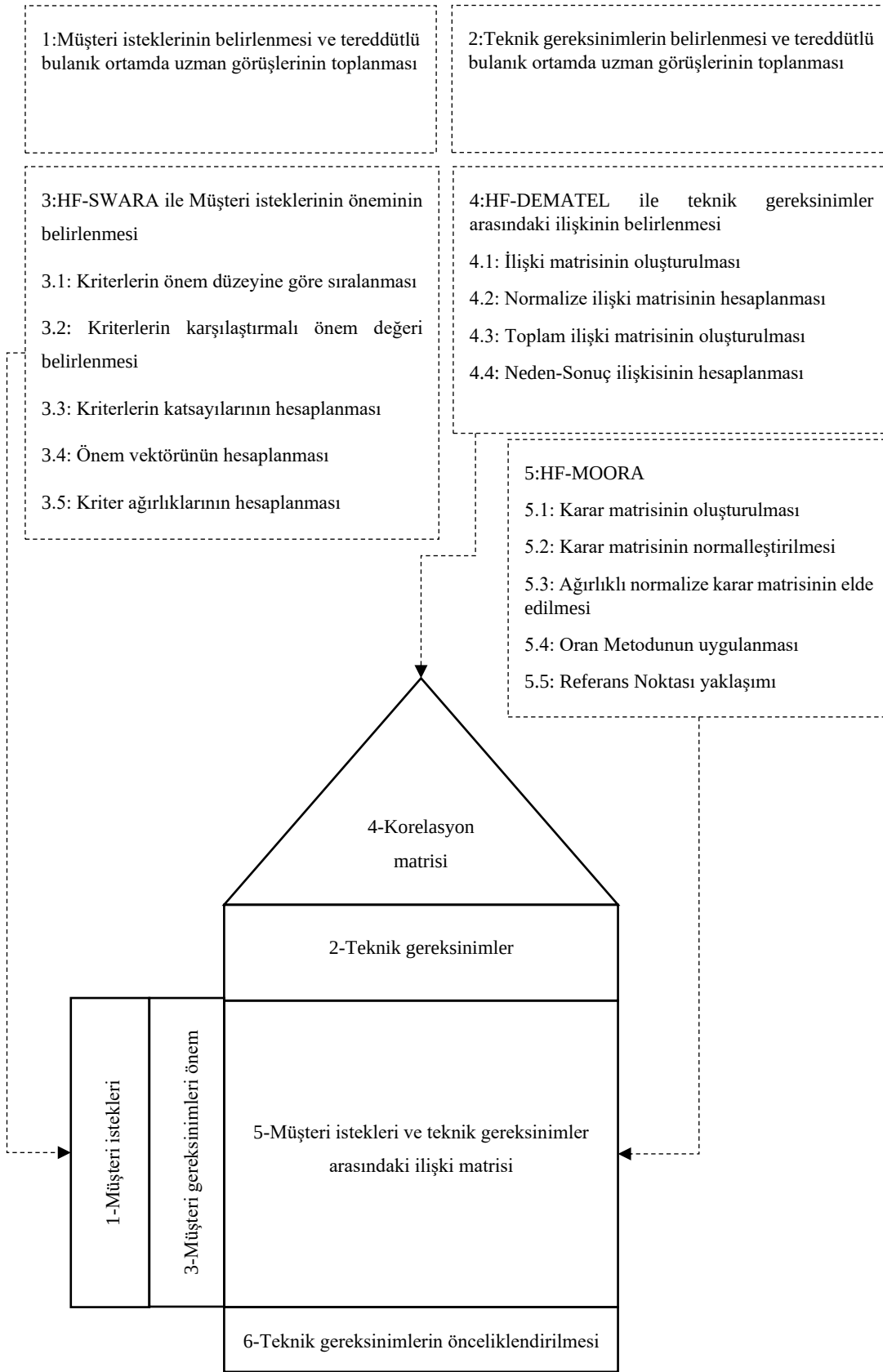
4. UYGULAMA

Bu çalışma tekstil sektöründe faaliyet gösteren brode fabrikasında yapılmıştır. Fabrikada üretilen brodeli kumaşlar, hazır giyim endüstrisinde faaliyet gösteren müşteriler tarafından kullanılmak üzere tercih edilmektedir. Daha çok kadın giyim, çocuk giyim ve fantezi giyim üzerine kullanılmaktadır.

İşletmeler için müşteri tatmini oldukça önemli bir husustur. Müşteri memnuniyetini sağlamak, şirketin pazardaki yerini sağlamlaştırmaya yardımcı olur.

Bu çalışmada müşteri taleplerini karşılayabilecek teknik gereksinimlerin belirlenmesi ve bu teknik gereksinimlerin önem düzeylerinin ve öncelik sıralamalarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminden yararlanılmıştır. Araştırma metodolojisi kapsamında tereddütlü bulanık dilsel terimlerden faydalanarak Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) tekniğinin çalışması gereği ihtiyaç duyulan matrisler içinde karar verme tekniklerinin entegre edilmesi ile bir model önerilmiştir.

Uygulama sırasında önerilen model kapsamında müşteri isteklerinin ağırlıklandırılması için HF-SWARA yöntemi, kalite evinin çatısında yer alan teknik gereksinimler arasındaki korelasyonunu oluşturmak için HF-DEMATEL ve teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisini ölçmek için HF-MOORA yöntemlerinden faydalanılmıştır. QFD için takip edilen uygulama adımları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kalite evinde tereddütlü bulanık kümeler ile ÇKKV tekniklerinin kullanımı.

Brode, gergin kumaş üzerinde el ya da makine ile yapılan, ön nakış ipliğinin arka mekik ipliği ile oluşturduğu düğümlerden meydana gelen kabartmalı işleme sanatıdır. Brodeyi resim yapma sanatına benzetecek olursak, vual olarak kağıt, deri veya kumaş; boya olarak ise pamuk ip, polyester ip, altın ip veya ipek kullanıldığını söylemek mümkündür. 12.yy. da Mısırdan ortaya çıkan bu yöntem ilk zamanlarda el emeğiyle yapılmış ve zamanla yerini dokuma tezgahlarına daha sonra da üzerinde yüzlerce iğne bulunduran elektronik ve bilgisayar destekli modern makinelerle işlenmeye bırakmıştır (Kuleli, 2015).

Nakış makineleri, iğne konumuna göre yatay ve dikey ekseninde hareket etme özelliğine sahiptir. Her iki grupta 'da iğneler ileri geri hareket eder, kumaş ise sağa, sola, aşağı ve yukarı yönlü hareket edebilir. Dikey ekseninde hareket edebilme kabiliyetine sahip makinelere nakış makineleri, yatay ekseninde hareket edebilme özelliğine sahip makinelere de brode makineleri denir (Ayhan, 2022).

Brodenin günümüzde hazır giyim endüstrisinde modern bir şekilde uygulamaları mevcuttur. Dış giyim, iç giyim gibi kullanımlarının yanı sıra ev tekstili, tül perde gibi alanlarda da kullanımlarına rastlanmaktadır.

Bulanık kümelerde karar vericilerin, ele alınan konu üzerine bilgi ve deneyimlerinin yüksek olması problemin çözümü için vazgeçilemez bir unsurdur. Bu çalışmada, çalışmanın amacına hizmet eden 5 farklı uzmandan görüş alınmıştır. Bu uzmanlar uygulamanın yapıldığı fabrikada çalışmaktadır. Tablo 4.1 'de uzmanlar hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 4.1. Uzmanlar Hakkında Bilgi.

Uzman Adı	Deneyim	Meslek	Görev
Uzman 1	32 yıl	Makine Mühendisi	Üretim Müdürü
Uzman 2	14 yıl	Makine Teknikeri	Üretim Şefi
Uzman 3	18 yıl	Tekstil uzmanı	Fabrika ve Operasyon Müdürü
Uzman 4	9 yıl	Tekstil Mühendisi	Desen tasarımcısı
Uzman 5	3 yıl	Endüstri Mühendisi	Analiz ve Raporlama Uzmanı

4.1. Müşteri İsteklerinin Belirlenmesi

Müşteri isteklerinin belirlenmesi aşamasında; üretimden önce numune parça gönderimi ile müşteri sesi dinlenmektedir. Buna ilaveten ihtiyaç duyulan durumlarda (parti hacminin büyük olduğu siparişler gibi) devam etmekte olan üretimin kalite düzeyinin değerlendirilmesi için üretilen partilerden bir numune hazırlanarak da müşterilere gönderilebilmekte ve bu şekilde müşterinin sesi üretimin her aşamasında dikkate alınmaktadır.

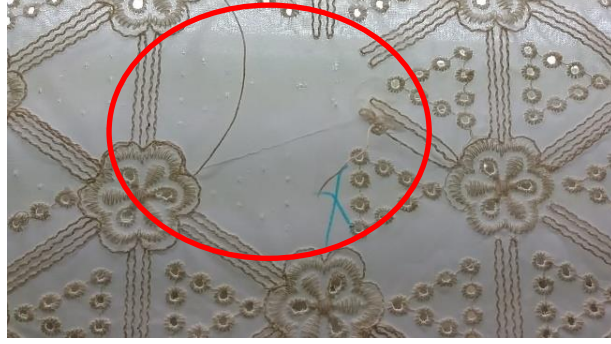
Bu bölümde Kalite Fonksiyon Yayılımı için müşteri istekleri tespit edilerek açıklanmış ve görsellerle desteklenmiştir. Toplam 10 adet müşteri isteği belirlenmiş ve bu istekler aşağıdaki Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Müşteri İstekleri.

Gösterge	Müşteri İstekleri
MI1	Ön ip kopuğunun olmaması
MI2	Mekik ipi kopuğunun olmaması
MI3	Bitmiş üründe yırtık olmaması
MI4	Desenin kaymaması
MI5	Ürünün temiz olması
MI6	Kumaşın ezik olmaması
MI7	Boyali ürünlerde ton farklılığının olmaması
MI8	Etek uçlarının düzgün kesilmesi ve ürünün temiz tıraşlanması
MI9	Bitmiş üründe yabancı cisim bulunmaması
MI10	Paketlemenin sevkiyata uygun yapılması

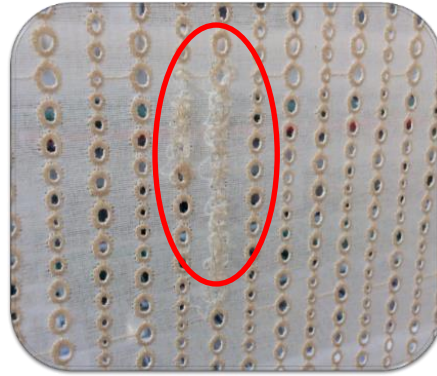
MI1 (ön ip kopuğunun olmaması), Kumaşın düz veya ön tarafında işlenen iplikler ön ip olarak adlandırılmaktadır. Ön iplerin üretim sırasında veya üretimden sonra zarar

görmesi sonucu kopmalar yaşanabilir. Ön ip koptuktan sonra ürün yüzeyinde işlenmemiş alanlar oluşmaktadır. Bu durum tasarlanan modelin görsellinde bozulmaya ve hata tamiri işlemi yapılmasına neden olmaktadır. Şekil 4.2’de ön ip kopmasından kaynaklanan bir hata gösterilmiştir.



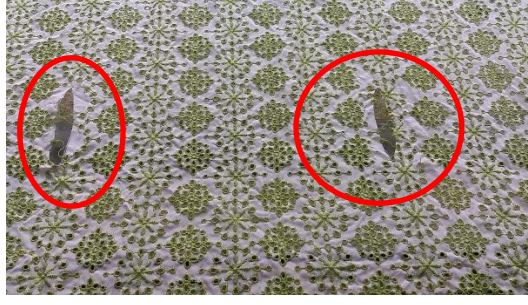
Şekil 4.2. Ön ip kopuğu.

MI2 (mekik ipi kopuğunun olmaması), Arka ip olarak da bilinen mekik iplerinin kopması durumunda ürün üzerinde “uçan iplikler” tanımıyla ip sökülmeleri meydana gelmektedir. Mekik iplerinin kopması durumunda ikincil işlem olarak hata tamiri işlemi yapılmaktadır. Bu işlem ürün kalitesine zarar vermektedir. Şekil 4.3’de mekik ipinin kopmasına bir örnek verilmiştir. Ön ip ile arka ipin düğümlerinden oluşan nakışlama işlemi arka ipin kopması sonucu ön ipin boşta kalmasına ve uçan iplikler adı verilen söküklere sebep olmaktadır.



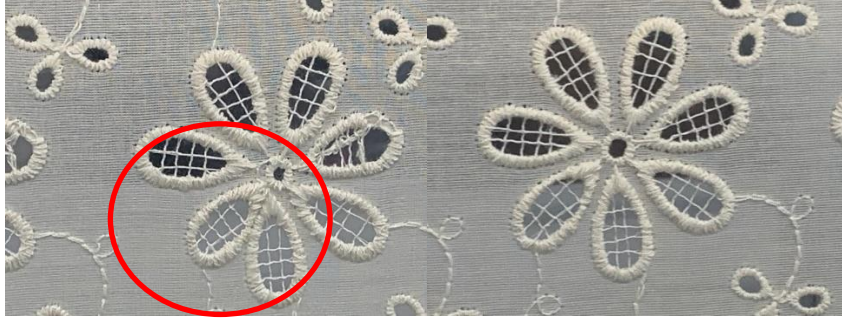
Şekil 4.3. Arka ip kopuğu.

MI3 (bitmiş üründe yırtık olmaması), Ürün üzerinde yırtık oluşması telafisi olmayan bir durumdur. Müşteriler yırtık alana karşılık bedelsiz fazladan üretim yapılmasını talep etmektedir. Şekil 4.4’de herhangi bir sebepten dolayı yırtılmış ürün gösterilmiştir.



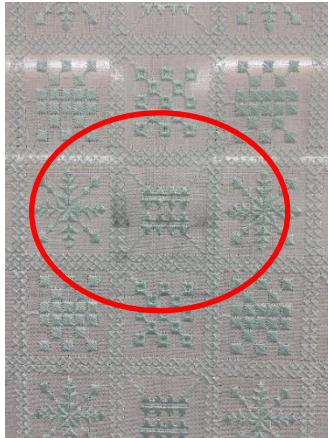
Şekil 4.4. Kumaş yırtığı.

MI4 (desenin kaymaması), Desen kayması, tasarım yapısının bozulması anlamına gelmektedir. Tasarlanan model bozulduğunda sipariş talebi karşılanamamaktadır. Şekil 4.5’de desen kaymasına bir örnek verilmiştir. Desen tasarımında çiçek yapraklarının her biri birbirine eşit uzaklıkta ve aynı ölçüde olması gerekirken desen kayması sonucu bu yapıda bozulma meydana gelmiştir.



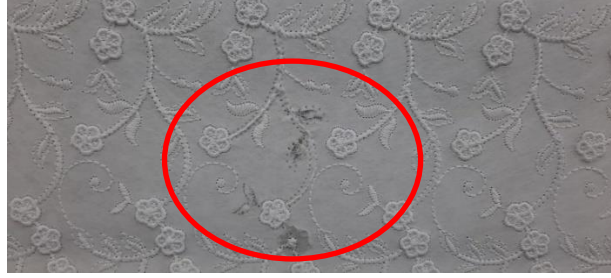
Şekil 4.5. Desen kayması.

MI5 (ürünün temiz olması), üretim aşamasında ya da üretimden sonra boyahane işleminde ve ürünün taşımalar sırasında kirlenmesi olası bir durumdur. Bu aşamalarda ürüne zarar verebilecek tüm olası hareketlere dikkat edilmelidir. Bitmiş üründe leke ve kir olmamalıdır. Şekil 4.6’da lekeli kumaş örneği verilmiştir.



Şekil 4.6. Lekeli kumaş.

