

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ÜRETİM İŞLETMESİNİN ENERJİ TESİSİ İÇİN
BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE KAZAN SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYNEP ÇEVİK

DENİZLİ, ARALIK - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BİR ÜRETİM İŞLETMESİNİN ENERJİ TESİSİ İÇİN
BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE KAZAN SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYNEP ÇEVİK

DENİZLİ, ARALIK - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ZEYNEP ÇEVİK

ÖZET

BİR ÜRETİM İŞLETMESİNİN ENERJİ TESİSİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE KAZAN SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYNEP ÇEVİK

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALİYE AYÇA SUPÇİLLER)

DENİZLİ, ARALIK - 2024

Kazanlar, çeşitli uygulamalar için ısıtma ve sıcak su sağlayan, birçok endüstriyel ve ticari tesisin önemli bir bileşenidir. Ancak pek çok farklı tip ve modelin mevcut olması nedeniyle doğru kazanı seçmek önemlidir.

Kazan seçerken dikkate alınması gereken birçok faktör vardır. Öncelikle kazanın büyüklüğü ve kapasitesi tesisin ısıtma ve diğer ihtiyaçlarına uygun olmalıdır. Çok küçük bir kazan yeterli ısıtma sağlamayacak, çok büyük bir kazan ise verimsiz olacak ve enerji israfına neden olacaktır. İkinci olarak kazanın yakıt cinsi ve verimi değerlendirilmelidir. Farklı yakıtların farklı maliyetleri ve çevresel etkileri vardır ve kazanın verimliliği işletme maliyetlerini etkileyecektir. Son olarak kazanın maliyeti ve bakım gereksinimleri dikkate alınmalıdır. Daha ucuz bir kazan başlangıçta iyi bir seçenek gibi görünse de sık sık onarım veya yedek parça gerektirmesi durumunda uzun vadede daha pahalıya mal olabilir.

Bulanık çok kriterli karar verme, birden fazla kritere dayalı olarak farklı seçenekleri değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılacak bir yöntemdir. Bulanık mantık, karar verme durumlarında sıklıkla karşılaşılan, kesin olmayan veya belirsiz verilerin temsiline olanak sağlayan matematiksel bir araçtır. Bulanık mantığı kullanarak karar vericiler mevcut bilgilerin belirsizliğini ve belirsizliğini hesaba katabilir ve daha bilinçli kararlar verebilir. Karar vermede bulanık mantık kullanmanın avantajları arasında eksik veya belirsiz verileri işleme yeteneği, farklı veri türlerini temsil etme esnekliği ve farklı seçeneklerin daha kapsamlı bir değerlendirmesini sağlama yeteneği yer almaktadır. Bulanık çok kriterli karar vermede yer alan adımlar; problemin tanımlanması, kriterlerin belirlenmesi, kriterlere ağırlık verilmesi, seçeneklerin değerlendirilmesi ve sonuçlara göre en iyi seçeneğin seçilmesidir.

Bu uygulamada Denizli'deki tekstil terbiye işletmesinin kuracağı enerji tesisi için alacağı kazan seçimi çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılmıştır. Yöntem olarak; kriter ağırlıklandırma Bulanık CRITIC kullanılmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde ise Bulanık EDAS ve Bulanık WASPAS yöntemleri kullanılmıştır. Bulunan sonuçlara dayanarak alternatifler kendi içerisinde sıralanıp ideal kazan belirlenmiş ve yöntemler kıyaslanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Bulanık WASPAS, Bulanık EDAS, Bulanık CRITIC, Pisagor Bulanık Sayılar, Kazan Seçimi

ABSTRACT

BOILER SELECTION USING FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION- MAKING FOR THE ENERGY PLANT OF A MANUFACTURING PLANT

MSC THESIS

ZEYNEP ÇEVİK

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALİYE AYÇA SUPÇİLLER)

DENİZLİ, DECEMBER 2024

Boilers are an essential component of many industrial and commercial installations, providing heating and hot water for a variety of applications. However, with so many different types and models available, it is important to choose the right boiler.

There are many factors to consider when choosing a boiler. First of all, the size and capacity of the boiler should be suitable for the heating and other needs of the facility. A boiler that is too small will not provide sufficient heating, while a boiler that is too large will be inefficient and cause energy waste. Secondly, the fuel type and efficiency of the boiler should be evaluated. Different fuels have different costs and environmental impacts and the efficiency of the boiler will affect operating costs. Finally, the cost and maintenance requirements of the boiler should be considered. While a cheaper boiler may seem like a good option initially, it may cost more in the long run if it requires frequent repairs or spare parts.

Fuzzy multi-criteria decision making is a method that can be used to evaluate and compare different options based on multiple criteria. Fuzzy logic is a mathematical tool that allows the representation of imprecise or uncertain data, which is often encountered in decision-making situations. By using fuzzy logic, decision makers can take into account the uncertainty and ambiguity of available information and make more informed decisions. The advantages of using fuzzy logic in decision making include the ability to handle incomplete or uncertain data, the flexibility to represent different types of data, and the ability to provide a more comprehensive evaluation of different options. The steps involved in fuzzy multi-criteria decision making are defining the problem, determining the criteria, weighting the criteria, evaluating the options and selecting the best option according to the results.

In this application, the boiler selection for the energy facility to be established by the textile finishing company in Denizli was made with multi-criteria decision-making methods. As a method; Fuzzy CRITIC was used in the criteria weighting. Fuzzy EDAS and Fuzzy WASPAS methods were used in the evaluation of the alternatives. Based on the results found, the alternatives were ranked within themselves, the ideal boiler was determined, and the methods were compared.

KEYWORDS: FUZZY EDAS, FUZZY WASPAS, FUZZY CRITIC, PYTHAGORAS FUZZY SET, Boiler Selection

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı	2
1.3 Tezin Organizasyonu	3
2. EKİPMAN SEÇİM PROBLEMİ	4
2.1. Ekipman Seçim Problemi Seçim Yöntemleri.....	4
3. YÖNTEMLER	9
3.1. Pisagor Bulanık Sayılar	9
3.2. Bulanık CRITIC Yöntemi	11
3.2.1. Uygulama Aşamaları	12
3.2.2. Yöntem Adımları	12
3.2.1.1 Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması	13
3.3. Bulanık WASPAS Yöntemi	14
3.3.1. Yöntem Adımları	14
3.2.1.2 Alternatiflerin Sıralanması.....	17
3.4. Bulanık EDAS Yöntemi	17
3.4.1. Uygulama Aşamaları	17
4. LİTERATÜR	20
4.1. Bulanık CRITIC Yöntemini Kullanan Çalışmalar	20
4.2. Bulanık WASPAS Yöntemini Kullanan Çalışmalar	22
4.3. Bulanık EDAS Yöntemini Kullanan Çalışmalar	24
4.4. Literatür Değerlendirmesi	27
5. UYGULAMA	28
5.1. Kriterlerin Belirlenmesi.....	28
5.2. Bulanık CRITIC Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	30
5.3. Alternatiflerin Belirlenmesi	35
5.3.1. Bulanık WASPAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi ..	36
5.3.2. Bulanık EDAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi	45
5.4. Duyarlılık Analizi	50
5.4.1. Bulanık WASPAS Yöntemi ile Duyarlılık Analizi	51
5.4.2. Bulanık EDAS Yöntemi ile Duyarlılık Analizi	52
5.5. Sıralamaların Uzlaştırılması	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
7. KAYNAKLAR	59
8. ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Ekipman Seçim Problemi Seçim Yöntemi.....	7
Şekil 3.1: Klasik ve Bulanık Küme Örneği.....	10
Şekil 3.2: Bulanık Kümelerin Kıyaslanması.....	11
Şekil 5.1: Bulanık WASPAS Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği.....	52
Şekil 5.2: Bulanık EDAS Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği.....	53
Şekil 5.3: Yöntemler Sıralama Sütun Grafiği.....	55
Şekil 5.4: Yöntemler Sıralama Çizgi Grafiği.....	55

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.1.: Ekipman Seçim Problem Yöntemleri.....	6
Tablo 5.1.1.: Uzmanların Belirlediği Kriterler.....	29
Tablo 5.2.1.: Dilsel İfadeler Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı	29
Tablo 5.2.2.: Kriterlerin Dilsel İfade Karşılığı.....	29
Tablo 5.2.3.: Kriterlerin Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı.....	30
Tablo 5.2.4.: Belirsizlik Matrisi.....	30
Tablo 5.2.5.: Skor Matrisi.....	31
Tablo 5.2.6.: Normalize Karar Matrisi.....	31
Tablo 5.2.7.: Kriterlerin Standart Sapmaları.....	32
Tablo 5.2.8.: Kriterlerin Korelasyon Matrisi.....	33
Tablo 5.2.9.: Kriterlerin Bilgi Miktarı.....	33
Tablo 5.2.10.: Kriterlerin Ağırlıkları.....	33
Tablo 5.3.1.: Dilsel Değerlendirmelerin Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı.....	35
Tablo 5.3.2.: WASPAS Karar Matrisi.....	36
Tablo 5.3.3.: WASPAS WASPAS Durulaştırılmış Karar Matrisi.....	37
Tablo 5.3.4.: WASPAS Normalize Karar Matrisi.....	38

Tablo 5.3.5.: WASPAS Ağırlıklı Toplam Değeri İçin Normalize Karar Matrisi.....	39
Tablo 5.3.6.: WASPAS Pisagor Bulanık Ağırlıklı Toplam Değerleri.....	40
Tablo 5.3.7.: Ağırlıklı Çarpım Değeri İçin Normalize Karar Matrisi.....	39
Tablo 5.3.8.: WASPAS Pisagor Bulanık Ağırlıklı Çarpım Değerleri.....	40
Tablo 5.3.9.: WASPAS Durulaştırılmış Pisagor Bulanık Ağırlıklı Toplam Değerleri.....	43
Tablo 5.3.10.: WASPAS Durulaştırılmış Pisagor Bulanık Ağırlıklı Çarpım Değerleri.....	43
Tablo 5.3.11.: WASPAS Alternatiflerin Toplam Göreceli Önem Değerleri.....	43
Tablo 5.3.12.: Dilsel Değerlendirmelerin Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı.....	44
Tablo 5.3.13.: Edas Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması.....	45
Tablo 5.3.14.: Edas Ortalama Çözüm Değerleri Matrisi.....	45
Tablo 5.3.5.: Edas Ortalamadan Pozitif Uzaklıkların Hesaplanması(PDA).....	46
Tablo 5.3.16.: Edas Ortalamadan Negatif Uzaklıkların Hesaplanması.....	46
Tablo 5.3.17.: Edas PDA Uzaklıklıklarınının Ağırlıklı Toplamları.....	47
Tablo 5.3.18.: Edas NDA Uzaklıklıklarınının Ağırlıklı Toplamları.....	47
Tablo 5.3.19.: Edas Normalize Ağırlıklandırılmış PDA.....	48
Tablo 5.3.20.: Edas Normalize Ağırlıklandırılmış NDA.....	48
Tablo 5.3.21.: Edas Değerlendirme Skorları.....	49

Tablo 5.4.1: Duyarlılık Analizi	
Tablosu.....	50
Tablo 5.4.2: Durumlara Göre Bulanık WASPAS ile Elde Edilen Alternatif Değerleri.....	50
Tablo 5.4.3: WASPAS Duyarlılık Analizine Göre Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	51
Tablo 5.4.4: Durumlara Göre Bulanık EDAS İle Elde Edilen Alternatif Değerleri.....	52
Tablo Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..4.5: EDAS Duyarlılık Analizine Göre Elde Edilen Alternatif Sıralamaları.....	52
Tablo 5.5.1: Borda Sayım Yöntemine Göre Sıralama	53
Tablo 5.5.2: Sıralamaların Uzlaştırılması.....	53

SEMBOL LİSTESİ

μ	:	Pisagor bulanık sayının alt sınır değeri
v	:	Pisagor bulanık sayının üst sınır değeri
π_p	:	Pisagor bulanık sayı kararsızlık derecesi
\oplus	:	Bulanık toplama işlemi
\otimes	:	Bulanık çarpma işlemi
\cong	:	Yaklaşık eşitlik
$\tilde{\omega}$:	Kriter anlamlılığı
w	:	Ağırlık katsayısı nihai değeri
\tilde{w}	:	Bulanık ağırlık katsayı değeri
Σ	:	Toplam sembolü
ρ_{jk}	:	j kriteri ile k kriteri arasındaki korelasyon değeri
c_j	:	Kriter bilgi miktarı
$[]_{m \times n}$:	m satır n sütundan oluşan matris
Q_i^1	:	Toplam göreceli önem değeri
$p_1 \otimes p_2$:	Pisagor bulanık ağırlıklı çarpım değeri
$p_1 \oplus p_2$:	Pisagor bulanık ağırlıklı toplam değeri
$[]_{m \times n}$:	m satır n sütundan oluşan matris
\overline{pda}_{ij}	:	j . alternatifin i . kriter için ortalama çözümden pozitif uzaklık değeri
\overline{nda}_{ij}	:	j . alternatifin i . kriter için ortalama çözümden negatif uzaklık değeri
\tilde{sp}_j	:	j . alternatifin ağırlıklandırılmış pozitif uzaklık değeri
\tilde{np}_j	:	j . alternatifin ağırlıklandırılmış negatif uzaklık değeri
\tilde{ns}_j	:	j . alternatifin normalize edilmiş pozitif uzaklık değeri
\tilde{sn}_j	:	j . alternatifin normalize edilmiş negatif uzaklık değeri
\tilde{as}_j	:	j . alternatifin değerlendirme skoru

ÖNSÖZ

Tez sürecimde bana bilgi ve tecrübesiyle destek olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Aliye Ayça SUPÇİLLER'e, tez çalışmamda ele aldığım işletme olan RATEKS BASKI BOYA A.Ş. ailesine teşekkürü borç bilirim.

Hayatta aldığım her kararı saygıyla destekleyen, aldığım kararlar ve yürüdüğüm yollarda daima yanımda olan sevgili Ailem'e, özellikle eğitim hayatımın ilk gününden itibaren her kızın kendi ayakları üstünde durmasının en büyük hazine olduğunu söyleyen ve beni bir yerlerden gururla izlediğine emin olduğum kıymetli annem merhum Maide CANLI'ya sonsuz teşekkürlerimle.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle birlikte değişen dünyada işletmeler, rekabet koşullarına uygun ve etkili bir üretimle korumayı hedeflemektedirler. Etkili üretim başında hiç şüphesiz ki verimli çalışma planı ve uygulaması vardır. Günümüz rekabet koşulları ve ürün gider kalemlerinden başında gelen enerji maliyetlerinin en az indirgenmesi ile de verimli üretim basamaklarından biri tamamlanmış olur. Tam bu noktada da enerji tesisleri işletmeler için büyük önem arz etmektedir.

Doğru yer ve koşullarda, doğru ekipmanlar ile inşa edilmiş enerji tesisleri işletme enerji ihtiyacının karşılanması için önemlidir. Doğru yer ve ekipman seçimi sırasında birçok alternatif ve seçimi etkileyecek kriter doğrultusunda seçim yapmak zorlaşmaktadır. Bu noktada kullanılan tekniklerden birisi de çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleridir. ÇKKV, belirli bir amaca veya bir probleme yönelik olarak alternatifler arasından en uygun olanını seçme işlemi olarak tanımlanabilir (Güner ve Yücel, 2007). Karar verme eyleminin gerçekleşebilmesi için öncelikle aralarından seçim yapılabilecek olan birden fazla alternatifin bulunması gerekmektedir. ÇKKV; karar bilimlerinin bir alt bilim dalı olup karar sürecini modellere göre analiz etme sürecine dayanmaktadır. ÇKKV yöntemlerinin karar verme mantığı genelde benzer olsa da, sonuca ulaşmada işlem akışı, karar verici sayıları ve sıralamadaki küçük farkları yakalama becerileri ile tutarlılık testlerine imkân vermesi gibi özellikleriyle farklılık göstermektedir (Ersoy, 2012)

Bulanık mantık ve bulanık küme ile ilgili terimler 20.yüzyılın ortalarında uluslararası akademik literatüre girmiştir. Günlük yaşamda sıkça karşılaşılan bilginin tam ve kesin olmadığı, yorumlanması güç, karmaşık durumların insan algılamasına ve karar vermesine dayanan süreçlerde kullanılması gerektiği fikri üzerine bulanık mantık kavramı önerilmiştir. İlk olarak Zadeh tarafından 1965 yılında Bulanık Kümeler başlıklı çalışmasıyla literatüre kazandırılmıştır. Pisagor bulanık kümeler ise 2013 yılında Yager tarafından literatüre kazandırılmıştır.(Zadeh, 1965)

Tekstil terbiye işletmeleri ham kumaşı kesilebilir hal anlamına gelen mamül kumaş şekline getiren tüm prosesleri barındıran işletmelerdir.

Bu çalışmada da bir tekstil terbiye firmasının kuracağı enerji tesisinde kullanacağı kazan seçiminde Bulanık ÇKKV yöntemlerinden yararlanarak bulması ele alınmıştır. Bu hususta kriterlerin ağırlıklandırılması için Bulanık CRITIC ve alternatiflerin sıralanıp değerlendirilmesi için de Pisagor Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS teknikleri kullanılmıştır. Alternatiflerin sıralanması tamamlandıktan sonra işletmenin belirlediği kriterlere göre en uygun kazan belirlenmiş ve yönetime proje kapsamında sunularak enerji tesisi için kazan seçimi problemi tamamlanmıştır. Mevcut problemin literatürde, kriterlerin işletmeler için kısıtlı olması, yönetim bakış açısı kaynaklı çeşitli alternatifler yerine daha az sayıda alternatif arasından seçim yapılması gibi sebepler dolayısıyla terich edilmediği düşünülmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Yapılan çalışmanın amacı, tekstil terbiye işletmesinde gider kaleminin çoğunluğunu oluşturan enerji maliyetlerini aza indirmek amaçlı kurulacak olan enerji tesisi ekipman seçiminin optimum olarak sağlanması ile verimliliği arttırmak iken bir diğer amaç olarak literatürdeki farklı yöntemler ile ekipman seçimi konusunda farklı yöntemleri birlikte kullanarak entegre bir yaklaşım sunmaktır.

1.2. Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı

Bu çalışma, tekstil terbiye işletmeleri enerji tesislerinde kullanılan ekipman seçimi ve bulanıklaştırılmış ÇKKV yöntemlerinin birlikte uygulanması ile alakalı bilgiler içerdiği için önem arz etmektedir. Mevcut literatürde ekipman seçimi konusu hayli tercih edilse de enerji tesisi ve kazan seçimi konusuna çok girilmemiş ve Bulanık CRITIC, Bulanık EDAS ve Bulanık WASPAS yöntemlerinin entegre bir şekilde kullanıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Bu sebeple bu çalışmanın literatüre değer katacağı öngörülmektedir.

Günümüz enerji maliyetleri ve sürdürülebilirlik faaliyetlerinin önemi göz önüne alındığında enerji tesislerinin payına düşen ve enerji tesisleri ekipman seçimlerinin önemi de düşünülürse, bu çalışmadakinden farklı ve entegre karar verme

yöntemleri ile çalışılabileceği gibi kullanılan yöntem çeşitliliğinin artırılmasıyla gerçekleştirilecek çalışmalar araştırmacılara yol gösterici olabilir.

1.3 Tezin Organizasyonu

Mevcut çalışma altı ana kısımdan oluşmakta olup birinci kısımda, işletmelerde enerji tesislerinin amaç ve önemi, enerji tesisi kazan seçimlerinde dikkat edilecek hususlar açıklanmıştır. İkinci kısımda bu alanda varsa yapılmış çalışmaların literatür taraması sunulmuştur. Üçüncü kısımda, ekipman seçim problemi için bu çalışmada yer verilen ve kullanılan bulanık ÇKKV yöntem adımları ile açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü kısmında yöntemlerin son beş yıl ağırlıklı olmak üzere literatür taraması yapılmış olup yöntemlerin literatürdeki yeri saptanmıştır. Beşinci bölüm olan uygulama bölümünde ise bakım ekibinden oluşan uzmanların kararı ile öncelikle kriterler belirlenmiştir. Sonrasında söz konusu bulanık yöntemlerin üçüncü bölümde açıklanan yöntem aşamalarının uygulaması yapılmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre alternatiflerin sıralaması yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca kriter ağırlıklarının farklı durumlardaki etkisini görebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz çalışmada uygulamasını yaptığımız yöntemlerin (Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS) hesaplamalarına göre yapılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Ayrıca duyarlılık analizine ek olarak tek bir sıralama yapmamıza imkan tanıyan uzlaşma yöntemlerinden Borda Sayım Metodu ve Copeland yöntemi uygulanmış bu sayede tek bir sıralama elde edilmiştir. Tezin son kısmı olan altıncı kısmında sonuç verilerine göre yorum yapıp olası öneriler belirtilmiştir.

