

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENTEĞRE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME YÖNTEMLERİ YAZILIMI VE LNG
TEDARİKÇİ ÜLKE SEÇİMİ UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadriye CANPOLAT

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR

Eylül 2020

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Kadriye CANPOLAT

03.09.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez çalışması kapsamında verilerinden yararlandığım Sn. Halil KARAYEL'e teşekkür ederim.

Hayatımın her anında beni sonuna kadar destekleyen çok kıymetli annem, babam ve abime, çalışmamı gerçekleştirdiğim dönemde dünyaya gelen kızım Elif Sare'ye ve değerli eşim Onur CANPOLAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Enerji ile İlgili Karar Verme Çalışmaları	3
2.2. Klasik AHP	4
2.3. Bulanık AHP	5
2.4. Klasik TOPSIS	7
2.5. Bulanık TOPSIS	8
BÖLÜM 3.	
LNG	11
BÖLÜM 4.	
PROBLEMİN TANIMI	15

BÖLÜM 5.

KULLANILAN YÖNTEMLER	18
5.1. Bulanık AHP	19
5.2. Bulanık TOPSIS	20

BÖLÜM 6.

UYGULAMA	23
6.1. Hazırlanan Yazılım	23
6.2. Ağırlıkların Hesaplanması Süreci	28
6.3. En Uygun Alternatifin Belirlenmesi Süreci	34
6.4. Uygulama Sonuçları	38
6.5. Duyarlılık Analizi	40

BÖLÜM 7.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	47
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

LNG	: Sıvılaştırılmış doğal gaz
AHP	: Analitik hiyerarşi prosesi
TOPSIS	: İdeal çözüme benzerliklerine göre sıralama tekniği
EPDK	: Enerji piyasası düzenleme kurumu
BOTAŞ	: Boru hatları ile petrol taşıma anonim şirketi
VIKOR	: Çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm
PROMETHEE	: Tercih sıralaması organizasyonu değerlendirme zenginleştirme yöntemi
ELECTRE	: Eleme ve seçim ifade gerçeklik
ÇKKV	: Çok kriterli karar verme
ÇD	: Çok düşük
D	: Düşük
Y	: Yüksek
ÇY	: Çok yüksek
FPIS	: Bulanık pozitif ideal çözüm
FNIS	: Bulanık negatif ideal çözüm

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bulanık TOPSIS literatürünün sınıflandırılması.....	9
Şekil 3.1. 2018 yılına ait doğalgaz ithalatı.....	12
Şekil 3.2. 2013-2018 yılları arası ithalatta LNG payı grafiği	13
Şekil 3.3. Türlerine göre 2018 yılı gaz alım payları	14
Şekil 4.1. Probleme ait hiyerarşik yapı	16
Şekil 6.1. Yazılım açılış ekranı	23
Şekil 6.2. Ağırlıklar hesaplanacak ekranı	24
Şekil 6.3. Dosya yükleme ekranı.....	25
Şekil 6.4. Yazılım üzerinden ağırlıkların hesaplanması	25
Şekil 6.5. Kriter ağırlıkları ekranı	26
Şekil 6.6. Başlangıç matrisi yükleme ekranı	26
Şekil 6.7. Uygun alternatifin seçilmesi	27
Şekil 6.8. Detaylı veriler ekranı	27
Şekil 6.9. Yazılım akış şeması	28
Şekil 6.10. Kriterlere ait ağırlık hesabı akış şeması	29
Şekil 6.11. Ana kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği.....	31
Şekil 6.12. İkinci kritere ait alt kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği.....	31
Şekil 6.13. Üçüncü kritere ait alt kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği.....	31
Şekil 6.14. Dördüncü kritere ait alt kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği	31
Şekil 6.15. Bulanık AHP ile ağırlık hesabı akış şeması.....	32
Şekil 6.16. Bulanık TOPSIS ile alternatif seçimi akış şeması	35
Şekil 6.17. Bulanık başlangıç matrisi örneği	35
Şekil 6.18. Başlangıç matris normalizasyonu akış şeması.....	37
Şekil 7.1. Senaryolara göre alternatif ülkelerin yakınlık katsayı değerleri	47
Şekil 7.2. Senaryolara göre kriterlerin ağırlık değerleri.....	49

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. AHP ile ilgili yapılmış çalışmalar.....	5
Tablo 2.2. Bulanık AHP ile ilgili son yıllardaki çalışmalar.....	6
Tablo 2.3. TOPSIS konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar.....	8
Tablo 2.4. Bulanık TOPSIS konusunda son yıllardaki çalışmalar ve alanları.....	10
Tablo 3.1. 2008-2018 yılları arası doğalgaz ithalatı	12
Tablo 3.2. 2013-2018 yılları arası ithalatta LNG payı.....	13
Tablo 3.3. 2018 yılı aylık ithalat verileri	14
Tablo 5.1. Dilsel ifadeler için dönüşüm tablosu	22
Tablo 6.1. Ana ve alt kriter ağırlıkları.....	39
Tablo 6.2. Alternatiflere ait bilgiler	39
Tablo 6.3. Senaryo 2 için ana ve alt kriter ağırlıkları.....	41
Tablo 6.4. Senaryo 2 için alternatiflere ait bilgiler	41
Tablo 6.5. Senaryo 3 için ana ve alt kriter ağırlıkları.....	42
Tablo 6.6. Senaryo 3 için alternatiflere ait bilgiler	43
Tablo 6.7. Senaryo 4 için ana ve alt kriter ağırlıkları.....	43
Tablo 6.8. Senaryo 4 için alternatiflere ait bilgiler	44
Tablo 6.9. Senaryo 5 için ana ve alt kriter ağırlıkları.....	45
Tablo 6.10. Senaryo 5 için alternatiflere ait bilgiler	45

ÖZET

Anahtar kelimeler: LNG, karar verme, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS

Türkiye, yurtdışından ciddi miktarda gaz ithal etmektedir. Gaz ithalatında en önemli kalemlerden biri de Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)'dir. Pek çok farklı ülkeden büyük miktarlarda ithal edilen LNG, sıvı formda ve kokusu ya da rengi olmayan bir maddedir. Özellikle doğalgaz alım satımının devletlerarası ticaretteki yeri düşünüldüğünde, LNG'nin alternatif bir kaynak olarak önemi anlaşılabilir. Bundan dolayı, LNG'nin nereden ithal edileceği, ülkeler arasında değişiklik gösteren ekonomik ve sosyal ilişkiler çerçevesinde değerlendirilmeli ve en uygun ülke belirlenmelidir. Bu çalışmada, bu önemli kaynağın ithalatının, mevcut şartlar altında değerlendirilerek en uygun ülkenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada kullanılan kriterler ve alternatifler Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Enerji Bakanlığı ve BOTAŞ gibi pek çok farklı kurumun raporlarının derlenmesi sonucunda belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında Bulanık AHP, en uygun ülkenin belirlenmesinde ise Bulanık TOPSIS kullanılmıştır. Çalışmada, olası durumlar düşünülerek hazırlanan 5 farklı senaryo ile detaylı bir inceleme yapılmıştır. Hazırlanan entegre karar verme çalışmasının uygulamasında yazar tarafından geliştirilen yazılım kullanılmıştır.

INTEGRATED FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS SOFTWARE AND AN APPLICATION OF LNG SUPPLIER SELECTION

SUMMARY

Keywords: LNG, decision making, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS

Turkey is importing significant amounts of gas from abroad. One of the most important items in gas import is Liquefied Natural Gas (LNG). LNG imported in large quantities from many different countries is a substance in liquid form and without smell or color. The importance of LNG as an alternative source can be understood especially considering the place of natural gas purchase and sale in interstate trade. Therefore, where to import LNG should be evaluated within the framework of economic and social relations that vary between countries and the most suitable country should be determined. In this study, it is aimed to determine the most suitable country by evaluating the import of this important resource under the current conditions. The criteria and alternatives used in the study were determined as a result of compiling the reports of many different institutions such as Energy Market Regulatory Authority (EMRA), Ministry of Energy and BOTAŞ. Fuzzy AHP was used for weighting criteria and fuzzy TOPSIS was used to determine the most suitable country. In the study, a detailed examination was made with 5 different scenarios prepared by considering possible situations. The software developed by the author was used in the implementation of the prepared integrated decision-making study.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyanın genelinde giderek derinleşen bir problem olarak ele alınan enerji arzı ve talebinin dengesi, zaman zaman devletleri bile karşı karşıya getirmesi nedeniyle oldukça önem arz etmektedir. Enerjide büyük oranda dışa bağımlı bir ülke olan Türkiye için doğalgaz en önemli ithalat kalemlerinden biridir. Son yıllarda doğalgazın ülkemizin birçok yerinde yaygınlaşmasının ardından doğalgaz ithalat oranları artış göstermektedir. Ancak, bu hususta kritik noktalardan biri de ithalatın güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Çünkü zaman zaman ülkeler arası ilişkilerde yaşanan olumsuzluklar ilk olarak ticari anlaşmaları etkilemektedir. Ülkemizin bu konuda yaşadığı tecrübeler de ele alındığında konunun ciddiyeti daha iyi anlaşılabilir. Dolayısıyla, ülkemizde yaşayan insanların olası olumsuzluklardan etkilenmemeleri adına doğalgaz ithalatının kesintisiz bir şekilde ve mümkün mertebe en uygun tedarikçi ülkelerden alınması ve bu konuda doğru bir strateji geliştirilebilmesi zaruridir. LNG, bu anlamda alternatif bir doğalgaz çeşidi olma özelliğiyle son yıllarda daha cazip hale gelmiş ve ülkemizin doğalgaz boru hatlarına olan bağımlılığını azaltmaya başlamıştır.

LNG'nin en önemli farkı, boru hatları ile gerçekleştirilen klasik doğalgaz iletiminin yerine, tankerler ya da gemilerle taşınan doğalgaza olanak vermesidir. Dolayısıyla, boru hatları ile doğalgaz iletiminin fiziksel olarak mümkün olmadığı hallerde tercih edilen ilk yöntem olmaktadır. Ayrıca, ekonomik olarak da boru hatları ile gaz iletimine alternatif oluşturmaktadır. Sıvılaştırma işlemi doğalgazın -162°C 'ye kadar soğutulması ile gerçekleştirilir ve bu işlem gaz formdan sıvı forma geçişte doğalgazın hacimsel olarak 600 kat küçülmesini sağlar. Ardından, LNG özel tankerlerle taşınır [1].

LNG, taşınması ve iletimi doğalgaza göre daha kolay olan bir yakıt türüdür. Bu özelliğini, sıvılaştırılırken hacminin ciddi oranda küçülmesinden elde etmektedir [2].

Dolayısıyla, bir seferde daha fazla yakıt iletimi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte LNG, kokusu ve rengi olmayan, sıvılaştırılma esnasında kazandığı özelliklerle zehirsiz, saflık derecesi daha yüksek ve kirlilik oranı daha düşük bir maddedir [2]. Tüm bu özellikleriyle yeni ve önemli bir enerji kaynağıdır. EPDK verilerine göre, ülkemizin 2019 yılında yapmış olduğu LNG ithalatı, toplam gaz ithalatı içerisinde yüzde 30'u geçerek tarihi zirve yapmıştır [3]. Bu oran, doğalgaz ithalatında alternatif kaynakların yaratılması ve ithalat potansiyeli olan farklı ülkelerin de ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

Ülkemizin yaşadığı tecrübeler şunu göstermektedir ki, özellikle doğalgaz gibi dışa bağımlı olduğumuz bir enerji kaynağının temininde yaşanabilecek herhangi bir sorun, ülke içerisinde ciddi problemlere yol açabilir. Gerek ülkeler arası ilişkilerden gerekse de ülkelerin kendi içlerinde yaşayabilecekleri sorunlardan kaynaklı olarak zaman zaman doğalgazın azalması veya kesilmesi, alternatif yollar ve çözümler arama ihtiyacını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, yaşanması muhtemel teknik sorunlar ya da fiziksel yetersizlikler de doğalgaz ithalatı açısından birtakım arayışlar içerisinde olmayı gerektirmektedir. Bu kapsamda, LNG alternatif kaynakların ve farklı tedarikçi imkanlarının önünü açmaktadır. Ancak LNG ithalatının nereden gerçekleştirileceği pek çok koşul ve durumdan etkilenmektedir. Dolayısıyla pek çok farklı kriter altında yine pek çok farklı alternatif ülke arasından bir tercihte bulunulması gerekmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak LNG ithalatı için en uygun ülkenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden bulanık AHP ve bulanık TOPSIS kullanılmıştır. Bulanık AHP'den kriterlerin ağırlıklandırılmasında, bulanık TOPSIS'ten ise en uygun alternatifin seçilmesinde yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri uygulaması, yazar tarafından hazırlanmış bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Enerji ile İlgili Karar Verme Çalışmaları

Enerji konusu bir karar verme problemi olarak ele alındığında; sosyal, ekonomik ve teknik olarak farklı kriterler ortaya çıkmaktadır. Pek çok farklı kriterin ve alternatifin varlığı da problemin büyüklüğünü artırmaktadır. Bu nedenle, enerji konusundaki karar verme problemleri karmaşık bir hal almaktadır. Dolayısıyla, bu problemlere çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında, Kaya ve Kahraman [4], entegre bir VIKOR-AHP metodolojisi kullanarak İstanbul için en iyi yenilenebilir enerji alternatifinin belirlenmesini ve şehirdeki alternatif enerji üretim sahaları arasında seçim yapmayı amaçlamışlardır. Amer ve Daim [5], Pakistan'da yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde AHP'den yararlanmışlardır. Zare vd. [6], İran'ın kuzeybatısındaki elektrik tedarik zincirini analiz etmek için entegre bir AHP-bulanık TOPSIS yöntemi önermişlerdir. Shen vd. [7] de AHP ile Tayvan'da enerji kaynağı seçimi gerçekleştirmişlerdir. Toossi vd. [8], İngiltere'de karar vericilerin farklı enerji kaynaklarının kullanımı ve geçiş yollarının sonuçlarını değerlendirmeleri için AHP temelli yeni bir karar destek aracı önermişlerdir. Tasri ve Susilawati [9] ise, enerji alternatifleri arasından bulanık AHP yardımıyla en uygun olanını Endonezya için seçmişlerdir. Benzer bir çalışmayı bu kez Hindistan için Luthra vd. [10] gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında bulanık AHP'den faydalanmışlardır.

Ghimire ve Kim [11], Nepal'in enerji sorunları ile ilgili AHP temelli bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Wang vd. [12], Pakistan'daki enerji krizinin üstesinden gelebilmek amacıyla SWOT analizi ile entegre bir bulanık AHP modeli önermişlerdir. Ahmad ve Tahar [13], sürdürülebilir kalkınma sağlamak amacıyla Malezya'da enerji kaynaklarının seçimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında AHP'den faydalanmışlardır. Sahabmanesh ve Saboohi [14], AHP ile İran'daki enerji sistemleri

için sürdürülebilir gelişim modeli önermişlerdir. Solangi vd. [15], Pakistan'ın sürdürülebilir enerji planlaması ve politikaları için enerji stratejileri geliştirmek ve değerlendirmek için sistematik bir bulanık AHP-bulanık TOPSIS yaklaşımı önermişlerdir. Haddad vd. [16], Cezayir'de elektrik enerjisi üreten sistemler için yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde AHP kullanmışlardır.

Ziemba vd. [17], rüzgâr enerjisi için karar verme çalışmasında PROMETHEE tekniğinden faydalanmışlardır. Okello vd. [18], Uganda'da biyoenerji alternatiflerini değerlendirebilmek amacıyla SWOT altyapılı bir AHP yöntemi sunmuşlardır. Ahmad vd. [19], Kazakistan'da elektrik üretiminde nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde AHP'den yararlanmışlardır. Karataş vd. [20] ise AHP, TOPSIS ve VIKOR kullanarak enerji yönetimi performanslarını karşılaştırmışlardır. Wu vd. [21], bulanık AHP ile Çin'deki yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bir kaynak sıralaması çalışması gerçekleştirmişlerdir. Miciuła ve Nowakowska-Grunt [22] ise, Polonya'da bir enerji tedarikçisinin seçiminde AHP'den yararlanmışlardır.

2.2. Klasik AHP

AHP, 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty [23] tarafından ortaya atılmış, ardından büyük bir hızla tüm dünyada pek çok çalışmada kullanılmış bir yöntemdir. Karar verme yöntemleri içerisinde günümüzde de popülerliğini sürdüren AHP, sanayi, ulaşım, kimya, gıda, turizm, tıp ve mühendislik gibi pek çok farklı alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Klasik AHP olarak da adlandırılan bu yöntem, kriterlerin ve alternatiflerin kendi aralarında karşılaştırılmaları mantığıyla hareket etmektedir.