MI6 (kumaşın ezik olmaması), Genellikle hammadde kaynaklı bu sorun ürün üzerinde deliğe benzer hasarlar oluşmasına ve yapısının bozularak zarar görmesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda üretimde meydana gelebilecek darbeler sonucunda da yüzeyde delik oluşumuna kadar gidebilecek hatalar meydana gelmektedir. Şekil 4.7’de üretim esnasında kumaş üzerinde oluşmuş eziklere örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Ezilmiş ürün.

MI7 (boyalı ürünlerde ton farklılığının olmaması), Aynı varyanta ait renkli ürünler arasında ton farkı oluşmamasına özen gösterilmelidir. Ton farklılığı iki aşamada oluşmaktadır. Bunlardan birincisi hammadde satın alımında gerçekleşir. Müşteri siparişi göz önüne alınarak sipariş büyüklüğünde hammadde alınması beklenmektedir. İkincisi ise boyama işleminde aynı çeşit ve aynı renk ürünlerin tek bir kazanda boyanması gerekmektedir.

MI8 (etek uçlarının düzgün kesilmesi ve ürünün temiz tıraşlanması), fazladan kullanılan kumaş ve ipliklerin üretim aşamasından sonra kesilmesi gerekmektedir. Bu aşamada etek uçlarındaki geometrik yapıya zarar vermeden kesilmesi ve üretimde oluşan fazla iplik ve çapakların tamamen temizlenmesi beklenmektedir. Şekil 4.8’de etek ucunun kesiminde ürüne zarar gören ve fazla ipliklerinden tamamen arındırılmamış ürünler gösterilmek istenmiştir.



Şekil 4.8. Fazla parçalardan arındırılmamış ürünler.

MI9 (bitmiş üründe yabancı cisim bulunmaması), Üretim aşamasında kırılan iğne ve makine parçaları gibi yaralayıcı ve zarar verici malzemelerin bitmiş üründen tamamen arındırılması beklenmektedir. Şekil 4.9'da üretim esnasında kırılan bir iğnenin ipliklerin altında kalarak ürün içerisine işlemesine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Ürün içine gizlenmiş yabancı cisim.

MI10 (paketlemenin sevkiyata uygun yapılması), Ürünün yapısına göre katlanarak sevkiyatın beklenen parti boyutlarında olması aynı zamanda istenilen düzeyde istiflenmesi beklenmektedir.

4.2. Teknik Gereksinimlerin Belirlenmesi

Müşteri gereksinimlerini en az maliyetle karşılayabilecek sürecin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla müşteri isteklerine karşılık teknik öz nitelikler araştırılmış ve aşağıdaki gibi Tablo 4.3'de açıklanmıştır.

Tablo 4.3. Teknik Gereksinimler.

Gösterge	Teknik Gereksinimler
TG1	Mekik kabuklarının deforme olmamasına özen göstermek
TG2	Brode makinelerinde desen ayarının yapılması
TG3	Brode makine ayarlarının istenilen düzeyde tutulması
TG4	Fikse parametrelerinin istenilen düzeyde tutulması

Tablo 4.3. (Devamı) Teknik Gereksinimler.

Gösterge	Teknik Gereksinimler
TG5	Mekik bobini sarım açısının ayarlanması
TG6	Hammadde
TG7	Tansiyon ölçüsünün hammaddeye göre ayarlanması
TG8	Metal parça kırılmalarının tam zamanında tespit edilmesi
TG9	Personel
TG10	Kumaş gerginliği
TG11	Otomatik makine kullanımı
TG12	Makine temizliği
TG13	Kullanılan yağları ürünle temasını önlemek
TG14	Kepçe ayaklarının kontrolünün sağlanması
TG15	Boyahane reçetelerinin doğru hazırlanması

TG1 (mekik kabuklarının deforme olmamasına özen göstermek), Arka iplerin doldurulduğu yuvalara mekik kabuğu denilmektedir. Bu kabuklar zaman içerisinde yüzeylerine aldığı darbeler ile ezilerek hasar almaktadır. Alınan hasarlar ve ezikler sonucu mekik kabukları görevlerini yerine getiremeyerek ürün üzerinde hata oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle kabukların iyi muhafaza edilmesi gerekmektedir.

TG2 (brode makinelerinde desen ayarının yapılması), tasarımcılar tarafından yapılmak istenen desen kağıt üzerinde çizilir ve çizilen bu tasarım brode özel bir yazılım olan Em-Studio programı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılır. Bu aktarım sırasında iğne vuruş açılarına göre en uygun işlem sırasının ayarlanabilmesi gerekmektedir. Çizim işlemi de bittikten sonra desen makineye yüklenir. Her brode makinasında,

makine hareketlerini ve kontrolünün sağlandığı dokunmatik ekranlar bulunmaktadır. Desen makineye yüklendikten sonra kontrol ekranı üzerinden tekrar gözden geçirilir ve eğer üst üste vuruşlar varsa uygulanacak komutlar sonrası tespit edilen fazlalıkların ayıklanması gerekmektedir. Bu işlemin her kalıp değişiminde mutlaka tekrarlanması, kumaş yırtığı, ip kopması, iğne kırılması gibi oluşabilecek hataların önüne geçmeye yarar. Şekil 4.10'da üst üste vuruşlardan kaynaklı topaklanmalar gösterilmiştir.



Şekil 4.10. İp topakları.

TG3 (brode makine ayarlarının istenilen düzeyde tutulması), Hammaddenin makineye yüklenmesiyle başlayan üretim aşamasında ilk olarak makine ayarlarının yapılmış olması gerekmektedir. Bu ayarlar makine üzerinde hareket edecek her mekanizmayı kapsamaktadır. Bazı ayarlar otomatik gerçekleşse de bazıları manuel yardım gerektirmektedir. Kumaş gerginliği, iğne açıları, delicilerin çapları, iplik parametrelerinin üretilecek desene uygun olması beklenmektedir. Bu parametrelere göre makinelerin eksantrik-manuel ayarlarını yapılması gerekmektedir.

TG4 (fikse parametrelerinin istenilen düzeyde tutulması), Fikse bir ütüleme işlemidir. Üretimde kullanılacak kumaş, ip gibi hammaddelerin fikselenmesi kullanım kolaylığını arttıran bir işlemdir. Bitmiş ürünün fikselenmesi ise siparişin daha düzgün görünmesini sağlar. Ürünün cinsine göre farklı derecelerde ve sürelerde ürün fikseleme işlemine maruz bırakılır. Şekil 4.11'de fikselenme işlemine örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Fikseleme işlemi.

TG5 (mekik bobini sarım açısının ayarlanması), İpliğin etrafına sarıldığı, konik ya da rulo şeklindeki malzemelere bobin denilmektedir. Bobinler birden fazla sarım şekline sahiptir. Genellikle maliyetinin daha düşük olması sebebiyle ham ya da sarılmamış olarak alınan iplikler üretime geçmeden önce hangi üründe nasıl kullanılacağı esas alınarak sardırma işlemine tabii tutulmaktadır. Yapılan bu işlem makinenin kaynağını daha rahat kullanılabilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda ip kopmalarını engellemektedir.

TG6 (hammadde), Üretimde kullanılacak kumaş, iplik gibi kaynakların tasarlanan desene uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Hammaddenin doku ve yapısı birbiriyle uyuşmalıdır. Hammadde olarak yalnızca kumaş ve ip değil aynı zamanda makine teçhizatı da göz ardı edilmemelidir. Çünkü brode üretiminde, üretilecek olan desene ya da kullanılan kumaşa özel iğne ve deliciler vardır. Sıklıkla kullanılan 5 çeşit iğne numarası ve bu iğnelerin de 2 farklı sınıfı bulunmaktadır. Örneğin hem kalın hem sert kumaşlarda ucu sivri ama ince iğne kullanımı gerekmektedir. Şekil 4.12’de kumaşa göre iğne kullanılmadığı için tasarım kenarlarında göze batan delikler oluşmuştur.



Şekil 4.12. Hammadde seçimi.

TG7 (tansiyon ölçüsünün hammaddeye göre ayarlanması), Kullanılan mekik ipliklerin gerginlik düzeyinin ayarlanması işlemine tansiyon denilmektedir. Pamuk iplikler polyester ipliklere göre daha hassas bir yapıya sahiptir. Hassas ipliklerin istenilen gerginlik düzeyinde tansiyonunun yapılması ip kopmaları nedeniyle çok zordur. Tansiyon işlemi sırasında hammadde özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tansiyon işlemi el ile manuel ya da mekik makinası ile otomatik yapılmaktadır. İşletmelerinde az sayıda makine bulunan üreticiler yüksek yatırım maliyetleri sebebiyle manuel kullanımı tercih etmektedir. Üretimde oluşabilecek ip kopmaları gibi hatalardan kaçınmak amacıyla mekik ipliklerin üretimden önce mutlaka tansiyon işleminden geçirilmesi gerekmektedir.

TG8 (metal parça kırılmalarının tam zamanında tespit edilmesi), brode makinesi üzerinde iğne ya da ürüne zarar verebilecek konumda metal bir parça kırıldığı zaman en kısa sürede tespit edilmesi gerekmektedir. Bu durum ürün üzerinde yırtık oluşmasına ya da desenin bozulmasına sebep olabilir. Makinanın alt yapısında bulunan yazılım sayesinde sensörler aracılığıyla iğne kırıldığı zaman komut ekranında kaçınıcı iğnenin kırıldığını göstererek makineyi otomatik durdurma özelliğine sahiptir. Fakat bu sistem de yüksek yatırım maliyetleri sebebiyle tercih edilmemektedir.

TG9 (personel), Üretimin uygun niteliklerde ortaya çıkabilmesi için üretim personelinin verilen görevi eksiksiz ve doğru bir şekilde yerine getirmesi gerekmektedir. Brode makineleri 5-10-20-25 metre gibi uzun hatlara sahip olduğundan kontrolü de zordur. Bu nedenle hat boyunca sürekli ileri-geri dolaşarak üretimde oluşabilecek hatlara anında müdahale edilebilmesi üretim verimliliği açısından önemli bir etkidir. Makine de çalışan operatörlerin bu görevi yapabiliyor olması gerekmektedir.

TG10 (kumaş gerginliği), Makine üzerine serilen kumaşın üretilecek desene uygun gerilmesi ve bu gerginlikle makinaya takılması gerekmektedir. Kullanılan hammadde yapısını da ilgilendiren bu durum iğne kırılması, desen kayması gibi birçok aşamaya etki eden bir faktördür.

TG11 (otomatik makine kullanımı), brode üretiminin birçok prosesinde kullanılmak üzere özel ve otomatik makineler mevcuttur. Üretim hacminin büyümesiyle bu tarz makinelere daha fazla ihtiyaç doğmaktadır. Fakat yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle tercih edilmez. Bu tarz makinelerin kullanımı ile işgücü, zaman, hata oranı gibi birçok parametrelerden verimlilik sağlanabilir.

TG12 (makine temizliği), Ürün üzerinde leke ve kir gibi istenmeyen durumların oluşmasını önlemek amacıyla makinenin ve makine çevresinin periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Özellikle pamuk hammadde oranı yüksek üretimlerde çok fazla toz oluşmaktadır. Oluşan bu tozlar zaman içerisinde birikir ve makine üzerindeki yağlarla temas ederek yağ yumakları oluşturur. Üretilen ürünlerin kalıp değişimlerinde bu yumaklarla temas etmesi sonucu ürün ciddi anlamda zarar görebilir. Bu nedenle temizlik işleminin düzenli ve rutin şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

TG13 (kullanılan yağları ürünle temasını önlemek), brode makinalarında, sadece ipliğe kayganlık kazandırmak ve delici malzemelerin hareketini sağlamak amacıyla çeşitli yağlar kullanılmaktadır. Bu yağlar ürünle temas etmesi halinde leke ve kir oluşmasına sebep olmaktadır. Mevcut durumda üretim esnasında herhangi bir hammaddenin yağ ile teması mümkün değildir fakat kalıp değişimlerinde ürünün yağla temas etmemesine özen gösterilmelidir.

TG14 (kepçe ayaklarının kontrolünün sağlanması), Kalıp değişimlerinde makinelerin üzerinde çıkan ürünü tutmaya yarayan mekanizmalara kepçe ayağı denilmektedir. Bu ayaklar makine parçalarının kırılmasına veya ürünün zarar görmesine neden olabilir. Kepçe ayaklarının kontrolü brode makinelerinde bulunan kumandalar aracılığıyla yapılmaktadır. Bu ayakların kontrolünün sağlanması gerekmektedir.

TG15 (boyahane reçetelerinin doğru hazırlanması), Boyahaneye gidecek her ürünün hangi işlemlerden geçmesi gerektiğinin bildirildiği reçetelerin eksiksiz ve tam olması gerekmektedir. En ufak bir eksiklik ya da yanlışlık geri dönülemez hataların oluşmasına neden olmaktadır.

4.3. Tereddütlü Bulanık SWARA ile Müşteri İsteklerinin Ağırlıklandırılması

Müşteri isteklerinin göreceli önem değerini ve ağırlıklarını belirlerken tereddütlü bulanık SWARA metodu uygulanmıştır. Bu çalışmada mevcut üretim eksikliklerinden kaynaklanan talepleri gidermek amacıyla 5 uzmandan oluşan karar vericilerin görüşleri toplanmıştır.

İlk olarak problemin amaç ve hedefi esas alınarak karar vericiler tarafından önem sırasına göre en önemli kriter 1.sırada yer alacak şekilde azalan düzeyde sıralanmış ve bu sıralamaya göre 5 uzmanın görüşü geometrik ortalamayla birleştirilerek Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Geometrik ortalamaya göre müşteri isteklerinin sıralanması.

Müşteri İstekleri	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	G.O.	Nihai Sıra
MI1	1	3	4	5	4	2,99	3
MI2	2	4	2	9	2	3,10	4
MI3	4	2	1	1	1	1,52	1
MI4	7	1	3	2	3	2,63	2
MI5	3	8	7	7	7	6,07	7
MI6	5	5	5	8	6	5,70	6
MI7	6	7	6	4	5	5,50	5
MI8	8	6	10	6	9	7,63	9
MI9	9	9	8	3	8	6,89	8
MI10	10	10	9	10	10	9,79	10

Yapılan bu sıralamaya alternatif olarak uzmanlar birde Tablo 3.2 ‘de verilen dilsel ölçekleri kullanarak müşteri isteklerini tereddütlü bulanık ortamda önem düzeyine göre değerlendirmişlerdir. Yapılan değerlendirmeler Tablo 4.5’de kolektif tereddütlü görüş olarak birleştirilmiştir.

Tablo 4.5. Müşteri isteklerinin tereddütlü bulanık dilsel ifadeler ile değerlendirilmesi.

Müşteri İstekleri	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Kolektif Görüşler
MI1	{S ₄ }	{S ₃ }	{S ₃ , S ₂ }	{S ₃ , S ₂ }	{S ₃ }	{S ₄ , S ₃ , S ₂ }
MI2	{S ₄ , S ₃ }	{S ₃ }	{S ₄ }	{S ₁ }	{S ₄ }	{S ₄ , S ₃ , S ₁ }
MI3	{S ₃ }	{S ₄ }	{S ₄ }	{S ₄ }	{S ₃ }	{S ₄ , S ₃ }
MI4	{S ₃ }	{S ₄ }	{S ₃ }	{S ₄ }	{S ₃ , S ₂ }	{S ₄ , S ₃ , S ₂ }
MI5	{S ₃ }	{S ₂ }	{S ₂ , S ₁ }	{S ₃ }	{S ₃ }	{S ₃ , S ₂ , S ₁ }
MI6	{S ₃ }	{S ₁ }	{S ₃ }	{S ₁ }	{S ₃ }	{S ₃ , S ₁ }
MI7	{S ₃ }	{S ₂ , S ₁ }	{S ₂ }	{S ₄ , S ₃ }	{S ₂ }	{S ₄ , S ₃ , S ₂ , S ₁ }
MI8	{S ₂ }	{S ₂ , S ₁ }	{S ₀ }	{S ₂ , S ₁ }	{S ₂ }	{S ₂ , S ₁ , S ₀ }
MI9	{S ₂ , S ₁ }	{S ₂ }	{S ₁ }	{S ₂ }	{S ₂ , S ₁ }	{S ₂ , S ₁ }
MI10	{S ₁ }	{S ₂ }	{S ₁ }	{S ₂ }	{S ₀ }	{S ₂ , S ₁ , S ₀ }

Daha sonra eşitlik 3.10 ‘dan faydalanarak OWA ağırlıkları hesaplanmış ve çıkan sonuca göre nihai sıra Tablo 4.6’da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.6. Müşteri istekleri kolektif görüşlerinin OWA ağırlıklarıyla sıralanması.