2. EKİPMAN SEÇİM PROBLEMİ

Literatür incelendiğinde ÇKKV yöntemleri bulanık mantık kullanılarak bulanıklaştırılıp uygulaması yapılarak çeşitli makine-ekipman seçimleri yapılmıştır. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak AHS ve TOPSIS yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır. Çalışmalarda alternatiflerin değerlendirme skorları bulanık sayılar ile ifade edilmektedir. İdeal alternatifin tespiti ise bulanık sayıların nicel olarak sıralanması neticesinde bulunmaktadır. (İç ve Yurdakul 2008)

Literatür taraması esnasında işletmeler için çeşitli sebeplerden (maliyet, zaman, işgücü vb.) fayda sağlanması gereken konularda seçimi kolaylaştırmak amacıyla tercih edilen ÇKKV yöntemi uygulamalarına değinilmiştir. Bu seçimlerden biri olan makine seçimi üzerine 1990'lı yıllardan beri çok sayıda çalışma yapılmış ve literatürde yer alan ÇKKV yöntemleri tek başına veya entegre bir şekilde söz konusu uygulamalarda kullanılmıştır. Sonuç itibari ile makine seçim problemleri için dönem dönem farklı yöntemlerin bütünleşik olarak kullanılmasıyla çeşitli sektörlerde çalışmalar yapılmıştır. 2010 yılından günümüze kadar ise çokça kullanılmış klasik yöntemlerin yanı sıra birden fazla yöntemin entegrasyonu ve karşılaştırılması ile yapılan çalışmalar ön plana çıkmaktadır.

2.1. Ekipman Seçim Problemi Seçim Yöntemleri

Literatür incelendiğinde makine seçim problemi için farklı yöntemler tekil veya bütünleşik olarak kullanılmıştır. Ayag ve Özdemir (2006) yaptıkları çalışmalarında ekipman seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Dağdeviren 2008 yılında ki çalışmasında AHP ve PROMETHEE metotlarını bütünleşik olarak kullanmışlardır. Önüt vd. (2008) bu kez bulanıklaştırılmış AHP ve bulanıklaştırılmış TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Yılmaz ve Dağdeviren (2011) malzeme seçim problemi için hedef programlama ve Bulanık mantıkla uygulanan PROMETHEE yöntemini entegre şekilde kullanarak uygulama yapmışlardır. Özgen vd. (2011) çalışmalarında, DELPHI, bulanık AHP ve bulanık PROMETHEE yöntemlerini bütünleşik olarak ele alarak baskı makine seçim problemi üzerine çalışmışlardır. Perçin (2012), bulanık AHP metoduyla CNC makine seçim problemi

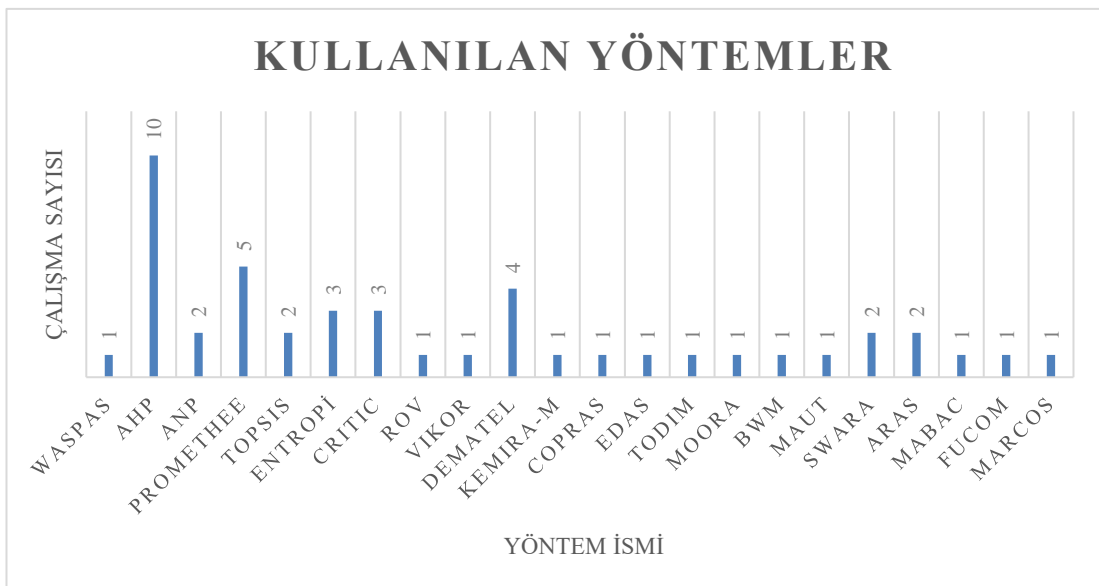
için kriter ağırlıkları belirledikten sonra en uygun CNC teknolojisini bulanık TOPSIS yöntemiyle seçmiştir. Ayağ ve Özdemir (2011) çalışmalarında makine seçiminde bulanık ANP metodundan yararlanmışlardır. Samvedi vd. (2012), ele aldıkları makine seçim problemi için kriter ağırlıklarını belirlemede bulanık AHP yönteminden yararlanırken, alternatif sıralamaları için bulanık gri ilişki analizi yönteminden faydalanmışlardır. Organ (2013) yılında ele aldığı konteyner seçim probleminde bulanık PROMETHEE yönteminden faydalanarak söz konusu firma alternatifleri arasından seçim yapmıştır. Vatanserver ve Kazançoğlu (2014) yaptıkları çalışmada, bulanık AHP metodu ile makine seçiminde kullanılan kriterlerin önem derecelerini belirleyerek bulanık MOORA yöntemini ile makine alternatiflerinden firma açısından en uygun olanın seçimini yapmışlardır. Kumru (2015) çalışmasında ölçüm makinesi seçiminin çözümünde ele alınacak olan kriterlerin seçimi için Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemini kullanmıştır. Karim ve Karmaker (2016), çalışmalarında ekipman seçimi problemleri için AHP ve TOPSIS metodunu entegre biçimde kullanmayı önermişlerdir. AHP metodu ile kriter ağırlıklarını hesaplarken TOPSIS ile makine seçimi yapmışlardır. Wu vd. (2016) çalışmalarında CNC makinesi seçiminde bulanık VIKOR yöntemini farklı bulanık sayıların durulaştırılması yöntemini uygulayarak en iyi yöntemin seçilmesini amaçlamışlardır. Gök, Kısa ve Perçin (2017), ekipman seçimindeki kriterlerin ağırlıklarını ve kriterler arasındaki nedensel ilişkiyi bulanık DEMATEL yöntemi ile belirleyip daha sonra bulanık VIKOR yöntemi ile söz konusu makine alternatifleri arasından en ideali seçmeyi hedeflemişlerdir. Çakır (2018) Türkiye'de faaliyet gösteren özel bir çay fabrikasında kullanılmak üzere en uygun çay kurutucusunu belirlemek amacıyla bulanık basit çok kriterli derecelendirme tekniği (SMART) yaklaşımı ve bulanık ağırlıklı aksiyomatik tasarım (FWAD) yaklaşımından oluşan entegre bir yaklaşım uygulamasını gerçekleştirmiştir. Li vd. (2020), üretim işletmeleri için önem arz eden takım tezgahı seçimi konusunda FDEMATEL ve LDVIKOR yöntemleri ile uygulama yapmışlardır. Küçükönder vd. (2021), yaptıkları çalışmada akaryakıt taşımacılığı risklerini azaltmak için uygun tanker konusu seçimini ele almışlar ve bu hususta bulanık karar verme yöntemlerine başvurmuşlardır. Shabbiruddin ve Pradhan (2022) elektrikli araçların tercih edilebilirliğini gösterebilmek için bulanık ÇKKV'den yararlanmışlardır. Jusufbasic (2023), derlediği makalede lojistikte kullanılan elleçleme ekipmanlarının değerlendirilmesi sürecinde birçok bulanık karar

verme yöntemlerinden yararlanmıştır. Tablo 2.1.1 de ekipman seçim problemleri hakkındaki çalışmalar sunulmuştur.

Tablo 2.1.1.: Ekipman Seçim Problem Yöntemleri

Yıl	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2000	Bulanık AHP & WASPAS	İmalat sistemi makine seçimi
2004	AHP & ANP	İmalat işletmesi için takım tezgahı seçimi
2006	Bulanık AHP	Üretim işletmesi ekipman seçimi
2007	Bulanık AHP	Tekstil işletmesi makine seçimi
2010	Bulanık PROMETHEE & PROMETHEE	Kaynak makinesi seçimi
2012	Bulanık AHP & PROMETHEE	Makine seçimi
2012	Bulanık AHP & Gri İlişkisel Analizi	Takım tezgahı seçimi
2012	Bulanık AHP & TOPSIS	CNC seçimi
2016	ENTROPI & CRITIC & ROV	Dikiş makinesi seçimi
2016	Entropi Ağırlıklı TOPSIS	Mermer işleme makinesi seçimi
2016	Bulanık VIKOR	Paketleme makinesi seçimi
2016	AHP & TOPSIS & PROMETHEE	Gemi inşa projesi için ana makine seçimi
2017	Bulanık DEMATEL	Dokuma tezgahı seçimi
2017	ENTROPI & Bulanık DEMATEL & Bulanık VIKOR	Tezgah seçimi
2017	KEMIRA-M & COPRAS	Mermer işleme makinesi seçimi
2017	Bulanık AHP & PROMETHEE	3D yazıcı seçimi
2018	EDAS	Dikiş makinesi seçimi
2018	TODIM	Robot seçimi
2019	Bulanık DEMATEL & PROMETHEE	Kablo üretiminde makine seçimi
2020	Bulanık DEMATEL & Bulanık VIKOR	Mermer kesim makinesi seçimi
2020	TOPSIS	Forklift seçimi
2020	ANP	3D koordinat ölçüm makinesi

2020	TOPSIS & MOORA & VIKOR	Gemi inşa projesi için ekipman seçimi
2020	BWM	Katmanlı üretim makinesi seçimi
2021	CRITIC & MAUT	Tekstil işletmesi makine seçimi
2022	Bulanık SWARA & Bulanık ARAS	Torna takım tezgahı seçimi
2023	AHP&MABAC&SWARA&ARAS&FUCOM&CRITIC&MARCOS	Elleçleme ekipmanlarının değerlendirilmesi
2024	Bulanık AHP	Tekne seçimi



Şekil 2.1: Ekipman Seçim Problemi Seçim Yöntemleri

Bu çalışmada, enerji tesisi için ideal kazan seçimi yapacak olan tekstil terbiye işletmesinde Bulanık ÇKKV yöntemleri entegre bir biçimde kullanılarak en ideal kazan seçimi yapılması hedeflenmiştir. Kazan alternatiflerinin değerlendirilip seçim yapılabilmesi için uygulanan yöntemlerin uygulama adımları farklılık gösterdiği için ve farklı seçim sonuçları çıkabileceği için birden fazla yöntem entegre olarak uygulanmıştır.

Kriter ağırlıklandırma için CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Kriter ağırlıklandırması için kullanılan yöntem alternatif seçim için kullanılan diğer yöntemler gibi pisagor bulanık sayılar kullanılarak uygulanmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan ve optimum çözüm aralığı sunan Bulanık WASPAS yöntemi ve uygulama adımları uzaklık ve yakınlık

ilişkisi üzerine kurulmuş olması ile bilinen Bulanık EDAS yönteminin söz konusu yöntemlerle bir arada kullanılmamış olması sebebiyle özgün makale imkanı sunmaktadır.

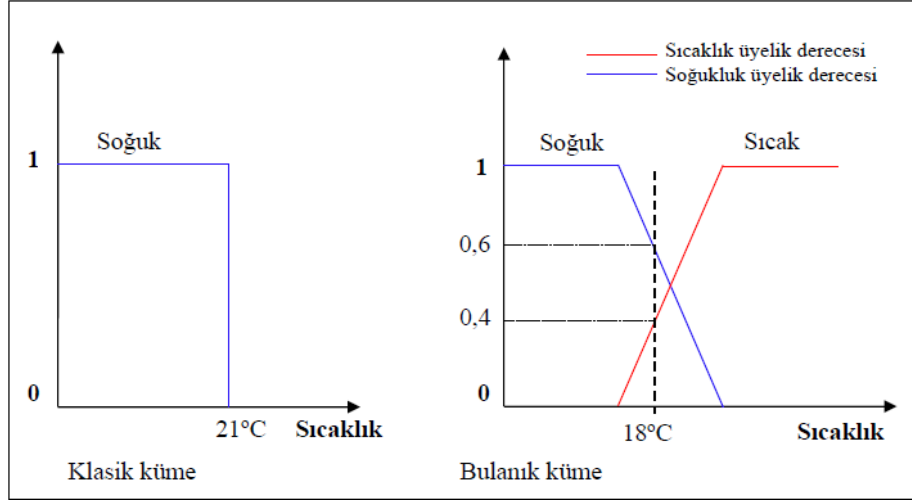
3. YÖNTEMLER

Bu tez çalışmasında yöntemlerin tamamı pisagor bulanık sayılar ile entegre olarak kullanılmıştır. Kriter ağırlıklandırma metodu olarak Bulanık CRITIC yöntemi, alternatif değerlendirme ve sıralama için ise Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS yöntemleri uygulanmıştır. Pisagor Bulanık Sayılar ve uygulaması yapılan yöntemler bu kısımda anlatılmıştır.

3.1. Pisagor Bulanık Sayılar

Klasik küme yaklaşımına bakıldığında bir fonksiyonun ait olma ve olmama durumu kesin olarak ifade edilmektedir. Örnek verilecek olursa uzun boy-kısa boy; sıcak hava-soğuk hava gibi. Bu tarz klasik kümeler için üye olma durumu 1 ve olmama durumu 0 olarak sayısal ifade edilmektedir. X evrensel küme ve A evrensel kümenin alt kümesi olarak varsayıldığında XA değeri kümedeki herhangi bir elemanın A kümesine olan aitlik durumunu 1 veya 0 ile gösteren bir fonksiyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Neticede A kümesindeki aitlik durumu 1 ve 0 gibi rakamlarla net bir şekilde belirtilmiş olur. (Çobanoğlu, 2000)

Klasik kümelerdeki bu netliğin yanı sıra gerçek hayat problemlerinde kümeye aitlik durumlarında belirsizlik ve geçişler sıkça karşımıza çıkmaktadır. Örneğin hava biraz bulutlu, araba oldukça hızlı, boyu çok uzun, ışık biraz az, yaşı hayli genç, mesafe oldukça uzak gibi kesin yargılar ile anlatamayacağımız durumlar olabilir. Bu belirsizlikleri göz ardı etmeyen ve kümeye ait olma durumu için kademeli veriler sunabilen bulanık küme teorisinde ise küme içerisindeki üyelik sonsuz aralığa bölünebilen ait olma derecesi ile ifade edilmektedir. (Çobanoğlu, 2000)



Şekil 3.1: Klasik ve Bulanık Küme Örneği(Çobanoğlu, 2000)

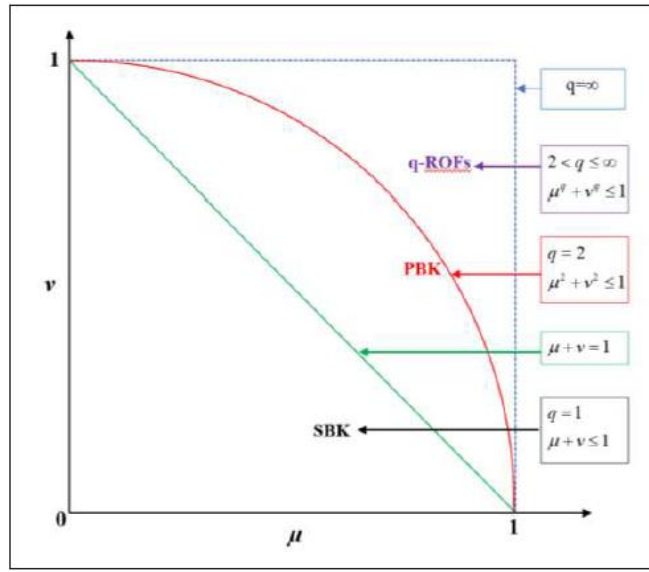
Bulanık kümelerdeki Şekil 3.1’de gösterilen gri durumlar için bazı zamanlar dilsel değişkenler kullanılabilir. Örnek verilecek olursa hareket eden bir cismin mesafesini anlatmak için kullanılan ‘yakın’ sözcüğü dilsel terimdir. Dilsel terimler için üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, Gauss vb. şekillerde tanımlanabilir.

Son yıllardaki çalışmalarda görülüyor ki araştırmacılar literatüre birinci tip bulanık kümelerin birçok yeni uzantılarını tanıtmışlardır. Örneğin, tip-2 bulanık kümeler, nütrosifik kümeler (NS), Pisagor bulanık kümeler (PFS) ve sezgisel bulanık kümeler (IFS). Atanassov (1986) tarafından bulunan IFS (Intuitionistic Type), üye olma ve olmama durumlarının toplamının en fazla 1 olduğu görüşünü savunmuştur. Eğer ki bu toplam 1’den küçük ise aradaki fark ‘kararsızlık’ olarak tanımlanmaktadır. Smarandache (1998) ise sezgisel bulanık kümelerin uzantısı olarak geliştirdiği nütrosifik kümeler ile bu fonksiyonların 3 ana element olan doğruluk, yanlışlık ve kararsızlık parametreleri olarak tanımlamış ve bunların birbirinden bağımsız olarak 0 ile 1 arasında değer alıp toplamlarının en fazla 3 olabileceğini belirtmiştir. Pisagor bulanık kümeler ise tüm bunlardan daha geniş bir tanım aralığı sunarak üyelik ve üyesizlik derecelerinin kareleri toplamının en fazla 1 olmasına izin verir. Burada $a^2 + b^2 = r^2$ durumunda da r dairenin yarıçapıdır.

$$\pi_p = \sqrt{(1 - \mu_p^2(\mathbf{u}) - \nu_p^2(\mathbf{u}))} \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1) ile Pisagor bulanık sayıların kararsızlık derecesi(hesitancy degree) hesaplanır.

Pisagor bulanık kümeler (PBK) sezgisel bulanık küme (SBK) göre daha geniş bir tanım aralığı sağlamaktadır. Yani tüm SBK'lardaki a ve b üyelik fonksiyonları aynı zamanda PBK üyelik fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Ancak bazı durumlarda SBK üyelik dereceleri PBK olarak ifade edilemeyebilir (Yager ve Abbasov, 2013). Şekil 3.2'ye de bakılarak örneğin $(0,8; 0,6)$ üyelik derecelerine bir göz atalım. Bu üyelik dereceleri SBK olarak ifade etmeye çalışıldığında $0,8+0,6=1,4$ olacağından SBK'nın $a+b \leq 1$ koşulunu sağlayamaz. Fakat bunun yanında $0.64 + 0.36 = 1$ olduğundan PBK'nın $a^2+b^2 \leq 1$ koşulunu sağlamış olur.



Şekil 3.2: Bulanık Kümelerin Kıyaslanması(Yager ve Abbasov, 2013)

3.2. Bulanık CRITIC Yöntemi

Bulanık CRITIC (Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation) ÇKKV problemlerinde kullanılan kriterlerin ağırlıklarının objektif bir biçimde hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir.(Diakoulaki vd.,1995) Bu yöntemle elde edilen kriter ağırlıkları, her bir kriterin olası yoğunluğunu ve kriterler arasındaki fayda-maliyet durumuna göre zıtlığı ifade eder. Kriterlerin yoğunluğu standart sapma olarak düşünülür ve kriterler arasındaki fayda-maliyet durumuna göre zıtlığı hesaplamak için korelasyon katsayısı kullanılır.(Peng vd,2020)

Bulanık CRITIC yaklaşımı da CRITIC yönteminin bulanık ortamda genişletilmiş halidir. Uygulamada Pisagor Bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilecektir. Pisagor

bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümelerin genişletilmiş hali olarak Yager tarafından geliştirilmiş olup iki derecenin kareleri toplamının 1'e eşit veya daha az olması şartını sağlayan bir üyelik derecesi ve üye olma derecesi ile karakterize edilmektedir.(Zengin B.,2020) Avantajları arasında objektif oluşu, uygulanabilirliğinin kolaylığı ve subjektif veriye ihtiyaç duymuyor oluşu verilebilir.