AHP ile ilgili literatür incelendiğinde, Barker ve Zabinsky [24] tersine lojistik kavramını ele alarak bu konudaki sekiz farklı alternatifini değerlendiren AHP destekli bir model önermişlerdir. Yusof ve Salleh [25], Malezya Yükseköğretim Bakanlığı'na ait performans kriterlerinden hareketle, ülkedeki yükseköğretimi AHP yardımıyla değerlendirmişlerdir. Buyurgan ve Saygın [26], çizelgeleme ve rotalamada AHP'den yararlanmışlardır. Erbyık vd. [27] bir firmanın yeni açacağı bir mağaza için en uygun

yerin seçimini AHP kullanarak ele almışlardır. AHP ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. AHP ile ilgili yapılmış çalışmalar

Yazar	Çalışma Alanı	Yıl
Khashei-Siuki vd. [28]	İçme suyu için kuyu yeri belirleme	2020
Ghavami vd. [29]	Kanalizasyon risk değerlendirme	2020
Wang vd. [30]	Arıza durumu ve etkileri analizi	2020
Ikram vd. [31]	Yönetim sistemi engelleri analizi	2020
Çolak vd. [32]	Enerji santralleri için yer seçimi	2020
Kaur vd. [33]	Yeraltı suları için potansiyel değerlendirmesi	2020
Neissi vd. [34]	Sulama sistemi yer seçimi	2020
D'Adamo vd. [35]	Yeşil devlet politikaları	2020
Du vd. [36]	Tezgah yenileme kararı	2020
Seyedmohammadi vd. [37]	Tarım için uygun toprak seçimi	2019
Wang vd. [38]	Kirli toprakların ıslahı	2019
Xu vd. [39]	Ekolojik ortam oluşturulması	2019
Lima vd. [40]	Stratejik bakım planı	2019
Kılıç ve Üçler [41]	Pilot stresi yönetimi	2019
Unutmaz Durmuşoğlu [42]	Girişimcilik projelerinin değerlendirilmesi	2018
Baswaraj.S vd. [43]	Parametre seçimi	2018
Pamucar vd. [44]	Üniversite web sayfalarının değerlendirilmesi	2018
Özdemir ve Şahin [45]	Güneş santrali için yer seçimi	2018
Kokangül vd. [46]	Risk analizi	2017
Hillerman vd. [47]	Sağlık hizmeti değerlendirme	2017
Dong ve Cooper [48]	Risk analizi	2016
Gürcan vd. [49]	Tedarikçi seçimi	2016
Dweiri vd. [50]	Tedarikçi seçimi	2016
Lee ve Lee [51]	Stratejik öncelik belirleme	2015
Jovanovic vd. [52]	Enerji yönetiminin iyileştirilmesi	2015
Lolli vd. [53]	Stokların sınıflandırılması	2014

2.3. Bulanık AHP

Bulanık AHP, Saaty'nin geliştirdiği klasik AHP'nin bulanık mantıkla birleştirilmesine dayanır. Klasik AHP klasikliğini karşılaştırma matrislerinde kullanılan tekli rakamlardan almaktadır. Bulanık AHP ise bulanık mantığın yapısından kaynaklanan

belirsizlik ortamlarını diğer bir ifadeyle bulanık ortamları ele almaktadır. Bu nedenle, bulanık AHP’de bulanık sayılar ve dilsel ifadeler mevcuttur [54]. Dolayısıyla, gerçek hayatta da karşılaşılan pek çok problem bulanık ortamı tasvir etmekte ve buna daha iyi çözümleri de bulanık AHP sağlamaktadır. Karar verirken daha isabetli ve gerçekçi sonuçlar alabilme konusundaki faydaları bulanık AHP’yi belki de en popüler karar verme tekniklerinden biri haline getirmiştir. Literatür incelendiğinde bulanık AHP ile ilgili binlerce çalışmaya rastlamak mümkündür. Montazar vd. [55] bulanık AHP’yi kullanarak dört farklı sulama projesinin performanslarını incelemiş ve bu konuda değerlendirmeler yapmışlardır. Özgörmüş vd. [54] personel seçiminde, Karimi vd. [56] atık su işlemlerinde, Yılmaz [57], tedarikçi seçiminde, Sofyalıoğlu ve Kartal [58] tedarik zincirine ait risklerin belirlenmesinde bulanık AHP’den faydalanmışlardır. Bulanık AHP ile ilgili son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 2.2.’de gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Bulanık AHP ile ilgili son yıllardaki çalışmalar

Yazar	Çalışma Alanı	Yıl
Rajasekhar vd. [59]	Yeraltı suları	2020
Marhavalas vd. [60]	Risk analizi	2020
Li vd. [61]	Risk analizi	2020
Olabanji ve Mpofo [62]	Tasarım değerlendirme	2020
Çolak ve Kaya [63]	Enerji depolama teknolojisi	2020
Khan vd. [64]	Süreç geliştirme ve iyileştirme	2019
Breaz vd. [65]	Tornalama merkezi seçimi	2019
Calabrese vd. [66]	Strateji geliştirme	2019
Nirmala ve Uthra [67]	Tedarikçi seçimi	2019
Güler ve Büyüközkan [68]	Stratejik analiz	2019
Amini vd. [69]	Tarımsal üretim analizi	2019
Behera vd. [70]	Maden araştırma	2019
Yang vd. [71]	Hat dengeleme	2019
İlbahar vd. [72]	İş sağlığı ve güvenliği	2018
Kaganski vd. [73]	Performans değerlendirme	2018
Mahtani ve Garg [74]	Finansal analiz	2018
Şahin ve Yip [75]	Dinamik nakliye teknolojisi	2017
Asakereh vd. [76]	Güneş enerjisi köyü yeri seçimi	2017

Tablo 2.2. (Devamı)

Modak vd. [77]	Performans değerlendirme	2017
Kumar vd. [78]	Yakıt üretim yöntemi seçimi	2017
Wang vd. [79]	Kömür madenleri	2016
Leong vd. [80]	Donmuş su transferi	2016
Babashamsi vd. [81]	Asfalt bakımları	2016
Biju vd. [82]	Müşteri ihtiyaçlarının incelenmesi	2015
Nguyen vd. [83]	Ulaştırma problemleri	2015
Tasri ve Susilawati [9]	Yenilenebilir enerji	2014
Montazar vd. [84]	Sulama projeleri	2013
Yılmaz [57]	Tedarikçi seçimi	2012
Tang ve Chang [85]	Bütçe problemi	2012
Padma ve Balasubramanie [86]	Ergonomi	2011
Wang vd. [87]	Sağlık değerlendirmesi	2010
Tiryaki ve Ahlatcioglu [88]	Ticari yatırım	2009
Özgörmüş vd. [89]	Personel seçimi	2005

Görüldüğü üzere gerek klasik gerekse de bulanık AHP oldukça yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmanın uygulamasında, Chang'ın [90] genişletilmiş analiz yöntemine ilişkin adımlarından yararlanılmıştır.

2.4. Klasik TOPSIS

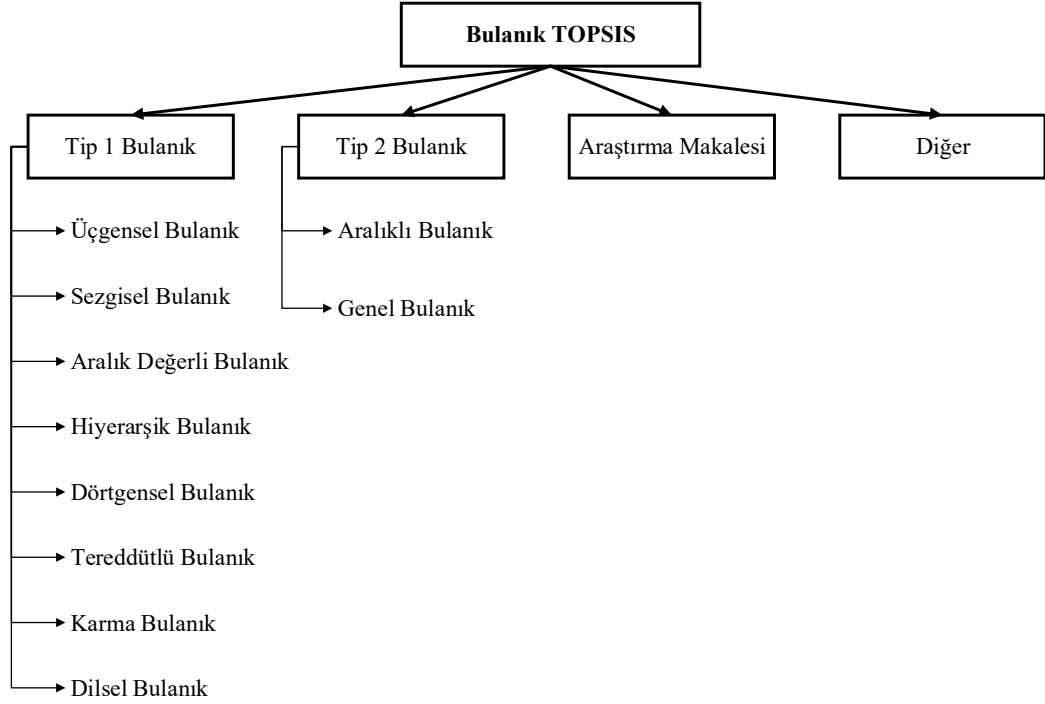
TOPSIS yöntemi, açılımı “Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution” olan yani “İdeal Çözüme Benzerliklerine göre Sıralama Tekniği” anlamında bir Türkçe karşılığa sahip 1980 yılında Yoon ve Hwang tarafından geliştirilmiş bir tekniktir [91]. Temel olarak, TOPSIS yönteminde eldeki alternatiflerin verilere göre değişkenlik gösteren pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklık ve yakınlıklarına göre sıralanması işlemi gerçekleştirilmektedir. Ortaya çıktığı günden günümüze kadar pek çok çalışmada yer alan bu yöntem, neredeyse alan gözetmeksizin karar verme problemlerinin büyük çoğunluğunda yaygın olarak kullanımını sürdürmektedir. Çok kriterli karar verme tekniklerinin en güvenilir olarak kabul edilenlerinden biri olan TOPSIS yöntemi ile ilgili yüzlerce çalışma bulunmasına karşın, literatürde özellikle son 5 yılda gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 2.3.’te gösterilmektedir.

Tablo 2.3. TOPSIS konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar

Yazar	Çalışma Alanı	Yıl
Ramasamy vd. [92]	Proses parametrelerinin optimizasyona etkisi	2020
Şeker ve Aydın [93]	Tesis yeri seçimi	2020
Abdel-Basset ve Mohamed [94]	Risk analizi	2020
Zhang vd. [95]	Biyomedikal	2020
Chen [96]	Normalizasyonun etkileri analizi	2019
Dash vd. [97]	Borsa fiyat tahmini	2019
El Allaki vd. [98]	Kuş gribi gözetimi	2019
Zhang ve Su [99]	Katılımcı tahmini	2019
Jha vd. [100]	Kompozit malzemeler için kombinasyon seçimi	2018
Ligus ve Peternek [101]	Enerji teknolojisi seçimi	2018
Shukla vd. [102]	Üretim prosesleri incelemesi	2017
Srirangan ve Sathiya [103]	Parametre optimizasyonu	2017
Zhao ve Fang [104]	Bisiklet yolu planlama	2016
Kazan vd. [105]	Sınav başarısı değerlendirme	2015

2.5. Bulanık TOPSIS

TOPSIS yöntemi, Hwang and Yoon tarafından geliştirilmesinin ardından oldukça popüler bir karar verme tekniği olmuştur. Ardından bulanık mantık kavramının ortaya çıkışıyla TOPSIS de bulanık mantık ile birleştirilerek genişletilmiş ve daha gelişmiş bir hal almıştır. Esnek yapısı sayesinde bireysel ya da grup karar vermede kullanılabilen çok kriterli karar verme problemini bulanık düzlemde çözen bir tekniktir. Bulanık TOPSIS de tıpkı klasik TOPSIS gibi çok geniş bir kullanım perspektifine sahiptir ve günümüzde pek çok çalışmanın konusu olmaktadır. Literatür incelendiğinde, bulanık TOPSIS çalışmalarının belirli çerçevede sınıflandırılacağı görülmektedir. Bu sınıflandırma Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bulanık TOPSIS literatürünün sınıflandırılması

Özellikle son 10 yıl içerisinde Bulanık TOPSIS kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar ise Tablo 2.4.'te gösterilmiştir [106].

Tablo 2.4. Bulanık TOPSIS konusunda son yıllardaki çalışmalar ve alanları

Alan / Kaynak	[107]	[108]	[109]	[110]	[111]	[112]	[113]	[4]	[114]	[115]	[116]	[117]	[118]	[119]	[120]	[121]	[122]	[123]	[124]	[125]	[126]	[127]	[128]	[129]	[130]	[131]	[132]	[133]	
Tedarik																													
Zinciri	•	•							•							•													
Yönetimi																													
Savunma																													
Sanayi			•																										
Enerji				•					•			•								•									
Performans																													
Değerlendirme					•																								
Personel																													
Seçimi						•																							
Çevre									•												•			•					
Kalkınma																													•
Ağ/Bağlantı										•																			
Sağlık											•																		•
Yeşil Tedarik														•		•													
Proje Seçimi																•													•
İmalat																						•							
Stok																								•					
İş																									•		•		

BÖLÜM 3. LNG

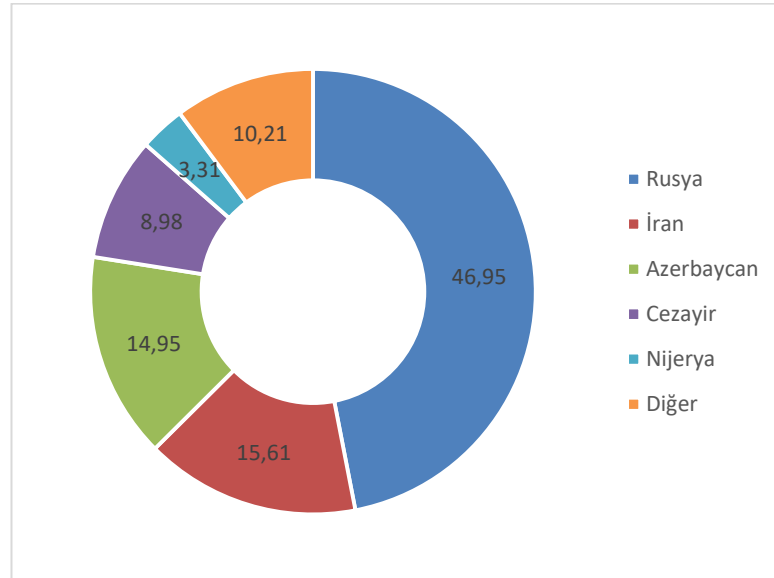
Gaz formunda bulunan doğalgazın özellikle deniz aşırı ülkelere gönderilebilmesi amacıyla ortaya çıkan LNG, -159 ile -162 santigrat derecelere kadar soğutulup sıvı formuna dönüştürülmüş doğalgaz olarak tanımlanabilir [2]. Sıvılaştırılmasının bir diğer avantajı hacminin küçülmesi ve tek seferde daha fazla gaz taşınmasını mümkün kılmasıdır. Bu sayede, gerek deniz yolu ile gerekse de kara yolu ile taşınmaya olanak vermektedir. Özellikle alternatif kaynak bulmada güçlük çeken veya doğal kaynaklara uzak olan ülkeler için son derece önemli bir imkân olan LNG, Türkiye için de gerek arz güvenliğinin sağlanması gerekse de tedarikte esneklik sunması açısından önemli bir kaynaktır. Türkiye ilk olarak 1994 yılında LNG alımına başlamıştır ve halen çeşitli ülkelere alım yapmaya devam etmektedir [1].

Türkiye'nin 2018 yılında gerçekleştirmiş olduğu doğalgaz ithalatının %46,95'lik kısmı Rusya'dan yapılmıştır [1]. Yine aynı yılda yapılan toplam ithalatın %22,49'u LNG ithalatı olarak gerçekleşmiştir. 1988 yılında verilen izin ile BOTAŞ, Rusya, Cezayir ve Nijerya gibi ülkelere LNG ithalatı yapmaktadır [1]. Günümüzde Türkiye, pek çok farklı ülkeden LNG ithalatı gerçekleştirmekte ve bu konuda uzun yıllardır devam eden bir takım anlaşmalar ve ortaklıklar sürdürmektedir. Tablo 3.1.'de 2008 ile 2018 yılları arasında Türkiye'nin gerçekleşen doğalgaz ithalatı miktarları ve alım yapılan ülkeler gösterilmektedir.