Müşteri İstekleri	Kolektif Görüşler	OWA ile kolektif görüşlerin birleştirilmesi			Nihai Sıra
		l	m	u	
MI1	{S ₄ , S ₃ , S ₂ }	0,50	0,75	0,94	3
MI2	{S ₄ , S ₃ , S ₁ }	0,44	0,69	0,88	4
MI3	{S ₄ , S ₃ }	0,63	0,88	1,00	1
MI4	{S ₄ , S ₃ , S ₂ }	0,50	0,75	0,94	2

Tablo 4.6. (Devamı) Müşteri istekleri kolektif görüşlerinin OWA ağırlıklarıyla sıralanması.

Müşteri İstekleri	Kolektif Görüşler	OWA ile kolektif görüşlerin birleştirilmesi			Nihai Sıra
		l	m	u	
MI5	{S3, S2, S1}	0,25	0,50	0,75	7
MI6	{S3, S1}	0,25	0,50	0,75	6
MI7	{S4, S3, S2, S1}	0,38	0,63	0,84	5
MI8	{S2, S1, S0}	0,06	0,25	0,50	9
MI9	{S2, S1}	0,13	0,38	0,63	8
MI10	{S2, S1, S0}	0,06	0,25	0,50	10

İki farklı yöntemden elde edilen sıralamaların sonuçları karşılaştırıldığında birebir aynı sonuca ulaşılmıştır.

Müşteri istekleri önem düzeyine göre sıralandıktan sonra n kriter için (n-1) karşılaştırma yapılır. Uzmanlar karşılaştırma yaparken Tablo 3.3'deki dilsel ölçekleri kullanmışlardır. Karar vericiler değerlendirme yaparken n+1. kriterin n. kritere göre ne kadar daha az önemli olduğuyla ilgili görüş bildirir. Belirlenen bu görüşler Tablo 4.7 'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Müşteri istekleri arasındaki karşılaştırmalı tereddütlü dilsel değerlendirmeleri.

Nihai Sıra	Müşteri İstekleri	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Kolektif Görüşler
1	MI3	-	-	-	-	-	-
2	MI4	E	E	E	BA	BA	E, BA
3	MI1	E	E	E, BA	BA	E	E, BA
4	MI2	E	E, BA	E	E	E	E, BA

Tablo 4.7. (Devamı) Müşteri istekleri arasındaki karşılaştırmalı tereddütlü dilsel değerlendirmeleri.

Nihai Sıra	Müşteri İstekleri	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Kolektif Görüşler
5	MI7	BA	BA	E	E	A, DA	E, BA, A, DA
6	MI6	BA	BA	A	DA	BA	BA, A, DA
7	MI5	BA, A	DA	E	ÇA	E	E, BA, A, DA, ÇA
8	MI9	E	A, ÇA	E	BA	BA, A	E, BA, A, ÇA
9	MI8	DA	ÇA	A	DA	DA	A, DA, ÇA
10	MI10	DA, ÇA	ÇA	DA	ÇA	ÇA	DA, ÇA

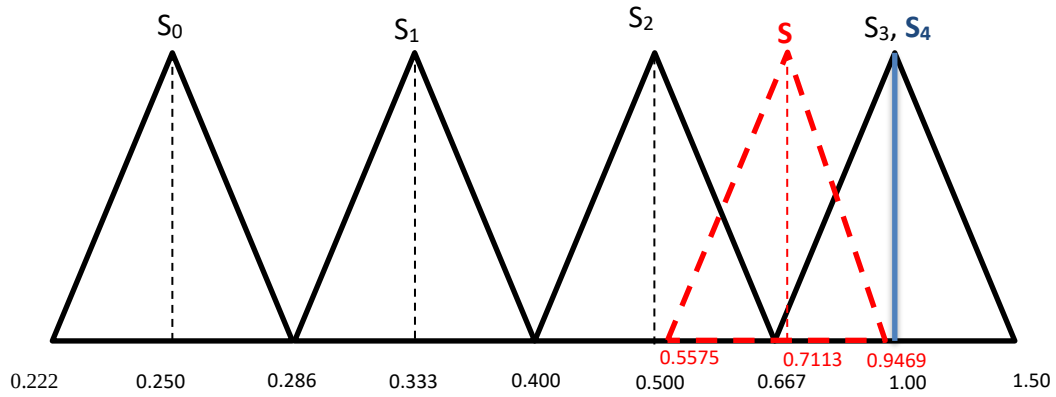
HF-SWARA metodunun uygulama aşamasında 8.sırada yer alan MI9 ile ilgili tüm işlem adımları aşağıda örnek verilerek açıklanmıştır. İlk olarak uzman görüşlerinin nasıl değerlendirildiği açıklanmıştır. MI9'un değerlendirilmelerine göre tereddütlü dilsel ifadeler üçgensel bulanık sayı olarak şu şekilde bütünleştirilir;

OWA ağırlıklarının nasıl hesaplandığı bölüm 3.4.1.'de anlatılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre; $x_1 = (1)^T$, $x_2 = (0.5, 0.5)^T$, $x_3 = (0.2429, 0.5142, 0.2429)^T$, $x_4 = (0.155, 0.345, 0.345, 0.155)^T$, $x_5 = (0.112, 0.236, 0.304, 0.236, 0.112)^T$ değerleri elde edilmiştir.

Uzman 1, 2, 3, 4 ve 5'e göre sırasıyla değerlendirme görüşleri $\{S_4\}$, $\{S_2, S_0\}$, $\{S_4\}$, $\{S_3\}$ ve $\{S_3, S_2\}$ şeklindedir. Eşitlik 3.9'a göre kolektif görüş $S = \{S_4, S_3, S_2, S_0\}$ şeklinde tanımlanır. Tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesini, üçgensel bulanık sayılara dönüştürürken eşitlik 3.10 kullanılarak aşağıdaki hesaplama yapılır.

$$\begin{aligned}
 S &= (0,155 \times 1 + 0,345 \times 0,67 + 0,345 \times 0,40 + 0,155 \times 0,22, \\
 &0,155 \times 1 + 0,345 \times 1 + 0,345 \times 0,50 + 0,155 \times 0,25, \\
 &0,155 \times 1 + 0,345 \times 1,50 + 0,345 \times 0,67 + 0,155 \times 0,29) \\
 &= (0.5575, 0.7113, 0.9469)
 \end{aligned}$$

Tablo 3.3 'e göre tereddütlü bulanık dilsel kümelerin üçgensel bulanık sayılara karşılık gelen ilişkisi ve hesaplanan S kümesi Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Tablo 3.3'deki üçgensel bulanık sayıların grafik üzerinde gösterimi.

Uzman değerlendirmelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan kolektif görüşlerin OWA ağırlıkları ile birleştirilmesiyle müşteri isteklerinin karşılaştırmalı önem değerleri elde edilmiş ve Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Müşteri isteklerinin karşılaştırmalı önem değerleri.

Sıra No	Müşteri İstekleri	Sj		
		l	m	u
1	MI3	-	-	-
2	MI4	0,8335	1,0000	1,2500
3	MI1	0,8335	1,0000	1,2500
4	MI2	0,8335	1,0000	1,2500
5	MI7	0,5674	0,7241	0,9646
6	MI6	0,4372	0,5809	0,8045
7	MI5	0,4833	0,6067	0,7955
8	MI9	0,5575	0,7113	0,9469

Tablo 4.8 (Devamı) Müşteri isteklerinin karşılaştırmalı önem değerleri.

Sıra No	Müşteri İstekleri	S _j		
		l	m	u
9	MI8	0,2981	0,3534	0,4372
10	MI10	0,2540	0,2915	0,3430

Müşteri isteklerinin performans puanları hesaplandıktan sonra eşitlik 3.15 kullanarak Tablo 4.9'daki kriter katsayıları bulunur.

MI9 için kriter katsayısının hesabı,

$$k_8 = S_8 + 1 = (0.5575 + 1,0.7113 + 1,0.9469 + 1) = (1.5575, 1.7113, 1.9469)$$

Tablo 4.9. Müşteri isteklerinin katsayıları.

Sıra No	Müşteri İstekleri	k _j		
		l	m	u
1	MI3	1,0000	1,0000	1,0000
2	MI4	1,8335	2,0000	2,2500
3	MI1	1,8335	2,0000	2,2500
4	MI2	1,8335	2,0000	2,2500
5	MI7	1,5674	1,7241	1,9646
6	MI6	1,4372	1,5809	1,8045
7	MI5	1,4833	1,6067	1,7955
8	MI9	1,5575	1,7113	1,9469
9	MI8	1,2981	1,3534	1,4372
10	MI10	1,2540	1,2915	1,3430

Kriter katsayılarının bulunmasının ardından eşitlik 3.16 ‘dan faydalanılarak Tablo 4.10‘da verilen önem vektörü hesaplanır. Önem vektörünün nasıl hesaplandığı aşağıda bir örnekle ifade edilmiştir.

MI9 için önem vektörünün hesabı,

$$q_8 = \frac{q_{8-1}}{k_8} = \left(\frac{0.0138}{1.9496}, \frac{0.0285}{1.7113}, \frac{0.0486}{1.5575} \right) = (0.0071, 0.0167, 0.0312)$$

Tablo 4.10. Müşteri isteklerinin önem vektörü.

Sıra No	Müşteri İstekleri	q _j		
		l	m	u
1	MI3	1,0000	1,0000	1,0000
2	MI4	0,4444	0,5000	0,5454
3	MI1	0,1975	0,2500	0,2975
4	MI2	0,0878	0,1250	0,1622
5	MI7	0,0447	0,0725	0,1035
6	MI6	0,0248	0,0459	0,0720
7	MI5	0,0138	0,0285	0,0486
8	MI9	0,0071	0,0167	0,0312
9	MI8	0,0049	0,0123	0,0240
10	MI10	0,0037	0,0095	0,0191
ΣMI		1,8287	2,0605	2,3035

Son olarak kriter ağırlıklarının elde edilmesi için eşitlik 3.17 ‘den yararlanılarak Tablo 4.11 ‘de verilen müşteri isteklerinin ağırlıkları hesaplanmıştır.

MI9 için ağırlık hesabı,

$$w_8 = \frac{q_8}{\sum_{k=1}^{10} q_k} = \left(\frac{0.0071}{2.3035}, \frac{0.0167}{2.0605}, \frac{0.0312}{1.8287} \right) = (0.0031, 0.0081, 0.0170)$$

Tablo 4.11. Müşteri isteklerinin ağırlıkları.

Sıra No	Müşteri İstekleri	w _j		
		l	m	u
1	MI3	0,4341	0,4853	0,5468
2	MI4	0,1929	0,2427	0,2982
3	MI1	0,0858	0,1213	0,1627
4	MI2	0,0381	0,0607	0,0887
5	MI7	0,0194	0,0352	0,0566
6	MI6	0,0108	0,0223	0,0394
7	MI5	0,0060	0,0139	0,0266
8	MI9	0,0031	0,0081	0,0170
9	MI8	0,0021	0,0060	0,0131
10	MI10	0,0016	0,0046	0,0105

Müşteri isteklerinin ağırlıkları hesaplandıktan sonra Tereddütlü Bulanık SWARA metodu tamamlanmış olur. Böylece kalite evinin kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

4.4. Tereddütlü Bulanık DEMATEL ile Korelasyon Matrisinin Oluşturulması

Kalite fonksiyon yayılımının çatısına, korelasyon matrisi adı verilmektedir. Tereddütlü bulanık DEMATEL yöntemiyle hedeflenen amaç kalite evinin çatısında yer alan teknik gereksinimler arasındaki korelasyonunu ortaya çıkarmaktır.

Tablo 3.2'deki dilsel ifadeleri kullanarak örnek olması açısından Uzman 1'e göre teknik gereksinimlerin tereddütlü bulanık değerlendirmeleri Tablo 4.12'de verilmiştir.

Benzer değerlendirmeleri tüm uzmanlar yapmıştır. Tablonun tamamı Ek-A’da verilmiştir.

Tablo 4.12. Uzman 1’e göre teknik gereksinimlerin tereddütlü bulanık dilsel ifadelerle değerlendirilmesi.

Teknik Gereksinimler	TG1	TG2	...	TG14	TG15
TG1	-	-	...	-	-
TG2	-	-	...	-	-
TG3	-	-	...	-	-
TG4	-	-	...	Y, D	Y, O
TG5	-	-	...	-	-
TG6	-	Y	...	O	D ile ÇD arasında
TG7	-	O, ÇD	...	ÇD	-
TG8	Y	ÇY	...	O, D	-
TG9	-	O	...	ÇY	-
TG10	-	-	...	-	-
TG11	O	-	...	D den az	-
TG12	ÇD	-	...	ÇY	O
TG13	-	-	...	-	-
TG14	-	-	...	-	-
TG15	-	-	...	-	-

Her uzman Tablo 3.2'deki üçgensel bulanık ölçeği kullanarak teknik gereksinimler için dilsel değerlendirme yapmış ve bu değerlendirmeler kolektif şekilde bir araya getirilerek Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13. Teknik gereksinimlerin tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri.

Teknik Gereksinimler	TG1	TG2	...	TG14	TG15
TG1	-	-	...	-	-
TG2	-	-	...	-	-
TG3	-	-	...	-	-
TG4	-	-	...	Y,D	Y,O
TG5	-	-	...	-	-
TG6	-	Y	...	O	Y,D,ÇD
TG7	-	O,ÇD	...	ÇD	-
TG8	Y den fazla	ÇY	...	O,D	-
TG9	O	O ile ÇD arasında	...	Y den fazla	-
TG10	-	-	...	-	-
TG11	Y,O	-	...	D den az	-
TG12	ÇD	-	...	ÇY,O,D	Y ile D arasında
TG13	-	-	...	-	-
TG14	-	-	...	-	-
TG15	-	-	...	-	-

Teknik gereksinimlerin dilsel değerdendirmeleri, tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesine (HFLTS) dönüştürölerek Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14. Teknik gereksinimlerin kolektif tereddütlü bulanık kümeleri.

Teknik Gereksinimler	TG1	TG2	...	TG14	TG15
TG1	-	-	...	-	-
TG2	-	-	...	-	-
TG3	-	-	...	-	-
TG4	-	-	...	{S ₃ , S ₁ }	{S ₃ , S ₂ }
TG5	-	-	...	-	-
TG6	-	{S ₃ }	...	{S ₂ }	{S ₃ , S ₁ , S ₀ }
TG7	-	{S ₂ , S ₀ }	...	{S ₀ }	-
TG8	{S ₄ , S ₃ }	{S ₄ }	...	{S ₂ , S ₁ }	-
TG9	{S ₂ }	{S ₂ , S ₁ , S ₀ }	...	{S ₄ , S ₃ }	-
TG10	-	-	...	-	-
TG11	{S ₃ , S ₂ }	-	...	{S ₁ , S ₀ }	-
TG12	{S ₀ }	-	...	{S ₄ , S ₂ , S ₁ }	{S ₃ , S ₂ , S ₁ }
TG13	-	-	...	-	-
TG14	-	-	...	-	-
TG15	-	-	...	-	-

DEMATEL tekniğinin uygulama aşamasında 8.Teknik Gereksinimin, 1.Teknik Gereksinime etkisi ile ilgili tüm işlem adımları örnek verilerek açıklanmıştır. İlk olarak

kolektif tereddütlü bulanık kümeler eşitlik 3.10 kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülür.

$$S_{81} = \{S_4, S_3\}, x_2 = (0.5, 0.5)^T;$$

$$S = [(0.50 \times 0.75 + 0.50 \times 0.50), (0.50 \times 1.00 + 0.50 \times 0.75), (0.5 \times 1.00 + 0.5 \times 1.00)] \\ = (0.63, 0.88, 1.00)$$

Böylece Tablo 4.15’de verilen bulanık direkt ilişki matrisi belirlenir. Bulanık direkt ilişki matrisi kalite evinin korelasyon matrisini yani çatısını oluşturur.