3.2.1. Uygulama Aşamaları

- Belirsizlik derecesinin hesaplanması
- Her bir pisagor bulanık değerın skor fonksiyonlarının hesaplanması
- R skor matrisinin bir otonormal Pisagor Bulanık Matrisine dönüştürülmesi
- Kriterlerin standart sapmalarının hesaplanması
- Kriterler arası korelasyonun belirlenmesi
- Her bir kriterin bilgi miktarının hesaplanması
- Kriter ağırlıklarının hesaplanması

3.2.2. Yöntem Adımları

3.2.2.1. Belirsizlik Derecesinin Hesaplanması

$\rho_{ij}(\mu_{ij}, v_{ij})$ j.kritere göre i. alternatifin Pisagor Bulanık Değeri olmak üzere her bir bulanık değerin belirsizlik derecesi eşitsizlik (3.2) ile hesaplanır.

$$\Pi_{ij} = \sqrt{1 - \mu_{ij}^2 - v_{ij}^2} \quad (3.2)$$

3.2.2.2. Her Bir Pisagor Bulanık Değerin Skor Fonksiyonlarının Hesaplanması

$R = r_{ij_{m \times n}}$ skor matrisi olmak üzere her bir bulanık değerin skor fonksiyonları denklem (3.3) ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \mu_{ij}^2 - v_{ij}^2 - \ln(1 + \Pi_{ij}^2) \quad (3.3)$$

3.2.2.3. R Skor Matrisinin Bir Otonormal Pisagor Bulanık Matrisine Dönüştürülmesi(Normalizasyon)

$$r_{ij}' = \begin{cases} \frac{r_{ij}^- - r_j^-}{r_j^+ - r_j^-}, & \text{fayda kriteri için} \\ \frac{r_j^+ - r_{ij}}{r_j^+ - r_j^-}, & \text{maliyet kriteri için} \end{cases} \quad (3.4)$$

3.2.2.4. Kriterlerin Standart Sapmalarının Hesaplanması

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij}' - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (3.5)$$

$$\text{Burada } \bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij}'}{m}$$

3.2.2.5. Kriterler Arasındaki Korelasyon

j kriteri ile k kriteri arasındaki korelasyon değeri (3.6) eşitsizliği ile hesaplanır.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij}' - \bar{r}_j)(r_{ik}' - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij}' - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik}' - \bar{r}_k)^2}} \quad (3.6)$$

3.2.2.6. Her Bir Kriterin Bilgi Miktarının Hesaplanması

$$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad (3.7)$$

c_j ne kadar büyükse, belirli bir kriter için o kadar fazla bilgi içerir, dolayısıyla bu değerlendirme kriterinin ağırlığı diğer kriterlerinkinden büyüktür.

3.1.1.1 Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^n c_j} \quad (3.8)$$

3.3. Bulanık WASPAS Yöntemi

WASPAS(Weighted Aggregated Sum Product Assesment-Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi) , ağırlıklı toplam modeli(WSM-Weighted Sum Model) ve ağırlıklı çarpım modeli(WPM- Weighted Product Model) metotlarını bütünleşik olarak ele alan bir karar verme yöntemidir. 2004 yılında Chakraborty, Zavadskas tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu yaklaşımların bütünleşik olarak kullanılması ile sıralama doğruluğunun artması hedeflenmektedir. İki yöntem sonucunda elde edilen nihai değerler birleştirilir ve toplam göreceli önem değeri elde edilir. Ayrıca bir katsayı aracılığıyla yöntemlere verilen önem derecelerinin kontrol edilmesine imkan tanınmaktadır. Literatürdeki farklı yöntemlere nazaran daha doğru sonuçlar verebilmesi, kısa ve kolay uygulanabiliyor oluşu ve hesaplama için bilgisayar programına ihtiyaç duyulmaması avantajları arasındadır.

3.3.1. Yöntem Adımları

- Dilsel Değerlendirmelerin Pisagor Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi
- Karar Matrisinin Normalize Edilmesi
- Kriterlerin Önem Dereceleri Hakkındaki Dilsel Değerlendirmeler Pisagor Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi
- Ağırlıklı Toplam Yöntemine Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması
- Ağırlıklı Çarpım Yöntemine Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması
- Ağırlıklı Toplam ve Ağırlıklı Çarpım Modelleri İçin Ağırlıklandırılmış Ortak Genel Kriter Değerinin Hesaplanması
- Karar Alternatiflerinin Göreceli Önem Değerlerinin Hesaplanması
- Alternatiflerin Sıralanması

3.3.1.1. Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar vericilerin alternatifler hakkındaki dilsel değerlendirmeleri Pisagor Bulanık Sayılara dönüştürülür ve birleştirilmiş karar matrisi elde edilir.

3.3.1.2. Karar Matrisinin Normalizasyonu

Birleştirilmiş karar matrisindeki değerleri normalize etmek için **durulaştırma formülü** kullanılır.

$$p = \frac{\lambda_L + \lambda_U + \lambda_L \lambda_U + \sqrt{1 - V_u^2} + \sqrt{1 - V_L^2} + \sqrt{\sqrt{1 - V_L^2} \sqrt{1 - V_u^2}}}{4} \quad (3.9)$$

- Daha sonra eğer kriter fayda temelli yani maksimize etmek istediğimiz bir kriter ise;

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\max_i p_{ij}} \quad (3.10)$$

- Maliyet temelli, minimize etmek istediğimiz, bir kriter ise;

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{\min_i p_{ij}}{\tilde{x}_{ij}} \quad (3.11)$$

Denklem (3.12) birleştirilmiş karar matrisindeki tüm değerler için kullanılarak uygulanarak normalize karar matrisi elde edilir.

$$\lambda_p = \left[\sqrt{1 - (1 - \mu_l^2)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - \mu_u^2)^\lambda} \right], [V_L^\lambda, V_U^\lambda] \quad (3.12)$$

3.3.1.3. Karar Vericilerin Kriterlerin Önem Dereceleri Hakkındaki Dilsel Değerlendirmeleri Pisagor Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi

Karar vericilerin kriterlerin önem dereceleri hakkındaki dilsel değerlendirmeleri Pisagor Bulanık Sayılara dönüştürülür.

WSM'e göre i. Alternatifin toplam göreceli önemi hesaplanacaktır. Bu yöntemle göre bir alternatifin toplam göreceli önemi, kriter değerlerinin ağırlıklı toplamı olarak belirlenir.

$$Q_i^1 = \sum_{j=1}^n X_{ij}^* * W_j \quad (3.13)$$

3.3.1.4. Ağırlıklı Toplam Modeline Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması

WASPAS tekniğine göre ağırlıklı toplam değeri eşitsizlik (3.14) ile elde edilir.

$$Q_i^1 = \sum_{j=1}^n r_{ij} * w_{ij} \quad (3.14)$$

- Öncelikle normalize karar matrisindeki değerler ile kriter ağırlıkları denklem (3.14) sayesinde çarpılır;

$$p_1 \oplus p_2 = ([\mu_l \mu_l^*, \mu_u \mu_u^*], [\sqrt{(v_l)^2 + (v_l^*)^2 - (v_l)^2 (v_l^*)^2}, \sqrt{(v_u)^2 + (v_u^*)^2 - (v_u)^2 (v_u^*)^2}]) \quad (3.15)$$

- Daha sonra denklem (3.15) ile bulunan değerler birbirleriyle toplanarak alternatiflerin Pisagor bulanık ağırlıklı toplam değerleri elde edilir.

3.3.1.5. Ağırlıklı Çarpım Modeline Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması

$$p_1 \otimes p_2 = ([\sqrt{(\mu_l)^2 + (\mu_l^*)^2 - (\mu_l)(\mu_l^*)(\mu_l^*)^2}, \sqrt{(\mu_u)^2 + (\mu_u^*)^2 - (\mu_u)(\mu_u^*)(\mu_u^*)^2}], [v_l v_l^*, v_u v_u^*]) \quad (3.16)$$

WASPAS tekniğine göre ağırlıklı çarpım değeri denklem (3.17) ile elde edilir.

$$Q_i^2 = \prod_{j=1}^n r_{ij} * w_{ij} \quad (3.17)$$

- Öncelikle normalize karar matrisindeki değerlere denklem (3.18) uygulanır;

$$p^\lambda = [\mu_L^\lambda, \mu_U^\lambda], \left[\sqrt{1 - (1 - v_l^2)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - v_u^2)^\lambda} \right] \quad (3.18)$$

- Daha sonra bu değerler denklem (3.19) ile birbirleriyle çarpılarak alternatiflerin Pisagor bulanık ağırlıklı çarpım değerleri elde edilir.

$$p_1 \otimes p_2 = ([\mu_l \mu_l^*, \mu_u \mu_u^*], [\sqrt{(v_l)^2 + (v_l^*)^2 - (v_l)^2 (v_l^*)^2}, \sqrt{(v_u)^2 + (v_u^*)^2 - (v_u)^2 (v_u^*)^2}]) \quad (3.19)$$

3.3.1.6. Karar Alternatiflerinin Göreceli Önem Değerinin Hesaplanması

Karar alternatiflerinin doğru ve etkin bir şekilde sıralanmasının yapılabilmesi için toplam göreceli önem değeri denklem (3.20) ile elde edilir.

$$Q_i = \lambda * Q_i^1 * (1 - \lambda) * Q_i^2 \quad (3.20)$$

Böylece toplam göreceli önem değeri elde edilir ve karar vermek için tek bir değer elde edilmiş olur. Bunun için öncelikle bulanık sayılar durulaştırılır. Ardından ulaşılan değerler λ katsayısı ile ağırlıklandırılır ve toplanır. Bu aşamada λ katsayısı iki değere verilen önem derecelerini ifade eder ve 0 ile 1 arasında bir değer almalıdır. İlgili çalışmamızda bu değer 0,5 alınmıştır.

3.1.1.2 Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler toplam göreceli önem değerleri göz önünde bulundurularak sıralanır. Toplam göreceli değeri en yüksek olan alternatif seçilir.

3.4. Bulanık EDAS Yöntemi

EDAS yöntemi literatüre Keshavarz Ghorabae vd. (2015) tarafından envanter sınıflandırması problemi için uygulanmış yeni bir ÇKKV yöntemi olarak önerilmiştir. VIKOR ve TOPSIS yöntemlerine benzer uzaklık esasına dayalı yaklaşımlardan farklı olarak ideal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklığı baz almayıp kriterler için ortalama değer belirlemiştir. Belirlenen bu ortalama değerden pozitif ve negatif uzaklığın alternatif sıralama ve değeriendirilmesinde esas alınmasına dayanır. Karar verici değerlendirmelerini baz almaktadır ama karar sürecinde yer alan kriter ve alternatif sayısı artması ve karar verici koşulları söz konusu sürecin belirsizleşmesine sebep olmaktadır. Bu belirsizliğin ortadan kaldırılması için mevcut çalışmada, EDAS metodu pisagor bulanık sayılar ile bulanıklaştırılarak kullanılmıştır.

3.4.1. Uygulama Aşamaları

- Karar Matrisi oluşturulması
- Ortalama çözüm değerlerinin (AV) hesaplanması

- Ortalamadan pozitif (PDA) ve negatif (NDA) uzaklıkların hesaplanması
- PDA ve NDA uzaklıklarının ağırlıklı toplamlarının hesaplanması
- Normalize ağırlıklandırılmış uzaklıkların hesaplanması
- Değerlendirme skorunun (AS) hesaplanması ve sıralamanın elde edilmesi

3.4.1.1. Bulanık Karar Matrisi Oluşturulması

Karar verici uzman grubun tekil olarak yaptıkları değerlendirmeler ile karar matrisleri oluşturulur. Uzmanların alternatifleri kriterlere göre değerlendirmeleri dilsel değişkenler yardımıyla yapılır ve karar matrisine dilsel değişkenlerin sezgisel bulanık sayı karşılıkları yazılır.

3.4.1.2. Ortalama Çözüm Değerlerinin (AV) Hesaplanması

Ortalama çözüm değerlerinin hesaplanması için sezgisel bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama IWAM (Tikhonenko ve Kurkowski, 2016) operatöründen Formül 3.21 faydalanılır.

$$AV_j = IWAM(\hat{X}_{ij}) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_{ij})^{\frac{1}{m}}, \prod_{i=1}^m (1 - v_{ij})^{\frac{1}{m}}, \quad (3.21)$$

$$S(A) = \mu_1 + \mu_1(1 - \mu_1 - v_1) \quad (3.22)$$

3.4.1.3. Ortalamadan Pozitif (PDA) Ve Negatif (NDA) Uzaklıkların Hesaplanması

PDA ve NDA değerleri ortalama çözüm değeri ve performans skorlarının skor fonksiyon değerleri kullanılarak Formül 3.23 ve 3.24 ile hesaplanır.

$$PDA_{ij} = [PDA_{ij}]_{m \times n} = \frac{\max(0, (s(\hat{x}_{ij}) - s(AV_j)))}{s(AV_j)} \quad (3.23)$$

$$NDA_{ij} = [NDA_{ij}]_{m \times n} = \frac{\max(0, (s(AV_j) - s(\hat{x}_{ij})))}{s(AV_j)} \quad (3.24)$$

3.4.1.4. PDA ve NDA Uzaklıklarının Ağırlıklı Toplamlarının Hesaplanması

PDA ve NDA uzaklıklarının ağırlıklı toplamı adımında karar vericinin öncelikle ağırlık değerlerini belirlemesi gerekmektedir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j PDA_{ij} \quad (3.25)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j NDA_{ij} \quad (3.26)$$

3.4.1.5. Normalize Ağırlıklandırılmış Uzaklıkların Hesaplanması

Elde edilen SP_i ve SN_i değerleri kullanılarak normalize ağırlıklandırılmış uzaklıklar Formül 3.27 ve 3.28 ile hesaplanır.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (3.27)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (3.28)$$

3.4.1.6. Değerlendirme Skorunun (AS) Hesaplanması ve Sıralamanın Elde Edilmesi

Son adımda Formül 3.29 yardımıyla her bir alternatif için değerlendirme skoru (AS) hesaplanır ve büyükten küçüğe sıralanarak alternatif sıralaması elde edilir.

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i) \quad (3.29)$$

4. LİTERATÜR

4.1. Bulanık CRITIC Yöntemini Kullanan Çalışmalar

CRITIC metodu 1995 yılında Diakoulaki vd. tarafından literatüre kazandırılmıştır. Yaptıkları uygulamada seçilen ilaç şirketlerinin performanslarının ölçülmesi hedeflenmiştir.

Deng vd. (2000) çalışmalarında; tekstil firmalarının belirlenen kriterlere göre performanslarını ölçmeyi hedeflemişlerdir. Kriterlerin ağırlıklandırılması için; CRITIC, ENTROPİ, Standart Sapma ve Ortalama Ağırlık yöntemlerini kullanarak sonuçları TOPSIS metodu sayesinde sıralama imkanı elde etmişlerdir. Yılmaz ve Harmancıoğlu (2010) yaptıkları çalışmada; su kaynakları yönetiminde ÇKKV yöntemlerinden SAW, TOPSIS ve CP'nin kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarını CRITIC, AHP ve ENTROPİ yöntemleri ile belirlemişlerdir. Cong ve Li (2010) çalışmalarında yantai kentinin su bazlı sağlık durumu sisteminin değerlendirilmesi için ÇKKV yöntemlerinden bulanık AHP kriterlerin ağırlıklandırılması için kullanılırken bulanık CRITIC, PCA ve SDS duyarlılık analizi yapmak için kullanılmıştır. Zhao vd. (2011), AHP ve CRITIC metotlarının bütünleşik olarak kullanıldığı yöntem ile; tarçingillerden bitkinin kabuk kısmında hangi maddelerin ne yoğunlukta bulunduğunu (HPLC yöntemi, eczacılıkta kullanılır) araştırmıştır. Jahan vd. (2012), malzeme seçimi için yaptıkları çalışmada Ortalama Ağırlıklandırma, Standart Sapma, CRITIC ve ENTROPİ yöntemlerini kullanmışlardır.

Zhao ve Ma (2012), sualtı arazi özelliklerinin değerlendirilmesi için Bulanık ENTROPİ ve CRITIC metotlarını bir arada kullanmışlardır. Çakır ve Perçin (2013), lojistik firması performans ölçümü için , CRITIC metodunu kullanarak kriterleri ağırlıklandırırken, alternatif değerlendirmesi için SAW, TOPSIS ve VIKOR metotlarını enegre bir biçimde uygulamışlardır. Wang vd. (2015), cilt durumunun objektif ve etkili bir şekilde değerlendirilmesi için etkileyen faktörlerin ağırlıklarının hesaplanmasında Bulanık CRITIC yönteminden faydalanmışlardır.

Wang ve Zhao (2016), sermaik malzemelerin özelliklerinin optmizasyonu probleminde AHP-CRITIC yöntemlerinin entegre olduğu bir çalışma sunmuşlardır. Kılıç ve Çerçioğlu (2016), demiryolu yatırım kararı değerlendirmesinde TOPSIS ve VIKOR yöntemleri sayesinde öncelik sırası belirlemişlerdir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında ise ; CRITIC, Standart Sapma ve Ortalama Ağırlık gibi farklı yöntemler uygulanmış ve karşılaştırılması yapılmıştır. Zavadskas vd. (2017) çalışmalarında , Üçüncü Taraf Lojistik (3PL) sağlayıcısının değerlendirilmesi için Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Önem (CRITIC) ve Ağırlıklandırılmış Toplu Toplam Ürün değerlendirmesi (WASPAS) yöntemleri kriterlerini temel alan yeni bir entegre yaklaşım kullanmışlardır.Rostamzadeh vd. (2018), yaptıkları çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi değerlendirilmesi için kriter ağırlıklandırmada CRITIC ve değerlendirme için de WASPAS yöntemleri entegrasyonu ile ele alınmıştır.

Akınyele vd. (2019), yenilenebilir enerji sistemleri hakkında kırsal topluluklarda mikro şebeke dağıtımı için uygun yer seçmek amacıyla kriterlerin değerlendirilmesi Bulanık CRITIC ile yapılmış ve alternatifler arasında seçim yapmak için PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Zavadskas vd. (2020), yaptıkları çalışmada ulaştırma sistemi genel risklerinin değerlendirilmesi için belirsizlik koşulları altında yol kesimlerindeki trafik güvenliği seviyesinin belirlenmesi için CRITIC (The CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation), Fuzzy FUCOM (Full Consistency Metot), DEA (Data Envelopment Analysis) ve Fuzzy MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to the COMpromise Solution) yöntemlerinden oluşan çok aşamalı yeni bir model oluşturmaktır. Oluşturulan modelin yeterli şekilde uygulanabilmesi için sekiz parametre oluşturulmuş ve bunlar dört girdi ve dört çıktı üzerinden sınıflandırılmıştır. Girdilerin önemini hesaplamak için simetrik korelasyon matrisine dayalı CRITIC yöntemi kullanılmış ve çıktıların doğası dikkate alınarak ağırlıklarını belirlemek için bulanık Bonferroni Ortalama (BM) operatörü kullanılarak ortalama değerlere dayalı Bulanık FUCOM yöntemi uygulanmıştır. Güvenlik derecesini belirlemek için VZA modeli oluşturulmuştur. Bundan sonra, yol ağının kalan beş bölümünün nihai sıralamasını belirlemek için Bulanık MARCOS yöntemi kullanılmıştır.Song Qi (2021), yaptığı çalışmada kültürel ve yaratıcı bahçenin gelişim potansiyelinin değerlendirilmesi için yeni bir sezgisel mesafe tabanlı IF-GRA yöntemi tasarlamaktadır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde sıklıkla subjektif

rastgelelik söz konusu olduğundan, kriter ağırlıkları CRITIC yöntemi kullanılarak objektif bir şekilde belirlenmektedir. Daha sonra, IFS'ler arasındaki yeni mesafe ölçütlerine dayanarak, GRA yöntemi her bir alternatifin değerlendirme puanını hesaplamak için IFS'lere genişletilmiştir.