Tablo 3.1. 2008-2018 yılları arası doğalgaz ithalatı [1]

Ülke	Rusya		İran		Azerbaycan		Cezayir		Nijerya		Diğer		Toplam
	Yıl	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	
2008	23159	62,0	4113	11,0	4580	12,2	4148	11,1	1017	2,72	333	0,89	37350
2009	19473	54,3	5252	14,6	4960	13,8	4487	12,5	903	2,52	781	2,18	35856
2010	17576	46,2	7765	20,4	4521	11,8	3906	10,2	1189	3,13	3079	8,09	38036
2011	25406	57,9	8190	18,6	3806	8,67	4156	9,47	1248	2,84	1069	2,44	43874
2012	26491	57,6	8215	17,8	3354	7,3	4076	8,88	1322	2,88	2464	5,37	45922
2013	26212	57,9	8730	19,2	4245	9,38	3917	8,65	1274	2,81	892	1,97	45269
2014	26975	54,7	8932	18,1	6074	12,3	4179	8,48	1414	2,87	1689	3,43	49262
2015	26783	55,3	7826	16,1	6169	12,7	3916	8,09	1240	2,56	2493	5,15	48427
2016	24540	52,9	7705	16,6	6480	13,9	4284	9,24	1220	2,63	2124	4,58	46352
2017	28690	51,9	9251	16,7	6544	11,8	4617	8,36	1344	2,43	4804	8,7	55250
2018	23642	46,9	7863	15,6	7527	14,9	4521	8,98	1668	3,31	5140	10,2	50361

Şekil 3.1.'de 2018 yılında gerçekleşen ithalatın yapıldığı ülkelere ait paylar gösterilmektedir. Rusya bu alanda uzun yıllardır liderliğini korumaktadır ve zaman zaman ülkemizin stratejik ilişkilerinde de bu pay önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3.1. 2018 yılına ait doğalgaz ithalatı [1]

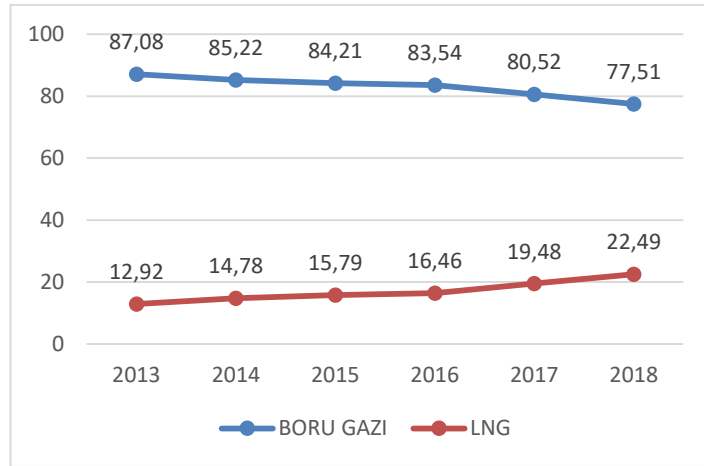
2008-2018 yılları arasında özellikle Rusya başta olmak üzere, İran, Azerbaycan, Cezayir ve Nijerya gibi ülkelere önemli miktarlarda gaz alan Türkiye, zaman zaman

ülkeler arası ilişkiler neticesinde çeşitli başka ülkelerden alım yapmış bazen de kötü ilişkiler nedeniyle mevcut alımlarından vazgeçmiştir. Tablo 3.2.'de 2013-2018 yılları arasında ithal edilen doğalgaz türleri ve miktarları gösterilmektedir.

Tablo 3.2. 2013-2018 yılları arası ithalatta LNG payı [1]

Gazın Türü	BORU GAZI		LNG		TOPLAM
	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	
2013	39.419,44	87,08	5.849,54	12,92	45.268,98
2014	41.981,41	85,22	7.280,87	14,78	49.262,28
2015	40.778,11	84,21	7.648,96	15,79	48.427,08
2016	38.724,48	83,54	7.627,68	16,46	46.352,17
2017	44.484,67	80,52	10.765,28	19,48	55.249,95
2018	39.032,13	77,51	11.328,45	22,49	50.360,58

Tablo 3.2.'den de görülebileceği üzere, LNG ithalatı 2013 yılından beri toplam doğalgaz alımındaki payını giderek artırmaktadır [3]. Yine görüleceği üzere, çeşitli arz güvenliği gerekçeleri ile boru hattından sağlanan gaz ithalatının payı stratejik olarak azaltılmaktadır. Şekil 3.2.'de 2013-2018 yılları arasındaki ithalata ait boru hattı ve LNG payları ve bahsedilen değişim gösterilmiştir.



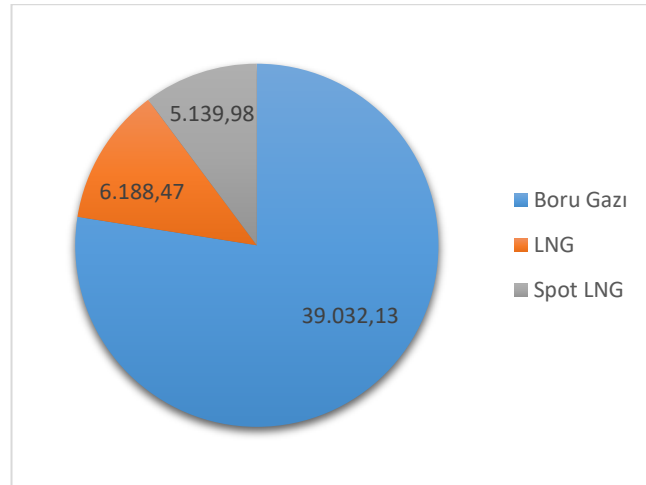
Şekil 3.2. 2013-2018 yılları arası ithalatta LNG payı grafiği [1]

Görüldüğü üzere son yıllarda artan LNG payı 2018 yılında zirveye ulaşarak %22,49'a ulaşmıştır [1]. Ayrıca aşağıdaki Tablo 3.3.'te EPDK verilerine göre 2018 yılına ait aylık ithalat verileri (milyon Sm³ cinsinden) gösterilmektedir.

Tablo 3.3. 2018 yılı aylık ithalat verileri [1]

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
Boru Gazı	4256	3744	3779	3061	2454	2417	3178	2588	2960	3007	3632	3952	39032,1
LNG	685,6	623,4	496,3	479,5	421,4	252,8	323,3	313,5	320,8	622,3	714,2	934,9	6188,4
Spot LNG	1274	1035	449,9	129,2	133,2	258,4	133,3	133,0	0,0	78,5	349	1164	5139,9

Görüldüğü üzere yaz aylarında düşen, kış aylarında ise artan bir eğilimde doğalgaz alımı gerçekleştirilmektedir. 2018 yılına ait toplam gaz alımındaki paylar ise Şekil 3.3.'te gösterilmektedir.



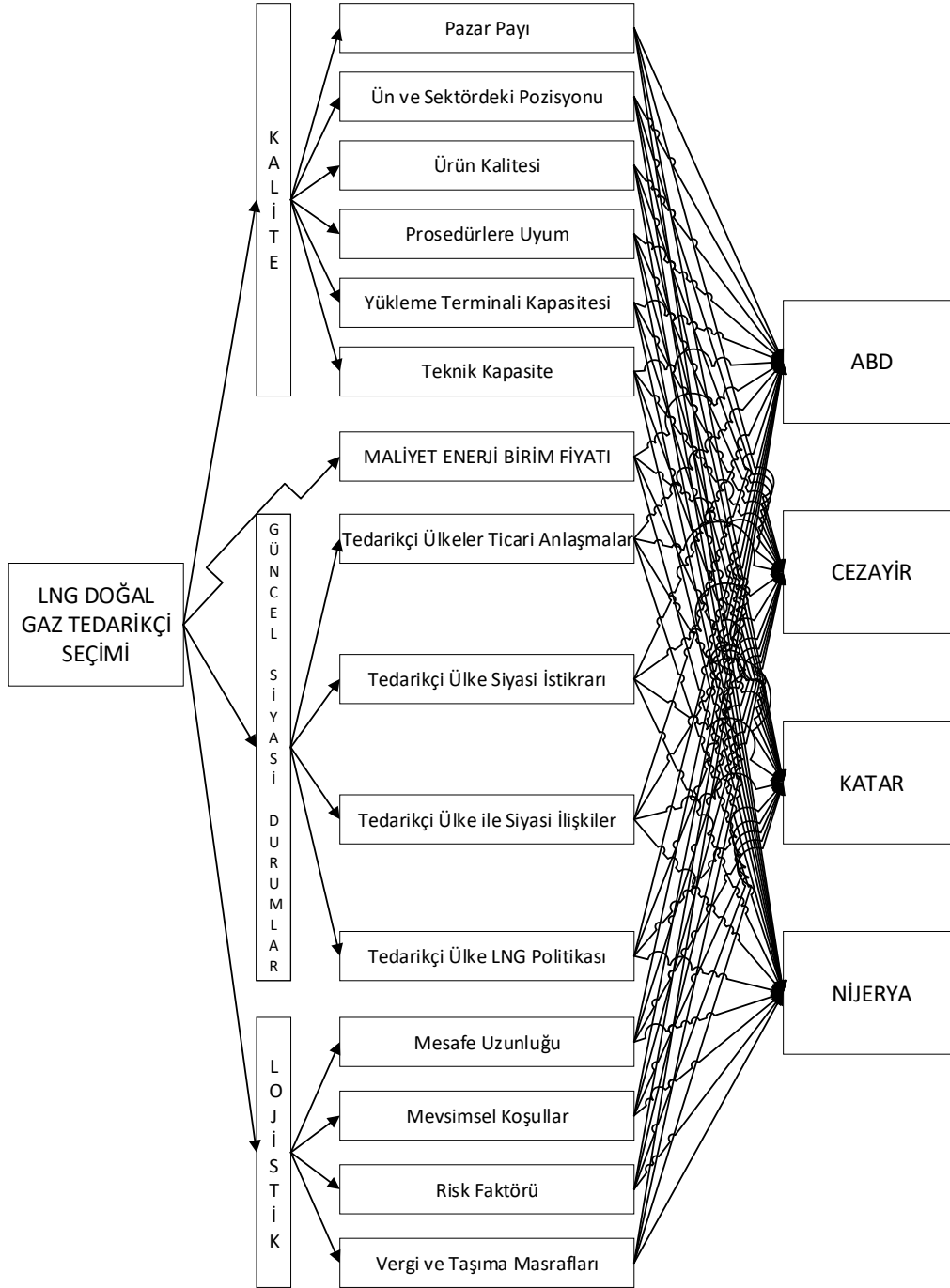
Şekil 3.3. Türlerine göre 2018 yılı gaz alım payları [1]

2018 yılına ait verilere göre Türkiye, uzun dönemli sözleşmelere göre LNG ithalatının %73,05 oranındaki miktarını Cezayir'den almaktadır. Kalan kısmı ise Nijerya'dan temin etmektedir. Bu durum LNG konusunda ülkemizin yalnızca iki ülkeye ciddi miktarda bağlı olduğunu göz önüne sermektedir. Ülkemizin doğalgaz rezervlerinin yetersizliği ve nüfus vb. sebeplerle talebin de her geçen yıl artması sebebiyle doğalgaz ithalatı kaçınılmaz olmaktadır. EPDK verilerine göre, Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu toplam doğalgaz miktarının yalnızca %0,84'ü ülkemizde üretilmektedir [1]. Bu değer, doğalgaz konusunda ne derece dışa bağımlı bir ülke olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

BÖLÜM 4. PROBLEMİN TANIMI

Enerjide dışa bağımlı bir durumda bulunan Türkiye için, alternatif enerji kaynakları belirlenmesi ve bu kaynakların en doğru tedarikçilerden tedarik edilebilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, ülkemizin mevcut şartlar altında, güncel ekonomik, siyasi ve sosyal ilişkileri de göz önüne alarak alternatif bir enerji kaynağı olan LNG'nin tedarigi için en uygun tedarikçi ülkenin belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Bu doğrultuda, problemin hiyerarşik yapısı oluşturulmuştur.

Problem, 4 ana kriterden, kriterlerin alt kriterleri de ele alındığında ise toplamda 15 kriterden oluşmaktadır. Toplam 4 ana kriter sırasıyla; kalite, birim fiyat, siyasi durumlar ve lojistik olarak belirlenmiştir. Kalite ana kriterinin altında “pazar payı”, “ün ve sektördeki pozisyonu”, “ürün kalitesi”, “prosedürlere uyum”, “yükleme terminali kapasitesi” ve “teknik kapasite” olmak üzere 6 alt kriter bulunmaktadır. Güncel siyasi durumlar ana kriteri ise, “tedarikçi ülkeler ticari anlaşmalar”, “tedarikçi ülke siyasi istikrarı”, “tedarikçi ülke ile siyasi ilişkiler” ve “tedarikçi ülke LNG politikası” olmak üzere 4 alt kritere sahiptir. Lojistik ana kriterinin altında ise, “mesafe uzunluğu”, “mevsimsel koşullar”, “risk faktörü” ve “vergi ve taşıma masrafları” şeklinde 4 alt kriter yer almaktadır. Bununla birlikte, çalışmada birbirine alternatif olarak 4 farklı ülke en uygun tedarikçi olabilme açısından değerlendirilmektedir. En uygun tedarikçi alternatifleri ise, Amerika Birleşik Devletleri, Cezayir, Katar ve Nijerya olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler ve alternatifler Halil Karayel tarafından 2018 yılında hazırlanan yüksek lisans projesinden faydalanılarak belirlenmiştir [134]. Probleme ait hiyerarşik yapı Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Probleme ait hiyerarşik yapı

Problemin çözümünde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Problem iki aşamalı olarak çözülmektedir. İlk aşamada kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi işlemleri bulanık AHP adımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, en uygun alternatifin seçimi işlemi bulanık TOPSIS yönteminin adımlarından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Problemin

çözümünde, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS uygulamalarının entegre bir şekilde çalıştığı ve tez yazarı tarafından hazırlanan bilgisayar programı kullanılmıştır.

Uygulamanın ilk aşamasında gerçekleştirilen kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kriterlerin ikili karşılaştırılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu adımda, kriterlerin ve alternatiflerin birbirleriyle ikili olarak karşılaştırılması gerekmektedir. Kriterlerin ikili karşılaştırılmasında en güncel Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu ve Enerji Bakanlığı'na ait raporlar ile LNG konusunda yapılan son araştırma ve projelerden ve ülkemizin alternatif ülkelerle olan geçmişe dönük siyasi ve ticari ilişkileri ve anlaşmaları göz önüne alınmıştır [1], [2], [3]. Problemin çözümünde faydalanılan bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerine ait detaylar ilerleyen bölümlerde ifade edilmektedir.

BÖLÜM 5. KULLANILAN YÖNTEMLER

Karar verme, alternatifler arasından seçim yapma işi olarak tanımlanabilir. Ancak, verilecek karara ait kriterlerin ve karar alternatiflerinin sayısı arttıkça problem büyümekte ve karar vermek zorlaşmaktadır. Böyle geniş problemleri çözebilmek amacıyla matematiksel tekniklere ihtiyaç duyulmuş ve bu ihtiyaç da çok kriterli karar verme problemleri için farklı çözüm tekniklerinin ortaya çıkmasına vesile olmuştur. AHP, TOPSIS, ELECTRE, Promethee, ANP, VIKOR vb. yöntemler zaman içerisinde geliştirilerek, her biri ÇKKV problemlerinin çözümünde alternatif bir araç görevi görmüştür. Zaman ilerledikçe Zadeh tarafından bulanık mantık kavramı ortaya atılmıştır. Mevcut karar verme teknikleri de bulanık mantık kavramından pek çok şey gibi ciddi oranda etkilenecek değişime uğramıştır. Çünkü bulanık mantık, olayları siyah ve beyaz olmaktan çıkararak, ikisi arasında sonsuz gri noktanın da var olduğunu göstermiştir. Bu gelişmenin ardından, karar vermede belirsizlik içeren ifadelerin yer alabileceği, karar vericinin “biraz”, “çok”, “az” gibi dilsel ifadeler kullanarak da yorum yapabileceği ve nihayetinde bu dilsel ifadelerin de karar vermede etkin olarak ele alınması gerekeceği düşüncesinden hareketle, mevcut ÇKKV teknikleri bulanıklaştırılarak bulanık AHP, bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR şeklinde güncellenmişlerdir.