Tablo 4.15. Bulanık direkt ilişki matrisi.

	TG1			TG2			.....	TG14			TG15			$\max \sum x_{ij}^u$
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u	
TG1	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	0,50
TG2	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	0,38
TG3	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	3,00
TG4	-	-	-	-	-	-	.....	0,25	0,50	0,75	0,38	0,63	0,88	4,63
TG5	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	5,75
TG6	-	-	-	0,50	0,75	1,00	.....	0,25	0,50	0,75	0,12	0,31	0,56	9,06
TG7	-	-	-	0,13	0,25	0,50	.....	-	-	0,25	-	-	-	2,25
TG8	0,63	0,88	1,00	0,75	1,00	1,00	.....	0,13	0,38	0,63	-	-	-	6,38
TG9	0,25	0,50	0,75	0,06	0,25	0,50	.....	0,63	0,88	1,00	-	-	-	8,75
TG10	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	2,00
TG11	0,38	0,63	0,88	-	-	-	.....	-	0,13	0,38	-	-	-	5,50
TG12	-	-	0,25	-	-	-	.....	0,31	0,56	0,75	0,25	0,50	0,75	2,46
TG13	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	0,94
TG14	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	1,00
TG15	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-	1,00

Bulanık direkt ilişki matrisi oluşturulduktan sonra eşitlik 3.18 kullanılarak üçgensel bulanık sayıların satır toplamaları hesaplanır. Aşağıdaki hesaplamada maksimum satır toplamı verilmiştir.

$$\begin{aligned}
r &= \max_{1 \leq i \leq 15} \left(\sum_{j=1}^{15} u_{ij} \right) \\
&= (1 + 0,75 + 1 + 1 + 1 + 0,5 + 1 + 1 + 0,5 + 0,75 + 0,56) \\
&= 9,06
\end{aligned}$$

Böylece payda değeri elde edilmiş olup, karar matrisinin tüm elemanları r değerine bölünerek normalize karar matrisi hesaplanır.

$$\tilde{x}_{81} = \frac{\tilde{z}_{81}}{r} = \left(\frac{l_{81}}{9,06}, \frac{m_{81}}{9,06}, \frac{u_{81}}{9,06} \right) = \left(\frac{0,63}{9,06}, \frac{0,88}{9,06}, \frac{1,00}{9,06} \right) = (0,07, 0,10, 0,11)$$

Yukarıda gösterilen işlemler tüm karar matrisine uygulanarak Tablo 4.16'da verilen normalize direkt ilişki matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4.16. Normalize direkt ilişki matrisi.

	TG1			TG2			.....	TG14			TG15		
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u
TG1	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG2	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG3	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG4	-	-	-	-	-	-	.....	0,03	0,06	0,08	0,04	0,07	0,10
TG5	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG6	-	-	-	0,06	0,08	0,11	.....	0,03	0,06	0,08	0,01	0,03	0,06
TG7	-	-	-	0,01	0,03	0,06	.....	-	-	0,03	-	-	-
TG8	0,07	0,10	0,11	0,08	0,11	0,11	.....	0,01	0,04	0,07	-	-	-
TG9	0,03	0,06	0,08	0,01	0,03	0,06	.....	0,07	0,10	0,11	-	-	-
TG10	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG11	0,04	0,07	0,10	-	-	-	.....	-	0,01	0,04	-	-	-
TG12	-	-	0,03	-	-	-	.....	0,03	0,06	0,08	0,03	0,06	0,08
TG13	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG14	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG15	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-

Toplam ilişki matrisini elde edebilmek için eşitlik 3.20 kullanılarak önce birim matristen normalize bulanık etki matrisi çıkartılmıştır. Daha sonra elde edilen matrisin tersi alınıp, normalize bulanık etki matrisiyle çarpılması sonucunda Tablo 4.17’de verilen toplam ilişki matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4.17. Toplam ilişki matrisi.

	TG1			TG2			.....	TG14			TG15		
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u
TG1	-	-	0,002	-	-	0,001	.....	-	-	0,004	-	-	0,003
TG2	-	0,000	0,001	-	0,000	0,002	.....	-	0,000	0,001	-	0,000	0,000
TG3	0,004	0,011	0,022	0,009	0,021	0,039	.....	0,003	0,011	0,030	0,001	0,003	0,009
TG4	0,002	0,008	0,021	0,004	0,011	0,023	.....	0,030	0,067	0,113	0,042	0,074	0,110
TG5	0,007	0,020	0,041	0,012	0,031	0,054	.....	0,009	0,027	0,058	0,002	0,008	0,018
TG6	0,009	0,024	0,049	0,063	0,104	0,154	.....	0,031	0,073	0,134	0,014	0,038	0,072
TG7	0,002	0,009	0,021	0,015	0,035	0,072	.....	0,004	0,011	0,050	0,000	0,000	0,002
TG8	0,070	0,103	0,128	0,084	0,116	0,126	.....	0,015	0,048	0,091	0,000	0,003	0,008
TG9	0,035	0,075	0,121	0,014	0,046	0,089	.....	0,072	0,111	0,150	0,001	0,004	0,010
TG10	0,003	0,008	0,015	0,001	0,005	0,011	.....	0,005	0,012	0,018	0,000	0,000	0,001
TG11	0,047	0,082	0,122	0,008	0,021	0,038	.....	0,002	0,025	0,074	0,000	0,002	0,008
TG12	0,001	0,005	0,039	0,001	0,003	0,009	.....	0,037	0,069	0,097	0,028	0,055	0,084
TG13	0,002	0,006	0,013	0,001	0,004	0,009	.....	0,004	0,009	0,016	0,000	0,000	0,001
TG14	0,003	0,008	0,013	0,001	0,005	0,010	.....	0,006	0,012	0,017	0,000	0,000	0,001
TG15	0,002	0,007	0,013	0,001	0,004	0,010	.....	0,005	0,011	0,017	0,000	0,000	0,001

Toplam ilişki matrisi üzerinde üçgensel bulanık sayıların satır toplamaları D_i , sütun toplamaları R_i değerlerini verir. TG8 için satır ve sütun toplamaları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$D = \sum_{j=1}^{15} x_{8j} = (0.07 + 0.084 + \dots + 0.015 + 0), (0.103 + 0.116 + \dots + 0.048 + 0.003), (0.128 + 0.126 + \dots + 0.091 + 0.008) = (0.35, 0.65, 0.99)$$

$$R = \sum_{i=1}^{15} x_{i8} = (0 + 0 + \dots + 0.001 + 0.001), (0 + 0 + \dots + 0.001 + 0.001), (0 + 0.01 + \dots + 0.002 + 0.002) = (0.39, 0.71, 1.07)$$

D ve R değerlerinin toplamı faktörler arasındaki ilişki yoğunluğu, D ve R değerlerinin farkı faktörler arasındaki etki ilişkisi hakkında bilgi verir.

$$\tilde{D} + \tilde{R} = (0.35 + 0.39, 0.65 + 0.71, 0.99 + 1.07) = (0.74, 1.37, 2.06)$$

$$\tilde{D} - \tilde{R} = (0.35 - 0.39, 0.65 - 0.71, 0.99 - 1.07) = (-0.04, -0.06, -0.09)$$

Tablo 4.18'de toplam ilişki matrisinden elde edilen D+R ve D-R değerleri verilmiştir. Elde edilen üçgensel bulanık sayılar eşitlik 3.8 kullanılarak durulaştırılır.

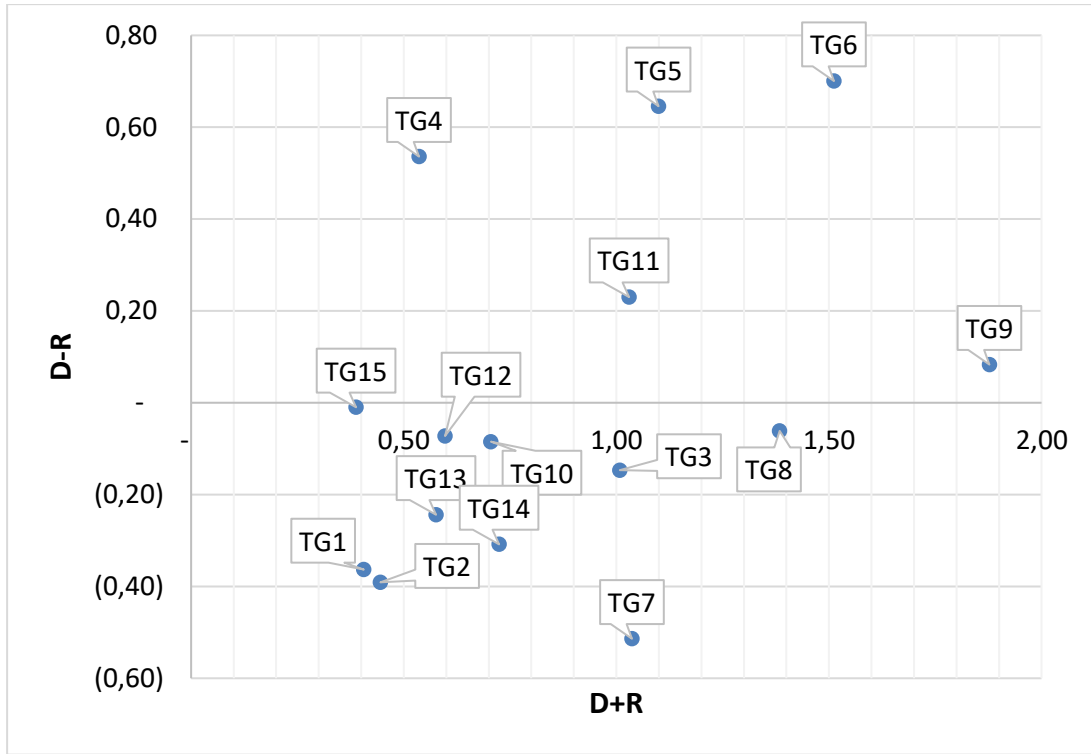
Tablo 4.18. Teknik gereksinimler arasındaki ilişki yoğunluğu ve etki faktörleri.

Teknik Gereksinimler	$\tilde{D} + \tilde{R}$			Durulaştırılmış Değer	$\tilde{D} - \tilde{R}$			Durulaştırılmış Değer
	l	m	u		l	m	u	
TG1	0,19	0,37	0,71	0,41	-0,19	-0,37	-0,53	-0,36
TG2	0,21	0,43	0,72	0,45	-0,21	-0,39	-0,58	-0,39
TG3	0,54	0,98	1,55	1,01	-0,09	-0,15	-0,19	-0,15
TG4	0,24	0,52	0,87	0,54	0,24	0,52	0,87	0,54
TG5	0,63	1,10	1,56	1,10	0,36	0,64	0,94	0,65
TG6	0,82	1,49	2,24	1,51	0,35	0,68	1,09	0,70
TG7	0,54	1,00	1,60	1,04	-0,34	-0,53	-0,65	-0,51
TG8	0,74	1,37	2,06	1,38	-0,04	-0,06	-0,09	-0,06
TG9	1,06	1,85	2,74	1,88	0,02	0,08	0,15	0,08
TG10	0,38	0,70	1,04	0,71	0,01	-0,06	-0,23	-0,08

Tablo 4.18. (Devamı) Teknik gereksinimler arasındaki ilişki yoğunluğu ve etki faktörleri.

Teknik Gereksinimler	$\tilde{D} + \tilde{R}$			Durulaştırılmış Değer	$\tilde{D} - \tilde{R}$			Durulaştırılmış Değer
	l	m	u		l	m	u	
TG11	0,47	1,00	1,66	1,03	0,08	0,21	0,42	0,23
TG12	0,21	0,56	1,06	0,60	0,03	-0,06	-0,20	-0,07
TG13	0,30	0,57	0,86	0,58	-0,13	-0,25	-0,35	-0,24
TG14	0,35	0,70	1,14	0,72	-0,10	-0,27	-0,60	-0,31
TG15	0,19	0,38	0,60	0,39	0,02	0,00	-0,06	-0,01

D+R ve D-R durulaştırılmış değerlerinden faydalanarak Şekil 4.14’de verilen neden sonuç diyagramı çizilmiştir. Neden-sonuç diyagramı iki kategoriye ayrılabilir. Yatay eksen çizgisinin üst kısmında yer alan (D-R değerleri pozitif olan) değerler nedensel faktörler olurken yatay eksen çizgisinin alt kısmında kalan (D-R değerleri negatif olan) değerler etkilenen faktörler olarak sınıflandırılır. Neden-Sonuç diyagramında, yatay eksen çizgisinin üst alanında yer alan TG4, TG5, TG6, TG9 ve TG11 teknik gereksinimleri gönderici grupta yer almakta ve diğer teknik gereksinimleri etkilemektedir. Toplam duruma bakıldığında en yüksek D+R ve D-R değerine sahip (en yüksek etkileşimi olan) faktör TG6’dır.



Şekil 4.14. Neden-Sonuç diyagramı.

Bu çalışmada, tereddütlü bulanık DEMATEL yöntemi ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak amacıyla ilişki yoğunluğunu temsil eden gösterge olarak bulanık $\tilde{D} + \tilde{R}$ değeri kullanılmıştır.

4.5. Tereddütlü Bulanık MOORA ile İlişki Matrisinin Oluşturulması

Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisini belirleyebilmek için müşteri istekleri ile teknik gereksinimler ilişkilendirilir. Bu çalışmada kalite fonksiyon yayılımının ilişki matrisi tereddütlü bulanık MOORA yöntemiyle belirlenmiştir. İlk adım olarak her uzman Tablo 3.4'deki dilsel ölçekleri kullanarak teknik gereksinimler ve müşteri istekleri arasındaki ilişkiyi bilgi ve deneyimlerine göre değerlendirmiştir. Tablo 4.19'da teknik gereksinimler ile müşteri istekleri arasındaki ilişkinin kolektif (birleştirilmiş) tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri verilmiştir.

Tablo 4.19. Teknik gereksinimler ile müşteri istekleri arasındaki ilişkinin kolektif tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri.

Teknik Gereksinimler	MI1	MI2	...	MI9	MI10
TG1	ÇY, Y, O	D, ÇD	...	-	-

Tablo 4.19. (Devamı) Teknik gereksinimler ile müşteri istekleri arasındaki ilişkinin kolektif tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri.

Teknik Gereksinimler	MI1	MI2	...	MI9	MI10
TG2	ÇY, Y	ÇY, Y, O	...	-	-
TG3	ÇY	Y, O	...	-	-
TG4	-	-	...	ÇD	-
TG5	Y, OY, O	Y, OY	...	-	-
TG6	ÇY, Y	ÇY, Y	...	ÇD	ÇD
TG7	O, OY, OD	ÇY	...	-	-
TG8	ÇD	-	...	Y, OY, O, OD	-
TG9	ÇY, OY, O	ÇY, Y	...	Y, OY, O	OY, OD
TG10	OY, O	-	...	-	-
TG11	O, OD	OY, OD	...	ÇD	-
TG12	-	-	...	D	-
TG13	OD, D	-	...	ÇD	-
TG14	O, OD	OY, O	...	-	-
TG15	D	D	...	OY, O	O, OD, ÇD

Tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeler eşitlik 3.10 kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Böylece Tablo 4.20’de verilen, teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4.20. Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin karar matrisi.