Pamucar vd.(2022), çalışmalarında Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi (CRITIC) yönteminin bulanık kaba sayılar kullanılarak modifikasyonunda yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Değiştirilmiş CRITIC yönteminde (CRITIC-M), ana matris elemanlarının normalleştirme prosedürü geliştirilmiş ve normalleştirilmiş ana matriste bilgi işleme için toplama fonksiyonu iyileştirilmiştir. Yeni bir normalleştirme yöntemi getirilerek, normalleştirilmiş elemanlar arasında daha küçük sapmalar elde edilmiş ve bu da daha küçük standart sapma değerlerini etkilemiştir. Muhammad Akram vd.(2024), yaptıkları çalışmada CRITIC ve REGIME metodolojilerini ilk kez entegre ederek Pisagor bulanık kaba sayılarına dayalı yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Önerilen Pisagor bulanık kaba CRITIC-REGIME metodolojisi (PFR-CRITIC-REGIME), toplu taşımada elektrikli bir feribotun sürdürülebilir tedarik zinciri problemini çözmek için uygulanmıştır. Özge Bilişik vd.(2024), yaptıkları çalışmada en iyi taşıma metodunu seçmek amacıyla CRITIC tekniği kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiş ve alternatifleri sıralamak için IVIF-TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

4.2. Bulanık WASPAS Yöntemini Kullanan Çalışmalar

WASPAS(Weighted Aggregated Sum Product Assesment-Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi) ,yöntemi ile yapılan ilk çalışma 2004 yılında Chakraborty, Zavadskas tarafından yapılmıştır. Karar verme süreci için ağırlıklı toplam modeli(WSM-Weighted Sum Model) ve ağırlıklı çarpım modeli(WPM-Weighted Product Model) yaklaşımlarını entegre eden bir karar verme tekniğidir. Bu yaklaşımların bir arada kullanılması ile sıralama doğruluğunun artması amaçlanmaktadır. İki yöntemden elde edilen değerler birleştirilerek toplam göreceli önem değeri elde edilir. Ayrıca bir katsayı aracılığıyla da yöntemlere verilen önem dereceleri kontrol edilebilmektedir.

Zavadskas vd.(2014) (WASPAS-F) ve Analitik Hiyerarşi Sürecinin (AHP) avantajlarını kullanarak bir bulanık çoklu-özellik performans ölçümü (MAPM)

çerçevesi önermektedir. Bu çalışmanın amacı Vilnius'taki en iyi alışveriş merkezi inşaat alanını seçmektir. Bu çalışma ile WASPAS ilk kez bulanıklaştırılmıştır.Mardani vd.(2017) Adımsal Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi (SWARA) ve Ağırlıklı Toplanmış Toplam Ürün Değerlendirmesi (WASPAS) ve bulanık uzantıları gibi ÇKKV fayda belirleme yaklaşımının son bulanık gelişmeleriyle metodolojilerin ve uygulamaların sistematik bir incelemesi sunulmaya çalışılmıştır. Mishra ve Rani(2018), rezervuar taşkın kontrol yönetimi politikasının belirsiz bir karar verme problemi, önerilen IVIF-WASPAS yönteminin etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koyan aralık değerli sezgisel bulanık bilgi ile uygulanmıştır.

Mishra vd.(2019), yeşil tedarikçi seçimi problemini çözmek için Ağırlıklı Toplanmış Toplam Ürün Değerlendirmesi (WASPAS) yaklaşımına dayalı entegre bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, tereddütlü bulanık operatörlere, geleneksel WASPAS yaklaşımındaki bazı iyileştirmelere ve kriter ağırlıklarının hesaplanması için bir prosedüre dayanmaktadır. Agarwal vd.(2020), yaptıkları çalışmada insani tedarik zinciri yönetimi uygulamasını iyileştirmek için insani tedarik zinciri yönetimi engellerini keşfetmeyi ve bu engellerin üstesinden gelmek için çözümleri değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, bulanık adım akıllı ağırlık değerlendirme oranı analizi (SWARA) ve bulanık ağırlıklı toplam ürün değerlendirmesinden (WASPAS) oluşan hibrit bir çerçeve kullanarak HSCMB'lerin üstesinden gelmek için çözümleri değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Rudnik vd.(2021), yaptıkları çalışmada iyileştirme projelerinin (IP'ler) seçilmesine yönelik yeni bir yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşım, süreçlerin sürekli iyileştirilmesi için kilit bir kriter olarak önerilen bir dizi kriteri dikkate alarak projelerin değerlendirilmesine ve önceliklendirilmesine olanak sağlamaktadır. Araştırmanın yeniliği, iyileştirme projelerinin seçiminde bir OFN-WASPAS yönteminin (Sıralı Bulanık Sayıları (OFN'ler) kullanan WASPAS yöntemi) önerilmesidir.

Barakati vd.(2022), yaptıkları çalışmada geleneksel fosil yakıtların sürdürülebilir ikamesi olarak uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için aralık değerli Pisagor bulanık kümeleri (IVPFS) üzerinde karar verme problemlerine etkili bir çözüm sağlayacak şekilde Ağırlıklı Toplanmış Toplam Ürün Değerlendirme (WASPAS) yöntemi temelinde entegre bir yöntem önermeye çalışmıştır.Rao ve Sujatha(2023), yaptıkları çalışmada HCW yönetimi için en iyi arıtma tekniğinin değerlendirilmesini, çeşitli alternatiflerin seçimi için Fermatean bulanık (FF) verilerle

ÇKKV sorunlarını ele almış, bu çalışmada ilk olarak fikir birliğine dayalı bir WASPAS yaklaşımı oluşturmuştur. Sıcakyüz(2023), yaptığı çalışmada çevrimiçi müşteri yorumlarını analiz etmek için üçgensel karar verme yöntemini birleştiren yeni bir hibrit ÇKKV yöntemi önermiştir. Kriter ağırlıklarının bulanık logaritma metodolojisi (F-LMAW) ile bulunmuş ve alternatifler WASPAS yöntemi ile sıralanmıştır. Ayvaz, Tatar vd.(2024), yaptıkları çalışmada İş Sağlığı ve Güvenliği değerlendirme yöntemi olan Fine-Kinney yöntemini analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve ağırlıklı toplam ürün değerlendirmesi (WASPAS) ile Fermatean bulanık ortamı altında bütünleştiren kapsamlı bir mesleki risk değerlendirme çerçevesi önermektedir. Anjum, Sivic vd.(2024), yaptıkları çalışmada C-ITS uygulamaları ile yol güvenliğinin değerlendirilmesi için CRITIC yöntemi ile kriterleri ağırlıklandırmış ve WASPAS yöntemi ile alternatifler değerlendirilmiştir.

4.3. Bulanık EDAS Yöntemini Kullanan Çalışmalar

EDAS metodu, Ghorabae ve arkadaşları tarafından ÇKKV problemi için geliştirilen bir metodolijidir (Ghorabae ve diğ. 2015). Bulanık EDAS metodu ise literatürde ilk defa Ghorabae ve diğ. (2016) tarafından deterjan üretimi yapan bir firmanın tedarikçi seçiminde uygulanmıştır.

Kahraman ve diğ. (2017), sezgisel bulanık sayılar ile entegre bir biçimde katı atık bertaraf sahası alternatif değerlendirmesinde Bulanık EDAS metodunu kullanmışlardır. Ghorabae ve diğ. (2017), tedarikçi seçim ve sipariş alımı değerlendirmesi için, aralık değerli tip-2 bulanık sayıları kullanarak Bulanık EDAS yönteminde çalışma yapmışlardır. Stanujkic ve diğ. (2017), bir inşaat projesini gerçekleştirecek olan müteahhit seçiminde Bulanık EDAS yöntemini Gri Sistem teorisi ile bütünleşik olarak uygulamışlardır. Bayhan (2018), evlerde ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri için yamuk bulanık sayılara entegre edilmiş Bulanık EDAS yöntemini tedarikçi seçiminde kullanmışlardır. Ilieva ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmalarında EDAS ve Bulanık EDAS yöntemlerini entegre bir biçimde kullanarak stok analizi konusunda çalışma yapmışlardır. Stevic ve diğ. (2018), çalışmalarında Bulanık EDAS metodunu yamuk bulanık sayılara entegre ederek pvc doğrama üreticisi seçim probleminde kullanmışlardır. Kahraman ve diğ. (2018),

çalışmalarında tereddütlü bulanık EDAS metodu ile hastane seçimi problemi için uygulama yapmışlardır. Ghorabae ve diğ. (2018), zaman periyodu karşısında değişim gösteren karar matrisleri için Bulanık EDAS metodunu üçgen bulanık sayılar ile bütünleşik olarak ele alıp alternatifleri değerlendirmişlerdir. Zhao ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada altın madeni işletmesinde daha temiz üretim yöntemleri kıyaslaması için durumsal bulanık EDAS ve ELECTRE yöntemlerini entegre bir biçimde kullanmışlardır. Liu ve diğ. (2018), işletme beş yıllık dönem planlamasında proje seçimleri konusu için tereddütlü bulanık küme teorisini Bulanık EDAS yöntemine entegre ederek kullanmışlardır.

Demircan ve Tunç (2019), toplu taşıma müşteri memnuniyeti sonuçlarına göre hizmet kalitesini belirlemek için aralık değerli tip-2 bulanık EDAS metodunu uygulamışlardır. Stević ve diğ. (2019), çalışmalarında Bulanık EDAS ve Bulanık AHP seçim yöntemlerini bir arada kullanarak torba vb. ürünlerin üretimini yapan işletmede ideal tedarikçi seçimi için çalışma yapmışlardır. Hasheminasab ve diğ. (2019), çalışmalarında Bulanık EDAS ve Bulanık DELPHI metotlarını entegre bir biçimde kullanarak patlamaya karşı dayanımı olan cephe malzemelerinin seçimi üzerine uygulama yapmışlardır. Bayrakdaroğlu ve Kundakçı (2019), çalışmalarında Denizli'deki bir firmanın Ar-Ge merkezi proje seçiminde en uygun projenin seçilebilmesi için Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır. Zhang ve diğ. (2019), yeşil tedarikçi seçim problemi üzerine yaptıkları çalışmalarında EDAS yöntemini durumsal bulanık sayılar ile modellemiş ve alternatiflerin değerlendirmesini yapmışlardır.

Vesković ve diğ. (2020), çalışmalarında demiryolu operatörü ve yolcu iş dengesinde optimum çözümün belirlenebilmesi için Bulanık EDAS ve Bulanık PIPRECIA yöntemlerini birlikte uygulamışlardır. Ulutaş ve Yürüyen (2020), yaptıkları çalışmada askeri araç-gereç üretimi yapan bir firmada üçüncü parti lojistik (3PL) konusunda uygun lojistik firmasının seçimini yapmak için Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır. Li ve Wang (2020), çalışmalarında kablosuz ağ hizmet kalitesinin değerlendirilmesi için aralık değerli sezgisel bulanık kümeler ile Bulanık EDAS ve CRITIC yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Demirtaş ve diğ. (2021), ekonomik, sosyal, politik, yasal, çevresel ve teknolojik durumları dikkate aldıklarında en

optimum yenilenebilir enerji tüketimini sıralamak için Bulanık EDAS metodunu kullanmışlardır.

Jana ve Pal (2021), çalışmalarında faaliyet gösteren yol yapım işletmesi verimliliğini araştırmak üzere Bulanık EDAS metodunu iki kutuplu bulanık sayılarla birlikte uygulamışlardır. Liu ve diğ. (2021), yaptıkları uygulamada Pisagor Bulanık EDAS yaklaşımı ile imalat işletmesinde sürdürülebilir tedarikçi seçim problemini ele almışlardır. Le ve Nhieu (2022), Vietnam’da faaliyet gösteren bir işletmede Covid-19 Pandemisi sonrasında imalat strateji etkilerini araştırmak için OPA Yöntemi ile Bulanık EDAS yöntemlerini ilk kez entegre bir biçimde kullanmışlardır. Deveci ve diğ. (2022), çalışmalarında yük akışkanlığı ölçümünde kullanılan alternatif seçimi için kriterlerin ağırlıklandırılmasında LMAW yöntemini kullanırken alternatiflerin değerlendirilmesinde Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır. Güneri ve Deveci (2023), çalışmalarında savunma sanayi tedarikçi seçiminde kriter ağırlıklandırma için Delphi metodu ve AHP kullanmışlardır. Uzman ekip tarafından belirlenmiş dört alternatif değerlendirilmesinde q-rung orthopair küme entegre edilmiş Bulanık EDAS yaklaşımı uygulanmıştır. Dumrul vd.(2024) yaptıkları çalışmada sürdürülebilir enerji kapsamından yola çıkarak en optimal yenilenebilir enerjiyi bulabilmek için Bulanık EDAS yönteminden yararlanmışlardır. Batwara vd.(2024) sürdürülebilir üretim(SSM) kategorisi altında 33 kriter ve 31 alternatif çeşidi belirleyerek en uygun sürdürülebilir üretimin seçilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada Bulanık AHP ile kriterleri ağırlıklandırıp Bulanık EDAS yöntemi ile seçim yapmışlardır. Samastı vd.(2024) çalışmalarında günümüz çevresel sorunlarından olan atık bertarafının iyileştirilmesi amacıyla kurulacak atık bertaraf tesisinin konumlandırılmasına ilişkin problemin çözümü için nötrosofik sayılar ile entegre ettikleri Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır. Zulqarnain vd. (2024) biyomedikal atıkların bertarafı için optimum tekniğin seçilmesi amacıyla bulanık kümeye yeni dahil edilen aralık değerli q-basamaklı ortoçift bulanık esnek küme ile Bulanık EDAS yöntemi kullanılmıştır. Yan vd.(2024) çalışmalarında çift karbon bağlamında, destinasyon turizm ortamının sürdürülebilir taşıma kapasitesinin mevcut durumu ve gelecekteki gelişme potansiyelinin değerlendirilmesi için Hamming mesafesi ve Logaritmik mesafeye dayalı ÇKKV’yi yönetmek için IFN-EDAS tekniği kullanılmıştır. Sancar ve Gül(2024), yaptıkları çalışmada bir işletme için yatırım yapılması planlanan baskı makinesi seçiminde kriterlerin ağırlıklandırılması için Bulanık AHP ve alternatiflerin

değerlendirilip ilgili makine seçiminin yapılması için Bulanık EDAS yöntemini kullanmışlardır.

4.4. Literatür Değerlendirmesi

Literatürde yapılmış çalışmalara bakıldığında Bulanık CRITIC yöntemi kriter ağırlıklandırma yöntemleriyle kıyaslandığında tutarlı sonuçlar vermesi ve tercih edilebilirliğinin diğer kritik ağırlıklandırma yöntemlerine göre hayli az olması sebebiyle bu çalışma için seçilmiştir. Alternatif değerlendirilmesi ve sıralamasının yapılabilmesi için ise literatürde yaygın olarak uygulaması yapılan Bulanık WASPAS yöntemi ve bu çalışmada kullanılan diğer yöntemler ile entegre çalışması çok bulunmayan Bulanık EDAS yöntemi beraber kullanılmış, sayılan tüm bu sebepler ile de uygulamada tercih sebebi haline gelmiştir. Uygulama adımları benzerlik göstermeyen ve literatürdeki yerleri ve kullanım alanları birbirinden farklı olan yöntemlerin bütünleşik kullanılması ve sonuçların karşılaştırılarak mevcut literatürden farklı ve yeni bir çalışma kazandırılması ve çalışmanın en önemli tarafının özgünlüğü olması hedeflenmiştir.

5. UYGULAMA

Uygulama çalışmasında Denizli ilinde üretim yapan bir tekstil terbiye firmasının enerji tesisi kurulumu esnasında seçilmesi hedeflenen kazan için en az maliyetle, en verimli, kapasitesi en yüksek seçim yapılarak enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu hususta kriterlerin ağırlıklandırılmasına imkan veren Bulanık CRITIC yönteminden ve Bulanık ÇKKV yöntemlerinden olan WASPAS ve EDAS alternatiflerin sıralanması için ele alınmıştır. Çalışmayı ÇKKV haline getiren kriterlerin sayısı ve zıt yönlü olmalarıdır. Pisagor Bulanık Sayılardan da yararlanılması ile ÇKKV yöntemleri bulanıklaştırılmış ve gri çizgiler kabul edilebilir sınırlara taşınmıştır. İki ÇKKV yöntemi ile ulaşılan sonuçlar karşılaştırılarak, benzerlikler ve farklılıklar değerlendirilmiştir. Ayrıca kriterler için duyarlılık analizi yapılarak kriterlerin ağırlıklandırılması konusunun ÇKKV’de seçimi nasıl etkilediği üzerine sonuca varılmıştır.

Bu noktada karar vericiler ; firma için enerji konularında çalışma yapan Bakım Enerji Şefi, Bakım Enerji Uzmanı ve Enerji Danışmanı’ dır.

5.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Seçimi etkileyecek ve birbirleriyle çelişen en önemli 6 kriter seçilip, minimize veya maksimize etmek istediğimiz kriterler bazında değerlendirilmiştir. Tüm yedek parçaların zamanında temin edilmesi, bakım faaliyetlerinin periyodik yapılması sebebiyle ani arızalarda zaman kayıplarının önüne geçilmesi gibi konular stabil alınmış ve kriterler arasına bu sebeple koyulmamıştır.

Sistem Verimi(Fayda Yönlü)

Enerji tesisleri için sistem verimi önemli bir kriterdir. Verimli bir kazan seçimi sayesinde yakıttan tasarruf sağlanabilir. Bu sebeple kazan seçimi için sistem verimi maksimize etmek isteyeceğimiz bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yakıt Alt Isıl Değeri (Fayda Yönlü)

Yakıt alt ısı değer verimlilik değerleri ile bağdaştırıldığı takdirde mevcut kazanın bedel/değer oranı için fikir vermesi sebebiyle yine önemli bir kriterdir. Yakıt

alt ısı değerinin yüksek olması verimliliğini arttıracığından maksimum değerde seçim yapmak isteriz.

Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı(Maliyet Yönlü)

Yıllık yakıt tüketim miktarı toplam maliyeti ve kazan verimliliği ile ters orantılıdır. Kazan ne kadar verimli ise yakıt tüketimi de bu paralelde azalış göstereceğinden ve amorti süresini etkileyeceğinden minimize etmek istediğimiz bir kriter olacaktır.

Yıllık Genel Bakım Maliyeti(Maliyet Yönlü)

Yıllık genel bakım maliyeti sadece kazan için değil enerji tesislerindeki tüm ekipmanlar için zorunlu ve kaçınılmaz bir gider kalemidir. Bu gider kaleminin sağlıklı çalışan bir kazan için bertaraf edilemeyeceği göz önünde bulundurulursa yapılabilecek en iyi şey minimize edilmesidir.

1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti(Maliyet Yönlü)

Kazan çıktısı olarak adlandırdığımız ve işletmenin enerji girişlerinden birini oluşturan buharın üretimi için gereken tüm maliyet toplamalarının minimize edilmesi yönetim ve proje sorumlularının dikkat ettiği en önemli hususlardan biridir. Mevcut çalışmada da bu maliyetin minimum olması istenmektedir.

Kapasite (Fayda Yönlü)

Günümüz işletme koşullarına göre kapasite belirlemek şüphesiz ilerleyişin önündeki en büyük engellerden biri olacaktır. Gelecek üretim hedefleri, pazardaki konum vb. dikkate alınarak en doğru kapasite seçimi önem arz etmektedir.

Tablo 5.1.1: Uzmanların Belirlediği Kriterler

Kriterler
Sistem Verimi
Yakıt Alt Isıl Değeri
Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı
Yıllık Genel Bakım Maliyeti
1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti
Kapasite

5.2. Bulanık CRITIC Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu kısımda Tablo 5.1.6’da uzman kadrosu tarafından belirlenen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Kriterleri değerlendiren karar verici uzman ekip işletme bakım ekibinden oluşmaktadır. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanabilmesi için Bulanık CRITIC metodu kullanılmıştır.