Klasik karar vermede kriterler ve alternatifler sayılarla ifade edilmektedir. Ancak bulanık karar vermede tekil sayılar anlamsızlaşabilir. Çünkü bir karar verici 170 cm boyundaki bir insana kısa derken 180 cm boyundaki bir başka kişiye uzun diyebilir. Dolayısıyla, doğrudan bu değerleri kullanmak verimi sonuç vermeyecektir. Bu nedenle, bulanık karar verme tekniklerinde, karar vericiler kriterleri ve alternatifleri dilsel ifadelerle değerlendirmektedirler. Bunu yaparken de dilsel ifadeleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürecek bir dönüşüm değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, Chang'ın (1996) genişletilmiş analiz yöntemi skalası kullanılmıştır [90].

5.1. Bulanık AHP

Adım 1: Her bir amaç için her ölçüt ele alınarak derece analizi (g_i) yapılır. Amaçlara ilişkin m derece analiz sonucu, $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$ bulanık sayılar şeklinde belirtilir. i ölçütü için bulanık sentetik derece değeri aşağıdaki formül grubu kullanılarak (Denklem 5.1) hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad j = \{1, 2, \dots, m\}$$

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^m u_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m l_j} \right) \quad (5.1)$$

Adım 2: $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ olmak üzere olabirlik derecesi aşağıdaki formül yardımıyla (Denklem 5.2) hesaplanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (5.2)$$

Adım 3: Karşılaştırma matrisinde her kriter için tüm V değerleri karşılaştırılarak elde edilen min değer o kriterin ağırlık değeri olarak alınır ve böylece ağırlık vektörü elde edilir.

Adım 4: Tüm kriterlerin ağırlık değerleri toplanır.

Adım 5: Her kriterin ağırlık değeri toplam ağırlık değerine bölünerek normalize edilmiş ağırlık vektörü elde edilir.

5.2. Bulanık TOPSIS

Adım 1: Karar vericilerin yer aldığı bir grup oluşturulur. Dilsel değişkenler aracılığı ile kriterlerin önem ağırlıkları belirlenir.

Adım 2: Dilsel değişkenler aracılığı ile karar vericiler tarafından kriterler açısından alternatifler ele alınır.

Adım 3: Kriterlerin ağırlıkları için ve alternatiflerin ele alındığında belirlenen sözel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları belirlenir.

Adım 4: Üçüncü adımda elde edilen bulanık sayılardan hareketle bulanık karar matrisi elde edilir.

Adım 5: Aşağıdaki formül grubu kullanılarak (Denklem 5.3) bulanık karar matrisi normalize edilir. \tilde{R} normalize edilmiş bulanık karar matrisini ifade etmektedir.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right); \quad c_j^* = \max_i c_{ij}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right); \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (5.3)$$

Adım 6: Bulanık karar matrisi normalize edildikten sonra elde edilen matris ağırlık vektörüyle çarpılır (Denklem 5.4) ve ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi elde edilir.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \quad (5.4)$$

Adım 7: Aşağıdaki formüller kullanılarak (Denklem 5.5) bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözümler hesaplanır.

$$d_v(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]}$$

$$\tilde{A}^* = (\tilde{v}_1^*, \dots, \tilde{v}_j^*, \dots, \tilde{v}_n^*)$$

$$\tilde{A}^- = (\tilde{v}_1^-, \dots, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (5.5)$$

Adım 8: Her bir alternatif için aşağıdaki formüller yardımıyla (Denklem 5.6, Denklem 5.7 ve Denklem 5.8) pozitif ve negatif uzaklıklar hesaplanır.

$$\tilde{v}_j^* = \max_i\{\tilde{v}_{ij}\}, \quad \tilde{v}_j^- = \min_i\{\tilde{v}_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.6)$$

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5.7)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5.8)$$

Adım 9: Her alternatif için yakınlık katsayıları aşağıdaki formül ile (Denklem 5.9) hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5.9)$$

Adım 10: Alternatiflerin yakınlık katsayıları karşılaştırılır ve en büyük katsayıya sahip alternatif en iyi çözüm olarak belirlenir.

Bulanık TOPSIS tekniğinde, kriterlerin ve alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılan dilsel ifadeler bulunmaktadır. Bu dilsel ifadeler üçgensel bulanık sayılara dönüştürüldükten sonra çeşitli işlemler yapılır. Dilsel ifadeleri üçgensel bulanık

sayılara dönüştürmede Chang (1996) tarafından geliştirilen Tablo 5.1.'de gösterilen dönüşüm tablosundan yararlanılabilir.

Tablo 5.1. Dilsel ifadeler için dönüşüm tablosu [90]

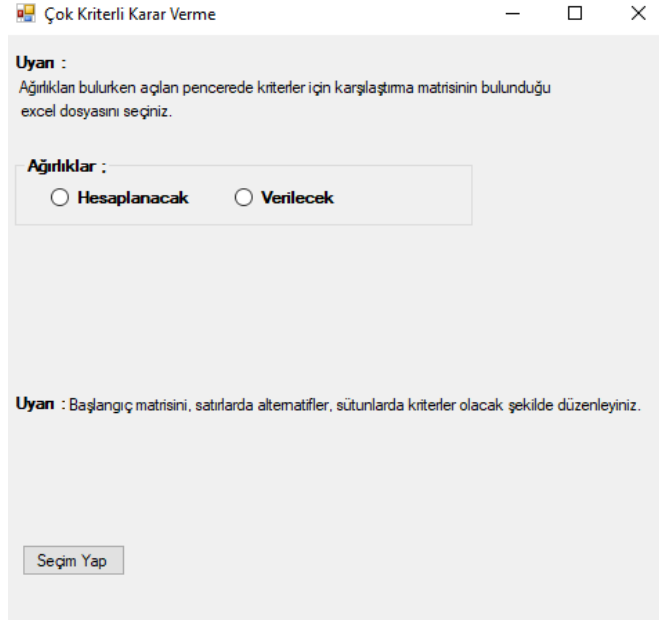
Dilsel İfade	Bulanık Sayı	Tersi
Çok düşük (ÇD)	(1, 1, 2)	(0,5, 1, 1)
Düşük (D)	(1, 2, 3)	(0,33, 0,5, 1)
.	(2, 3, 4)	(0,25, 0,33, 0,5)
.	(3, 4, 5)	(0,2, 0,25, 0,33)
.	(4, 5, 6)	(0,16, 0,2, 0,25)
.	(5, 6, 7)	(0,14, 0,16, 0,2)
.	(6, 7, 8)	(0,125, 0,14, 0,16)
Yüksek (Y)	(7, 8, 9)	(0,11, 0,125, 0,14)
Çok yüksek (ÇY)	(8, 9, 9)	(0,11, 0,11, 0,125)

BÖLÜM 6. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama aşamasında, LNG tedarik edebilmek için mevcut şartlarda en uygun tedarikçi ülkenin belirlenmesi amacıyla kriterlerin ağırlıklandırılmasında bulanık AHP, alternatifler arasından seçim işleminde ise bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

6.1. Hazırlanan Yazılım

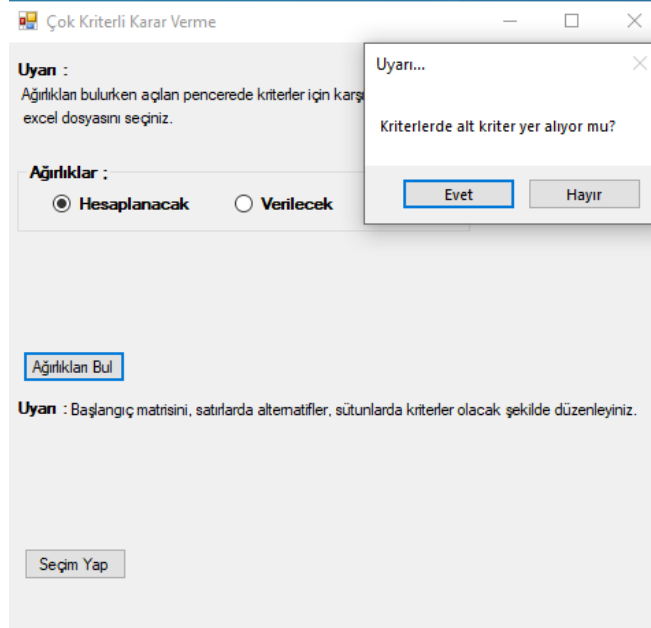
Uygulamada kullanılan yazılım, yazar tarafından C# programlama dili aracılığı ile geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılımda ilk olarak Şekil 6.1.'de gösterilen ekran ile karşılaşılacaktır.



Şekil 6.1. Yazılım açılış ekranı

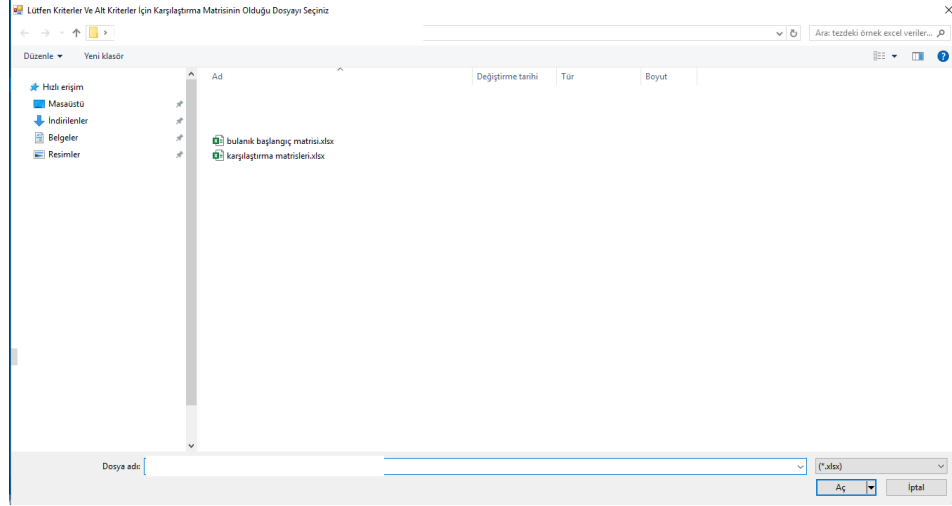
Yazılımdaki “ağırlıklar” bölümünde, kullanıcıya 2 farklı seçenek sunulmaktadır. Bunlardan birincisi, ağırlıkların yazılıma hazır olarak verileceği seçeneği diğeri ise

ağırlıkların yazılım tarafından hesaplanacağı şeklindedir. Tez uygulamasında, ağırlıklar bulanık AHP ile hesaplandığı için burada “hesaplanacak” seçeneği seçilmiştir. Hesaplanacak seçeneği seçildiğinde açılan ekran Şekil 6.2.’de gösterilmiştir.



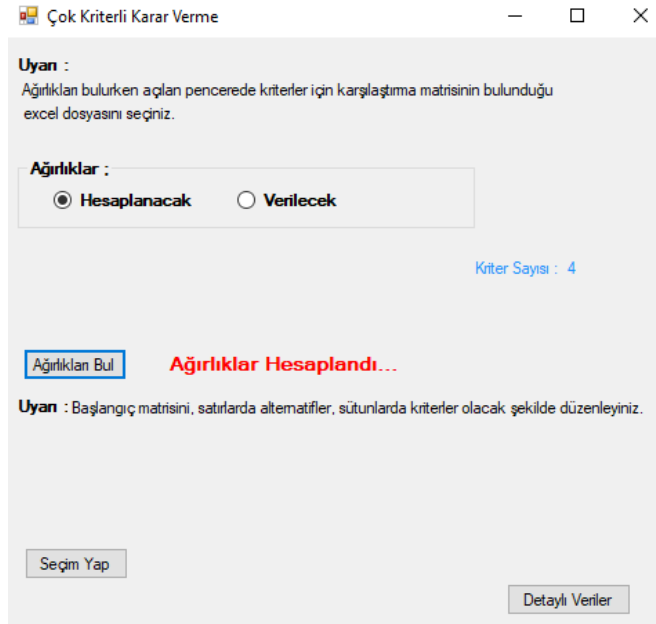
Şekil 6.2. Ağırlıklar hesaplanacak ekranı

Şekil 6.2.’de görüldüğü üzere kullanıcıdan problemdeki kriterlerde alt kriterin yer alıp almadığı bilgisi alınmıştır. Alınan bu bilginin ardından, Şekil 6.3.’te gösterilen ekran aracılığıyla, kullanıcıdan probleme ait kriterlerin karşılaştırma matrislerinin olduğu Excel dosyası istenmiştir.



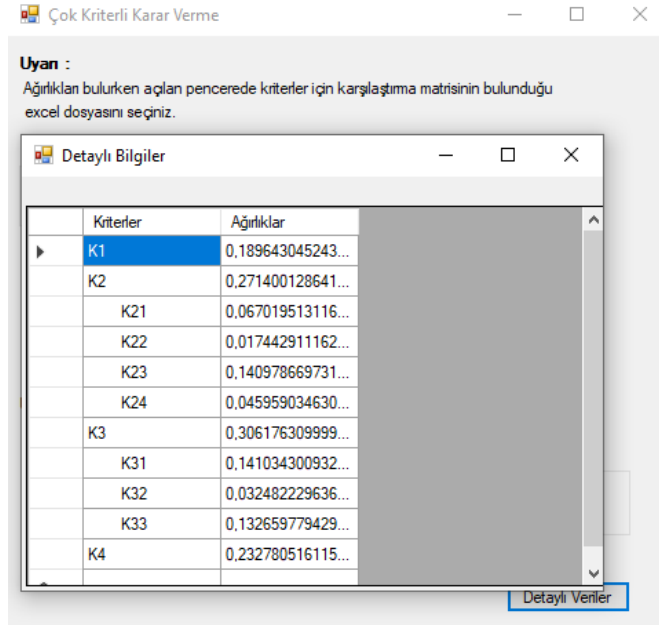
Şekil 6.3. Dosya yükleme ekranı

Kriterlerin karşılaştırma matrisleri yazılıma alındıktan sonra bulanık AHP kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve Şekil 6.4.'te gösterilen yazılımın ekranında "Ağırlıklar Hesaplandı" bilgisi ve "Detaylı Veriler" butonu gösterilmiştir.



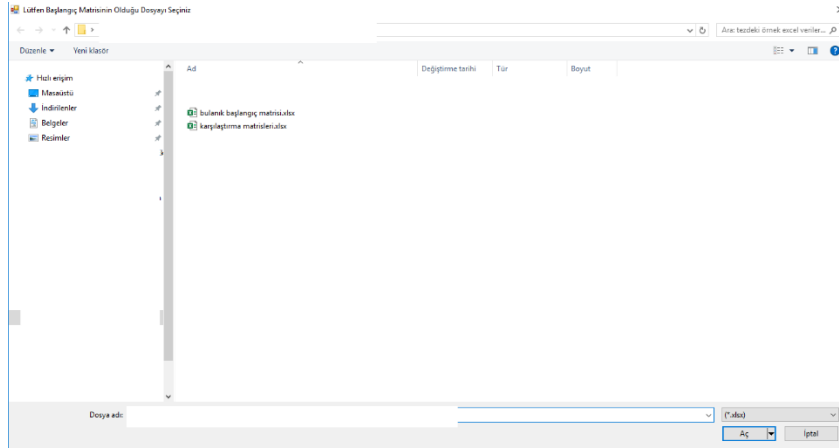
Şekil 6.4. Yazılım üzerinden ağırlıkların hesaplanması

Detaylı Veriler butonuna basıldığında ana kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlıklarının yer aldığı Şekil 6.5.'te gösterilen ekran açılmıştır.



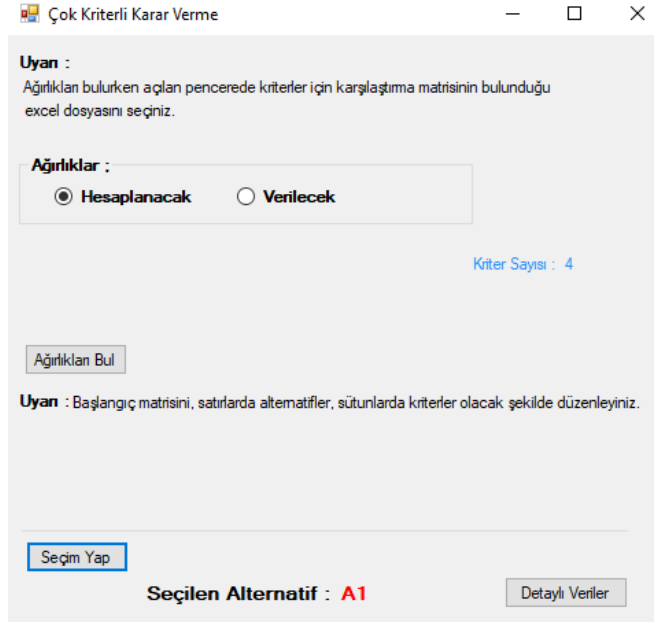
Şekil 6.5. Kriter ağırlıkları ekranı

Ağırlıkların hesaplanması ile ilgili tüm işlemler tamamlandıktan sonra alternatifler arasından seçim yapılması için ana ekranda yer alan Seçim Yap butonuna basıldığında açılan ekran Şekil 6.6.'da gösterilmiştir.