	MI1			MI2			.....	MI9			MI10		
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u
TG1	0,63	0,80	0,92	-	0,08	0,25	.....	-	-	-	-	-	-

Tablo 4.20. (Devamı) Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin karar matrisi.

	MI1			MI2			.....	MI9			MI10		
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u
TG2	0,75	0,92	1,00	0,63	0,80	0,92	.....	-	-	-	-	-	-
TG3	0,84	1,00	1,00	0,50	0,67	0,83	.....	-	-	-	-	-	-
TG4	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	0,16	-	-	-
TG5	0,50	0,66	0,84	0,58	0,75	0,92	.....	-	-	-	-	-	-
TG6	0,75	0,92	1,00	0,75	0,92	1,00	.....	-	-	0,16	-	-	0,16
TG7	0,46	0,63	0,80	0,84	1,00	1,00	.....	-	-	-	-	-	-
TG8	-	-	0,16	-	-	-	.....	0,42	0,58	0,75	-	-	-
TG9	0,54	0,70	0,84	0,75	0,92	1,00	.....	0,50	0,66	0,84	0,33	0,50	0,67
TG10	0,42	0,58	0,75	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG11	0,75	0,92	1,00	0,50	0,66	0,84	.....	0,42	0,58	0,75	-	-	0,16
TG12	0,25	0,42	0,58	0,33	0,50	0,67	.....	-	0,08	0,25	-	-	-
TG13	0,08	0,25	0,42	-	-	-	.....	-	-	0,16	-	-	-
TG14	0,25	0,42	0,58	0,42	0,58	0,75	.....	-	-	-	-	-	-
TG15	-	0,16	0,34	-	0,16	0,34	.....	0,42	0,58	0,75	0,16	0,30	0,46

MI1 için üçgensel bulanık sayıların karelerinin toplamının karekökü aşağıdaki gibi hesaplanır ve bu işlem tüm müşteri istekleri sütunları için tekrarlanır.

$$j = 1 \text{ için, } \sqrt{\sum_{i=1}^{15} [(x_{i1}^l)^2 + (x_{i1}^m)^2 + (x_{i1}^u)^2]}$$

$$= \sqrt{(0,63^2 + \dots + 0^2) + (0,80^2 + \dots + 0,16^2) + (0,92^2 + \dots + 0,34^2)} = 4,31$$

Daha sonra eşitlik 3.23, 3.24 ve 3.25 'i kullanarak tüm üçgensel bulanık sayılar elde edilen payda değerine bölünerek normalize karar matrisi hesaplanmıştır.

$$x_{ij}^{l*} = \frac{x_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} = \frac{0,63}{4,31} = 0,15$$

$$x_{ij}^{m*} = \frac{x_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} = \frac{0,80}{4,31} = 0,18$$

$$x_{ij}^{u*} = \frac{x_{ij}^u}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} = \frac{0,92}{4,31} = 0,21$$

Elde edilen karar matrisi için yukarıdaki işlemler tamamlanarak Tablo 4.21’de verilen teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin normalize karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4.21. Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin normalize karar matrisi.

	MI1			MI2			.....	MI9			MI10		
w _j	0,09	0,12	0,16	0,04	0,06	0,09		0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u
TG1	0,15	0,18	0,21	-	0,02	0,06	.....	-	-	-	-	-	-
TG2	0,17	0,21	0,23	0,16	0,20	0,23	.....	-	-	-	-	-	-
TG3	0,20	0,23	0,23	0,12	0,17	0,21	.....	-	-	-	-	-	-
TG4	-	-	-	-	-	-	.....	-	-	0,07	-	-	-
TG5	0,12	0,15	0,19	0,14	0,19	0,23	.....	-	-	-	-	-	-
TG6	0,17	0,21	0,23	0,19	0,23	0,25	.....	-	-	0,07	-	-	0,15
TG7	0,11	0,15	0,18	0,21	0,25	0,25	.....	-	-	-	-	-	-
TG8	-	-	0,04	-	-	-	.....	0,19	0,27	0,34	-	-	-
TG9	0,13	0,16	0,19	0,19	0,23	0,25	.....	0,23	0,30	0,38	0,30	0,46	0,62
TG10	0,10	0,13	0,17	-	-	-	.....	-	-	-	-	-	-
TG11	0,17	0,21	0,23	0,12	0,17	0,21	.....	0,19	0,27	0,34	-	-	0,15
TG12	0,06	0,10	0,13	0,08	0,12	0,17	.....	-	0,04	0,11	-	-	-

Tablo 4.21. (Devamı) Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin normalize karar matrisi.

w_j	MI1			MI2			.....	MI9			MI10		
	0,09	0,12	0,16	0,04	0,06	0,09		0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
	l	m	u	l	m	u	.....	l	m	u	l	m	u
TG13	0,02	0,06	0,10	-	-	-	.....	-	-	0,07	-	-	-
TG14	0,06	0,10	0,13	0,10	0,14	0,19	.....	-	-	-	-	-	-
TG15	-	0,04	0,08	-	0,04	0,08	.....	0,19	0,27	0,34	0,15	0,27	0,42

Elde edilen normalize karar matrisiyle, tereddütlü bulanık SWARA yöntemi ile hesaplanan müşteri isteklerinin ağırlıkları (kriter ağırlıkları) çarpılarak Tablo 4.22’de verilen kriter ağırlıklarıyla çarpılmış normalize karar matrisi hesaplanmıştır.

Tablo 4.22. Kriter ağırlıklarıyla çarpılmış normalize karar matrisi.

	D+R			Teknik Gerek.	MI1			.....	MI10		
	l	m	u		l	m	u	.....	l	m	u
0,19	0,37	0,71		TG1	0,012	0,022	0,035	.....	-	-	-
0,21	0,43	0,72		TG2	0,015	0,026	0,038	.....	-	-	-
0,54	0,98	1,55		TG3	0,017	0,028	0,038	.....	-	-	-
0,24	0,52	0,87		TG4	-	-	-	.....	-	-	-
0,63	1,10	1,56		TG5	0,010	0,019	0,032	.....	-	-	-
0,82	1,49	2,24		TG6	0,015	0,026	0,038	.....	-	-	0,002
0,54	1,00	1,60		TG7	0,009	0,018	0,030	.....	-	-	-
0,74	1,37	2,06		TG8	-	-	0,006	.....	-	-	-
1,06	1,85	2,74		TG9	0,011	0,020	0,032	.....	0,000	0,002	0,006
0,38	0,70	1,04		TG10	0,008	0,016	0,028	.....	-	-	-
0,47	1,00	1,66		TG11	0,015	0,026	0,038	.....	-	-	0,002
0,21	0,56	1,06		TG12	0,005	0,012	0,022	.....	-	-	-
0,30	0,57	0,86		TG13	0,002	0,007	0,016	.....	-	-	-

Tablo 4.22. (Devamı) Kriter ağırlıklarıyla çarpılmış normalize karar matrisi.

D+R			Teknik Gerek.	MI1			.....	MI10		
l	m	u		l	m	u		l	m	u
0,35	0,70	1,14	TG14	0,005	0,012	0,022	.....	-	-	-
0,19	0,38	0,60	TG15	-	0,005	0,013	.....	0,000	0,001	0,004

Daha sonra tereddütlü bulanık DEMATEL yöntemiyle hesaplanan teknik gereksinimlerin ilişki ağırlıkları (çatı korelasyonu), kriter ağırlıklarıyla çarpılmış normalize karar matrisine yansıtılarak Tablo 4.23’de verilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilmiştir. Eşitlik 3.29 kullanılarak MOORA Oran metodu uygulanmıştır. Bu çalışmada tüm müşteri istekleri fayda kriteri olarak alınmıştır.

$$\begin{aligned}\tilde{u}_1 &= \bar{W}_i \left(\sum_{j=1}^g w_j \tilde{x}_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j \tilde{x}_{ij} \right) = \bar{W}_i \left(\sum_{j=1}^{10} w_j \tilde{x}_{ij}^* \right) \\ &= (0,19, 0,37, 0,71) \times ((0,09, 0,12, 0,16) \times [(0,15, 0,18, 0,21) + \dots \\ &\quad + (0, 0,04, 0,08)]) = (0,019, 0,37, 0,71) \times (0,012, 0,022, 0,035) \\ &= (0,002, 0,008, 0,024)\end{aligned}$$

Tablo 4.23. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

	MI1			MI2			....	MI9			MI10		
	l	m	u	l	m	u		l	m	u	l	m	u
TG1	0,002	0,008	0,024	-	0,000	0,004	....	-	-	-	-	-	-
TG2	0,003	0,011	0,027	0,001	0,005	0,015	....	-	-	-	-	-	-
TG3	0,009	0,027	0,058	0,003	0,010	0,028	....	-	-	-	-	-	-
TG4	-	-	-	-	-	-	....	-	-	0,001	-	-	-
TG5	0,006	0,021	0,049	0,003	0,013	0,032	....	-	-	-	-	-	-
TG6	0,012	0,039	0,085	0,006	0,021	0,050	...	-	-	0,003	-	-	0,003
TG7	0,005	0,018	0,048	0,004	0,015	0,036	...	-	-	-	-	-	-
TG8	-	-	0,012	-	-	-	...	0,000	0,003	0,012	-	-	-

Tablo 4.23. (Devamı) Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

	MI1			MI2			...	MI9			MI10		
	l	m	u	l	m	u	...	l	m	u	l	m	u
TG9	0,011	0,037	0,086	0,008	0,026	0,061	...	0,001	0,005	0,018	0,001	0,004	0,018
TG10	0,003	0,011	0,030	-	-	-	...	-	-	-	-	-	-
TG11	0,007	0,026	0,063	0,002	0,010	0,031	...	0,000	0,002	0,010	-	-	0,003
TG12	0,001	0,007	0,023	0,001	0,004	0,016	...	-	0,000	0,002	-	-	-
TG13	0,000	0,004	0,014	-	-	-	...	-	-	0,001	-	-	-
TG14	0,002	0,008	0,025	0,001	0,006	0,019	...	-	-	-	-	-	-
TG15	-	0,002	0,008	-	0,001	0,005	...	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,003

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisini elde ettikten sonra eşitlik 3.30 kullanılarak Tablo 4.24’de verilen MOORA Oran metoduna göre ağırlıklı toplamlar elde edilmiştir. Örneğin TG1’in ağırlıklı toplam bulanık değerleri (0.0136, 0.0416, 0.1172) olmuştur.

Sonrasında teknik gereksinimlerin bulanık değerleri eşitlik 3.8 kullanılarak durulaştırılmıştır. TG1 için durulaştırılmış değer aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Durulaştırılmış Değer}_{TG1} = \frac{l + 2 \times m + u}{4} = \frac{0.0136 + 2 \times 0.0416 + 0.1172}{4} = 0.0535$$

Üçgensel bulanık sayıların birleştirilmesiyle elde edilen durulaştırılmış değerler Tablo 4.24’de verilmiştir. Oran metoduna göre en büyük değer ilk sırada yer alacak şekilde azalan sırada teknik gereksinimler kendi arasında sıralanarak önem dereceleri elde edilir.

Tablo 4.24. Teknik gereksinimlerin oran metodu ile sıralanması.

Teknik Gereksinimler	$\tilde{u}_1$			Durulaştırılmış Değer	Nihai Sıra
	l	m	u		
TG1	0,0136	0,0416	0,1172	0,0535	10
TG2	0,0153	0,0503	0,1212	0,0593	8

Tablo 4.24. (Devamı) Teknik gereksinimlerin oran metodu ile sıralanması.

Teknik Gereksinimler	$\tilde{u}_1$			Durulaştırılmış Değer	Nihai Sıra
	l	m	u		
TG3	0,0147	0,0717	0,2268	0,0963	7
TG4	0,0023	0,0180	0,0847	0,0307	13
TG5	0,0098	0,0332	0,0809	0,0393	12
TG6	0,0687	0,2338	0,5710	0,2768	2
TG7	0,0235	0,1013	0,2837	0,1274	6
TG8	0,0734	0,2072	0,4547	0,2356	3
TG9	0,1391	0,3962	0,8746	0,4515	1
TG10	0,0426	0,1247	0,2781	0,1425	5
TG11	0,0097	0,0397	0,1136	0,0507	11
TG12	0,0020	0,0129	0,0691	0,0242	14
TG13	0,0009	0,0064	0,0222	0,0090	15
TG14	0,0497	0,1545	0,3528	0,1779	4
TG15	0,0151	0,0481	0,1137	0,0563	9

Oran Metoduna ek olarak ağırlıklandırılmış karar matrisi üzerinden fayda kriterlerini maksimize edecek, maliyet kriterlerini minimize edecek şekilde MOORA Referans Noktası Yaklaşımı uygulanarak referans noktaları belirlenmiş ve Tablo 4.25’de verilmiştir.

Tablo 4.25. Ağırlıklandırılmış karar matrisinin referans noktaları.

	MI1			MI2			..	MI9			MI10		
	l	m	u	l	m	u		l	m	u	l	m	u
TG1	0,002	0,008	0,024	-	0,000	0,004	..	-	-	-	-	-	-
TG2	0,003	0,011	0,027	0,001	0,005	0,015	..	-	-	-	-	-	-

Tablo 4.25. (Devamı) Ağırlıklandırılmış karar matrisinin referans noktaları.

	MI1			MI2			..	MI9			MI10		
	l	m	u	l	m	u	..	l	m	u	l	m	u
TG3	0,009	0,027	0,058	0,003	0,010	0,028	..	-	-	-	-	-	-
TG4	-	-	-	-	-	-	..	-	-	0,001	-	-	-
TG5	0,006	0,021	0,049	0,003	0,013	0,032	..	-	-	-	-	-	-
TG6	0,012	0,039	0,085	0,006	0,021	0,050	..	-	-	0,003	-	-	0,003
TG7	0,005	0,018	0,048	0,004	0,015	0,036	..	-	-	-	-	-	-
TG8	-	-	0,012	-	-	-	..	0,000	0,003	0,012	-	-	-
TG9	0,011	0,037	0,086	0,008	0,026	0,061	..	0,001	0,005	0,018	0,001	0,004	0,018
TG10	0,003	0,011	0,030	-	-	-	..	-	-	-	-	-	-
TG11	0,007	0,026	0,063	0,002	0,010	0,031	..	0,000	0,002	0,010	-	-	0,003
TG12	0,001	0,007	0,023	0,001	0,004	0,016	..	-	0,000	0,002	-	-	-
TG13	0,000	0,004	0,014	-	-	-	..	-	-	0,001	-	-	-
TG14	0,002	0,008	0,025	0,001	0,006	0,019	..	-	-	-	-	-	-
TG15	-	0,002	0,008	-	0,001	0,005	..	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,003
r_j^*	0,012	0,039	0,086	0,008	0,026	0,061	..	0,001	0,005	0,018	0,001	0,004	0,018

Belirlenen referans noktaları ile kriterler arasındaki uzaklıklar eşitlik 3.31 kullanılarak hesaplanır. MI1 için TG9'un referans noktasından uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 d(\tilde{V}_{91}^*, r_1^*) &= \sqrt{\frac{[(v_{91}^{l*} - r_1^{l*})^2 + (v_{91}^{m*} - r_1^{m*})^2 + (v_{91}^{u*} - r_1^{u*})^2]}{3}} \\
 &= \sqrt{\frac{[(0,011 - 0,012)^2 + (0,037 - 0,039)^2 + (0,086 - 0,086)^2]}{3}} \\
 &= 0,0012
 \end{aligned}$$

Oluşan yeni matris Tablo 4.26'da verilmiştir. Eşitlik 3.32 kullanılarak teknik gereksinimlerin referans noktasına olan uzaklıklarının maksimum uzaklıklarına göre

artan sırada nihai sıralama yapılır. Elde edilen sıralamaya göre, TG5, TG11, TG12 ve TG13 etki değeri aynı olup, en düşük etki değerine sahip teknik gereksinimler olarak kabul edilmiştir ve sonuncu sırada yer almaktadır.