Adım 1 Belirsizlik Derecesinin Hesaplanması

Bu uygulamada kullanılacak olan kriterler firma uzman bakım ekibi tarafından belirlenmiş ve Tablo 5.2.1 ‘de de gösterildiği üzere dilsel değerlendirmeler neticesinde Pisagor Bulanık Sayılara dönüştürülerek Formül (3.2) ile belirsizlik dereceleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.2.1.: Dilsel İfadeler Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı

Dilsel İfadeler	Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı
Çok Yüksek(ÇY)	(1;0)
Yüksek(Y)	(0.8;0.2)
Orta Yüksek(OY)	(0.6;0.4)
Orta (O)	(0.5;0.5)
Orta Düşük(OD)	(0.4;0.6)
Düşük(D)	(0.2;0.8)
Çok Düşük(ÇD)	(0;1)

Tablo 5.2.2.: Kriterlerin Dilsel İfade Karşılığı

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
Döner Izgaralı Hibrit	Y	OY	ÇD	OD	D	ÇY
İleri İtimli Hareketli Izgara	OY	O	OD	OY	O	Y
Sabit Stokerli	ÇD	OD	ÇY	O	OD	ÇD
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	OD	O	ÇY	Y	ÇY	ÇD
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	D	ÇY	OD	D	OY	OD
Doğalgaz	O	O	Y	OD	D	OD
LNG	ÇD	OD	OY	ÇY	Y	O

Tablo 5.2.3.: Kriterlerin Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi		Yakıt Alt Isıl Değeri		Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı		Yıllık Genel Bakım Maliyeti		1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti		Kapasite	
Döner Izgaralı Hibrit	0,8	0,2	0,6	0,4	0	1	0,4	0,6	0,2	0,8	1	0
İleri İtimli Hareketli	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,8	0,2
Izgara												
Sabit Stokerli	0	1	0,4	0,6	1	0	0,5	0,5	0,4	0,6	0,2	0,8
Kabarcıklı Tip	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6	0,8	0,2	1	0	0	1
Akışkan Yatak												
Dolaşım Tip	0,2	0,8	1	0	0,4	0,6	0,2	0,8	0,6	0,4	0,4	0,6
Akışkan Yatak												
Doğalgaz	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,2	0,4	0,6	0,2	0,8	0,4	0,6
LNG	0	1	0,4	0,6	0,6	0,4	1	0	0,8	0,2	0,5	0,5

Tablo 5.2.4.: Belirsizlik Matrisi

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
Döner Izgaralı Hibrit	0,566	0,693	0,000	0,693	0,566	0,000
İleri İtimli Hareketli	0,693	0,707	0,693	0,693	0,707	0,566
Izgara						
Sabit Stokerli	0,000	0,693	0,000	0,707	0,693	0,566
Kabarcıklı Tip	0,693	0,707	0,693	0,566	0,000	0,000
Akışkan Yatak						
Dolaşım Tip	0,566	0,000	0,693	0,566	0,693	0,693
Akışkan Yatak						
Doğalgaz	0,707	0,707	0,566	0,693	0,566	0,693
LNG	0,000	0,693	0,693	0,000	0,566	0,707

Formül (3.2) ile hesaplamalar yapılır;

$$\Pi_{11} = \sqrt{1 - 0,8^2 - 0,2^2} = 0,566$$

$$\Pi_{12} = \sqrt{1 - 0,6^2 - 0,4^2} = 0,693$$

$$\Pi_{13} = \sqrt{1 - 0^2 - 1^2} = 0$$

$$\Pi_{14} = \sqrt{1 - 0,4^2 - 6} = 0,693$$

Adım 2 Her Bir Pisagor Bulanık Değerin Skor Fonksiyonlarının Hesaplanması

Tablo 5.2.5.: Skor Matrisi

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara	0,322	-0,192	-1,000	-0,592	-0,878	1,000
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	-0,192	-0,405	-0,592	-0,192	-0,405	0,322
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	-1,000	-0,592	1,000	-0,405	-0,592	-0,878
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	-0,592	-0,405	-0,592	0,322	1,000	-1,000
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	-0,878	1,000	-0,592	-0,878	-0,192	-0,592
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	-0,405	-0,405	0,322	-0,592	-0,878	-0,592
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	-1,000	-0,592	-0,192	1,000	0,322	-0,405

Formül (3.3) ile her bir kriterin pisagor değerinin skor fonksiyonu hesaplanır ve Tablo 5.2.5 'teki matris elde edilir.

Skor fonksiyonu matrisini oluşturan denklemlerden örnekler verilmiştir.

$$r_{11} = 0,8^2 - 0,2^2 - \ln(1 + 0,566^2) = 0,322$$

$$r_{35} = 0,4^2 - 0,6^2 - \ln(1 + 0,566^2) = -0,592$$

Adım 3 Skor Matrisinin Bir Otonormal Pisagor Bulanık Matrisine

Dönüştürülmesi(Normalizasyon)

Tablo 5.2.6.:Normalize Karar Matrisi

Kriterler/Alternatifler	fayda Sistem Verimi	fayda Yakıt Alt Isıl Değeri	maliyet Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	maliyet Yıllık Genel Bakım Maliyeti	maliyet 1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	fayda Kapasite
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara	1,000	0,251	1,000	0,848	1,000	1,000
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,611	0,117	0,796	0,635	0,749	0,661
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,000	0,000	0,000	0,749	0,848	0,061
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,309	0,117	0,796	0,361	0,000	0,000
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,093	1,000	0,796	1,000	0,635	0,204
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,450	0,117	0,339	0,848	1,000	0,204
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,000	0,000	0,596	0,000	0,361	0,297

Skor matrisindeki değerler sabit bir şekilde incelenebilmek için Formül (3.4) ile fayda ve maliyet kriteri olmasına göre farklı şekilde normalize edilir ve Tablo 5.2.6 ile normalize karar matrisi elde edilir.

Normalize matrisi oluşturan denklemlerden örnekler verilmiştir.

$$r_{11}' = \begin{cases} \frac{0,322-(-1)}{0,322-(-1)}, & \text{fayda kriteri için} \\ \end{cases} = 1$$

$$r_{43}' = \begin{cases} \frac{1-(-0,592)}{1-(-1)}, & \text{maliyet kriteri için} \\ \end{cases} = 0,796$$

Adım 4 Kriterlerin Standart Sapmalarının Hesaplanması

Kriterlerin normalize matristeki değerleri ve Formül (3.5) kullanılarak standart sapmaları hesaplanır ve Tablo 5.2.7 elde edilir.

Tablo 5.2.7.:Kriterlerin Standart Sapmaları

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara	0,209	0,193	0,475	0,513	0,513	0,204
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,264	0,212	0,504	0,544	0,549	0,252
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,352	0,229	0,618	0,527	0,535	0,338
Doğalgaz LNG	0,308	0,212	0,504	0,583	0,656	0,347
σ	0,338	0,086	0,504	0,491	0,565	0,318
	0,287	0,212	0,569	0,513	0,513	0,318
	0,352	0,229	0,532	0,634	0,604	0,304
	0,549	0,443	0,728	0,737	0,750	0,545

Formül (3.5) ile hesaplamalar yapılır;

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (0,209' - (0,264+0,352+0+0,308+1+0,338+0,287+0,352))^2}{7}} = 0,549$$

Adım 5 Kriterler Arası Korelasyonun Belirlenmesi

Formül (3.6) ile kriterler arası uzaklığın hesaplanabilmesi için kriterler arası korelasyon belirlenir.

Tablo 5.2.8.:Kriterlerin Korelasyon Matrisi

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
Sistem Verimi	1,000	-0,077	0,580	0,340	0,435	0,835
Yakıt Alt Isıl Değeri	-0,077	1,000	0,395	0,568	0,051	0,001
Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	0,580	0,395	1,000	-0,026	-0,241	0,593
Yıllık Yakıt Tüketim Bedeli	0,340	0,568	-0,026	1,000	0,698	0,203
1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	0,435	0,051	-0,241	0,698	1,000	0,503
Kapasite	0,835	0,001	0,593	0,203	0,503	1,000

Adım 6 Her Bir Kriterin Bilgi Miktarının Hesaplanması

Formül (3.7) ile her bir kriterin bilgi miktarı hesaplanır. Kriter için bilgi miktarı ne kadar büyük ise o kadar fazla bilgi içerir, dolayısıyla bu değerlendirme kriterinin ağırlığı diğer kriterlerinkinden büyüktür.

Tablo 5.2.9.:Kriterlerin Bilgi Miktarı

Kriter	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
c	1,585	1,799	2,692	2,372	2,665	1,562

Formül (3.7) ile hesaplamalar yapılır;

$$c_1 = 0,549 * ((1 - 1) + (1 - -0,077) + (1 - 0,580) + (1 - 0,340) + (1 - 0,435) + (1 - 0,835)) = 1,585$$

Adım 7 Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Formül(3.8) ile her bir kriterin ağırlığı hesaplanır ve kriterlerin önem dereceleri bulunmuş olur.

Tablo 5.2.10.:Kriterlerin Ağırlıkları

Kriter	Sistem Verimi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	Yıllık Genel Bakım Maliyeti	1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	Kapasite
w	0,1251	0,1420	0,2124	0,1871	0,2103	0,1232

Formül (3.8) ile hesaplamalar yapılır;

$$W_3 = \frac{1,585}{1,585+1,799+2,692+2,372+2,665+1,562} = 0,1251$$

Buradan hareketle, en önemli kriter 1 ton için toplam buhar maliyeti olup en az önemli kriter ise kapasite olarak karşımıza çıkmaktadır. Kapasite ilgili çalışmada işletme hedefleri ve işletmenin pazardaki durumuna göre belirlenmiş olduğu için alternatifler birbirine çok yakın kapasiteli kazanlar arasından belirlenmiştir. Bu sebeple en düşük önem derecesine sahip olması makuldür. Toplam buhar maliyeti işletmeler için gider kalemlerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturması ve proje bazında yönetimin ilgileneceği en önemli konulardan biri olması sebebiyle en yüksek önem düzeyine sahip olması beklenen bir şeydir.

5.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Karar vericilerin de önderliğinde mevcut kapasite, zaman ve maliyetler göz önünde bulundurulduğunda karşımıza çıkan kazan alternatifleri belirlenmiştir.

Bunlar;

Döner Izgaralı Hibrit

İlgili kazan sistemi için kömür, ızgaraya döküldüğü andan ocak içerisine doğru dönme hızı sayesinde ilerleme kaydeder. Bu tipin pek çok alanda kullanımı mevcuttur. Ocağa ilk girişinde kömür nemini salar ve ilerleyen kısımlarda uanmasını tamamlar. Yanma tam anlamıyla sonlandığı için de çıkan cüruf miktarı hayli düşüktür. Kömür yüklemesi, yakılması ve cüruf atığı dahil tüm işlemler PLC otomasyonu ile sağlanır.

İleri İtimli Hareketli Izgara

Bünyesinde bulunan ızgaralı yakma sistemi ile ihtiyaç olan ısıya göre oransal olarak çalışıyor oluşu yüksek verim imkanı sunmaktadır. Yanma olayı hareketli ızgaranın içerisinde bulunan ön ocakta gerçekleşir. Isı iletimi ön ocakta radyasyon, kazanda konveksiyon yöntemi ile gerçekleştirilir. Yanma neticesindeki duman içerisindeki kurum partikülleri bacadan ayrılır ve hava kalitesini koruma yönetmeliğine uygun olarak atılır.

Sabit Stokerli

Bu sistemde yanma neticesindeki gazlar yanma odasından geçip ön kısma taşınır ve daha sonra siklona yönlendirilir. Kömür tam anlamıyla yandığı için çevreyi daha az kirletir. Hızlı bir buhar üretimi gerçekleşmektedir.

Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak

Bu kazan tipinde katı yakıtları yakmaya imkan tanıyan bir teknoloji mevcuttur. Verimi yüksek ve kirlilik oranı düşüktür ve bu sebepler tercih edilirliliğini artırır.

Doğalgaz

Doğal gaz yakıtını yakmak için kullanılan yakma teknolojisi ile çalışır ve daha verimlidir , emisyonları daha iyidir.

LNG

LNG yakıtını yakmak için kullanılan yakma teknolojisini kullanır.

Kazan seçimi için belirlenen alternatif ve kriterler bazında alternatiflerin aldığı (karar vericilerin tarafından atanan bulanık sayı karşılıkları) değerler sayesinde seçim yapılacaktır.

5.3.1. Bulanık WASPAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Adım 1 Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar vericilerin kriterler bazında alternatifler hakkındaki dilsel değerlendirmeleri(Tablo 5.3.1) Pisagor Bulanık Sayılara dönüştürülerek Tablo 5.3.2 elde edilir.

Tablo 5.3.1.:Dilsel Değerlendirmelerin Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı

Dilsel Terimler	μ_l	μ_u	v_l	v_u
Çok Yüksek(ÇY)	0,75	0,9	0,03	0,18
Yüksek(Y)	0,66	0,81	0,12	0,27
Orta Yüksek(OY)	0,57	0,72	0,21	0,36
Orta (O)	0,48	0,63	0,30	0,45
Orta Düşük(OD)	0,39	0,54	0,39	0,54
Düşük(D)	0,30	0,45	0,48	0,63
Çok Düşük(ÇD)	0,21	0,36	0,57	0,72

Tablo 5.3.2.:WASPAS Karar Matris

Kriterler	Sistem Verimi				Yakıt Alt Isıl Değeri				Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı				Yıllık Genel Bakım Maliyeti				1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti				Kapasite			
	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara Sabit Stokerli	0,66	0,81	0,12	0,27	0,57	0,72	0,21	0,36	0,21	0,36	0,57	0,72	0,39	0,54	0,39	0,54	0,30	0,45	0,48	0,63	0,75	0,90	0,03	0,18
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz	0,57	0,72	0,21	0,36	0,48	0,63	0,30	0,45	0,39	0,54	0,39	0,54	0,57	0,72	0,21	0,36	0,48	0,63	0,30	0,45	0,66	0,81	0,12	0,27
LNG	0,21	0,36	0,57	0,72	0,39	0,54	0,39	0,54	0,75	0,9	0,03	0,18	0,48	0,63	0,30	0,45	0,39	0,54	0,39	0,54	0,21	0,36	0,57	0,72
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz	0,39	0,50	0,39	0,54	0,48	0,63	0,30	0,45	0,75	0,90	0,03	0,18	0,66	0,81	0,12	0,27	0,75	0,9	0,03	0,18	0,21	0,36	0,57	0,72
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz	0,30	0,5	0,48	0,63	0,75	0,9	0,03	0,18	0,39	0,54	0,39	0,54	0,30	0,45	0,48	0,63	0,57	0,72	0,21	0,36	0,39	0,54	0,39	0,54
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz	0,48	0,63	0,30	0,45	0,48	0,63	0,30	0,45	0,66	0,81	0,12	0,27	0,39	0,54	0,39	0,54	0,30	0,45	0,48	0,63	0,39	0,54	0,39	0,54

Adım 2 Karar Matrisinin Normalizasyonu

Karar matrisindeki değerlerin normalizasyonu için Formül(3.9) kullanılarak değerler durulaştırılır ve Tablo 5.3.3 elde edilir.

Tablo 5.3.3.:WASPAS Durulaştırılmış Karar Matrisi

Alternatifler	SV	Y AID	YYTM	YGBM	BM	K
Döner Izgaralı Hibrit	0,746	0,481	0,296	0,460	0,664	0,509
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,664	0,497	0,369	0,471	0,584	0,507
Sabit Stokerli	0,352	0,488	0,646	0,568	0,506	0,474
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,492	0,486	0,492	0,537	0,584	0,476
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,428	0,467	0,493	0,657	0,829	0,477
Doğalgaz	0,584	0,501	0,428	0,504	0,584	0,486
LNG	0,352	0,488	0,646	0,568	0,506	0,493

Formül (3.9) Durulaştırma formülü için kullanılan denklemlerden örnek verilmiştir;

$$p_{11} = \frac{0,66+0,81+0,66*0,81+\sqrt{1-0,12^2}+\sqrt{1-0,27^2}+\sqrt{\sqrt{1-0,12^2}\sqrt{1-0,27^2}}}{4} = 0,746$$

Daha sonra eğer kriter fayda temelli yani maksimize etmek istediğimiz bir kriter ise formül 3.10;

$$\tilde{r}_{11} = \frac{0,746}{0,746} = 1$$

- Maliyet temelli,minimize etmek istediğimiz, bir kriter ise formül 3.11 kullanılır;

$$\tilde{r}_{13} = \frac{0,352}{0,352} = 1$$

Denklem (3.12) birleştirilmiş karar matrisindeki tüm değerler için kullanılarak uygulanarak normalize karar matrisi Tablo 5.3.4 elde edilir.

Tablo 5.3.4.:WASPAS Normalize Karar Matrisi

Kriterler	Sistem Verimi				Yakıt Alt Isıl Değeri				Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı				Yıllık Genel Bakım Maliyeti				1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti				Kapasite				
	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	
Alternatifler																									
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,660	0,810	0,120	0,270	0,560	0,710	0,206	0,353	0,210	0,360	0,570	0,720	0,390	0,540	0,390	0,540	0,263	0,398	0,425	0,565	0,750	0,900	0,030	0,180	
	0,543	0,692	0,198	0,341	0,478	0,628	0,299	0,448	0,352	0,492	0,352	0,492	0,565	0,715	0,208	0,356	0,450	0,595	0,280	0,422	0,659	0,809	0,120	0,269	
	0,145	0,252	0,411	0,540	0,385	0,534	0,385	0,534	0,561	0,730	0,020	0,122	0,437	0,580	0,271	0,409	0,390	0,540	0,390	0,540	0,203	0,348	0,554	0,703	
	0,321	0,416	0,321	0,451	0,474	0,623	0,296	0,444	0,626	0,795	0,023	0,140	0,623	0,774	0,111	0,251	0,715	0,873	0,028	0,168	0,203	0,349	0,555	0,704	
	0,230	0,349	0,374	0,502	0,733	0,887	0,029	0,174	0,307	0,432	0,307	0,432	0,253	0,383	0,410	0,546	0,462	0,600	0,165	0,285	0,379	0,526	0,379	0,526	
	0,431	0,572	0,267	0,403	0,480	0,630	0,300	0,450	0,571	0,722	0,100	0,226	0,374	0,520	0,374	0,520	0,280	0,422	0,450	0,595	0,382	0,530	0,382	0,530	
	0,145	0,252	0,411	0,540	0,385	0,534	0,385	0,534	0,406	0,533	0,143	0,248	0,699	0,860	0,027	0,162	0,660	0,810	0,120	0,270	0,473	0,622	0,295	0,444	

Formül (3.12) Normalize karar matrisi formülü için kullanılan denklemlerden örnek verilmiştir;

$$\lambda_1 = \left[\sqrt{1 - (1 - 0,66^2)^{1/0,746}} \right] = 0,660$$

$$\lambda_2 = \left[\sqrt{1 - (1 - 0,81^2)^{1/0,746}} \right] = 0,810$$

Adım 3 Karar Vericilerin Kriterlerin Önem Dereceleri Hakkındaki Dilsel Değerlendirmeleri Pisagor Bulanık Sayılara Dönüştürülmesi

Bu çalışmada kriter ağırlıkları Bulanık CRITIC yöntemi ile elde edilmişti. Alternatif seçim yöntemi ile entegre çalışma yapılabilmesi için Tablo 5.2.10 ‘deki kriter ağırlıkları kullanılmıştır.

Adım 4 Ağırlıklı Toplam Modeline Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması

WASPAS temelini oluşturan ve iki metodun birleşiminden oluşan bu yöntemin ilk aşaması olan toplam nispi önem dereceleri eşitsizlik (3.15) ile elde edilir.

Öncelikle normalize karar matrisindeki değerler ile kriter ağırlıkları denklem (3.14) sayesinde çarpılır ve Tablo 5.3.5 elde edilir.

Tablo 5.3.5.: WASPAS Ağırlıklı Toplam Değeri İçin Normalize Karar Matrisi

Kriterler	Sistem Verimi				Yakıt Alt Isıl Değeri				Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı				Yıllık Genel Bakım Maliyeti				1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti				Kapasite				
	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	
Alternatifler																									
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,083	0,101	0,015	0,034	0,080	0,101	0,029	0,050	0,045	0,076	0,121	0,153	0,073	0,101	0,073	0,101	0,055	0,084	0,089	0,119	0,092	0,111	0,004	0,022	
	0,068	0,086	0,025	0,043	0,068	0,089	0,042	0,064	0,075	0,104	0,075	0,104	0,106	0,134	0,039	0,067	0,095	0,125	0,059	0,089	0,081	0,100	0,015	0,033	
	0,018	0,031	0,051	0,068	0,055	0,076	0,055	0,076	0,119	0,155	0,004	0,026	0,082	0,108	0,051	0,077	0,082	0,114	0,082	0,114	0,025	0,043	0,068	0,087	
	0,040	0,052	0,040	0,056	0,067	0,088	0,042	0,063	0,133	0,169	0,005	0,030	0,116	0,145	0,021	0,047	0,150	0,184	0,006	0,035	0,025	0,043	0,068	0,087	
	0,029	0,044	0,047	0,063	0,104	0,126	0,004	0,025	0,065	0,092	0,065	0,092	0,047	0,072	0,077	0,102	0,097	0,126	0,035	0,060	0,047	0,065	0,047	0,065	
	0,054	0,072	0,033	0,050	0,068	0,089	0,043	0,064	0,121	0,153	0,021	0,048	0,070	0,097	0,070	0,097	0,059	0,089	0,095	0,125	0,047	0,065	0,047	0,065	
	0,018	0,031	0,051	0,068	0,055	0,076	0,055	0,076	0,086	0,113	0,030	0,053	0,131	0,161	0,005	0,030	0,139	0,170	0,025	0,057	0,058	0,077	0,036	0,055	

Daha sonra denklem (3.15) ile bulunan değerler birbirleriyle toplanarak alternatiflerin Pisagor bulanık ağırlıklı toplam değerleri Tablo 5.3.6 elde edilir.