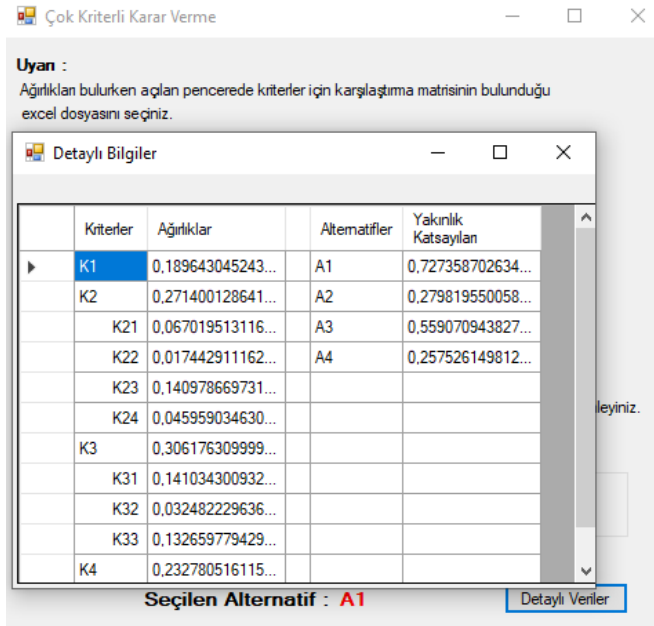
Şekil 6.6. Başlangıç matrisi yükleme ekranı

Şekil 6.6.'da görüldüğü üzere kullanıcıdan ilgili başlangıç matrisinin yer aldığı Excel dosyası istenmiştir. İlgili dosya seçildikten sonra yazılımda bulanık TOPSIS yardımıyla seçim işlemi gerçekleştirilerek seçilen alternatif bilgisi Şekil 6.7.'deki ekranda gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Uygun alternatifin seçilmesi

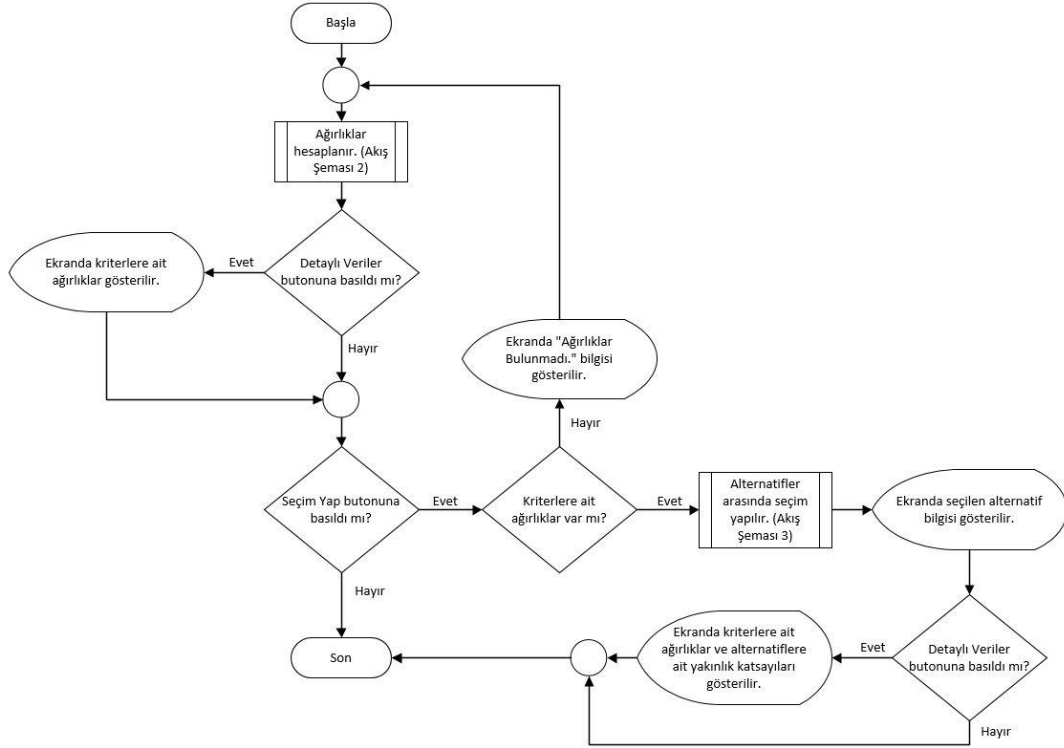
Alternatifler arasında seçim işlemi gerçekleştirildikten sonra Detaylı Veriler butonuna basıldığında kriterlere ait ağırlıkların ve alternatiflere ait yakınlık katsayılarının yer aldığı ekran Şekil 6.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Detaylı veriler ekranı

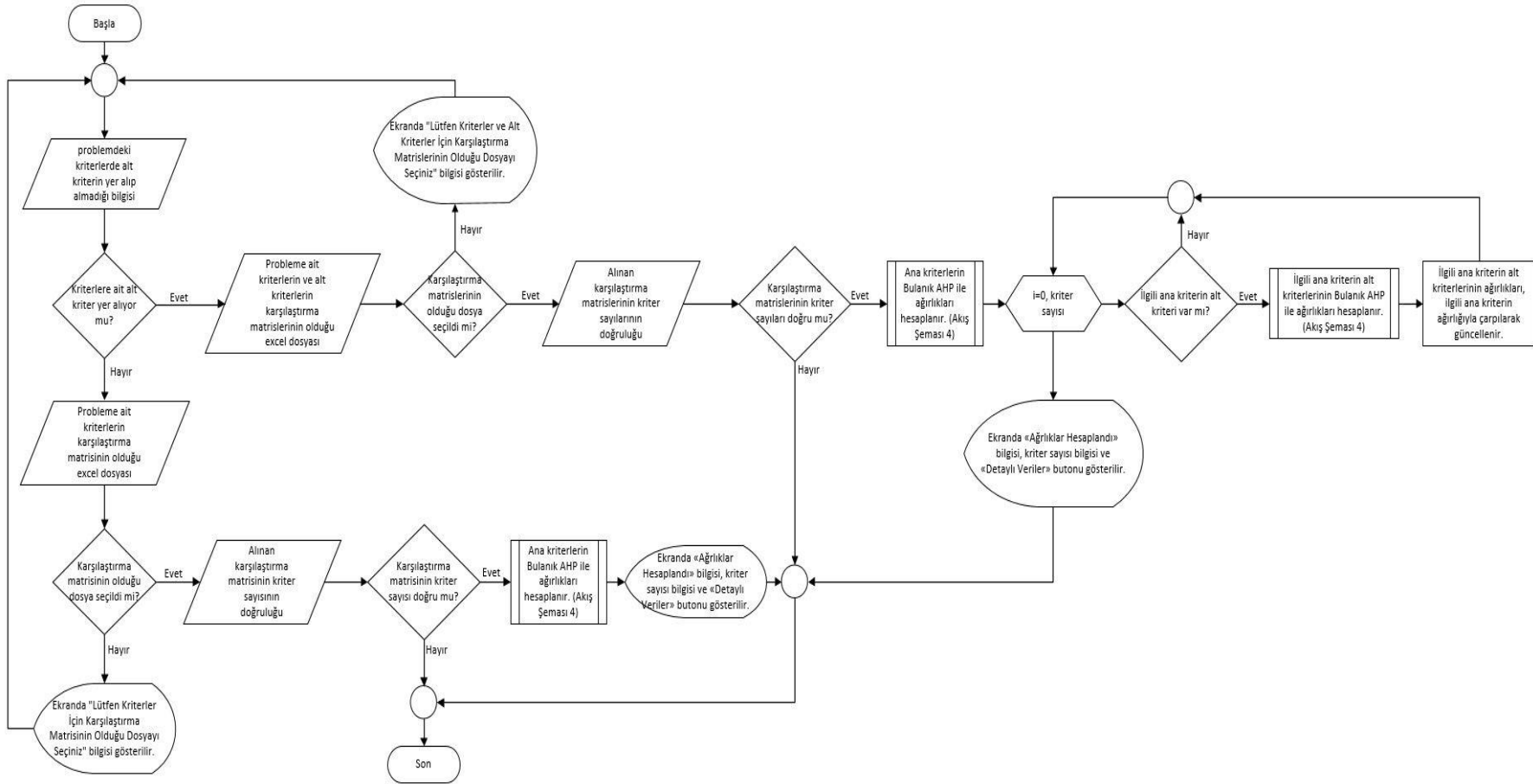
6.2. Ağırlıkların Hesaplanması Süreci

Uygulamada kullanılan yazılıma ait genel akış şeması, Şekil 6.9.'da adım adım detaylı bir biçimde gösterilmiştir. Süreç içerisindeki detaylı süreçler devam eden kısımlarda aktarılmaktadır.



Şekil 6.9. Yazılım akış şeması (Akış Şeması 1)

Birinci adımda ara yüzde “ağırlıklar” kısmında “hesaplanacak” seçeneği seçilir ve kriterlere ait ağırlıklar hesaplanır. Ağırlıkların hesaplanmasına ait detaylı akış şeması Şekil 6.10.’da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Kriterlere ait ağırlık hesabı akış şeması (Akış Şeması 2)

Şekil 6.10.'da görüldüğü üzere, ilk olarak problemde yer alan kriterlerde alt kriterlerin yer alıp almadığı bilgisi kullanıcıdan alınır. Uygulama tarafından kullanıcının hangi cevabı verdiği kontrol edilir. Eğer kriterler alt kriterlere sahipse, ana kriterlerin ve alt kriterlerin karşılaştırma matrislerinin bulunduğu Excel dosyası kullanıcıdan istenir. Ana kriterlere ait karşılaştırma matrisinin bir kısmı Şekil 6.11.'de görülmektedir. Şekil 6.12., Şekil 6.13. ve Şekil 6.14.'te ise ana kriterlerin alt kriterlerine ait karşılaştırma matrislerinin bir kısmı görülmektedir.

Ardından, uygulama tarafından bir dosya seçilip seçilmediği kontrol edilir. Eğer ilgili Excel dosyası seçilmediyse ekranda “Lütfen kriterler ve alt kriterler için karşılaştırma matrislerinin olduğu dosyayı seçiniz.” uyarısı gösterilir. Eğer ilgili dosya seçildiyse alınan Excel dosyasındaki karşılaştırma matrislerinin kriter sayıları ile problemdeki kriter sayılarının aynı olup olmadığı bilgisi kullanıcıdan alınır. Eğer alınan dosyada yer alan karşılaştırma matrislerinin kriter sayılarında bir yanlışlık varsa uygulama sona erer, yanlışlık yok ise Bulanık AHP kullanılarak ana kritere ait ağırlıkların hesaplanmasına geçilir. Bulanık AHP ile ağırlık hesaplanmasına ait akış şeması Şekil 6.15.'te gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	kriterler	mebfl	mebfm	mebfu	gsdl	gsdm	gsdu	kl	km	ku	ll	lm	lu	altKriteriK	KriterTuru
2	Maliyet (Enerji Birim Fiyatı)	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	1,00	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00		0 max
3	Güncel siyasi durumlar	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	3,00		4 max

Şekil 6.11. Ana kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	2. alt krite	p21l	p21m	p21u	p22l	p22m	p22u	p23l	p23m	p23u	p24l	p24m	p24u	KriterTuru
2	p21	1	1	1	2	3	4	1	1	2	4	5	6	max
3	p22	0,25	0,33	0,5	1	1	1	0,25	0,33	0,5	1	2	3	max

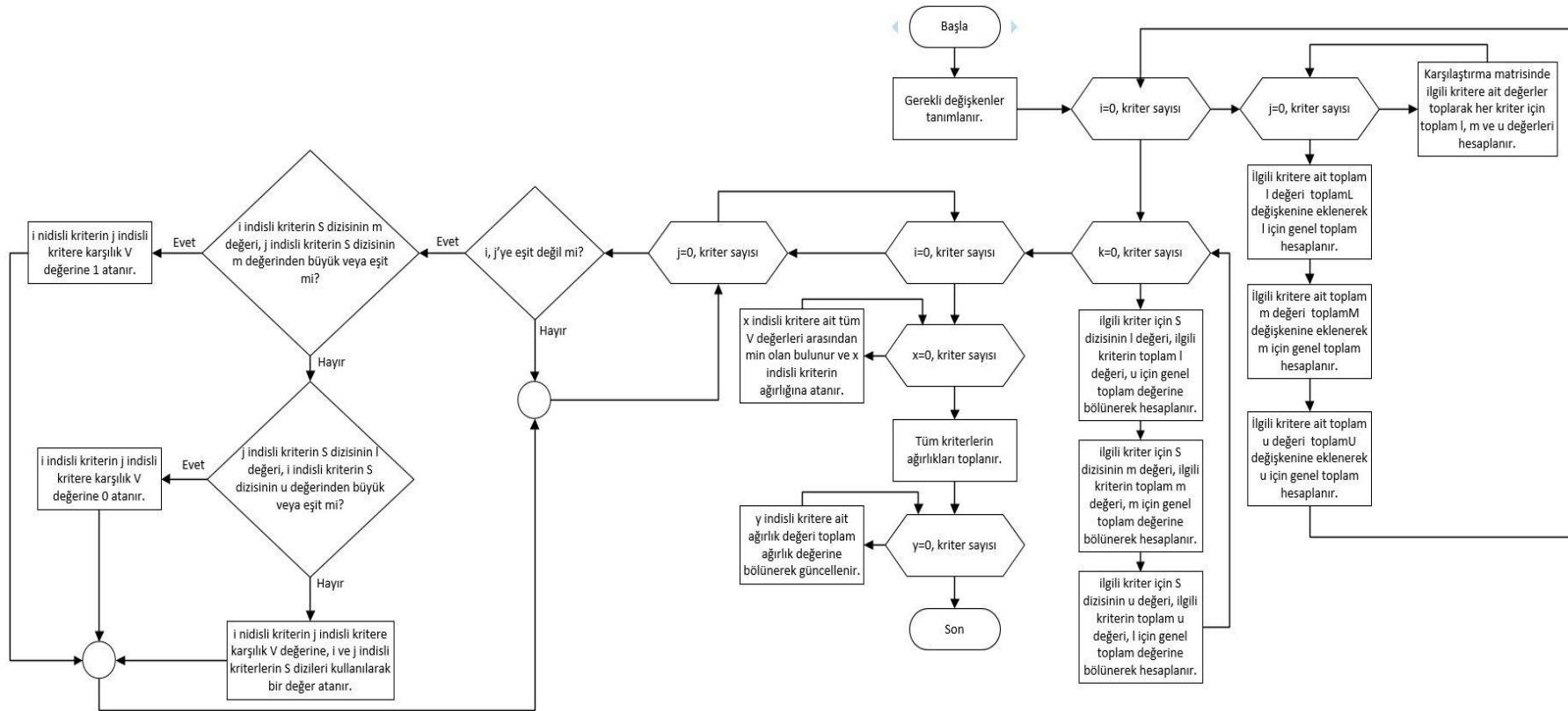
Şekil 6.12. İkinci kriterle ait alt kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	3. alt krite	p31l	p31m	p31u	p32l	p32m	p32u	p33l	p33m	p33u	p34l	p34m	p34u	p35l	p35m	p35u	p36l	p36m	p36u	KriterTuru
2	p31	1	1	1	1	2	3	0,25	0,33	0,5	0,14	0,17	0,2	1	1	2	0,33	0,5	1	max
3	p32	0,33	0,5	1	1	1	1	0,17	0,2	0,25	0,14	0,17	0,2	0,33	0,5	1	0,25	0,33	0,5	max

Şekil 6.13. Üçüncü kriterle ait alt kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	4. alt krite	p41l	p41m	p41u	p42l	p42m	p42u	p43l	p43m	p43u	p44l	p44m	p44u	KriterTuru
2	p41	1	1	1	1	2	3	0,17	0,2	0,25	0,25	0,33	0,5	max
3	p42	0,33	0,5	1	1	1	1	0,14	0,17	0,2	0,17	0,2	0,25	max

Şekil 6.14. Dördüncü kriterle ait alt kriterlerin karşılaştırma matrisi örneği



Şekil 6.15. Bulanık AHP ile ağırlık hesabı akış şeması (Akış Şeması 4)

Alt kriteri olan her ana kriterin alt kriterlerine ait ağırlıklar Bulanık AHP (Şekil 6.15.) kullanılarak hesaplanır. İlgili ana kritere ait alt kriterlerin ağırlıkları; ilgili ana kriterin ağırlığıyla çarpılarak güncellenir. Tüm ana ve alt kriterlerin ağırlıkları hesaplandıktan sonra arayüzde “Ağırlıklar Hesaplandı” bilgisi, “Detaylı Veriler” butonu ve ana kriter sayısı bilgisi gösterilir. Eğer kriterler alt kriterlere sahip değilse, kriterlerin karşılaştırma matrisinin bulunduğu Excel dosyası kullanıcıdan istenir.