Tablo 4.26. Referans noktası yaklaşımına göre elde edilen sonuçlar ve sıralama.

Teknik Gereksinimler	$d(\tilde{V}_{ij}^*, r_j^*)$					$\tilde{u}_2$	Nihai Sıra
	MI1	MI2	.....	MI9	MI10		
TG1	0,0403	0,0362	.....	0,0107	0,0105	0,2254	7
TG2	0,0382	0,0295	.....	0,0107	0,0105	0,2795	11
TG3	0,0175	0,0210	.....	0,0107	0,0105	0,2480	9
TG4	0,0551	0,0384	.....	0,0101	0,0105	0,2544	10
TG5	0,0242	0,0186	.....	0,0107	0,0105	0,2795	11
TG6	0,0011	0,0071	.....	0,0091	0,0085	0,1374	3
TG7	0,0255	0,0159	.....	0,0107	0,0105	0,2064	6
TG8	0,0487	0,0384	.....	0,0035	0,0105	0,0708	2
TG9	0,0012	-	.....	-	-	0,0041	1
TG10	0,0368	0,0384	.....	0,0107	0,0105	0,1946	5
TG11	0,0159	0,0198	.....	0,0049	0,0090	0,2795	11
TG12	0,0414	0,0291	.....	0,0095	0,0105	0,2795	11
TG13	0,0470	0,0384	.....	0,0101	0,0105	0,2795	11
TG14	0,0400	0,0269	.....	0,0107	0,0105	0,1666	4
TG15	0,0507	0,0358	.....	0,0086	0,0089	0,2302	8

Böylece Tereddütlü Bulanık MOORA yöntemiyle iki farklı sıralama elde edilmiş ve Kalite Evi'nin tamamı çözümlenmiştir.



5. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada brode üretimi yapan bir firmada kalite düzeyinin arttırılmasını sağlayabilmek için tereddütlü bulanık dilsel terimlerden faydalanarak SWARA, DEMATEL ve MOORA tabanlı QFD modeli geliştirilmiştir.

Önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirebilmek için QFD ile ilişkili alternatif yöntemler uygulanmıştır. Uygulanan bu yöntemler HF-SWARA tabanlı QFD ve HF-SWARA ve HF-DEMATEL tabanlı QFD'dir. Aşağıdaki başlıklar altında bu yöntemlerin nasıl uygulandığı açıklanmıştır.

5.1. Tereddütlü Bulanık SWARA Tabanlı QFD

Teknik gereksinimleri önceliklendirmek için Tereddütlü Bulanık SWARA yöntemiyle elde ettiğimiz müşteri ağırlıklarından faydalanarak Bölüm 3.1'de anlatılan QFD tekniği uygulanmıştır.

Bu bölümde TG2 için tüm işlem adımları örnek verilerek hesaplanmıştır. İlk olarak eşitlik 3.1 kullanılarak müşteri istekleri ağırlıkları ile ilişki matrisi (OWA operatörü ile birleştirilmiş tereddütlü dilsel değerlendirmeler) çarpılarak RI değerleri elde edilmiştir. Karşılaştırmalı analiz yapabilmek için uygulanan bu alternatif yöntem esnasında RI değerlerini ayırt edebilmek adına HF SWARA ve QFD yönteminin kullanımında önem değeri RI3 olarak adlandırılmıştır.

$$\begin{aligned}(RI3)_2 &= \sum_{i=1}^n w_i \otimes R_{i2} \\ &= MI_1 \otimes R_{12} \oplus MI_2 \otimes R_{22} \oplus MI_4 \otimes R_{42} \oplus MI_8 \otimes R_{82} \\ &= (0.09, 0.12, 0.16)(0.75, 0.92, 1.00) \\ &\quad + (0.04, 0.06, 0.09)(0.63, 0.80, 0.92) \\ &\quad + (0.19, 0.24, 0.30)(0.67, 0.83, 0.92) \\ &\quad + (0.00, 0.00, 0.01)(0.24, 0.42, 0.58) = (0.22, 0.36, 0.53)\end{aligned}$$

Elde edilen RI3 değerleri ile beraber eşitlik 3.2 kullanılarak her bir teknik gereksinim için skor değerleri hesaplanmıştır. Skor değerleri hesaplanırken, Tablo

4.15’de teknik gereksinimler arasındaki korelasyon (T) için yapılan tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmelerinin OWA operatörü ile bütünleştirilmiş değerleri kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
 (skor3)_2 &= (RI3)_2 \oplus \sum_{j' \neq j} T_{2j'} \otimes RI_{j'} \\
 &= (0.22, 0.36, 0.53) + [(0.15, 0.40, 0.85)(0.29, 0.54, 0.85) \\
 &\quad + (0.02, 0.09, 0.31)(0.16, 0.36, 0.62) \\
 &\quad + (0.03, 0.52, 0.73)(0.35, 0.52, 0.73) \\
 &\quad + (0.03, 0.18, 0.53)(0.46, 0.73, 1.05) \\
 &\quad + (0.00, 0.03, 0.19)(0.11, 0.26, 0.51)] = (0.67, 1.59, 3.14)
 \end{aligned}$$

Son olarak hesaplanan skor değerleri eşitlik 3.8 kullanılarak durulaştırılır ve elde edilen sonuçlara göre nihai sıra elde edilir.

$$\begin{aligned}
 \text{Durulaştırılmış değer} &= \frac{\alpha^l + 2 \times \alpha^m + \alpha^u}{4} = \frac{0.67 + 2 \times 1.59 + 3.14}{4} \\
 &= 1.75
 \end{aligned}$$

Yapılan hesaplamalara göre elde edilen tüm değerler Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

5.2. Tereddütlü Bulanık SWARA ve Tereddütlü Bulanık DEMATEL Tabanlı QFD

Teknik gereksinimleri önceliklendirmek için Tereddütlü Bulanık SWARA yöntemiyle elde edilen müşteri istekleri ağırlıkları ve Tereddütlü Bulanık DEMATEL yöntemiyle elde edilen teknik gereksinim ağırlıklarından faydalanarak Bölüm 3.1’de anlatılan QFD tekniği uygulanmıştır.

Bu bölümde TG5 için tüm işlem adımları örnek verilerek hesaplanmıştır. İlk olarak eşitlik 3.1 kullanılarak müşteri istekleri ağırlıkları ile ilişki matrisi çarpılarak RI değerleri elde edilmiştir. Karşılaştırmalı analiz yapabilmek için uygulanan bu alternatif yöntem esnasında RI değerlerini ayırt edebilmek adına HF SWARA, HF DEMATEL ve QFD yönteminin kullanımında önem değeri RI4 olarak adlandırılmıştır.

$$\begin{aligned}
(RI4)_5 &= \sum_{i=1}^n w_i \otimes R_{i5} \\
&= MI_1 \otimes R_{12} \oplus MI_2 \otimes R_{22} \oplus MI_4 \otimes R_{42} \oplus MI_8 \otimes R_{82} \\
&= (0.09, 0.12, 0.16)(0.50, 0.66, 0.84) \\
&\quad + (0.04, 0.06, 0.09)(0.58, 0.75, 0.92) = (0.06, 0.13, 0.22)
\end{aligned}$$

Elde edilen RI4 değerleri ile beraber eşitlik 3.2 kullanılarak her bir teknik gereksinim için skor değerleri hesaplanmıştır. Skor değerleri hesaplanırken, Tereddütlü Bulanık DEMATEL yönteminin uygulamasından elde edilen Tablo 4.18'deki teknik gereksinim ağırlıkları $(\tilde{D} + \tilde{R})$ kullanılmıştır. Aşağıda gösterilen $\bar{W}_i$ değeri teknik gereksinimlerin ağırlıklarını $(\tilde{D} + \tilde{R})$ temsil etmektedir.

$$\begin{aligned}
(skor4)_5 &= (RI4)_5 \oplus \bar{W}_i \otimes RI_j \\
&= (0.06, 0.13, 0.22) + (0.63, 1.10, 1.56)(0.06, 0.13, 0.22) \\
&= (0.04, 0.14, 0.34)
\end{aligned}$$

Son olarak hesaplanan skor değerleri eşitlik 3.8 kullanılarak durulaştırılır ve elde edilen sonuçlara göre nihai sıra elde edilir.

$$\begin{aligned}
\text{Durulaştırılmış değer} &= \frac{\alpha^l + 2 \times \alpha^m + \alpha^u}{4} = \frac{0.04 + 2 \times 0.14 + 0.34}{4} \\
&= 0.165
\end{aligned}$$

Yapılan hesaplamalara göre elde edilen tüm değerler Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

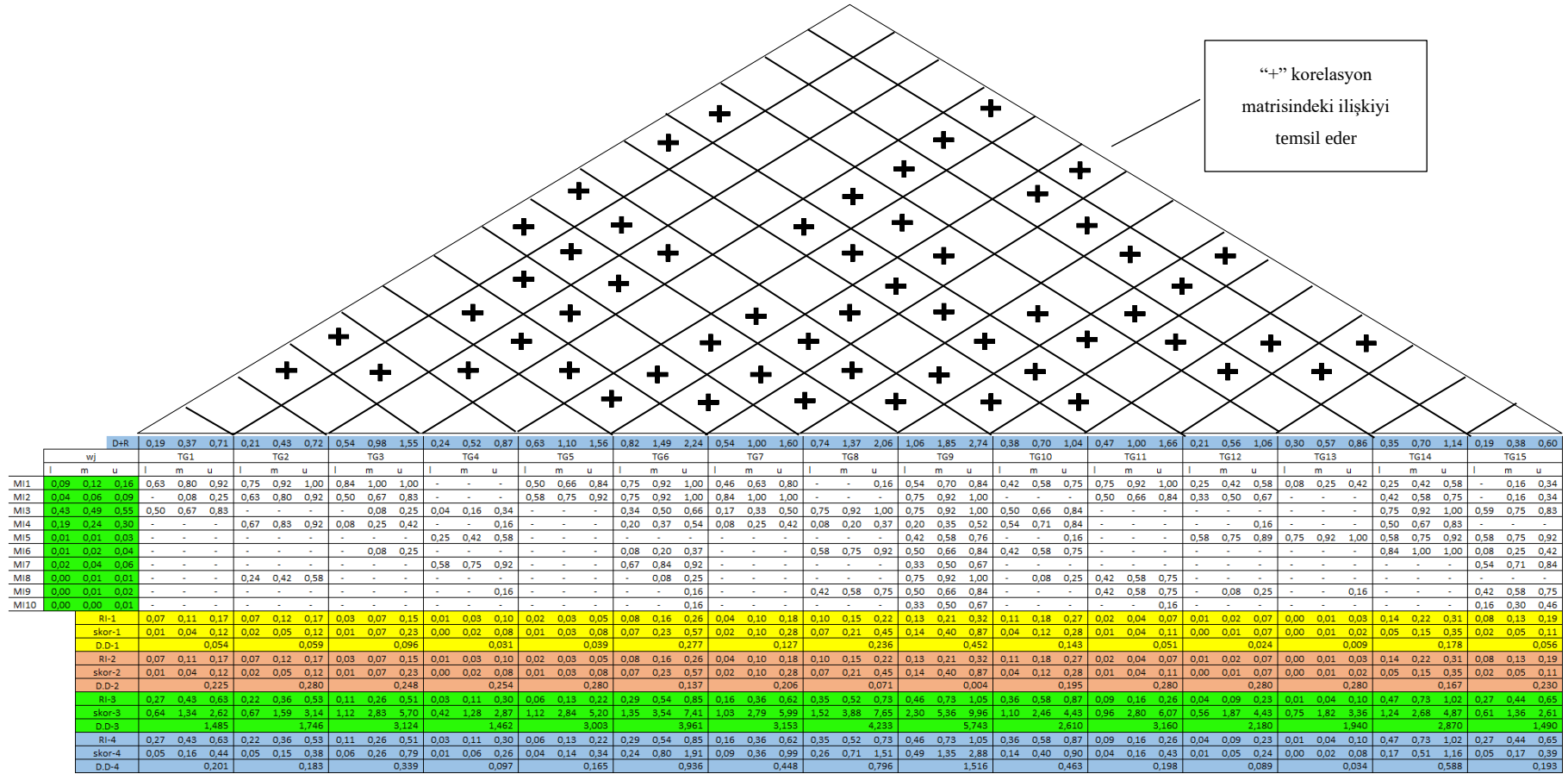
Her yöntemden elde edilen sonuçlar kullanılarak, daha etkili bir anlatım sağlamak için, Şekil 5.1'de gösterildiği gibi kalite evi çizilmiştir.

Çatı matrisinde uzmanlar tarafından yapılan teknik gereksinimler arasındaki tereddütlü bulanık ilişki değerlendirmeleri eşitlik 3.10 kullanılarak toplanmıştır ve Tablo 4.15'de verilmiştir. Şekil 5.1'de gösterilen kalite evinde çatı korelasyonu kısmında ilişkili olan teknik gereksinimler “+” simgesiyle ifade edilmiştir.

Kalite evinin ilk sıralaması Tereddütlü Bulanık SWARA, Tereddütlü Bulanık DEMATEL ve Tereddütlü Bulanık MOORA tabanlı QFD tekniğinde Oran Metodu ile elde edilmiş ve RI1, skor1 ve DD1 olarak sarı renge boyalı alanda verilmiştir. Kalite evinin ikinci basamağında ise Tereddütlü Bulanık SWARA, Tereddütlü Bulanık DEMATEL ve Tereddütlü Bulanık MOORA tabanlı QFD tekniğinde Referans Noktası Yaklaşımı ile elde edilmiş ve RI2, skor2 ve DD2 ifadeleriyle

pembe renge boyalı alanda verilmiştir. Burada DD2 referans noktasında hesaplanan değerleri ifade etmektedir. 3. ve 4.alanlarda verilen sonuçlar 5.1 ve 5.2.başlıkları altında açıklanmıştır.





Şekil 5.1. Kalite evi.

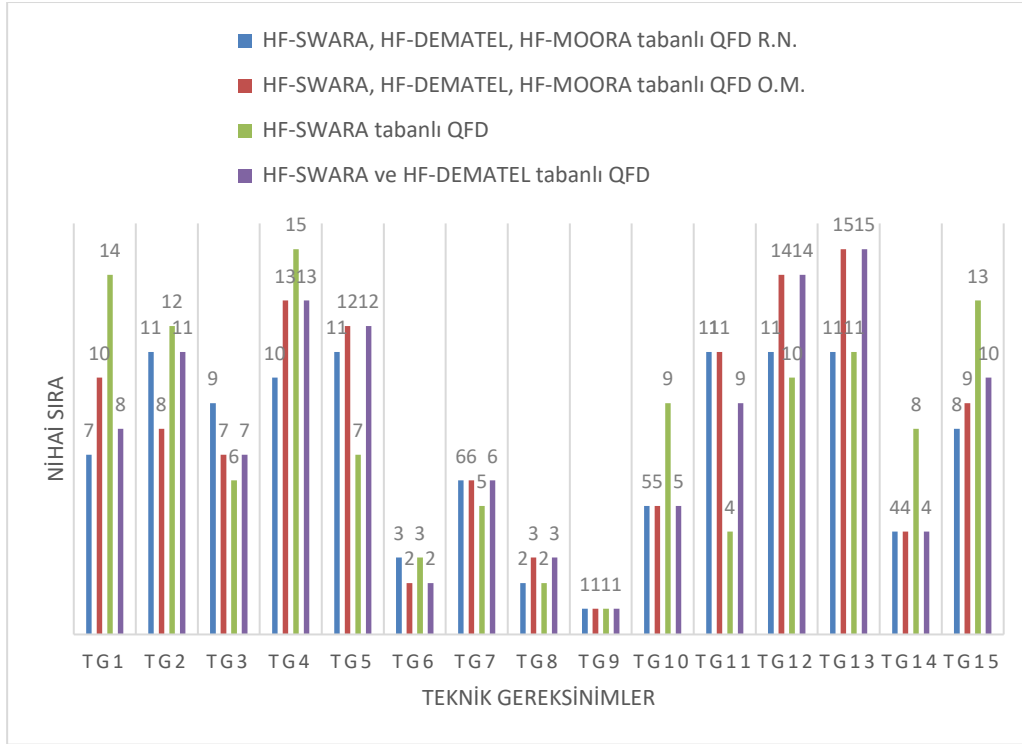
Tablo 5.1. Teknik gereksinimler için uygulamadan elde edilen durulaştırılmış değerler ve nihai sıralar.