Tablo 5.3.6.: WASPAS Pisagor Bulanık Ağırlıklı Toplam Değerleri

Alternatifler	μ_l	μ_u	ν_l	ν_u
Döner Izgaralı Hibrit	0,662	0,812	0,002	0,009
İleri İtimli Hareketli Izgara Sabit Stokerli	0,572	0,722	0,005	0,015
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,211	0,361	0,029	0,049
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,391	0,502	0,016	0,030
Doğalgaz	0,301	0,452	0,022	0,040
LNG	0,482	0,632	0,010	0,023
	0,211	0,361	0,029	0,049

Formül (3.15) Pisagor Bulanık Ağırlıklı toplam normalize karar matrisi formülü için kullanılan denklemlerden örnek verilmiştir;

$$p_1 \oplus p_2 = [\sqrt{(0,100)^2 + (0,048)^2 - (0,023)^2(0,044^*)^2}] = 0,210$$

Adım 5 Ağırlıklı Çarpım Modeline Dayalı i. Alternatifin Toplam Nispi Öneminin Hesaplanması

WASPAS temelini oluşturan ve iki metodun birleşiminden oluşan bu yöntemin ikinci aşaması olan toplam nispi önem dereceleri çarpım metoduna göre eşitsizlik (3.17) ile elde edilir ve Tablo 5.3.7 elde edilir.

Tablo 5.3.7.: Ağırlıklı Çarpım Değeri İçin Normalize Karar Matrisi

Kriterler	Sistem Verimi				Yakıt Alt Isıl Değeri				Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı				Yıllık Genel Bakım Maliyeti				1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti				Kapasite				
	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	μ_l	μ_u	v_l	v_u	
Alternatifler																									
Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak Doluşumlu Tip Akışkan Yatak Doğalgaz LNG	0,949	0,974	0,043	0,097	0,921	0,953	0,078	0,137	0,718	0,805	0,283	0,379	0,838	0,891	0,174	0,250	0,755	0,824	0,203	0,279	0,965	0,987	0,011	0,064	
	0,927	0,955	0,071	0,124	0,901	0,936	0,115	0,177	0,801	0,860	0,167	0,239	0,899	0,939	0,091	0,158	0,846	0,897	0,130	0,201	0,950	0,974	0,042	0,096	
	0,785	0,842	0,151	0,205	0,873	0,915	0,150	0,216	0,885	0,935	0,009	0,057	0,857	0,903	0,119	0,184	0,820	0,878	0,185	0,264	0,822	0,878	0,210	0,284	
	0,868	0,896	0,116	0,167	0,899	0,935	0,114	0,175	0,905	0,952	0,011	0,065	0,915	0,953	0,048	0,110	0,932	0,972	0,013	0,077	0,822	0,878	0,210	0,284	
	0,832	0,877	0,137	0,189	0,957	0,983	0,011	0,066	0,778	0,837	0,144	0,207	0,773	0,836	0,184	0,253	0,850	0,898	0,076	0,133	0,887	0,924	0,137	0,198	
	0,900	0,933	0,096	0,148	0,901	0,937	0,115	0,178	0,888	0,933	0,046	0,105	0,832	0,885	0,167	0,239	0,765	0,834	0,216	0,297	0,888	0,925	0,139	0,199	
	0,785	0,842	0,151	0,205	0,873	0,915	0,150	0,216	0,826	0,875	0,066	0,116	0,935	0,972	0,012	0,071	0,916	0,957	0,055	0,126	0,912	0,943	0,106	0,163	

Formül (3.17)Ağırlıklı çarpım normalize karar matrisi formülü için kullanılan denklemlerden örnek verilmiştir.

$$Q_1^2 = 0,732^{0,1366} = 0,949$$

Daha sonra bu değerler denklem (3.19) ile birbirleriyle çarpılarak alternatiflerin Pisagor bulanık ağırlıklı çarpım değerleri elde edilir ve Tablo 5.3.8 elde edilir.

Tablo 5.3.8.: WASPAS Pisagor Bulanık Ağırlıklı Çarpım Değerleri

Alternatifler	μ_l	μ_u	ν_l	ν_u
Döner Izgaralı Hibrit	0,627	0,789	0,127	0,286
İleri İtimli Hareketli Izgara Sabit Stokerli	0,528	0,688	0,221	0,378
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,165	0,303	0,583	0,734
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak Doğalgaz	0,338	0,448	0,404	0,558
LNG	0,250	0,395	0,495	0,647
	0,432	0,587	0,314	0,469
	0,165	0,303	0,583	0,734

Formül (3.19) Pisagor bulanık ağırlıklı çarpım normalize karar matrisi formülü için kullanılan denklemlerden örnek verilmiştir;

$$p_1 \otimes p_2 = 0,958 * 0,942 * 0,686 * 0,797 * 0,721 * 0,931 = 0,331$$

Adım 6 Karar Alternatiflerinin Göreceli Önem Değerinin Hesaplanması

Karar alternatiflerinin doğru ve etkin bir şekilde sıralanmasının yapılabilmesi için toplam göreceli önem değeri denklem (3.20) ile elde edilir.

Öncelikle ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım değerleri Formül (3.9) ile durulaştırılır. Tablo 5.3.9 ve Tablo 5.3.10 elde edilir. Ardından ulaşılan değerler λ katsayısı ile ağırlıklandırılır ve toplanır ve Tablo 5.2.11 elde edilir. Bu aşamada λ katsayısı iki değere verilen önem derecelerini ifade eder ve 0 ile 1 arasında bir değer almalıdır. İlgili çalışmamızda bu değer 0,5 alınmıştır.

Tablo 5.3.9.: WASPAS Durulaştırılmış Pisagor Bulanık Ağırlıklı Toplam Değerleri

Alternatifler	
Döner Izgaralı Hibrit	0,753
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,677
Sabit Stokerli	0,412
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,522
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,472
Doğalgaz	0,605
LNG	0,412

Tablo 5.3.10.: WASPAS Durulaştırılmış Pisagor Bulanık Ağırlıklı Çarpım Değerleri

Alternatifler	
Döner Izgaralı Hibrit	0,721
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,632
Sabit Stokerli	0,317
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,453
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,390
Doğalgaz	0,548
LNG	0,317

Tablo 5.3.11.: WASPAS Alternatiflerin Toplam Göreceli Önem Değerleri

Alternatifler		Sıralama
Döner Izgaralı Hibrit	0,737	1
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,655	2
Sabit Stokerli	0,364	6
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,488	4
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,431	5
Doğalgaz	0,576	3
LNG	0,364	6

Formül (3.20) Alternatiflerin toplam göreceli önem değeri formülü için kullanılan denklemlerden örnek verilmiştir;

$$Q_1 = 0,5 * 0,753 + (1 - 0,5) * 0,721 = 0,737$$

Adım 7 Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler toplam göreceli önem değerleri göz önünde bulundurularak sıralanır. Toplam göreceli değeri en yüksek olan alternatif seçilir.

Bu çalışma için WASPAS Yöntemine göre ilgili kriterler bazında en uygun alternatif Döner Izgaralı Hibrit olmuştur.

Döner Izgaralı Hibrit > İleri İtimli Izgara > Doğalgaz > Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak > Dolaşımli Tip Akışkan Yatak > LNG = Sabit Stokerli

5.3.2. Bulanık EDAS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Adım 1 Sezgisel Bulanık Karar Matrisi Oluşturulması

Karar verici uzmanların alternatifleri kriterlere göre değerlendirmeleri dilsel değişkenler yardımıyla yapılır ve karar matrisine dilsel değişkenlerin bulanık sayı karşılıkları yazılır.

Tablo 5.3.12.:Dilsel Değerlendirmelerin Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı

Dilsel İfadeler	Pisagor Bulanık Sayı Karşılığı
Çok Yüksek(ÇY)	(0,9;0,1)
Yüksek(Y)	(0,8;0,2)
Orta Yüksek(OY)	(0,6;0,4)
Orta (O)	(0,5;0,5)
Orta Düşük(OD)	(0,4;0,6)
Düşük(D)	(0,2;0,8)
Çok Düşük(ÇD)	(0,1;0,9)

Tablo 5.3.13.: Edas Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi		Yakıt Alt Isıl Değeri		Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı		Yıllık Genel Bakım Maliyeti		1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti		Kapasite	
	Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara	0,8	0,2	0,6	0,4	0,1	0,9	0,4	0,6	0,2	0,8	0,9
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,8	0,2
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,1	0,9	0,4	0,6	0,9	0,1	0,5	0,5	0,4	0,6	0,1	0,9
Doğalgaz	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9	0,1	0,8	0,2	0,9	0,1	0,1	0,9
LNG	0,2	0,8	0,9	0,1	0,4	0,6	0,2	0,8	0,6	0,4	0,4	0,6
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,2	0,4	0,6	0,2	0,8	0,4	0,6
	0,1	0,9	0,4	0,6	0,6	0,4	0,9	0,1	0,8	0,2	0,5	0,5

Adım 2 Ortalama Çözüm Değerlerinin (AV) Hesaplanması

Ortalama çözüm değerlerinin hesaplanması için sezgisel bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama IWAM (Tikhonenko ve Kurkowski, 2016) operatöründen Formül 3.21 faydalanılır. Ardından Formül 3.22 ile S(A) değerleri bulunur.

Tablo 5.3.14.: Edas Ortalama Çözüm Değerleri Matrisi

Kriterler/Alternatifler	Sistem Verimi		Yakıt Alt Isıl Değeri		Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı		Yıllık Genel Bakım Maliyeti		1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti		Kapasite	
	Döner Izgaralı Hibrit İleri İtimli Hareketli Izgara	0,765	0,963	0,858	0,918	0,983	0,681	0,918	0,858	0,963	0,765	0,681
Sabit Stokerli Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,858	0,918	0,891	0,891	0,918	0,858	0,858	0,918	0,891	0,891	0,765	0,963
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,983	0,681	0,918	0,858	0,681	0,983	0,891	0,891	0,918	0,858	0,983	0,681
Doğalgaz	0,918	0,858	0,891	0,891	0,681	0,983	0,765	0,963	0,681	0,983	0,983	0,681
LNG	0,963	0,765	0,681	0,983	0,918	0,858	0,963	0,765	0,858	0,918	0,918	0,858
	0,891	0,891	0,891	0,891	0,765	0,963	0,918	0,858	0,963	0,765	0,918	0,858
	0,983	0,681	0,918	0,858	0,858	0,918	0,681	0,983	0,765	0,963	0,891	0,891

AV_j	0,500	0,240	0,651	0,470	0,747	0,429	0,676	0,436	0,660	0,389	0,622	0,288
$S(AV)_j$	0,630		0,572		0,616		0,600		0,628		0,678	

$$AV_1 = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - 0,8)^{\left(\frac{1}{6}\right)}, \prod_{i=1}^m (1 - 0,2)^{\left(\frac{1}{6}\right)}, = 0,500; 0,240$$

$$S(A) = 0,500 + 0,500(1 - 0,500 - 0,240) = 0,630$$

Adım 3 Ortalamadan Pozitif (PDA) Ve Negatif (NDA) Uzaklıkların Hesaplanması

PDA ve NDA değerleri ortalama çözüm değeri ve performans skorlarının skor fonksiyon değerleri kullanılarak Formül 3.22 ve 3.23 ile hesaplanır.

Tablo 5.3.15.: Edas Ortalamadan Pozitif Uzaklıkların Hesaplanması(PDA)

Kriterler/Alternatifler	SV	Y AID	YYTM	YGBM	TBM	K
Döner Izgaralı Hibrit	0,269	0,049	0,838	0,333	0,681	0,328
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,000	0,000	0,350	0,000	0,204	0,180
Sabit Stokerli	0,000	0,000	0,000	0,167	0,363	0,000
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,000	0,573	0,350	0,667	0,044	0,000
Doğalgaz	0,000	0,000	0,000	0,333	0,681	0,000
LNG	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000

$$PDA_{11} = [PDA_{ij}]_{mxn} = 0,8 - 0,630 = 0,269$$

$$PDA_{13} = [PDA_{ij}]_{mxn} = 0,616 - 0,1 = 0,838$$

Tablo 5.3.16.: Edas Ortalamadan Negatif Uzaklıkların Hesaplanması

Kriterler/Alternatifler	SV	Y AID	YYTM	YGBM	TBM	K
Döner Izgaralı Hibrit	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,048	0,126	0,000	0,000	0,000	0,000
Sabit Stokerli	0,841	0,301	0,462	0,000	0,000	0,852
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,365	0,126	0,462	0,333	0,433	0,852
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,683	0,000	0,000	0,000	0,000	0,410
Doğalgaz	0,207	0,126	0,299	0,000	0,000	0,410
LNG	0,841	0,301	0,000	0,500	0,274	0,262

$$NDA_{21} = [NDA_{21}]_{mxn} = 0,630 - 0,600 = 0,048$$

$$NDA_{34} = [NDA_{34}]_{mxn} = 0,8 - 0,600 = 0,333$$

Adım 4 PDA ve NDA Uzaklıklarının Ağırlıklı Toplamlarının Hesaplanması

Bu çalışmada kriterlerin ağırlıkları pisagor bulanık CRITIC yöntemi kullanılarak hesaplanmış sonra da Formül 3.24 ve 3.25 aracılığı ile EDAS yöntemi ile bütünleştirilmiştir.

Tablo 5.3.17.: Edas PDA Uzaklıklıklarının Ağırlıklı Toplamları

Alternatifler	SPİ
Döner Izgaralı Hibrit	0,465
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,139
Sabit Stokerli	0,107
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,000
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,290
Doğalgaz	0,206
LNG	0,005
MAX	0,465

$$SP_1 = 0,269 * 0,125 + 0,049 * 0,142 + 0,212 * 0,838 + 0,187 * 0,333 + 0,210 * 0,681 + 0,123 * 0,328 = 0,465$$

Tablo 5.3.18.: Edas NDA Uzaklıklıklarının Ağırlıklı Toplamları

Alternatifler	SNİ
Döner Izgaralı Hibrit	0,000
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,024
Sabit Stokerli	0,351
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,420
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,136
Doğalgaz	0,158
LNG	0,331
MAX	0,420

$$SN_2 = 0,125 * 0,048 + 0,142 * 0,126 + 0,212 * 0 + 0,187 * 0 + 0,210 * 0 + 0,123 * 0 = 0,024$$

Adım 5 Normalize Ağırlıklandırılmış Uzaklıkların Hesaplanması

Elde edilen SP_i ve SN_i değerleri kullanılarak normalize ağırlıklandırılmış uzaklıklar Formül 3.26 ve 3.27 ile hesaplanır.

Tablo 5.3.19.: Edas Normalize Ağırlıklandırılmış PDA

Alternatifler	SPİ
Döner Izgaralı Hibrit	1,000
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,300
Sabit Stokerli	0,231
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,000
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,624
Doğalgaz	0,443
LNG	0,012

$$NSP_1 = \frac{0,465}{0,465} = 1$$

Tablo 5.3.20.: Edas Normalize Ağırlıklandırılmış NDA

Alternatifler	SNİ
Döner Izgaralı Hibrit	1,000
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,943
Sabit Stokerli	0,165
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,000
Dolaşım Tip Akışkan Yatak	0,677
Doğalgaz	0,624
LNG	0,211

$$NSN_1 = 1 - \frac{0}{0,420} = 1$$

Adım 6 Değerlendirme Skorunun (AS) Hesaplanması ve Sıralamanın Elde Edilmesi

Formül 3.28 yardımıyla her bir alternatif için değerlendirme skoru (AS) hesaplanır ve büyükten küçüğe sıralanarak alternatif sıralaması elde edilir.

Tablo 5.3.21.: Edas Değerlendirme Skorları

Alternatifler	AS_j	Sıralama
Döner Izgaralı Hibrit	1,000	1
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,622	3
Sabit Stokerli	0,198	5
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,000	7
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,650	2
Doğalgaz	0,534	4
LNG	0,111	6

$$AS_3 = \frac{1}{2}(0,231 + 165) = 0,198$$

Bu çalışma için EDAS Yöntemine göre ilgili kriterler bazında en uygun alternatif Döner Izgaralı Hibrit olmuştur.

Döner Izgaralı Hibrit > Dolaşımli Tip Akışkan Yatak > İleri İtimli Izgara > Doğalgaz > Sabit Stokerli > LNG > Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak

5.4. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, seçim ve sıralama konulu uygulama problemlerinde alternatiflere ilişkin farklı durumlardaki değişimlerin gözlemlenmesi ile kapsamlı sonuçlara ulaşmamıza imkan tanımaktadır. Uygulamada belirlenen kriterlerin değerlendirilmesinin yapılması ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi konusunun alternatif sıralamasını büyük ölçüde etkilemesi sebebiyle değişken durumlardaki ağırlıkların değişimlerinin gözlemlenmesi önem arz etmektedir. (Lee ve Chang 2018). Yapılan uygulamada, kriterlerde yapılacak olan olası değişimlerin alternatif sıralamasında nasıl bir etkisinin olacağını gözlemleyebilmek için duyarlılık analizinden yararlanılmıştır. Kriterlerdeki değişkenlikler gözlemlenirken kriter ağırlıkları değiştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizinde kriter ağırlıkları Tablo 5.4.1'deki gibi 8 farklı durum için uygulanmıştır. Bulanık EDAS ve Bulanık WASPAS

yöntemleri ile tüm durumlar için yöntem adımları yapılmış ve alternatiflerin nihai sıralaması elde edilmiştir.

Tablo 5.4.1: Duyarlılık Analizi Tablosu

Kriterler	Kriter Ağırlıkları	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Sistem Verimi	0,125	1	0	0	0	0	0	0,166	0,5
Yakıt Alt Isıl Değeri	0,142	0	1	0	0	0	0	0,166	0
Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	0,212	0	0	1	0	0	0	0,166	0,5
Yıllık Yakıt Tüketim Bedeli	0,187	0	0	0	1	0	0	0,166	0
1 Ton İçin Toplam Buhar Maliyeti	0,210	0	0	0	0	1	0	0,166	0
Kapasite	0,123	0	0	0	0	0	1	0,166	0

İlk altı durumda ilgili kriter ağırlığı bir alınıp diğer kriter ağırlıkları sıfır olarak baz alınmıştır. Yedinci durumda tüm kriterler uzman kadrosu fikirlerinden bağımsız olarak eşit ağırlıkta sayılıp $1/6=0,166$ olarak ağırlık atanmıştır. Sekizinci durum olan son durumda uzman ekip tarafından belirlenen ve işletme için en önemli iki ana kriter olan Sistem Verimi ve Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı ağırlıkları yarı yarıya verilmiş ve kalan kriterlere sıfır değeri atanmıştır. Bu sekiz durum için alternatif sıralama ve değerlendirilmesi yöntem adımlarına entegre edilerek sonuçlar Bölüm 5.3.3.1 ve 5.3.3.2'deki gibi gözlemlenmiştir.

5.4.1. Bulanık WASPAS Yöntemi ile Duyarlılık Analizi

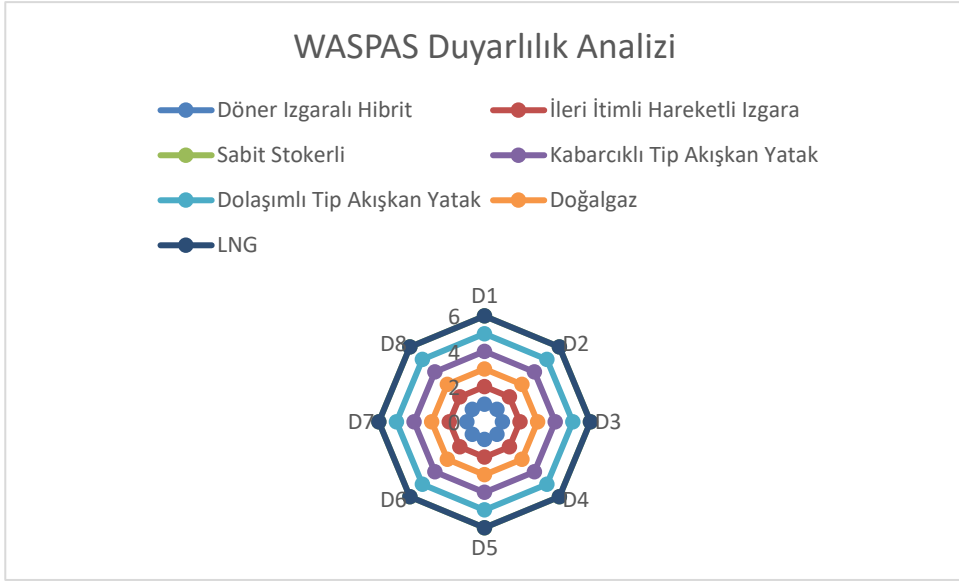
Bulanık WASPAS metodunda Tablo 5.2.10'daki kriter ağırlık oranları duyarlılık analizinde yapılması planlanan sekiz durum için gerçekleştirildiğinde oluşan değerler her alternatif için Tablo 5.4.1'deki gibi elde edilmiştir ve Tablo 5.4.2 ise bu değerlere için alternatif sıralamalarını göstermektedir. Tablo 5.4.2'deki tüm veriler için Şekil 5.1'deki radar grafiği elde edilmiştir.