Uygulama tarafından bir dosya seçilip seçilmediği kontrol edilir. Eğer ilgili Excel dosyası seçilmediyse ekranda “Lütfen kriterler için karşılaştırma matrisinin olduğu dosyayı seçiniz.” bilgisi gösterilir. Eğer ilgili dosya seçildiyse alınan Excel dosyasındaki karşılaştırma matrisine ait kriter sayısının problemdeki kriter sayısı ile aynı olup olmadığı bilgisi kullanıcıdan alınır. Şekil 6.15.’te görüldüğü üzere, eğer alınan dosyada yer alan karşılaştırma matrisinin kriter sayısında bir yanlışlık varsa uygulama sona erer, yanlışlık yok ise Bulanık AHP kullanılarak kriterlere ait ağırlıkların hesaplanmasına geçilir. Kriterlerin ağırlıkları hesaplandıktan sonra ara yüzde “Ağırlıklar Hesaplandı” bilgisi, “Detaylı Veriler” butonu ve kriter sayısı bilgisi gösterilir.

Bulanık AHP ile ağırlıkların hesaplanması aşağıdaki adımlar takip edilerek gerçekleştirilmektedir.

Adım 1: Öncelikle kullanılacak değişkenler tanımlanır.

Adım 2: Karşılaştırma matrisinde her kriter için, ilgili kritere ait değerler toplanarak her kritere ait toplam l, toplam m ve toplam u değerleri hesaplanır.

Adım 3: Her kritere ait toplam l değerleri toplanarak l için genel toplam değeri hesaplanır.

Adım 4: Her kritere ait toplam m değerleri toplanarak m için genel toplam değeri hesaplanır.

Adım 5: Her kritere ait toplam u değerleri toplanarak u için genel toplam değeri hesaplanır.

Adım 6: Karşılaştırma matrisinde her kriter için; ilgili kriterin toplam l değeri, u için genel toplam değerine bölünerek S dizisinin l değeri hesaplanır.

Adım 7: Karşılaştırma matrisinde her kriter için; ilgili kriterin toplam m değeri, m için genel toplam değerine bölünerek S dizisinin m değeri hesaplanır.

Adım 8: Karşılaştırma matrisinde her kriter için; ilgili kriterin toplam u değeri, l için genel toplam değerine bölünerek S dizisinin u değeri hesaplanır.

Adım 9: Kriterlerin S dizisindeki belirli değerler karşılaştırılarak V dizisi elde edilir. Birinci kriterin ikinci kritere karşılık V değeri, Denklem 5.2 kullanılarak hesaplanmaktadır.

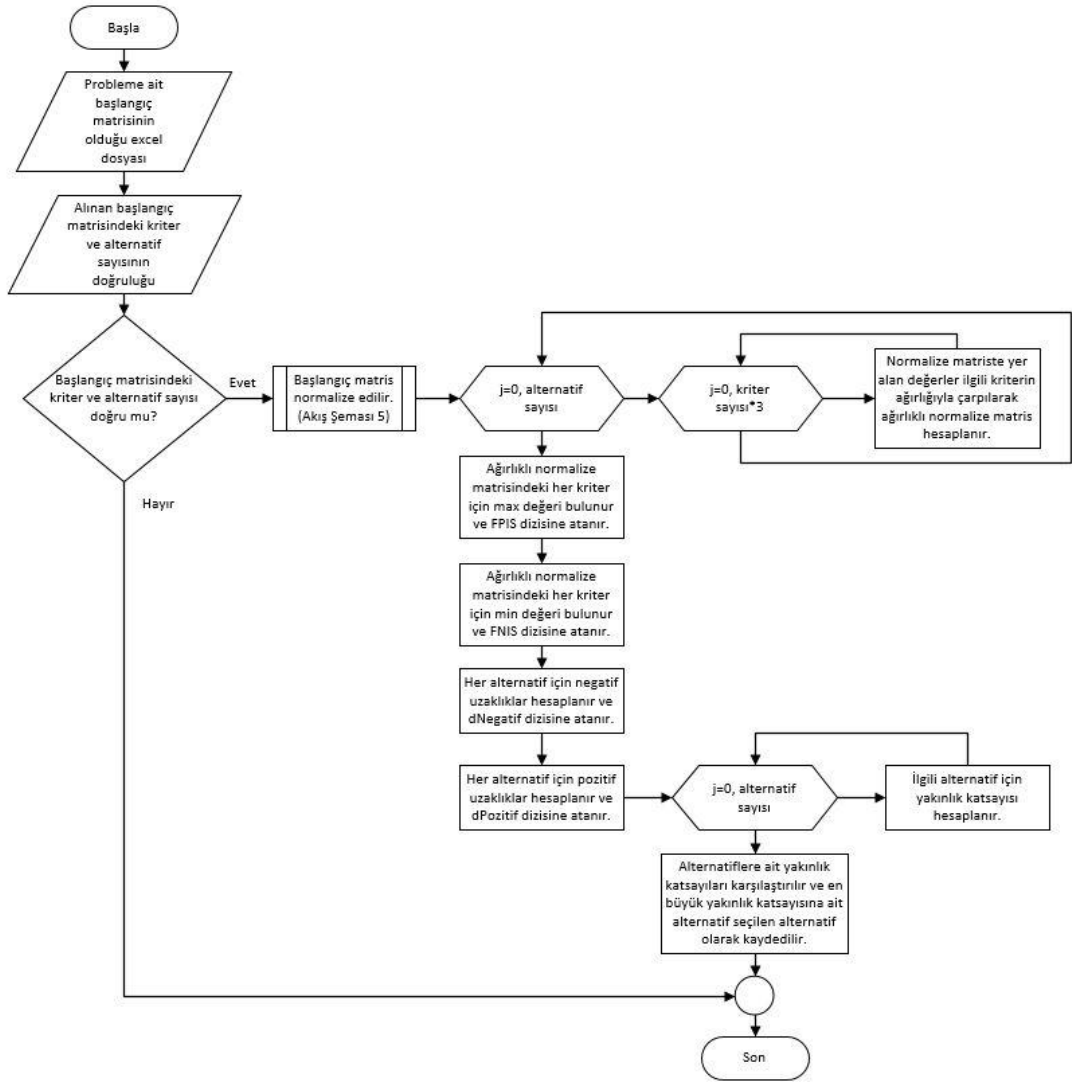
Adım 10: Karşılaştırma matrisinde her kriter için; kritere ait tüm V değerleri arasından minimum olan bulunur ve o kriterin ağırlığı olarak kaydedilir.

Adım 11: Tüm kriterlerin ağırlık değerleri toplanır.

Adım 12: Her kriterin ağırlık değeri toplam ağırlık değerine bölünerek güncellenir.

6.3. En Uygun Alternatifin Belirlenmesi Süreci

Ağırlıklar hesaplandıktan sonra ara yüzde “Seçim Yap” butonuna basıldığında bulanık TOPSIS yöntemi aracılığıyla alternatifler arasında seçim yapılır. Seçilen optimum alternatif ara yüzde gösterilir. Bu süreç Şekil 6.16.’da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Bulanık TOPSIS ile alternatif seçimi akış şeması (Akış şeması 3)

Bulanık TOPSIS ile alternatif seçimi işleminde aşağıdaki adımlar takip edilmektedir.

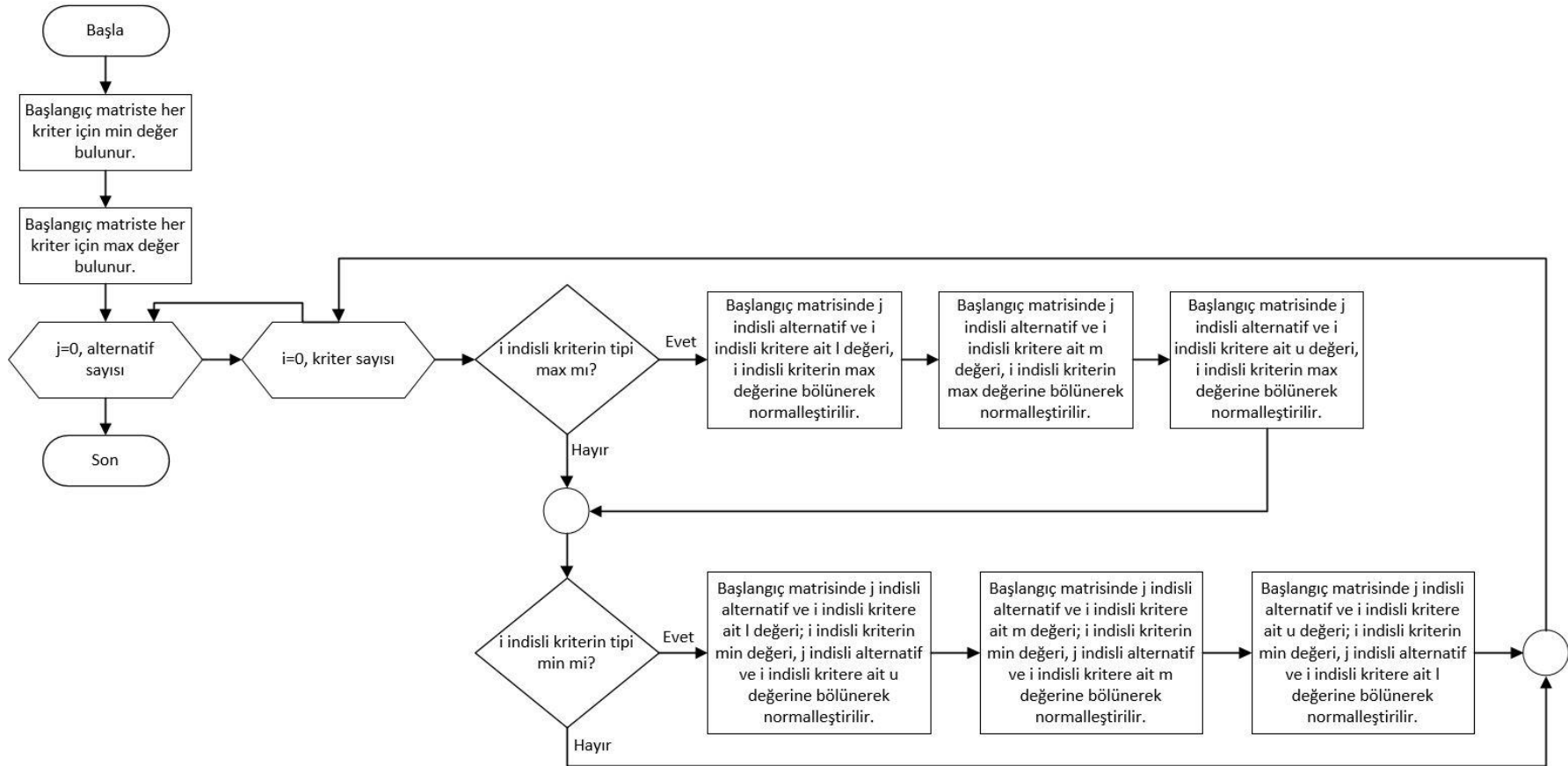
Adım 1: Probleme ait bulanık başlangıç matrisinin bulunduğu Excel dosyası kullanıcıdan istenir. Bulanık başlangıç matrisinin bir kısmı Şekil 6.17.'de görülmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Alternatif K1 L	K1 M	K1 U	K2 L	K2 M	K2 U	K3 L	K3 M	K3 U	K4 L	K4 M	K4 U	
2	ABD	4	5	6	4	5	6	7	8	9	1	2	3
3	Cezayir	7	8	9	3	4	5	1	2	3	3	4	5

Şekil 6.17. Bulanık başlangıç matrisi örneği

Adım 2: Alınan Excel dosyasındaki bulanık başlangıç matrisindeki kriter ve alternatif sayıları ile problemdeki kriter ve alternatif sayılarının aynı olup olmadığı bilgisi kullanıcıdan alınır. Eğer kriter ve alternatif sayılarında bir yanlışlık varsa uygulama sona erer.

Adım 3: Eğer alınan Excel dosyasındaki bulanık başlangıç matrisindeki kriter ve alternatif sayılarında bir yanlışlık yok ise bulanık başlangıç matrisi normalize edilir. Normalizasyon işlemine ait akış şeması Şekil 6.18.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.18. Başlangıç matris normalizasyonu akış şeması (Akış Şeması 5)

Adım 4: Normalize bulanık başlangıç matrisindeki değerler ilgili kriterin ağırlığıyla çarpılarak ağırlıklı normalize başlangıç matris hesaplanır.

Adım 5: Ağırlıklı normalize başlangıç matrisindeki her kriter için max değer bulunur ve FPIS dizisine atanır.

Adım 6: Ağırlıklı normalize başlangıç matrisindeki her kriter için min değer bulunur ve FNIS dizisine atanır.

Adım 7: Her alternatif için negatif uzaklıklar Denklem 5.6 ve Denklem 5.8 ile hesaplanır ve sonuçları dNegatif dizisine atanır.

Adım 8: Her alternatif için pozitif uzaklıklar Denklem 5.6 ve Denklem 5.7 yardımıyla hesaplanır ve sonuçları dPozitif dizisine atanır.

Adım 9: Her alternatif için Denklem 5.9 kullanılarak yakınlık katsayısı hesaplanır.

Adım 10: Alternatiflere ait yakınlık katsayıları karşılaştırılır ve en büyük yakınlık katsayısına sahip olan alternatif seçilen alternatif olarak kaydedilir.

6.4. Uygulama Sonuçları

Çalışmanın bulanık AHP ile hesaplanan kriter ağırlıkları incelendiğinde; “kalite” ana kriteri ve “güncel siyasi durumlar” ana kriteri 0,321 ile en büyük ağırlığa sahip olarak öne çıkmışlardır. Gerçekten de günümüz şartlarında tedarik edilecek LNG’nin kalitesinin önemli olduğu ve ülkeler arası ikili ilişkiler, ticari anlaşmalar gibi siyasi konjonktürün de LNG tedarik edip edememe konusunda büyük pay sahibi olacağı aşikârdır. Sonuçların da bununla paralel çıkması uygulamanın tutarlı bir sonuç sağladığını düşündürmektedir. Bu iki kriterin arkasından 0,193 ile “maliyet enerji birim fiyatı” kriteri gelmektedir. Son olarak, 0,162 ile “lojistik” kriterinin geldiği görülmektedir. Kriter ve alt kriterlerin ağırlıklarına ilişkin ayrıntılar Tablo 6.1.’de sunulmuştur.

Tablo 6.1. Ana ve alt kriter ağırlıkları

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar
KALİTE	Pazar Payı	0,021
	Ün ve Sektördeki Pozisyonu	0
	Ürün Kalitesi	0,211
	Prosedürlere Uyum	0,089
	Yükleme Terminali Kapasitesi	0
	Teknik Kapasite	0
MALİYET		
ENERJİ BİRİM FİYATI		0,193
GÜNCEL SİYASİ DURUMLAR	Tedarikçi Ülkeler Ticari Anlaşmalar	0,158
	Tedarikçi Ülke Siyasi İstikrarı	0,005
	Tedarikçi Ülke ile Siyasi İlişkiler	0,158
	Tedarikçi Ülke LNG Politikası	0
LOJİSTİK	Mesafe Uzunluğu	0
	Mevsimsel Koşullar	0
	Risk Faktörü	0,101
	Vergi ve Taşıma Masrafları	0,061

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, en uygun alternatif tedarikçinin seçilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. En uygun alternatifin seçiminde yazılımın bulanık TOPSIS bölümü kullanılmıştır. İşlemlerin ardından alternatif tedarikçilere ait bilgiler Tablo 6.2.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 6.2. Alternatiflere ait bilgiler

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları
Amerika Birleşik Devletleri	0,482
Cezayir	0,652
Katar	0,560
Nijerya	0,342

Tablo 7.2.'deki bilgilere bakıldığında, bulanık TOPSIS yönteminin adımlarının uygulanması sonucunda mevcut kriterler ve bunlara ilişkin uzman görüşleri ve değerlendirmeleri altında en uygun LNG tedarikçisi ülkenin 0,652 katsayısıyla Cezayir

olacağı belirlenmiştir. Ülkemizin ikili ilişkileri, LNG politikası, oluşabilecek riskler, fiyat ve kalite gibi unsurların bir arada değerlendirilmesi ile Cezayir diğer ülkelere göre bir adım önde görünmektedir. Cezayir'in ardından, 0,560 yakınlık katsayısıyla Katar, 0,482 yakınlık katsayısıyla Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Mevcut kriterler ışığında var olan 4 alternatif ülke içerisinde yakınlık katsayısı en düşük sonuç veren ülke ise 0,342 ile Nijerya olmuştur.