Teknik Gereksinimler	HF -SWARA, HF-DEMATEL, HF-MOORA tabanlı QFD Oran Metodu		HF -SWARA, HF-DEMATEL, HF-MOORA tabanlı QFD Referans Noktası Yaklaşımı		HF-SWARA tabanlı QFD		HF-SWARA, HF-DEMATEL tabanlı QFD	
	DD-1	Nihai Sıra	DD-2 (mak $d(\tilde{V}_{ij}^*, r_j^*)$)	Nihai Sıra	DD-3	Nihai Sıra	DD-4	Nihai Sıra
TG1	0,0535	10	0,2254	7	1,48	14	0,201	8
TG2	0,0593	8	0,2795	11	1,75	12	0,183	11
TG3	0,0963	7	0,2480	9	3,12	6	0,339	7
TG4	0,0307	13	0,2544	10	1,46	15	0,097	13
TG5	0,0393	12	0,2795	11	3,00	7	0,165	12
TG6	0,2768	2	0,1374	3	3,96	3	0,936	2
TG7	0,1274	6	0,2064	6	3,15	5	0,448	6
TG8	0,2356	3	0,0708	2	4,23	2	0,796	3
TG9	0,4515	1	0,0041	1	5,74	1	1,516	1
TG10	0,1425	5	0,1946	5	2,61	9	0,463	5
TG11	0,0507	11	0,2795	11	3,16	4	0,198	9
TG12	0,0242	14	0,2795	11	2,18	10	0,089	14

Tablo 5.1. (Devamı) Teknik gereksinimler için uygulamadan elde edilen durulaştırılmış değerler ve nihai sıralar.

Teknik Gereksinimler	HF -SWARA, HF-DEMATEL, HF-MOORA tabanlı QFD Oran Metodu		HF -SWARA, HF-DEMATEL, HF-MOORA tabanlı QFD Referans Noktası Yaklaşımı		HF-SWARA tabanlı QFD		HF-SWARA, HF-DEMATEL tabanlı QFD	
	DD-1	Nihai Sıra	DD-2 ($\max d(\tilde{V}_{ij}^*, r_j^*)$)	Nihai Sıra	DD-3	Nihai Sıra	DD-4	Nihai Sıra
TG13	0,0090	15	0,2795	11	1,94	11	0,034	15
TG14	0,1779	4	0,1666	4	2,87	8	0,588	4
TG15	0,0563	9	0,2302	8	1,49	13	0,193	10

Geliştirilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek için HF-SWARA, HF-DEMATEL ve HF-MOORA tabanlı QFD, HF-SWARA tabanlı QFD ve HF-SWARA, HF-DEMATEL tabanlı QFD'nin sonuçları Tablo 5.1'de karşılaştırılmıştır. Tablo 5.1'de verilen sonuçları görselleştirmek için Şekil 5.2'de verilen çubuk grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.2. Teknik gereksinimler için elde edilen nihai sıralamaların grafik üzerinde gösterimi.

Tablo 5.1 ve Şekil 5.2'de görüldüğü üzere 4 yaklaşımdan elde edilen sonuçlara göre TG9 (personel) en önemli teknik gereksinim olduğu görülmüştür.

TG9'u izleyen sırada HF-SWARA, HF-DEMATEL ve HF-MOORA Referans Noktası tabanlı QFD ve HF-SWARA tabanlı QFD tekniklerinin uygulama sonucundan elde edilen sıralamadaki TG8 (metal parça kırılmalarının tam zamanında tespit edilmesi) gelmektedir. Aynı şekilde HF MOORA Oran Metodu tabanlı QFD ve HF SWARA ve HF DEMATEL tabanlı QFD tekniklerinin uygulama sonucundan elde edilen sıralamada en önemli teknik gereksinimden sonra TG6 (hammadde) 2. sırada gelmektedir. Bu teknik gereksinim diğer yöntemlerin sıralamasına göre ise 3.sırada yer almaktadır.

Bu durumda uygulanan dört yöntemden de elde edilen sıralamaya göre önemlilik düzeyi yüksek olan ilk 3 teknik gereksinimin aynı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu

sonuca göre en önemli teknik gereksinim olarak belirlenen personel dikkatsizliğinden doğabilecek olumsuz durumların tüm sistemi etkileyebileceğini söylemek ve personellerin verilen görevi eksiksiz bir şekilde yerine getirmesi gerektiğini vurgulamak mümkündür. Aynı şekilde ürün üzerinde, ürüne veya insan vücuduna zarar verebilecek zararlı maddelerin bulunması ve hammadde seçiminin ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Şekil 5.2'deki grafik incelendiğinde HF-SWARA, HF-DEMATEL ve HF-MOORA tabanlı QFD'nin her iki yaklaşımı ve HF-SWARA, HF-DEMATEL tabanlı QFD uygulamalarının sonuçlarına göre en önemli 4.teknik gereksinimin TG14 (kepçe ayaklarının kontrolü) olduğu görülmektedir. HF-SWARA tabanlı QFD yöntemine göre ise en önemli teknik gereksinim TG11 (otomatik makine kullanımı) olarak belirlenmiştir. Her iki teknik gereksinimi karşılaştırdığımızda kepçe ayaklarının kontrolünün sağlanması (TG14) ile üretim esnasında ürüne zarar verebilecek tüm olumsuzlukları önleyebilir konumdadır. Otomatik makine kullanımı (TG11)'da müşteri isteklerini önemli düzeyde karşılayabilecek bir alternatiftir. Fakat küçük ve orta ölçekli işletmeler yüksek yatırım maliyetleri sebebiyle bu yöntemi çok fazla tercih etmemektedir. TG11'in HF-SWARA tabanlı QFD yönteminde önem düzeyinin yüksek çıkması, bu yöntemde -diğer yöntemlerden farklı olarak HF-DEMATEL kullanılmadığından- teknik gereksinimler arasındaki korelasyonun iyi yansıtılamadığı şeklinde yorumlanmıştır.

Elde edilen tüm sıralamalar karşılaştırıldığında HF-SWARA, HF-DEMATEL ve HF-MOORA tabanlı QFD ve HF-SWARA, HF-DEMATEL tabanlı QFD modellerinin sonuçlarından elde edilen sıralamaların birbiriyle tutarlı olduğu gözlemlenmiştir, buna ilaveten bu çalışmada sunulan yaklaşımın daha hassas ve daha etkinli sonuçlar bulduğu yorumlanmıştır. HF-SWARA tabanlı QFD tekniğinden elde edilen sonuçların ise belirli bir aşamadan sonra müşteri isteklerini gerçekleştirebilecek olan teknik gereksinimlerin değerlendirilmesinde zayıf kaldığı yorumlanmıştır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada brode üretimi yapan bir firmanın ürettiği ürünleri üzerinde kalite düzeylerinin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik Kalite Fonksiyon Yayılımı tekniğinden faydalanılarak, müşteri isteklerini karşılayabilecek üretime yönelik teknik gereksinimlerin önem düzeylerinin belirlenmesi ve sıralanması hedeflenmiştir. Çalışmada uzman görüşlerindeki belirsizliği yönetebilmek için tereddütlü bulanık dilsel ifadeler kullanılmıştır. Bu durum uzmanların değerlendirmelerini yaparken birden fazla görüşe sahip olmaları halinde kararsızlık altında rahat bir şekilde görüşlerini ifade etmelerine imkan sağlamıştır.

Tereddütlü dilsel görüşler OWA operatörünün normal dağılıma dayalı ağırlık faktörü kullanılarak bütünleştirilmiştir. Sonra sırasıyla kalite evinin yapısı inşa edilmek üzere HF-SWARA, HF-DEMATEL ve HF-MOORA yöntemleri uygulanmıştır.

Uygulamada kullanılan QFD üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- I. Tereddütlü Bulanık SWARA tekniği ile müşteri isteklerinin ağırlıklandırılması
- II. Tereddütlü Bulanık DEMATEL tekniği ile teknik gereksinimler arasındaki korelasyonun ortaya çıkarılması (korelasyon matrisi)
- III. Tereddütlü Bulanık MOORA yaklaşımları ile teknik gereksinimler ile müşteri istekleri arasındaki ilişkinin (ilişki matrisi) analiz edilerek teknik gereksinim önceliklerinin hesaplanması

İlk adım olarak müşteri istekleri belirlenmiştir. Daha sonra müşteri isteklerini karşılayabilecek teknik gereksinimler araştırılarak tespit edilmiştir. Müşteri beklentilerini ve teknik gereksinimleri doğru bir şekilde değerlendirebilecek, brode alanında tecrübeli uzmanlardan bir grup oluşturulmuştur. Bu uzman grubu, sektörde uzun deneyimlere sahip, bilgi birikimi konusunda üst düzey yöneticilerden ve mühendislerden oluşmaktadır. Müşteri istekleri belirlendikten sonra HF SWARA ile müşteri isteklerinin ağırlıkları hesaplanmış ve kalite evi'nin ilk aşaması tamamlanmıştır.

İkinci adım olarak HF DEMATEL ile teknik gereksinimler arasındaki korelasyon matrisi ortaya çıkarılmış ve tekniğin uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar ile kalite evinin çatı matrisindeki etki ağırlıkları hesaplanmıştır.

Üçüncü adım olarak teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisi değerlendirilerek HF MOORA tekniği uygulanmıştır. Uygulama sırasında HF SWARA yönteminden elde edilen müşteri istekleri ağırlıkları ile, HF DEMATEL yönteminden elde edilen teknik gereksinimlerin ağırlıkları ilişki matrisiyle etkileştirilmiştir. Böylece kalite evi yapısı içinde tereddütlü bulanık ortamda ÇKKV teknikleri kullanılmış ve teknik gereksinimlerin etki değerleri hesaplanarak önem sıraları belirlenmiştir.

HF-SWARA, HF-DEMATEL ve HF-MOORA tabanlı QFD yaklaşımı ile yapılan çalışmada MOORA Oran Metodu ve MOORA Referans Noktası metotları kullanımı ile iki farklı sıralama elde edilmiştir. Elde edilen bu sıralamaların etkinliğini değerlendirebilmek için 5.bölümde alternatif yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler sırasıyla HF-SWARA tabanlı QFD ve HF-SWARA ve HF-DEMATEL tabanlı QFD yöntemleridir. Uygulama sonucuna alternatif olarak geliştirilen bu yöntemlerin çözümü sonrasında, elde edilen sıralamalar da karşılaştırmalı analiz kısmında değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada önerilen modelin avantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- ✓ HFLTS kullanımı, karar vericilerin belirsizlik altında değerlendirmelerini daha esnek bir şekilde ifade etmesini sağlar. Bu temelde, OWA ile tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmelerin bütünleştirilmesi sağlanmıştır.
- ✓ Tereddütlü Bulanık SWARA tekniği, belirsizlik altında karar vericiye önceliklendirme imkanı veren uzman odaklı bir yöntem olduğundan müşteri isteklerinin ağırlıklarının hesaplanmasında karar vericilerin değerlendirmelerini tahmin edebilme yeteneğine sahiptir.
- ✓ Tereddütlü Bulanık DEMATEL tekniği, teknik gereksinimler arasındaki korelasyonun etki değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. Aynı zamanda teknik gereksinimlerin neden-sonuç diyagramındaki etkileyen-etkilenen ilişkisini de gösterebilme yeteneğine sahiptir.

- ✓ Tereddütlü Bulanık MOORA tekniği, alternatiflerin öncelik sıralamasını belirlemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu sebeple yapılan çalışmada teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisini belirlemede etkili bir araç olmuştur.

Bu tez, 10 farklı müşteri isteğinin belirlenen 15 farklı teknik gereksinim ile karşılanması düzeyindeki önem sırasını elde etmektedir. Tekstil sektöründe brode üretimi yapan işletmeler için uygulanabilir bir yöntem içermektedir.

Bu çalışmadaki diğer bir çıkarım ise tereddütlü dilsel ifadelerin kullanımı ile karar vericiler üzerindeki belirsizliklerin yönetilebilmesinin problemin çözümüne katkı sağlamasıdır. Kullanımındaki esneklik sayesinde karar verme tekniklerine rahatça entegre edilebilir bir işleve sahiptir. Ayrıca çalışmada OWA operatöründen faydalanılıyor olması, karar vericilerin belirsizlik tercihlerinin etkili bir şekilde yönetilebilmesine ve değerlendirme girdi verilerinin hatasının azaltılabilmesine katkı sağlamaktadır.

Bir başka katkı ise, tekstil sektöründe müşteri beklentilerinin önemli bir düzeye sahip olduğu ve küresel rekabet ortamında işletmelerin daha güçlü bir konuma sahip olmaları için müşteri sesine beklenen düzeyde cevap verilebileceğini gösterebilmesidir. Böylece yöneticilerin karar verme problemlerinde kullanabileceği ve onlara yol gösterebileceği bir çerçeve sunmaktadır.

Gelecek çalışmalarda bu çalışmada sunulan yöntem ile farklı müşteri istekleri değerlendirilebilir buna ilaveten farklı sektörlerde de sunulan bu yöntem ile uygulamalar yapılabilir.

Sonuç olarak bu tez kapsamında sunulan tereddütlü bulanık ortamda karar verme teknikleriyle entegre QFD metodolojisi, araştırmacılara daha iyi ürün performansı ve müşteri memnuniyeti sağlamak için uygulanabilecek kapsamlı ve sistematik bir yol sunar.