Tablo.5.4.2.: Durumlar İçin Bulanık WASPAS Alternatif Değerleri

Alternatifler	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Döner Izgaralı Hibrit	0,719	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,734	0,717
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,624	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,650	0,627
Sabit Stokerli	0,316	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381	0,359	0,332
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,440	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507	0,482	0,452
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,381	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,426	0,396
Doğalgaz	0,536	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,571	0,543
LNG	0,316	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381	0,359	0,332

Tablo.5.4.3: WASPAS Duyarlılık Analizi Alternatif Sıralamaları

Alternatif	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Döner Izgaralı Hibrit	1	1	1	1	1	1	1	1
İleri İtimli Hareketli Izgara	2	2	2	2	2	2	2	2
Sabit Stokerli	6	6	6	6	6	6	6	6
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	4	4	4	4	4	4	4	4
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	5	5	5	5	5	5	5	5
Doğalgaz	3	3	3	3	3	3	3	3
LNG	6	6	6	6	6	6	6	6



Şekil 5.1: Bulanık WASPAS Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği

Bulanık WASPAS yöntemi ile yapılan duyarlılık analizine göre sekiz durumun tamamında en uygun kazan Döner Izgaralı Hibrit olarak karşımıza çıkmaktadır. Bulanık CRITIC yöntemine göre ağırlıklandırılan kriterlerin metota göre ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda yakın değerler alıyor oluşu WASPAS'a göre duyarlılık analizinde kriter ağırlıkları değiştirilse de aynı sonuçları elde etmemize yol açmıştır.

5.4.2. Bulanık EDAS Yöntemi ile Duyarlılık Analizi

Bulanık EDAS metodunda Tablo 5.2.10'daki kriter ağırlık oranları duyarlılık analizinde yapılması planlanan sekiz durum için gerçekleştirildiğinde oluşan değerler her alternatif için Tablo 5.4.3'deki gibi elde edilmiştir ve Tablo 5.4.4 ise bu değerlere

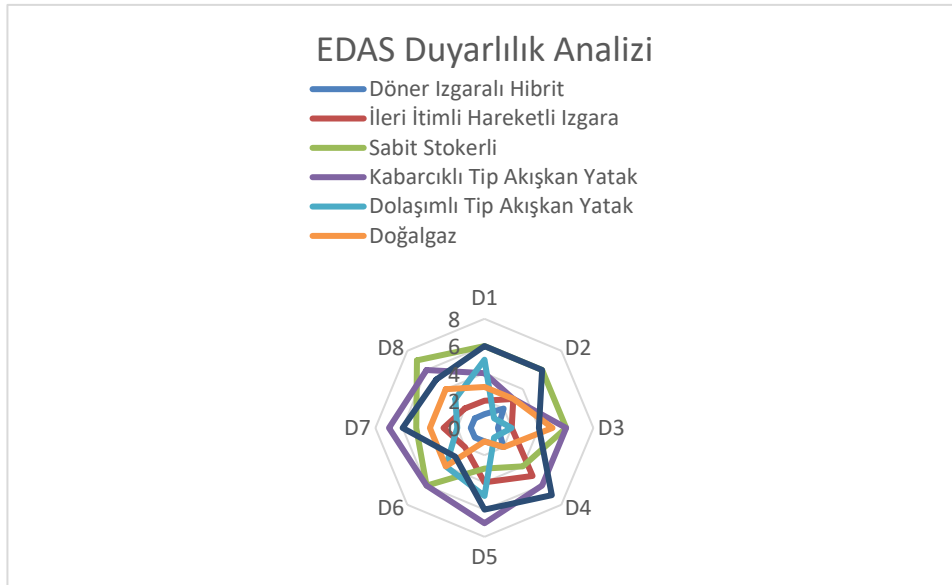
için alternatif sıralamalarını göstermektedir. Tablo 5.4.4'deki tüm veriler için Şekil 5.2'deki radar grafiği elde edilmiştir.

Tablo 5.4.3.: Durumlar İçin Bulanık EDAS Alternatif Değerleri

Alternatifler	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Döner Izgaralı Hibrit	1,000	0,542	1,000	0,750	1,000	1,000	1,000	1,000
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,472	0,290	0,709	0,500	0,649	0,775	0,613	0,640
Sabit Stokerli	0,000	0,000	0,000	0,625	0,766	0,000	0,129	0,000
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,283	0,290	0,000	0,167	0,000	0,000	0,000	0,183
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,094	1,000	0,709	1,000	0,533	0,260	0,615	0,396
Doğalgaz	0,377	0,290	0,176	0,750	1,000	0,260	0,501	0,306
LNG	0,000	0,000	0,515	0,000	0,184	0,346	0,082	0,189

Tablo 5.4.4: EDAS Duyarlılık Analizi Alternatif Sıralamaları

Alternatifler	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Döner Izgaralı Hibrit	1	2	1	2	1	1	1	1
İleri İtimli Hareketli Izgara	2	3	2	5	4	2	3	2
Sabit Stokerli	6	6	6	4	3	6	5	7
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	4	3	6	6	7	6	7	6
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	5	1	2	1	5	4	2	3
Doğalgaz	3	3	5	2	1	4	4	4
LNG	6	6	4	7	6	3	6	5



Şekil 5.2: Bulanık EDAS Yöntemi Qi Değeri Duyarlılık Radar Grafiği

Bulanık EDAS yöntemi duyarlılık analizine bakıldığında sekiz durumun altısında en optimum kazan öner Izgaralı Hibrit olarak karşımıza çıkmaktadır. Bulanık CRITIC yöntemine göre ağırlıklandırılan kriterlerin metota göre ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda yakın değerler alıyor olsa bile EDAS yöntemi kritik ağırlıklandırma değerleri ile hassas olması sebebiyle ağırlık değişimlerinden

etkilenmiştir. Sekiz durumun altısında son sıraları alan Kabarcık Tip Akışkan Yatak en optimum olmayan kazan tipi olarak düşünülebilir.

5.5. Sıralamaların Uzlaştırılması

Uygulamada kullanılan seçim yöntemleri ile farklı sıralama sonuçlarının elde edilmiş olmasından kaynaklı sıralamaların uzlaştırılması için uzlaşma yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu noktada da Borda Sayım Metodu ile söz konusu uzlaşma sıralama bulunmuştur. Borda yönteminin sonu başlangıcı olan Copeland yöntemi ile kazanç verilerinden kayıp verileri çıkartılıp skor belirlenerek söz konusu çalışma için bir önem sırası belirlenmiştir. Yöntem sonuçlarını beraber görmemize imkan tanıyan tablo Tablo 5.5.2’de, Borda Sayım metodu adım ve sonuçları ise Tablo 5.5.1’de verilmiştir.

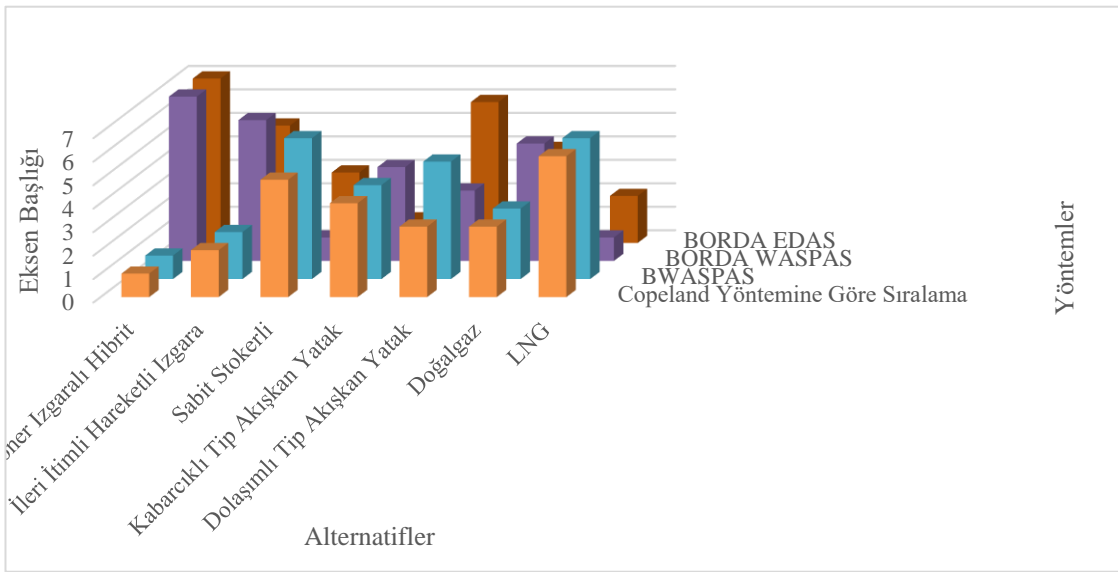
Tablo 5.5.1: Borda Sayım Yöntemine Göre Sıralama

Alternatifler	Bulanık WASPAS			Bulanık EDAS		
	Değerler	Sıra	Borda	Değerler	Sıra	Borda
Döner Izgaralı Hibrit	0,737	1	7	1,000	1	7
İleri İtimli Hareketli Izgara	0,655	2	6	0,622	3	5
Sabit Stokerli	0,364	6	1	0,198	5	3
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	0,488	4	4	0,000	7	1
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	0,431	5	3	0,650	2	6
Doğalgaz	0,576	3	5	0,534	4	4
LNG	0,364	6	1	0,111	6	2

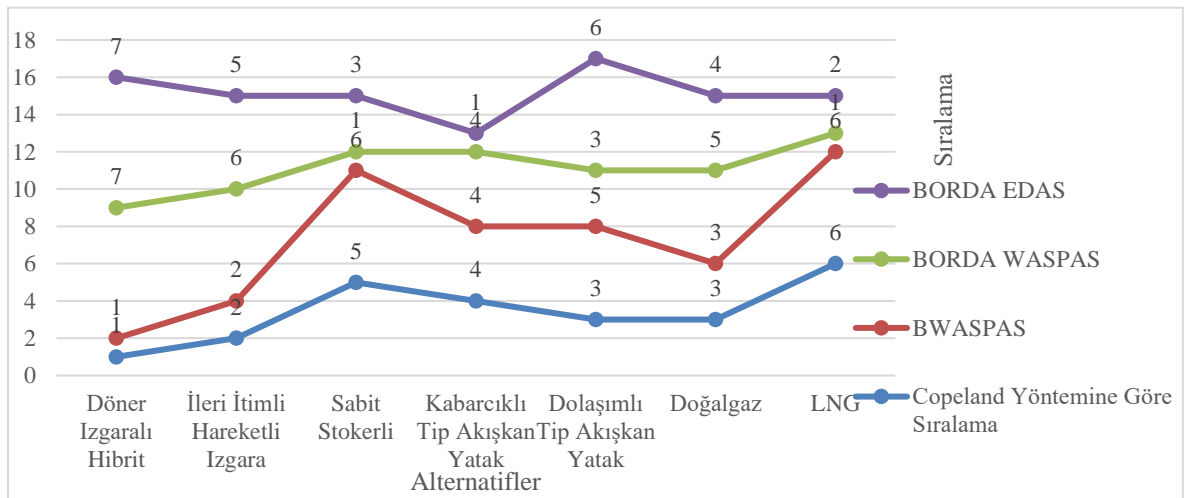
Tablo 5.5.2: Sıralamaların Uzlaştırılması

Alternatifler	Galibiyet	Borda Yöntemine Göre Sıralama	Kayıp	Skor	Copeland Yöntemine Göre Sıralama
Döner Izgaralı Hibrit	14	1	41	-27	1
İleri İtimli Hareketli Izgara	11	2	44	-33	2
Sabit Stokerli	4	5	51	-47	5
Kabarcıklı Tip Akışkan Yatak	5	4	50	-45	4
Dolaşımli Tip Akışkan Yatak	9	3	46	-37	3
Doğalgaz	9	3	46	-37	3
LNG	3	6	52	-49	6

Yapılan uygulama neticesinde, uzlaşma yöntemlerinin ikisinde de ilk sırada Döner Izgaralı Hibrit en uygun kazan olarak karşımıza çıkmaktadır. Karar verici grubun alternatiflere verdiği dilsel değerlendirmelere bakıldığında en önemli kriterin maliyet bazında düşük değerlendirme alıyor oluşu ve diğer kriterlerde de benzer şekilde uygun dilsel değerlendirmeler alması bu alternatifi en uygun alternatif yapmıştır. İleri İtimli Izgara en iyi ikinci kazan alternatifi olmaktadır. Uzlaşma metotları alternatifler için aynı sıralamayı vermektedir. Uzlaşma yöntemlerinin sıralamaları, Bulanık WASPAS yöntemi sıralamasıyla da benzerdir. Bu sonuçlar neticesinde, uygulanan metotlardan WASPAS, bu problem için uzlaşma yöntemleri ile beraber en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5.3: Yöntemler Sıralama Sütun Grafiği



Şekil 5.4: Yöntemler Sıralama Çizgi Grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir ve kaliteli üretim için, piyasa rekabet artışı da düşünüldüğünde işletme ve ekipmanların verimli çalışması bu hususta verimli ekipman, işgücü ve tesis seçimi konuları önem arz etmektedir. İşletmelerde, artan ve farklı isteklere hitap eden talepler, teknolojideki gelişmeler ve verimli gerçekleştirilecek üretimler sonucunda tercih edilme sebebi olabilir. Tekstil boyahane işletmeleri enerji tesisleri hammadde yükünün çoğunluğunu üstlenen kazanların seçimi de önemli hale gelmektedir. Verimli, kapasiteyi ve minimum enerji maliyetini karşılayacak kazan seçimi yapmak gereklidir.

Yapılan çalışmada ilk etapta ekipman seçim problemi için literatür taranmıştır. Buna ek enerji tesislerinde önemli olan ekipmanlar, ekipmanlar içerisinde baş ekipman denebilecek kazanlar ve mevcut durumda farklı kazan tipleri araştırılmış, işletmenin kullandığı kazan tipi de düşünülerek bakım ekibinden oluşan uzman kadrosu kriterleri ve tekliflerini aldıklarını kazanları alternatif olarak ortaya koymuştur. Alanında uzman ekibin kriterlere göre alternatifler hakkındaki ortak görüşü karar verici olarak belirlenmiştir. Kurulması planlanan enerji tesisi için yatırım yapılacak olan kazan problemi ÇKKV yöntemleri ile çözülebilir olduğu olduğu ve sayısal ifadelerden çok sözel değerlendirmeler neticesinde karar verileceği için bulanık yöntemler uygulanarak sözel ifadeler sayısallaştırılmak hedeflenmiştir. Buradan yola çıkarak çalışmada, pisagor bulanık sayılar sayılara entegre edilmiş Bulanık CRITIC, Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS yöntemleri Office Excel uygulaması üzerinde gerekli formülasyonlar uygulanarak kullanılmış ve kazan seçimi bulanık kümeler için farklı ve beraber kullanılmamış yöntemlerle bütünleşik şekilde uygulanarak literatür için kazanım sağlanmıştır. Kriter ağırlıklarının bulunması için Bulanık CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesi için bakım ekibinden oluşan uzman kadrosu belirledikleri kriterler için alternatifler bazındaki düşüncelerini sözel değişkenlerle ifade ederek pisagor bulanık sayılar için karşılık gelen değerleri belirlemişlerdir. Alternatif değerlendirilmesi ve sıralamasında uygulanan Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS yöntemlerinde söz konusu sözel değişkenlere karşılık gelen pisagor bulanık sayılar kullanılmıştır. Optimum kazan alternatifinin sıralanması ve seçimi için öncelikle Bulanık WASPAS metodu uygulanmış, daha sonra Bulanık EDAS metoduyla alternatif sıralaması yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Söz konusu çalışmada pisagor bulanık sayılar ile entegre edilmiş ve kriter ağırlıklandırma yöntemlerinde uygun sonuçlar veren ve yaygın kullanılsa da mevcut çalışmadaki yöntemlerle entegre çalışması mevcutta çok bulunmayan Bulanık CRITIC yöntemi uygulaması yapılmış, alternatif değerlendirilmesi için Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS yöntemleri entegre şekilde uygulanmış ve sonrasında birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca çeşitli durumlar sonucunda oluşabilecek farklı sıralamaları görebilmek için duyarlılık analizinden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada, tekstil terbiye sektöründe uzun yıllardır çalışmasını sürdüren bir firmanın kurmayı planladığı enerji tesisine yapılacak yatırım olan kazan seçimi için, yedi kazan alternatifi içinden optimum olan kazan ekipman seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Bulanık CRITIC yöntemi sonucunda bulunan kriter ağırlıkları kapsamında en önemli kriter “Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı” kriteridir. Hesaplanan kriter ağırlıkları, Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS yöntemlerinin uygulamasında kullanılmıştır. Daha sonra da alternatif sıralaması yapıldıktan sonra yöntemlerden bulunan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda, yöntemlerin ikisinde de Döner Izgaralı Hibrit alternatifinin ilgili kriterler bazında en ideal kazan olacağı görülmektedir. Döner Izgaralı Hibrit kazan alternatifinden hemen sonra gelen alternatif ise WASPAS yöntemine göre İleri İtimli Izgara olurken EDAS yöntemine göre Dolaşımli Tip Akışkan Yatak olmaktadır. Diğer alternatiflerin sonuç sıralamaları yöntemler arasında benzerlik görülmemektedir. Bulanık WASPAS metodunda iki ayrı yöntemin entegrasyonu gibi işlem yapılırken Bulanık EDAS yöntemi alternatiflerin aldığı değerlere göre birbirilerine olan uzaklıkları baz alır. Yöntem adımlarının farklı oluşu, kriter ağırlıkları birbirine yakın olduğunda alternatifler için farklı sıralamaların olmasına etkindir. Sonuçta, kullanılan iki yöntem göre de ideal ekipmanın aynı çıkması, bu iki metodun ilgili alternatif ve kriterler üzerinde hesaplanabilirliği için pozitif çalışmanın varlığına işaret eder. Sekiz farklı duruma göre hesaplanan kriter ağırlıkları değiştirildiğinde kazan seçiminde ne gibi bir değişikliğe yol açığının görülebilmesi için de çalışmanın en son kısmında duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi hesaplamalarının sonucunda ise yine en uygun kazanın İleri İtimli Izgara olduğu belirlenmiştir. Her iki alternatif seçim yöntemi ve uygulanan duyarlılık analizi sonuçları analiz edildiğinde ideal kazanın eş olması, uzman karar verici bakım

ekibinin kriter ağırlıklarını ideal değerlendirme yaptığı ve kazan seçimi için ideal yaklaşım ile birlikte pozitif sonuca varılacağı yorumu yapılabilmektedir.

Literatür incelendiğinde, enerji tesisi kazan seçimi konusuna literatürde çok yer verilmemesi ve uygulamada kullanılan Bulanık CRITIC, Bulanık WASPAS ve Bulanık EDAS yöntemlerinin beraber kullanıldığı, entegre sonuçlar elde edildiği ve kıyaslandığı çalışmaların literatürde yer almıyor oluşundan kaynaklı faydası olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın yanında işletmelerde kurulabilecek enerji tesislerinde yapılacak yatırımlarda kazan seçimleri için çalışmada kullanılan yöntemler kullanılabilmesi gibi yöntem çeşitliliğinin fazlaştırılması ile uygulanacak farklı çalışmalar konuyla ilgilenen kişilere yol gösterici olabilir.