6.5. Duyarlılık Analizi

Bu tez çalışması, bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımlarından önemli iki tanesi olan bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini entegre ederek geliştirilen bir yazılım ile ülkemiz için gün geçtikçe önemi artan alternatif enerji kaynağı tedariki sorununu ele almıştır. Bu doğrultuda, toplam 15 kriter altında ülkemiz için en uygun tedarikçinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Değerlendirmeler yapılırken uzman görüşleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu görüşlerin subjektif olması doğal olarak farklı uzmanlarla ve farklı değerlendirme yöntemleri ile farklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, çalışmanın 2020 yılı güncel şartlarına göre gerçekleştirildiği de değerlendirilmelidir. Farklı zaman şartları altında geçerliliği değişkenlik gösterebilir. Bu nedenden dolayı elde edilen sonuçlar 1. senaryo olarak kabul edilmiş ve şartlardaki olası değişkenlikler göz önüne alınarak ilave 4 farklı senaryo daha oluşturulmuştur.

2. senaryoda, ilerleyen yıllarda Türkiye ile en çok LNG tedarik ettiği ülke olan Cezayir'in siyasi ilişkilerinin çeşitli sebeplerle bozulduğu düşünülmektedir. Böyle bir durumda LNG tedariki için en elverişli ülkenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu alternatif senaryo için bulanık AHP ile belirlenen kriter ve alt kriter ağırlıkları Tablo 6.3.'te gösterilmektedir.

Tablo 6.3. Senaryo 2 için ana ve alt kriter ağırlıkları

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar
KALİTE	Pazar Payı	0,021
	Ün ve Sektördeki Pozisyonu	0
	Ürün Kalitesi	0,211
	Prosedürlere Uyum	0,089
	Yükleme Terminali Kapasitesi	0
	Teknik Kapasite	0
MALİYET		
ENERJİ BİRİM FİYATI		0,194
GÜNCEL SİYASİ DURUMLAR	Tedarikçi Ülkeler Ticari Anlaşmalar	0,153
	Tedarikçi Ülke Siyasi İstikrarı	0
	Tedarikçi Ülke ile Siyasi İlişkiler	0,169
	Tedarikçi Ülke LNG Politikası	0
LOJİSTİK	Mesafe Uzunluğu	0
	Mevsimsel Koşullar	0
	Risk Faktörü	0,102
	Vergi ve Taşıma Masrafları	0,061

2. senaryodaki değişiklik, uzmanların alternatif tedarikçi ülke olan Cezayir ile ilgili görüşlerinde olduğundan kriterlere ait ağırlıklarda önemli bir değişiklik olmamakla birlikte, “tedarikçi ülke ile siyasi ilişkiler” kriterinin ağırlığı yükseltilmiştir. Karar vericilerin bu senaryoda Cezayir ile ilgili görüşleri olumsuz olarak değiştiğinden bulanık TOPSIS sonucunda belirlenen alternatiflere ait sonuçlar Tablo 6.4.’te gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Senaryo 2 için alternatiflere ait bilgiler

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları
Amerika Birleşik Devletleri	0,495
Cezayir	0,242
Katar	0,590
Nijerya	0,363

Tablo 6.4.’teki bilgilere bakıldığında, 2. senaryoda en uygun LNG tedarikçisi ülkenin 0,590 katsayısıyla Katar olacağı belirlenmiştir.

3. senaryoda, Türkiye özellikle Doğu Akdeniz’de ve Ege’de yaşanması muhtemel gelişmelerin LNG’nin transferinde oluşabilecek riskleri artırdığını düşünmektedir. Bu durumun aynı zamanda taşınmada olası güzergâh değişimlerinden kaynaklı taşıma maliyetlerinin ve vergileri de artacağını öngörmektedir. Böyle bir durumda, bu iki alt kriterin ağırlıkları artırıldığında sonucun ne olacağı incelenmektedir. Üçüncü senaryo için kriter ve alt kriter ağırlıkları Tablo 6.5.’te gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Senaryo 3 için ana ve alt kriter ağırlıkları

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar	
KALİTE	Pazar Payı	0,019	0,295
	Ün ve Sektördeki Pozisyonu	0	
	Ürün Kalitesi	0,194	
	Prosedürlere Uyum	0,082	
	Yükleme Terminali Kapasitesi	0	
	Teknik Kapasite	0	
MALİYET			
ENERJİ BİRİM FİYATI		0,195	
GÜNCEL SİYASİ DURUMLAR	Tedarikçi Ülkeler Ticari Anlaşmalar	0,146	0,297
	Tedarikçi Ülke Siyasi İstikrarı	0,005	
	Tedarikçi Ülke ile Siyasi İlişkiler	0,146	
	Tedarikçi Ülke LNG Politikası	0	
LOJİSTİK	Mesafe Uzunluğu	0	0,213
	Mevsimsel Koşullar	0	
	Risk Faktörü	0,133	
	Vergi ve Taşıma Masrafları	0,080	

Tablo 6.5.’ten görülebileceği üzere, 3. senaryoda, lojistik ana kriterinin “risk faktörü” ve “vergi ve taşıma masrafları” alt kriterlerinin ağırlıklarının artması şeklinde bir değişiklik olduğundan lojistik ana kriterinin ağırlığı 0,213 olmuştur. Diğer kriterlerin ağırlıkları da bundan etkilenecek farklılık göstermiştir. Yeni ağırlıklar ile hesaplanan alternatiflere ait sonuçlar Tablo 6.6.’da sunulmuştur.

Tablo 6.6. Senaryo 3 için alternatiflere ait bilgiler

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları
Amerika Birleşik Devletleri	0,474
Cezayir	0,667
Katar	0,536
Nijerya	0,352

Tablo 6.6.'daki bilgilere bakıldığında, üçüncü senaryo için en uygun LNG tedarikçisi ülkenin 0,667 katsayısıyla Cezayir olacağı belirlenmiştir.

4. senaryoda Türkiye, ABD ile yaşanan bazı ciddi olayların ardından siyasi ilişkilerin kötüye gitmesi sonucunda LNG transferi konusundaki ticari anlaşmayı tek taraflı olarak feshetmiştir. Bu durumda ABD, alternatif ülkeler arasından çıkarılmıştır. Böyle bir durumda 3 alternatif tedarikçi ülke arasından hangisinin en uygun tedarikçi olacağı incelenmektedir. Bu senaryoya ait kriter ağırlıkları Tablo 6.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Senaryo 4 için ana ve alt kriter ağırlıkları

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar
KALİTE	Pazar Payı	0,021
	Ün ve Sektördeki Pozisyonu	0
	Ürün Kalitesi	0,211
	Prosedürlere Uyum	0,089
	Yükleme Terminali Kapasitesi	0
	Teknik Kapasite	0
MALİYET		
ENERJİ BİRİM FİYATI	0,193	
GÜNCEL SİYASİ DURUMLAR	Tedarikçi Ülkeler Ticari Anlaşmalar	0,158
	Tedarikçi Ülke Siyasi İstikrarı	0,005
	Tedarikçi Ülke ile Siyasi İlişkiler	0,158
	Tedarikçi Ülke LNG Politikası	0
LOJİSTİK	Mesafe Uzunluğu	0
	Mevsimsel Koşullar	0
	Risk Faktörü	0,101
	Vergi ve Taşıma Masrafları	0,061

4. senaryo için oluşan değişiklik alternatif tedarikçi ülkelerden ABD'nin çıkarılması olduğundan kriterlere ait ağırlıklarda bir değişiklik bulunmamaktadır. Bu senaryo için alternatiflere ait bilgiler Tablo 6.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Senaryo 4 için alternatiflere ait bilgiler

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları
Cezayir	0,643
Katar	0,589
Nijerya	0,316

Tablo 6.8.'deki bilgilere bakıldığında, ABD'nin olmadığı senaryoda en uygun LNG tedarikçisi ülkenin 0,643 katsayısıyla Cezayir olacağı belirlenmiştir. İkinci en uygun tedarikçi olarak 0,589 yakınlık katsayısına sahip Katar, son sırada ise 0,316 yakınlık katsayısı ile Nijerya bulunmaktadır.

5. ve son senaryoda Rusya ile ilişkilerin kötüye gitmesi sonucunda Rusya'nın, doğalgazı kesme ihtimaline karşılık, Türkiye hızlıca bir alternatif çözüm aramaktadır ancak kış mevsimine kısa süre kalmıştır. Bu nedenle, Türkiye mevsimsel koşulları ciddi anlamda göz önünde bulundurarak kış mevsimi geldiğinde halkın artan doğalgaz talebini karşılayabilmek için hangi ülkeden en kısa sürede LNG transferi gerçekleştirebileceğini araştırmaktadır. Böyle bir durumda sonucun ne olacağı incelenmektedir. Bu senaryo için ana kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları Tablo 6.9.'da gösterilmektedir.

Tablo 6.9. Senaryo 5 için ana ve alt kriter ağırlıkları

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar
KALİTE	Pazar Payı	0,019
	Ün ve Sektördeki Pozisyonu	0
	Ürün Kalitesi	0,194
	Prosedürlere Uyum	0,082
	Yükleme Terminali Kapasitesi	0
	Teknik Kapasite	0
MALİYET		
ENERJİ BİRİM FİYATI		0,195
GÜNCEL SİYASİ DURUMLAR	Tedarikçi Ülkeler Ticari Anlaşmalar	0,145
	Tedarikçi Ülke Siyasi İstikrarı	0,004
	Tedarikçi Ülke ile Siyasi İlişkiler	0,145
	Tedarikçi Ülke LNG Politikası	0
LOJİSTİK	Mesafe Uzunluğu	0,162
	Mevsimsel Koşullar	0,054
	Risk Faktörü	0
	Vergi ve Taşıma Masrafları	0

5. senaryo için lojistik ana kriterinin “mesafe uzunluğu” ve “mevsimsel koşullar” alt kriterlerinin ağırlıklarının artması şeklinde bir değişiklik olduğundan lojistik ana kriterinin ağırlığı 0,216 olmuştur. Diğer kriterlerin ağırlıkları da dolaylı olarak etkilenmiştir. Beşinci senaryoya ait alternatif bilgileri Tablo 6.10.’daki gibidir.

Tablo 6.10. Senaryo 5 için alternatiflere ait bilgiler

Alternatifler	Yakınlık Katsayıları
Amerika Birleşik Devletleri	0,417
Cezayir	0,604
Katar	0,578
Nijerya	0,269

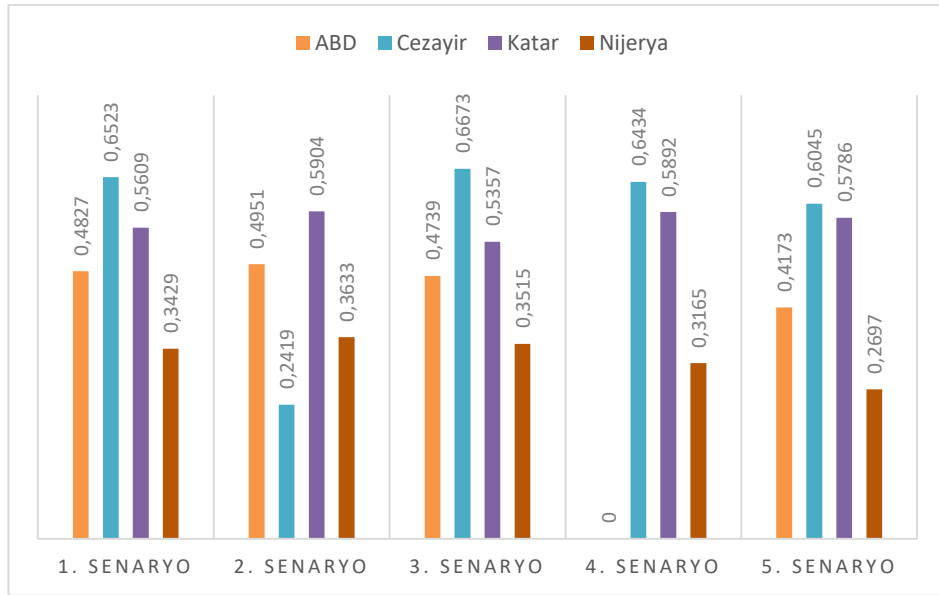
Tablo 6.10.’daki bilgilere bakıldığında, bulanık TOPSIS yönteminin adımlarının uygulanması sonucunda mevcut kriterler ve bunlara ilişkin uzman görüşleri ve

değerlendirmeleri altında en uygun LNG tedarikçisi ülkenin 0,604 katsayısıyla Cezayir olacağı belirlenmiştir.

Çalışmada birbirinden farklı 5 senaryo uygulanarak, gelecekte karşılaşılması muhtemel durumlar ve olaylar göz önüne alındığında ne gibi sonuçlar ile karşılaşılacağı değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

LNG, ülkemizin alternatif enerji kaynağı ihtiyacını bir ölçüde karşılayabilecek bir potansiyele sahiptir. Ancak, bu önemli alternatif kaynağı, ihtiyaçları karşılayacak şekilde ve ülkeler arası ilişkiler, lojistik imkânları ve fiyat gibi farklı karar değişkenleri altında en uygun tedarikçiden karşılamak gerekmektedir. Bu çalışmada, belirli kriterler altında ülkemizin bu ihtiyacını karşılayabilecek en uygun tedarikçi ülkenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan entegre çok kriterli karar verme yazılımının, kriterlerin ağırlıklandırılması ve önem derecelerinin belirlenmesi aşamasında bulanık AHP adımlarından yararlanılmıştır. En uygun tedarikçinin belirlenmesi için alternatifler arasından seçim yapılması sırasında ise bulanık TOPSIS'ten faydalanılmıştır. Toplamda 5 farklı senaryo denenerek, çalışmanın kapsadığı ihtimaller kümesi genişletilmiştir. Bu çerçevede, tüm senaryolar bir arada değerlendirildiğinde alternatif ülkeler açısından ortaya çıkan sonuçlar Şekil 7.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Senaryolara göre alternatif ülkelerin yakınlık katsayı değerleri

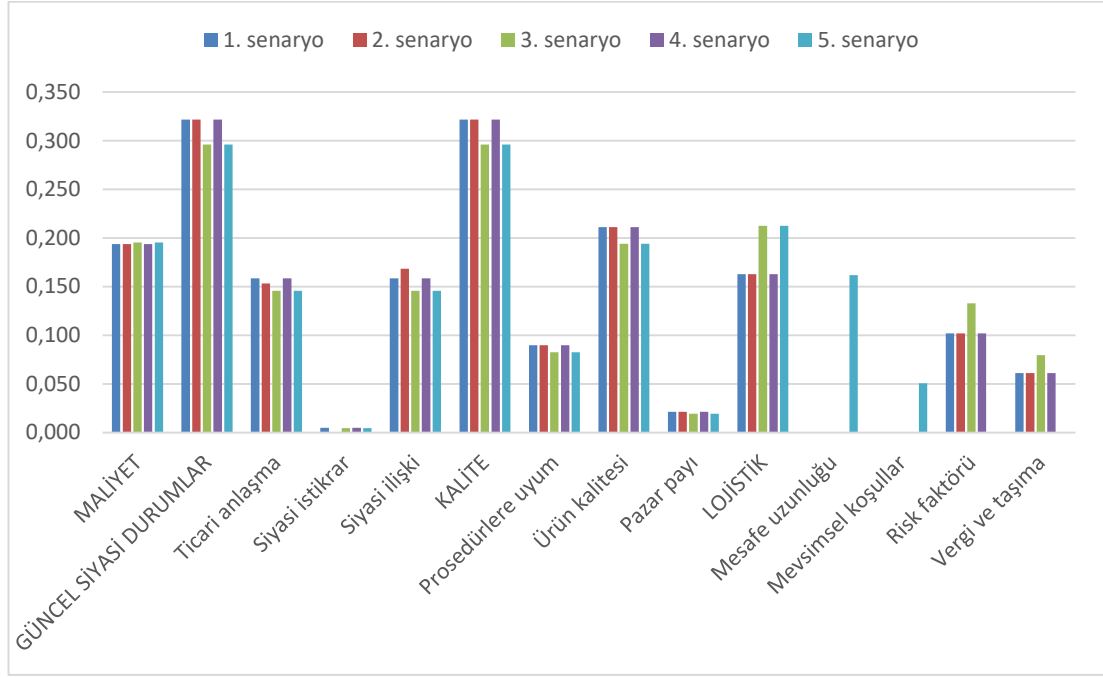
Şekil 7.1. incelendiğinde; Cezayir için özellikle 2. senaryo da yani Cezayir ile siyasi ilişkilerin kötüye gittiği durumda yakınlık katsayısının oldukça düştüğü görülmekte ve en iyi tedarikçi ülke olma özelliğini kaybetmektedir. 3., 4. ve 5. senaryolarda Cezayir en iyi alternatif tedarikçi ülke olmaya devam etmektedir.