KAYNAKLAR

- Akkaya, G., Turanoğlu, B., Öztaş, S. (2015). An integrated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing, *Expert Systems With Applications*, 42(24), 9565-9573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.07.061>
- Akao, Y. (1972). New Product Development and Quality Assurancequality Deployment System. *Standardization and Quality Control*, 25 (4), 7–14.
- Altanassov, K.T. (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets Systems*, 20, 87-96.
- Asan, U., Kadaifci, C., Bozdag, E., Soyer, A., Serdarasan, S. (2018). A new approach to DEMATEL based on interval-valued hesitant fuzzy sets, *Applied Soft Computing*, 66, 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.01.018>
- Aslan, B., Gries, T. (2014). Kalite Fonksiyon Yayilimi (QFD): Tekstil Esasli Araştırma & Geliştirmede Gelişmiş Uygulama, Xiii. *Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu*, 2-5 Nisan 2014.
- Atasağun, H., Öner, E., Boyacı, B., Okur, A. (2019). Underwear Purchasing Behavior of Turkish Consumers and A Quality Function Deployment Application, *Journal of Textiles and Engineer*, 26(114), 168-175. <https://doi.org/10.7216/1300759920192611406>
- Attri, S., Singh, S., Dhar, A., Powar, S. (2022). Multi-attribute sustainability assessment of wastewater treatment technologies using combined fuzzy multi-criteria decision-making techniques, *Journal of Cleaner Production*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131849>
- Aydin, N., Seker, S., Deveci, M., Ding, W., Delen, D. (2023). A linear programming-based QFD methodology under fuzzy environment to develop sustainable policies in apparel retailing industry. *Journal of Cleaner Production*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135887>
- Ayhan, H.H. (2022). Brode Endüstrisi Atik Sularında Elektrooksidadasyon Prosesi İle Toplam Organik Karbon Giderimi [*Yüksek Lisans Tezi*]. Kocaeli Üniversitesi.
- Baležentis, A., Baležentis, T., Brauers, W. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA, *Expert Systems with Applications*, 39(9), 7961-7967. <http://doi:10.1016/j.eswa.2012.01.100>
- Brauers, W.K., Zavadskas, E.K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics*, 35(2), 445-469.
- Büyüközkan, G., Güler, M. (2021). A combined hesitant fuzzy MCDM approach for supply chain analytics tool evaluation, *Applied Soft Computing*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107812>

- Chan, L., Wu, M. (2002). Quality function deployment: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 143, 463-497.
- Chanas, S. (2001). On the interval approximation of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and Systems*, 122(27), 353-356.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *Eur. J. Oper. Res.* 95 (3), 649–655.
- Chang, B., Chang, W., Wu, H. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. *Expert Systems with Applications*, 38(114), 1850-1858. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.114>
- Chen, Y., Ran, Y., Huang, G., Xiao, L., Zhang, G. (2021). A new integrated MCDM approach for improving QFD based on DEMATEL and extended MULTIMOORA under uncertainty environment, *Applied Soft Computing*, 105, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107222>
- Çelik, T., Arslankaya, S. (2023). Analysis of quality control criteria in an business with the fuzzy DEMATEL method: Glass business example. *Journal of Engineering Research*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100039>
- Delgado, M., Vila, M.A., Voxman, W. (1998). On a canonical representation of fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, 93, 125-135.
- Dinçer, H., Yüksel, S., Martínez, 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. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.07.072>
- Erdal, H., (2022). Liderliğin Karanlık Yüzü : Tereddütlü Bulanık Dilsel Terimler Tabanlı Swara Yönetimi İle Zararlı/ Olumsuz Liderlik Türlerinin Karşılaştırmalı Nicel Analizi (1), 205-231. Orion Akademi.
- Erdil, A. (2019). An Evaluation on Lifecycle of Products in Textile Industry of Turkey through Quality Function Deployment and Pareto Analysis, *Procedia Computer Science*, 158, 735-744. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.109>
- Filev, D., Yager, R. (1998). On the issue of obtaining OWA operator weights, *Fuzzy Sets and Systems*, 94, 157-169.
- Frangui, X., Kaiye, G., Bowen, X., Jicheng, L., Zixuan, W. (2022). Risk assessment for the integrated energy system using a hesitant fuzzy multi-criteria decision-making framework, *Energy Reports*, 8, 7892-7907. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.014>
- Gou, X., Liao, H., Xu, Z., Herrera, F. (2017). Double hierarchy hesitant fuzzy linguistic term set and MULTIMOORA method: A case of study to evaluate the implementation status of haze controlling measures. *Information Fusion*, 38(8), 22-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.inffus.2017.02.008>
- Güllece, S. (2019). Ödeme Kaydedici Cihazlar İçin Kullanılan Bulut Sisteminin Bütünleşik Bulanık Dematel Ve Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı Yöntemleri İle İyileştirilmesi [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.

- Hergeth, H. (2010). Launching Products Towards the Right Target, *The Journal of The Textile Institute*, 95(1-6), 251-259. <https://doi.org/10.1533/joti.2003.0026>
- Kaya, S., Erginel, N. (2020). Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment, *Journal of Cleaner Production*, 275, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123880>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. (2010) Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (Swara), *Journal of Business Economics and Management*, 11:2, 243-258, <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Kuleli, A. (2015). Brode Makinelerinde Kordone Aparatının İyileştirilmesi Suretyle Kumaş Desen Çeşitliliğinin Geliştirilmesi [*Yüksek Lisans Tezi*]. Ege Üniversitesi.
- Liang, D., Darko, A., P., Xu, Z., Wang, M. (2019). Aggregation of dual hesitant fuzzy heterogenous related information with extended Bonferroni mean and its application to MULTIMOORA. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 156-176. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.029>
- Liao, H., Xu, Z., Zeng, X.J. (2014). Distance and similarity measures for hesitant fuzzy linguistic term sets and their application in multi-criteria decision making. *Information Sciences*, 271, 125-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.125>
- Liao, H., Xu, Z., Zeng, X.J., Merigo, J.M. (2015). Qualitative decision making with correlation coefficients of hesitant fuzzy linguistic term sets. *Knowledge-Based Systems*, 76, 127-138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2014.12.009>.
- Liao, H., Yang, L., Xu, Z. (2018). Two new approaches based on ELECTRE II to solve the multiple criteria decision making problems with hesitant fuzzy linguistic term sets. *Applied Soft Computing*, 63, 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.11.049>
- Liu, C., Fan, J., Li, P., Chen, Z. (2014). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 34(123), 168-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2014.04.011>
- Liu, H., Rodríguez, R. (2014). A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making, *Information Sciences*, 258, 220-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.07.027>
- Liu, X., Han, S. (2008). Orness and parameterized RIM quantifier aggregation with OWA operators: A summary, *International Journal of Approximate Reasoning*, 48, 77-97. <http://doi.org/10.1016/j.ijar.2007.05.006>
- Mardani, A., Saraji, M., Mishra, A., Rani, P. (2020). A novel extended approach under hesitant fuzzy sets to design a framework for assessing the key challenges of digital health interventions adoption during the COVID-19 outbreak, *Applied Soft Computing Journal*, 96, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106613>

- Mishra, A., Rani, P., Krsihankumar, R., Ravichandran, K. (2021). An extended fuzzy decision-making framework using hesitant fuzzy sets for the drug selection to treat the mild symptoms of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), *Applied Soft Computing Journal*, 103,1-18. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107155>
- Onar, S., 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.04.023>
- Paksoy, S. (2017). Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar, Karahan Kitabevi.
- Rajamanickam, R., Park, S., Jayaraman, S. (2009). A Structured Methodology for the Design and Development of Textile Structures in a Concurrent Engineering Framework, *Journal of the Textile Institute*, 89(3), 44-62. <https://doi.org/10.1080/00405009808658682>
- Rani, P., Mishra, A., Krishankumar, R., Mardani, A., Cavallaro, F., Ravichandran, K., Balasubramanian, K. (2020). Hesitant Fuzzy SWARA-Complex Proportional Assessment Approach for Sustainable Supplier Selection, *Symmetry*, 12(1152). <https://doi:10.3390/sym12071152>
- Reda, H., Dvivedi, A. (2022). Decision-making on the selection of lean tools using fuzzy QFD and FMEA approach in the manufacturing industry, *Expert Systems With Applications*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116416>
- Rodriguez, R.M., Martinez, L., Herrera, F. (2012). Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1), 109-119. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2011.2170076>
- Salahuddin, M., Romeo, L. (2020). Wearable technology: are product developers meeting consumer's needs?, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(1), 58-67. <https://doi.org/10.1080/17543266.2020.1723713>
- Saraji, M., Mardani, A., Köppen, M., Mishra, A., Rani, P. (2022). An extended hesitant fuzzy set using SWARA-MULTIMOORA approach to adapt online education for the control of the pandemic spread of COVID-19 in higher education institutions, *Springer*, 55, 181-206. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10029-9>
- Shang, Z., Yang, X., Barnes, D., Wu, C. (2022). Supplier selection in sustainable supply chains: Using the integrated BWM, fuzzy Shannon entropy, and fuzzy MULTIMOORA methods, *Expert Systems With Applications*, 195, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116567>
- Tatman, D. (2020). An Application about Analytical Hierarchy Process and Implementation of Quality Function in Bathrobe Product Development, *Journal of Textiles and Engineer*, 27(119), 166-177. <https://doi.org/10.7216/1300759920202711905>
- Torra, V. (2010). Hesitant Fuzzy Sets. *International Journal of Intelligent Systems* 25 (6), 529–539.

- Tu, Y., Wang, H., Zhou, X., Shen, W., Lev, B. (2021). Comprehensive Evaluation Of Security, Equity, And Efficiency On Regional Water Resources Coordination Using A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Method With Different Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets. *Journal of Cleaner Production*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127447>
- Vatansever, K., Uluköy, M. (2013). Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemlerinin Bulanık Ahp Ve Bulanık Moora Yöntemleriyle Seçimi: Üretim Sektöründe Bir Uygulama. *CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 274-293.
- Viedma, H., Herrera, F., Martínez, L., Herrera, J.C., Lopez, A.G. (2004). Incorporating Filtering techniques in a fuzzy linguistic multi-agent model for information gathering on the web, *Fuzzy Sets and Systems*, 148, 61-83. <http://doi:10.1016/j.fss.2004.03.006>
- Vinodh, S., Chintha, S. (2010). Application of fuzzy QFD for enabling leanness in a manufacturing organisation, *International Journal of Production Research*, 49(6), 1627-1644. <https://doi.org/10.1080/00207540903568729>
- Wang, C. (2015). Using quality function deployment to conduct vendor assessment and supplier recommendation for business-intelligence systems, *Computers & Industrial Engineering*, 84, 24-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.005>
- Wang, X., Gou, X., Xu, Z. (2020). Assessment of traffic congestion with ORESTE method under double hierarchy hesitant fuzzy linguistic environment. *Applied Soft Computing Journal*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105864>
- Wu, S.M., Liu, H.C., Wang, L. (2016). Hesitant fuzzy integrated MCDM approach for quality function deployment: a case study in electric vehicle, *International Journal of Production Research*, 55(15), 4436-4449. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1259670>
- Wu, Y., Wang, Y., Chen, K., Xu, C., Li, L. (2017). Social sustainability assessment of small hydropower with hesitant PROMETHEE method. *Sustainable Cities and Society*, 35, 522-537. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.034>.
- Wu, Y., Zhou, J. (2019). Risk assessment of urban rooftop distributed PV in energy performance contracting (EPC) projects: An extended HFLTS-DEMATEL fuzzy synthetic evaluation analysis, *Sustainable Cities and Society*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101524>
- Xu, Z. (2005). An Overview of Methods for Determining OWA Weights, *International Journal of Intelligent Systems*, 20, 843-865. <http://doi:10.1002/int.20097>
- Xu, Z., Chen, N. (2015). Hesitant fuzzy ELECTRE II approach: A new way to handle multi-criteria decision making problems. *Information Sciences*, 292, 175-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.08.054>.
- Xu, Z., Xia, M. (2011). Distance and similarity measures for hesitant fuzzy sets, *Information Sciences*, 181, 2128-2138. <http://doi:10.1016/j.ins.2011.01.028>
- Yager, R.R. (1988). On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking, *IEEE Transactions On System*, 18(1), 183-190. 001S-9472/88/0100-0183\$01.00

- Younesi, M., Raghanian, E. (2015). A framework for sustainable product design: a hybrid fuzzy approach based on Quality Function Deployment for Environment, *Journal of Cleaner Production*, 108, 385-394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.028>
- Zadeh, L.A. (1965). The Concept of A Linguistic Variable and Its Applications to Approximate Reasoning. *Information Sciences*, 9, 43-80.





EKLER

EK A. Tablolar

Tablo A.1. Teknik gereksinimler arasındaki kolektif tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeler.

	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9	TG10	TG11	TG12	TG13	TG14	TG15
TG1			ÇD									ÇD			
TG2			D, ÇD												
TG3						Y	Y	Y							
TG4						Y					O	D	ÇY, O, D	Y, D	Y, O
TG5			ÇY, Y			ÇY	ÇY	Y	Y			O			
TG6		Y	Y, D		ÇY		Y	Y	O, ÇD	ÇY, Y	ÇY, Y	D		O	Y, D, ÇD
TG7		O, ÇD						D	Y					ÇD	
TG8	ÇY, Y	ÇY	ÇY, Y				Y, D			O	O, D	O, D		O, D	
TG9	O	O, D, ÇD	ÇY, Y				Y	ÇY, Y		Y, O	Y, O	Y, O, D	Y	ÇY, Y	
TG10									ÇY, Y				ÇY		
TG11	Y, O				Y, O, D	O, D	ÇY, Y	ÇY, Y		D, ÇD			D	D, ÇD	
TG12	ÇD								ÇY, Y, D, ÇD					ÇY, O, D	Y, O, D
TG13									ÇY, Y, O						
TG14									ÇY						
TG15									ÇY, Y						

Tablo A.2. Teknik gereksinimlerin müşteri istekleri üzerine etkisinin kolektif tereddütlü bulanık dilsel değerlendirmeleri.

	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	MI6	MI7	MI8	MI9	MI10
TG1	ÇY, Y, O	D, ÇD	Y, O							
TG2	ÇY, Y	ÇY, Y, O		ÇY, O, Y				Y, OD, D		
TG3	ÇY	Y, O	D, ÇD	OD, D		D, ÇD				
TG4			OD, D, ÇD	ÇD	O, OD		Y, OY		ÇD	
TG5	Y, OY, O	Y, OY								
TG6	ÇY, Y	ÇY, Y	OY, O, OD	OY, OD, D		O, D, ÇD	Y, ÇY, O	D, ÇD	ÇD	ÇD
TG7	Y, OY, OD	ÇY	O, D	D, OD						
TG8	ÇD		ÇY, Y	O, D, ÇD		Y, OY			Y, OY, O, OD	
TG9	ÇY, OY, O	ÇY, Y	ÇY, Y	Y, O, OD, D, ÇD	Y, OY, D	Y, OY, O	OY, OD	ÇY, Y	Y, OY, O	OY, OD
TG10	OY, O		Y, OY, O	ÇY, Y, D	ÇY	OY, O		D, ÇD		
TG11	ÇY, Y	Y, OY, O						Y, OY, O, OD	OY, O	ÇD
TG12	O, OD	OY, OD		ÇD	ÇY, Y, OY, O				D, ÇD	
TG13	ÇD, D				ÇY, Y				ÇD	
TG14	O, OD	OY, O	ÇY, Y	Y, O	Y, OY	ÇY				
TG15	D	D	ÇY, O		Y, OY	OD, D	ÇY, Y, D		OY, O	O, OD, ÇD

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Büşra BAKDAAL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2018-2019 yılları arasında 8 ay, sunta üretimi yapan bir firmada Satınalma Elemanı olarak çalıştı.
- 2021-2023 yılları arasında 2 yıl 3 ay, tekstil sektöründe brode imalatı yapan bir firmada Analiz ve Raporlama Uzmanı olarak çalıştı.

TEZ KONUSU ALANINDAN TÜRETİLEN ESERLER:

- Bakdaal, B., Tekez, E. (2023, Temmuz). Tekstil Sektöründe Süreç İyileştirme İçin Ürün Hatalarının Analizi. 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 5.ICAENS 2023 Proceedings Book, 1079-1084. 10-12 Temmuz, 2023.

DİĞER ESERLER:

- Bakdaal, B., Akcan, S. (2021,07, Temmuz). Kapı Kilidi Üreten Bir İşletmede POKA-YOKE ile Süreç İyileştirme ve Makina Tasarımı. 40.YAEM KONGRESİ, İstanbul, Türkiye.
- Bakdaal, B., Akcan, S. (2020, 21-23, October). Yalın Üretim Tekniklerinin Küçük Ölçekli Bir Üretim Tesisinde Uygulanması. 5th International Mediterranean Science and Engineering Congress, IMSEC 2020 PROCEEDINGS BOOK, Antalya, Turkey.
- Bakdaal, B. (2018). Kapı Kilidi Üreten Bir İşletmede Yalın Üretim Tekniklerini Kullanarak Süreç İyileştirme. TUBITAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı.
- Bakdaal, B., Tekez, E. (2021, Kasım). Emniyet Kilidi Üretim Hattının Simülasyon Kullanılarak İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi / EJOSAT. ICEANS 2021.