Yapılacak olan uygulamalarda, özellikle tekstil terbiye işletmeleri kazan seçimi için bu çalışmada kullanılmayan seçim yöntemleri kullanılabilir ya da bu yöntemden farklı olarak kullanılacak yöntemler çalışmada kullanılan yöntemler ile bütünleşik olarak uygulanarak mevcut çalışma iyileştirilebilir. Ek olarak, her işletmenin üretim kapasitesi, üretim alanı ve koşullarının farklılığı kaynaklı, gerek tekstil sektörü gerekse tekstil dışı sektör ve farklı üretim yerleri için çalışmadakinden farklı kriter ve alternatifler belirlenerek uygulama yapılmasıyla çalışma zenginleştirilebilir. Çalışmada bütünleşik olarak uygulanan metotlar ekipman seçimi uygulamasına ek olarak işletmeler için farklı tedarikçi veya işgücü seçim uygulamalarında da kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

Agarwal R., Nishad A., “A Fuzzy Mathematical Modeling for Evaluation and Selection of a Best Sustainable and Resilient Supplier by Using EDAS Technique”, *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 8, 71-80,(2024).

Agarwal S., Kant R., Shankar R., “Evaluating solutions to overcome humanitarian supply chain management barriers: A hybrid fuzzy SWARA – Fuzzy WASPAS approach”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, (2020).

Aghajari A., Namin F., “U-HRMES: Decision theory-based model for appropriate mining equipment selection in underground hard rock stopes”, *Expert Systems with Applications*, 246, (2024).

Akın, N.G., " Makine Seçimi Probleminde Entropi- ROV ve CRITIC- ROV Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 62,20-39, (2019).

Akram M., Zahid S., Deveci M., “Enhanced CRITIC-REGIME metot for decision making based on Pythagorean fuzzy rough number”, *Expert Systems With Applications*,238, (2024).

Alpay S., Iphar M., “Equipment selection based on two different fuzzy multi criteria decision making metots: Fuzzy TOPSIS and fuzzy VIKOR”, *Open Geosciences*, 10(1),(2018).

Andukuri R., Ch M., “Utilizing Fuzzy CODAS for Optimal Selection of Condition Monitoring Equipment in Industrial Rotating Machinery”, *Research Square*, (2024).

Anjum M., Simic V., Alrasheedi M., Shahab A., “T-Spherical Fuzzy-CRITIC-WASPAS Model for the Evaluation of Cooperative Intelligent Transportation System Scenarios”, *IEEE Access*, 12, 61137-61151, (2024).

Aydoğan H., Ozkir V., “A Fermatean fuzzy MCDM metot for selection and ranking Problems: Case studies”, *Expert Systems with Applications*, 237(C), (2024).

Ayvaz B., Tatar V., Sağır Z., Pamucar D., “An integrated Fine-Kinney risk assessment model utilizing Fermatean fuzzyAHP-WASPAS for occupational hazards in the aquaculture sector”, *Process Safety and Environmental Protection*, 186, 232-251,(2024).

Balali A., Kaltungo A., “Investigating the Potential of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS) Metot in Crisp and Fuzzy Environments for Solving

Building Energy Consumption Optimisation Multiple Attribute Decision-Making (MADM) Problems”, *Key Themes in Energy Management*, 273-296, (2024).

Barakati A., Mishra A., Mardani A., Rani P., “An extended interval-valued Pythagorean fuzzy WASPAS metot based on new similarity measures to evaluate the renewable energy sources”, *Applied Soft Computing*, 120, (2022). Bayhan, H., G., “Selection of Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) Supplier for Green Buildings with Fuzzy-Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS) Metot”, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2018).

Batwara A., Sharma V., Makkar M., “Prioritization of the approaches for overcoming smart sustainable manufacturing barriers using stochastic fuzzy EDAS metot” , *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, (2024).

Bayrakdaroğlu, F. K. ve Kundakçı, N., “Bulanık EDAS Yöntemi ile AR-GE Projesi Seçimi”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (24), 151-170, (2019).

Bilişik Ö., Duman N., Taş E., “A novel interval-valued intuitionistic fuzzy CRITIC-TOPSIS metotology: An application for transportation mode selection problem for a glass production company”, *Expert Systems With Applications*, 235,121-134,(2024).

Cong F., Li M., “Fuzzy Evaluation Model of Yantai Water-based System Based on Index Weight Reliability Analysis”, *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, (2010).

Demircan, M. L. ve Tunc, S., “A proposed service level improvement metotology for public transportation using Interval Type-2 Fuzzy EDAS based on customer satisfaction data”, *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, (1351-1359), (2019).

Demircioğlu M., Coskun İ., “Critic-Moosra Yöntemi Ve Ups Seçimi Üzerine Bir Uygulama”, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 183-195,(2018).

Demirtas, O., Derindag, O. F., Zarali, F., Ocal, O. ve Aslan, A. “Which renewable energy consumption is more efficient by fuzzy EDAS metot based on PESTLE dimensions”, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 36274-36287, (2021).

Deveci, M., Gokasar, I., Castillo, O. ve Daim, T., “Evaluation of Metaverse integration of freight fluidity measurement alternatives using fuzzy Dombi EDAS model”, *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108773, (2022).

Dumrul C., Bilgili F., Zarali F.,Dumrul Y.,Kiliçarslan Z., “The evaluation of renewable energy alternatives in Turkey using intuitionistic-fuzzy EDAS

metotology”, *Environmental Science and Pollution Research* , 31, 15503-15524,(2024).

Ecer, F., Büyükaslan, A. ve Hashemkhani Zolfani, S., “Evaluation of cryptocurrencies for investment decisions in the era of Industry 4.0: A borda count-based intuitionistic fuzzy set extensions EDAS-MAIRCA-MARCOS multi-criteria metotology”, *Axioms*, 11(8), 404, (2022).

Garg C., Görçün Ö., Kundu P., Küçükönder H., “An integrated fuzzy MCDM approach based on Bonferroni functions for selection and evaluation of industrial robots for the automobile manufacturing industry”, *Expert Systems with Applications*, 213(A), (2023).

Ghorabae M., Amiri M., Zavadskas E., Antucheviciene J., “Assessment Of Third-Party Logistics Providers Using A Critic–Waspas Approach With Interval Type-2 Fuzzy Sets”, *Transport*, 32(1),66-78,(2017).

Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M. ve Turskis, Z., “Extended EDAS metot for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection”, *International journal of computers communications & control*, 11(3), 358-371, (2016).

Goswami S., Behera D., “Solving Material Handling Equipment Selection Problems in an Industry with the Help of Entropy Integrated COPRAS and ARAS MCDM techniques”, *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5,947-973,(2021).

Gul M., Celik E., Gumus A., Guneri A., “A fuzzy logic based PROMETHEE metot for material selection problems”, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*,7(1), 69-79, (2018).

Gündoğdu, F.K., "Generalization of Intuitionistic, Pythagorean and Neutrosophic fuzzy sets: Spherical sets an decision making", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, (2019).

Güneri, B. ve Deveci, M., “Evaluation of supplier selection in the defense industry using q-rung orthopair fuzzy set based EDAS approach”, *Expert Systems with Applications*, 222, 119846, (2023).

Hagag A., Yousef L., Abdelgamuid T., “Multi-Criteria Decision-Making for Machine Selection in Manufacturing and Construction: Recent Trends”, *Mathematics*,11(3),631,(2023).

Halder, S., Bhattacharya, S., Roy, M. B. ve Roy, P. K., “Application of fuzzy C-means clustering and fuzzy EDAS to assess groundwater irrigation suitability and

prioritization for agricultural development in a complex hydrogeological basin”, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20), 57529-57557, (2023).

Hamidreza Q., Narges B., Mahdi K., “Selecting a sustainable array of machinery by integrating analytic hierarchy process with gray relational analysis”, *Operations Research and Decisions*, 34(2), 109-119, (2024).

Hasheminasab, H., Hashemkhani Zolfani, S., Bitarafan, M., Chatterjee, P. ve Abhaji Ezabadi, A., “The role of façade materials in blast-resistant buildings: an evaluation based on fuzzy Delphi and fuzzy EDAS”, *Algorithms*, 12(6), 119, (2019).

Ilieva, G., “Group Decision Analysis Algorithms with EDAS for Interval Fuzzy Sets”, *Cybernetics and Information Technologies*, 18, 51-64, (2018).

Jahan, A., Edwards, K.L., Bahraminasab, M., "Multi Criteria Decision Analysis For Supporting The Selection of Engineering Materials in Product Design", Butterworth Heinemann-USA, (2016).

Jana, C. ve Pal, M., “Extended bipolar fuzzy EDAS approach for multi-criteria group decision-making process”, *Computational and Applied Mathematics*, 40, 1-15, (2021).

Joseph J., Kadadevaramath R., Edinbarough I., Kadadevaramath A., “A Literature Survey on Application of MCDM Mathematical Optimization Models for the Sustainable Supplier Selection in Manufacturing Industries”, *Journal of Electrical Systems*, 20(7), 3939-3950, (2024).

Jusufović A., “MCDM Methods for Selection of Handling Equipment in Logistics: A Brief Review”, *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 1(1), (2023).

Kabadayı N., Dağ S., “Machine Selection In A Cable Manufacturing With Using Fuzzy Dematel And Fuzzy Promethee”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(14), 239-260, (2017).

Kabak, M., Erdebili, B., "Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri”, Ankara: Nobel, (2021).

Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., ve Oztaysi, B., “Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection”, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 1-12, (2017).

Kahraman, C., Süder A., Kaya İ., "Fuzzy multi-criteria evaluation of health research investments”, *Technological and Economic Development of Economy*, 20(2), 210-226, (2014).

Kang D., Jaisankar R., Murugesan V., Suvitha K., Narayanamoorthy S., Omar A, Arshad N., Ahmadian A., "A novel MCDM approach to selecting a biodegradable dynamic plastic product: a probabilistic hesitant fuzzy set-based COPRAS metot", *Journal of Environmental Management*,340,(2023).

Kaya, İ., Çolak, M., Terzi F., "A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making", *Energy Strategy Rewiews*, 24, 207-228, (2019).

Kaya, İ., Kılınç, M.S., Çevikcan, E., "Makine-teçhizat seçim probleminde bulanık karar verme süreci", *Mühendis ve Makine*, 576(49), 8-14, (2007).

Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. ,Multi-criteria inventory classification using a new metot of evaluation based on distance from average solution (EDAS), *Informatica*, 26(3), 435-451.(2015).

Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., ve Antucheviciene, J., "A dynamic fuzzy approach based on the EDAS metot for multi-criteria subcontractor evaluation", *Information*, 9(3), 68, (2018).

Kurtay K., Dağistanlı H., Erol S., "Plastik Boru ve Kaynak Makinesi Seçim Problemi için Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Gri İlişkisel Analiz Yöntemlerinin Entegrasyonu", *Savunma Bilimleri Dergisi*, 20/2, 2148-1776, (2021).

Lashgari S., Antucheviciene J., Delavari A., Kheirkhah O., "Using QSPM and WASPAS metots for determining outsourcing strategies", *Journal of Business Economics and Management*, 15(4), 79-82, (2014).

Lata S., Sachdeva A., Paswan M., "Selection of machine tool by using FUZZY TOPSIS metot", *Materials, Mechanics & Modeling* ,2341(1), (2021).

Le, M. T. ve Nhieu, N. L., "A novel multi-criteria assessment approach for post-COVID-19 production strategies in Vietnam manufacturing industry: OPA–fuzzy EDAS model", *Sustainability*, 14(8), 4732, (2022).

Li H., Wang W., Fan L., Li Q., Chen X., "A novel hybrid MCDM model for machine tool selection using fuzzy DEMATEL, entropy weighting and later defuzzification VIKOR", *Applied Soft Computing*, 91,106-207,(2020).

Ma Y., Zhao Y., "Underwater Terrain Navigability Analysis Based on Multi-beam Data", 2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization,(2012).

Mao, L. X., Liu, R., Mou, X. ve Liu, H. C., "New approach for quality function deployment using linguistic Z-numbers and EDAS metot", *Informatica*, 32(3), 565-582, (2021).

Mardani A., Nilashi M., Zakuan N., Loganathan N., Soheilrad S., Saman M., Ibrahim O., “A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS metots: Theory and applications with recent fuzzy developments” , *Applied Soft Computing*, 57, 265-292,(2017).

Medic N., Marjanovic U., Zivlak N., Anisic Z., Lalic B., “Hybrid Fuzzy MCDM Metot for Selection of Organizational Innovations in Manufacturing Companies”, *International Symposium on Innovation and Entrepreneurship (TEMS-ISIE)*, (2018).

Menekşe, A., Akdağ, H.C., "Medical waste disposal planning for healthcare units using spherical fuzzy CRITIC-WASPAS", *Applied Soft Computing*, 144, (2023).

Mishra A., Rani P., Pardasani K., Mardani A., “A novel hesitant fuzzy WASPAS metot for assessment of green supplier problem based on exponential information measures”, *Journal of Cleaner Production*, 238, (2019).

Nafei A., Huang C., Javadpour A., Garg H., Azizi S., Chen S., “Neutrosophic Fuzzy Decision-Making Using TOPSIS and Autocratic Metotology for Machine Selection in an Industrial Factory”, *International Journal of Fuzzy Systems*, 26, 860-886, (2024).

Oi Q., “GRA and CRITIC Metot for Intuitionistic Fuzzy Multiattribute Group Decision Making and Application to Development Potentiality Evaluation of Cultural and Creative Garden”, *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*, 9, (2021).

Özceylan E., Kabak M., Dağdeviren M., “A fuzzy-based decision making procedure for machine selection problem”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(3), 1841-1856, (2016).

Pamucar D., Zizovic M., Duricic D., “Modification Of The Critic Metot Using Fuzzy Rough Numbers”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(2), 362-371, (2022).

Petrovic G., Mihajlovic J., Cojbasic Z., Madic M., Marinkovic D., “Comparison Of Three Fuzzy Mcdm Metots For Solving The Supplier Selection Problem”, *Facta Universitatis Mechanical Engineering*, 17(3), 455-469,(2019).

Pradhan P., Shabbiruddin, Pradhan S., “Selection of electric vehicle using integrated Fuzzy-MCDM approach with analysis on challenges faced in hilly terrain”, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 44(2), 2651-2673, (2021).

Radavanovic M., Petrovski A., Cirkin E., Behlic A., Jokic Z., Chemezov D., Hashimov E., Bouraima M., Jana C., “Application of the new hybrid model LMAW-G-EDAS multi-criteria decision-making when choosing an assault rifle for the needs of the army”, *Journal of Decision Analytics and Intelligent Computing*, 4(1),16-31, (2024).

Radavonavic M., Petrovski A., Cirkin E., Behlic A., Jokic Z., Chemezov D., Hashimov E., Bouraima M., Jana C., “Application of the new hybrid model LMAW-G-EDAS multi-criteria decision-making when choosing an assault rifle for the needs of the army”, *Journal of Decision Analytics and Intelligent Computing*, 4(1),16-31, (2024).

Rao C., Sujatha M., “A Consensus-Based Fermatean Fuzzy Waspas Metotology For Selection Of Healthcare Waste Treatment Technology Selection”, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6(2)600-619,(2023).

Rostamzadeh Z., Ghorabae M., Govindan K., Esmaili A., Nobar H., “Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS- CRITIC approach”, *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669, (2018).

Rudnik K., Bocawicz G., Landwojtowicz A., Czabak I., “Ordered fuzzy WASPAS metot for selection of improvement projects”, *Expert Systems With Applications*, 169, (2021).

Samastı M.,Turkan Y., Güler M., Ciner M., Namlı E., “Site Selection of Medical Waste Disposal Facilities Using the Interval-Valued Neutrosophic Fuzzy EDAS Metot: The Case Study of Istanbul”, *Sustainability*, 16(7) 2881, (2024).

Schitea, D., Deveci, M., Iordache, M., Bilgili, K., Akyurt İ.Z. ve Iordache I., “Hydrogen Mobility Roll-up Site Selection Using Intuitionistic Fuzzy Sets Based WASPAS, COPRAS and EDAS”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (16), 8585-8600, (2019).

Shibata T., Fukuda T., “Intelligent Motion Planning by Genetic Algorithm with Fuzzy Critic”, *Proceedings of the 1993 International Symposium on Intelligent Control*,(1993).

Sıcaküz Ç., “Analyzing Healthcare andWellness Products’ Quality Embedded in Online Customer Reviews: Assessment with a Hybrid Fuzzy LMAW and Fermatean Fuzzy WASPAS Metot” , *Sustainability*, 15, (2023).

Simic J., Stevic Z., Zavadskas E., Bogdanovic V., Subotic M., Mardani A., “A Novel CRITIC-Fuzzy FUCOM-DEA-Fuzzy MARCOS Model for Safety Evaluation of Road Sections Based on Geometric Parameters of Road”, *Symmetry*, 12, (2020).

Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Ghorabae, M. K. ve Turskis, Z., “An extension of the EDAS metot based on the use of interval grey numbers”, *Studies in Informatics and Control*, 26(1), 5-12, (2017).

Stević, Ž., Vasiljević, M., Puška, A., Tanackov, I., Junevičius, R. ve Vesković, S., “Evaluation of suppliers under uncertainty: a multiphase approach based on fuzzy AHP and fuzzy EDAS”, *Transport*, 34(1), 52-66, (2019).

Stević, Ž., Vasiljević, M., Zavadskas, E. K., Sremac, S. ve Turskis, Z., “Selection of carpenter manufacturer using fuzzy EDAS metot”, *Engineering Economics*, 29(3), 281-290, (2018).

Supçiller A., Deligöz K., “Tedarikçi Seçimi Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uzlaşık Çözümü” , *UIİİD-IJEAS*, 18, 355-368, (2018).

Supçiller, A.A., Öktem, T., "Bir kablo firması için bulanık CRITIC ve bulanık MAIRCA ile ekstrüder hattı seçimi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,29(8),836-845 (2023).

Şahin M., “Ensemble multi-attribute decision-making for material selection problems”, *Soft Computing*, 28, 5437-5460, (2024).

Tesic D., Bozanic D., Puska A., Milic A., Marinkovic D., “Development of the MCDM fuzzy LMAW-grey MARCOS model for selection of a dump truck”, *Reports in Mechanical Engineering*, 4(1), 1-17,(2023).

Tırmıkçioğlu, N., "Sezgisel Bulanık WASPAS Yöntemi ve Depo Yeri Seçimi Problemi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 1330-1342, (2021).

Ünal Z., “Plant Protection Machine Selection with Analytical Hierarchy Process: Maize Plant Example”, *Turkish Journal Of Agriculture Food Science and Technology*, 12(3), 453-461, (2024).

Vencheh A., Mohamadghasemi A., “A new hybrid fuzzy multi-criteria decision making model for solving the material handling equipment selection problem”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(5), 534-550, (2015).

Vesković, S., Stević, Ž., Karabašević, D., Rajilić, S., Milinković, S. ve Stojić, G., “A new integrated fuzzy approach to selecting the best solution for business balance of passenger rail operator: Fuzzy PIPRECIA-fuzzy EDAS model”, *Symmetry*, 12(5), 743, (2020).

Yan R., Han Y., Li F., Li P., “Evaluation of Sustainable Potential Bearing Capacity of Tourism Environment Under Uncertainty: A Multiphase Intuitionistic Fuzzy EDAS Technique Based on Hamming Distance and Logarithmic Distance Measures”, *IEEE Access*,10.1109 .(2024).

Yildiz A., Ozkan C., “A novel modified Delphi-based spherical fuzzy AHP integrated spherical fuzzy CODAS metotology for vending machine location selection problem: a real-life case study in İstanbul”, *Neural Computing and Applications*, 36, 823-842, (2024).

Yürüyen, A. A. ve Ulutaş, A., “Bulanık AHP ve bulanık EDAS yöntemleri ile üçüncü parti lojistik firması seçimi”, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 283-294, (2020).

Zavadskas E., Antucheviciene J., Hajiagha S., Hashemi S., “Extension of weighted aggregated sum product assessment with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers (WASPAS-IVIF)”, *Applied Soft Computing*, 24,1013-1021,(2014).

Zhang, S., Guiwu, W., Gao, H., Wei, C. ve Wei, Y., “Edas Metot For Multiple Criteria Group Decision Making With Picture Fuzzy Information And Its Application To Green Suppliers Selections”, *Technological And Economic Development Of Economy*, 25(6), 1123-1138, (2019).

Zulqarnain R., Naveed H., Askar S., Deveci M., Siddique I., Castilla O., “Assessment of bio-medical waste disposal techniques using interval-valued q-rung orthopair fuzzy soft set based EDAS metot”, *Artificial Intelligence Review*, 57:210, (2024).