Katar değerlendirilecek olursa 2. senaryoda yani Cezayir ile ilişkiler kötüye gittiğinde yakınlık katsayısı artmıştır ve en iyi tedarikçi ülke olarak belirlenmiştir. 3. senaryoda ise yani lojistik kriterinin “risk faktörü” ve “vergi ve taşıma masrafları” alt kriterlerinin ağırlıklarının artması durumunda yakınlık katsayısının azaldığı görülmektedir. Buradan Katar’ın lojistik kriterine ait kriterinin “risk faktörü” ve “vergi ve taşıma masrafları” alt kriterleri açısından çok iyi bir alternatif olmadığı anlaşılmaktadır. 5. senaryoda ise lojistik kriterinin “mevsimsel koşullar” ve “mesafe uzunluğu” alt kriterlerinin ağırlıklarının artması durumunda yakınlık katsayısının arttığı görülmektedir. Buradan da Katar’ın lojistik kriterine ait “mevsimsel koşullar” ve “mesafe uzunluğu” alt kriterleri açısından iyi bir alternatif olduğu anlaşılmaktadır.

Nijerya değerlendirilecek olursa 2. ve 3. senaryolarda yakınlık katsayısı artsa da en kötü iki alternatiften biri olma özelliğinin değişmediği görülmektedir.

ABD değerlendirildiğinde 2. senaryoda 1. senaryoya göre yakınlık katsayısı olarak çok fark olmasa da ABD, en iyi ikinci sıradaki tedarikçi ülke olarak göze çarpmaktadır. 3. senaryoda ise yani lojistik kriterinin “risk faktörü” ve “vergi ve taşıma masrafları” alt kriterlerinin ağırlıklarının artması durumunda yakınlık katsayısının azaldığı görülmektedir. Buradan ABD’nin lojistik kriterine ait “risk faktörü” ve “vergi ve taşıma masrafları” alt kriterleri açısından çok iyi bir alternatif olmadığı anlaşılmaktadır. Yine aynı şekilde 5. senaryoda da lojistik kriterinin “mevsimsel koşullar” ve “mesafe uzunluğu” alt kriterlerinin ağırlıklarının artması durumunda yakınlık katsayısının azaldığı görülmektedir. Buradan da ABD’nin lojistik kriterine ait “mevsimsel koşullar” ve “mesafe uzunluğu” alt kriterleri açısından çok iyi bir alternatif olmadığı anlaşılmaktadır. ABD için genel olarak lojistik kriteri açısından iyi bir alternatif olmadığı anlaşılmaktadır. 4. senaryoda ise Türkiye ABD’den alımı kesme kararı aldığından yakınlık katsayısının doğal olarak 0 olduğu görülmektedir.

Tüm senaryoların bir arada değerlendirildiği durumda kriter ve alt kriterler açısından ortaya çıkan sonuçlar ise Şekil 7.2.'de sunulmaktadır.



Şekil 7.2. Senaryolara göre kriterlerin ağırlık değerleri

Şekil 7.2. incelendiğinde, kriterlerin ağırlıklarındaki en önemli değişim 3. senaryoda ve 5. senaryoda görülmektedir. Çünkü 3. senaryoda Türkiye'nin Doğu Akdeniz ve Ege'deki olabilecek olumsuz gelişmelerden dolayı lojistik ana kriterine ait "risk faktörü" ile "vergi ve taşıma masrafları" alt kriterlerinin daha önemli olduğuna karar verdiğinden dolayı bu alt kriterinin ağırlığının oldukça arttığı görülmektedir. 5. senaryoda ise kısa yakın bir dönemde iken Rusya'dan doğalgaz alımı kesilmesiyle birlikte lojistik ana kriterine ait "mevsimsel koşullar" ve "mesafe uzunluğu" alt kriterlerine verilen önemin artmasından dolayı diğer senaryolarda bu alt kriterlerin ağırlığı 0 olmasına rağmen 5. senaryoda bu kriterlerin ağırlıkları oldukça artış göstermiştir. Lojistik kriterine ait alt kriterlerin artmasından dolayı lojistik ana kriterinin ağırlığı da 3. ve 5. senaryolarda diğer senaryolara göre artış göstermiştir. Lojistik kriterinin ağırlığı arttığından dolayı diğer bazı kriterlerin ağırlıkları da 3. ve 5. senaryolarda bir miktar azalma göstermiştir.

2. senaryoda da tedarikçi ülkeyle olan siyasi ilişki kriterinin ağırlığı artmaktadır. Bunun dışında, 2. ve 4. senaryolarda asıl olarak uzmanların alternatif tedarikçi ülkelere ait görüşlerinde değişim olduğundan kriter ağırlıkları açısından 1. senaryo ile aralarında pek bir fark görülmemektedir.

LNG ülkemiz için önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada ele alınan alternatif ülkeler dışında, dünyada her ne kadar az olsa da başka LNG tedarikçisi ülkeler de bulunmaktadır. Dolayısıyla, gelecek çalışmalarda farklı alternatif ülkeler arasından farklı senaryolarla değerlendirmeler yapılabilir. Yine, çeşitli farklı kriterler ele alınarak değişik bakış açıları üzerinden değerlendirilmeye müsait bir konu olması sebebiyle bu yönüyle de farklı çalışmalara konu olabilir. LNG limanları ya da LNG istasyonları için en uygun yerin belirlenmesi gibi çeşitli alanlarda da çalışmalar gerçekleştirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, S. G. D. B. Doğal Gaz Piyasası 2018 Yılı Sektör Raporu; T.C. ENERJİ PİYASASI DÜZENLEME KURUMU, 2019.
- [2] LNG'nin Hikayesi | Etki Liman İşletmeleri Doğalgaz İthalat ve Ticaret AŐ <http://www.etkiliman.com.tr/Lng-nin-Hikayesi.html>, Eriřim Tarihi: 26.11.2019.
- [3] Doğal gaz ithalatında LNG'nin payı yükseliyor <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/dogal-gaz-ithalatinda-Ingnin-payi-yukseliyor/1571797>, Eriřim Tarihi: 27.11.2019.
- [4] Kaya, T.; Kahraman, C. Multicriteria Decision Making in Energy Planning Using a Modified Fuzzy TOPSIS Methodology. *Expert Systems with Applications*, 38 (6), 6577–6585, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.081>.
- [5] Amer, M.; Daim, T. U. Selection of Renewable Energy Technologies for a Developing County: A Case of Pakistan. *Energy for Sustainable Development*, 15 (4), 420–435, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.001>.
- [6] Zare, K.; Mehri-Tekmeh, J.; Karimi, S. A SWOT Framework for Analyzing the Electricity Supply Chain Using an Integrated AHP Methodology Combined with Fuzzy-TOPSIS. *International Strategic Management Review*, 3 (1), 66–80, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.07.001>.
- [7] Shen, Y.-C.; Chou, C. J.; Lin, G. T. R. The Portfolio of Renewable Energy Sources for Achieving the Three E Policy Goals. *Energy*, 36 (5), 2589–2598, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.053>.
- [8] Toossi, A.; Camci, F.; Varga, L. Developing an AHP Based Decision Model for Energy Systems Policy Making. In 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 1456–1460, 2013. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2013.6505886>.

- [9] Tasri, A.; Susilawati, A. Selection among Renewable Energy Alternatives Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Indonesia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 34–44, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.02.008>.
- [10] Luthra, S.; Mangla, S. K.; Kharb, R. K. Sustainable Assessment in Energy Planning and Management in Indian Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 58–73, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.007>.
- [11] Ghimire, L. P.; Kim, Y. An Analysis on Barriers to Renewable Energy Development in the Context of Nepal Using AHP. *Renewable Energy*, 129, 446–456, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.011>.
- [12] Wang, Y.; Xu, L.; Solangi, Y. A. Strategic Renewable Energy Resources Selection for Pakistan: Based on SWOT-Fuzzy AHP Approach. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101861, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101861>.
- [13] Ahmad, S.; Tahar, R. M. Selection of Renewable Energy Sources for Sustainable Development of Electricity Generation System Using Analytic Hierarchy Process: A Case of Malaysia. *Renewable Energy*, 63, 458–466, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.001>.
- [14] Sahabmanesh, A.; Saboohi, Y. Model of Sustainable Development of Energy System, Case of Hamedan. *Energy Policy*, 104, 66–79, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.039>.
- [15] Solangi, Y. A.; Tan, Q.; Mirjat, N. H.; Ali, S. Evaluating the Strategies for Sustainable Energy Planning in Pakistan: An Integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS Approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117655, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117655>.
- [16] Haddad, B.; Liazid, A.; Ferreira, P. A Multi-Criteria Approach to Rank Renewables for the Algerian Electricity System. *Renewable Energy*, 107, 462–472, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.035>.
- [17] Ziembra, P.; Wątróbski, J.; Ziolo, M.; Karczmarczyk, A. Using the PROSA Method in Offshore Wind Farm Location Problems. *Energies*, 10 (11), 1755, 2017. <https://doi.org/10.3390/en10111755>.
- [18] Okello, C.; Pindozi, S.; Faugno, S.; Boccia, L. Appraising Bioenergy Alternatives in Uganda Using Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT)-Analytical Hierarchy Process (AHP) and a Desirability Functions Approach. *Energies*, 7 (3), 1171–1192, 2014. <https://doi.org/10.3390/en7031171>.

- [19] Ahmad, S.; Nadeem, A.; Akhanova, G.; Houghton, T.; Muhammad-Sukki, F. Multi-Criteria Evaluation of Renewable and Nuclear Resources for Electricity Generation in Kazakhstan. *Energy*, 141, 1880–1891, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.102>.
- [20] Karatas, M.; Sulukan, E.; Karacan, I. Assessment of Turkey's Energy Management Performance via a Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Methodology. *Energy*, 153, 890–912, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.051>.
- [21] Wu, Y.; Xu, C.; Zhang, T. Evaluation of Renewable Power Sources Using a Fuzzy MCDM Based on Cumulative Prospect Theory: A Case in China. *Energy*, 147, 1227–1239, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.115>.
- [22] Miciuła, I.; Nowakowska-Grunt, J. Using the AHP Method to Select an Energy Supplier for Household in Poland. *Procedia Computer Science*, 159, 2324–2334, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.407>.
- [23] Thomas L Saaty. *The Analytic Hierarchy Process*; New York: McGraw-Hill, 1980.
- [24] Barker, T. J.; Zabinsky, Z. B. A Multicriteria Decision Making Model for Reverse Logistics Using Analytical Hierarchy Process. *Omega*, 39 (5), 558–573, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.12.002>.
- [25] Yusof, N. A. M.; Salleh, S. H. Analytical Hierarchy Process in Multiple Decisions Making for Higher Education in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 81, 389–394, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.06.448>.
- [26] Buyurgan, N.; Saygin, C. Application of the Analytical Hierarchy Process for Real-Time Scheduling and Part Routing in Advanced Manufacturing Systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 27 (3), 101–110, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2008.08.002>.
- [27] Erbyık, H.; Özcan, S.; Karaboğa, K. Retail Store Location Selection Problem with Multiple Analytical Hierarchy Process of Decision Making an Application in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 1405–1414, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.1125>.
- [28] Khashei-Siuki, A.; Keshavarz, A.; Sharifan, H. Comparison of AHP and FAHP Methods in Determining Suitable Areas for Drinking Water Harvesting in Birjand Aquifer. *Iran. Groundwater for Sustainable Development*, 100328, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100328>.

- [29] Ghavami, S. M.; Borzooei, Z.; Maleki, J. An Effective Approach for Assessing Risk of Failure in Urban Sewer Pipelines Using a Combination of GIS and AHP-DEA. *Process Safety and Environmental Protection*, 133, 275–285, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.10.036>.
- [30] Wang, Z.; Ran, Y.; Chen, Y.; Yu, H.; Zhang, G. Failure Mode and Effects Analysis Using Extended Matter-Element Model and AHP. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106233, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106233>.
- [31] Ikram, M.; Sroufe, R.; Qingyu, Z. Prioritizing and Overcoming Barriers to Integrated Management System (IMS) Implementation Using AHP and G-TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 120121, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120121>.
- [32] Colak, H. E.; Memisoglu, T.; Gercek, Y. Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic (PV) Power Plants Using GIS and AHP: A Case Study of Malatya Province, Turkey. *Renewable Energy*, 149, 565–576, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.078>.
- [33] Kaur, L.; Rishi, M. S.; Singh, G.; Nath Thakur, S. Groundwater Potential Assessment of an Alluvial Aquifer in Yamuna Sub-Basin (Panipat Region) Using Remote Sensing and GIS Techniques in Conjunction with Analytical Hierarchy Process (AHP) and Catastrophe Theory (CT). *Ecological Indicators*, 110, 105850, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105850>.
- [34] Neissi, L.; Albaji, M.; Boroomand Nasab, S. Combination of GIS and AHP for Site Selection of Pressurized Irrigation Systems in the Izeh Plain, Iran. *Agricultural Water Management*, 231, 106004, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106004>.
- [35] D'Adamo, I.; Falcone, P. M.; Gastaldi, M.; Morone, P. RES-T Trajectories and an Integrated SWOT-AHP Analysis for Biomethane. Policy Implications to Support a Green Revolution in European Transport. *Energy Policy*, 111220, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111220>.
- [36] Du, Y.; Zheng, Y.; Wu, G.; Tang, Y. Decision-Making Method of Heavy-Duty Machine Tool Remanufacturing Based on AHP-Entropy Weight and Extension Theory. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119607, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119607>.
- [37] Seyedmohammadi, J.; Sarmadian, F.; Jafarzadeh, A. A.; McDowell, R. W. Development of a Model Using Matter Element, AHP and GIS Techniques to Assess the Suitability of Land for Agriculture. *Geoderma*, 352, 80–95, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.046>.

- [38] Wang, B.; Xie, H.-L.; Ren, H.-Y.; Li, X.; Chen, L.; Wu, B.-C. Application of AHP, TOPSIS, and TFNs to Plant Selection for Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soils in Shale Gas and Oil Fields. *Journal of Cleaner Production*, 233, 13–22, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.301>.
- [39] Xu, S.; Xu, D.; Liu, L. Construction of Regional Informatization Ecological Environment Based on the Entropy Weight Modified AHP Hierarchy Model. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 22, 26–31, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2019.01.015>.
- [40] Lima, E.; Gorski, E.; Loures, E. F. R.; Santos, E. A. P.; Deschamps, F. Applying Machine Learning to AHP Multicriteria Decision Making Method to Assets Prioritization in the Context of Industrial Maintenance 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 2152–2157, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.524>.
- [41] Kilic, B.; Ucler, C. Stress among Ab-Initio Pilots: A Model of Contributing Factors by AHP. *Journal of Air Transport Management*, 80, 101706, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101706>.
- [42] Unutmaz Durmuşoğlu, Z. D. Assessment of Techno-Entrepreneurship Projects by Using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Technology in Society*, 54, 41–46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.02.001>.
- [43] Baswaraj.S, A.; Sreenivasa Rao, M.; Pawar, P. J. Application of AHP for Process Parameter Selection and Consistency Verification in Secondary Steel Manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 5 (13), 27166–27170, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.09.027>.
- [44] Pamučar, D.; Stević, Ž.; Zavadskas, E. K. Integration of Interval Rough AHP and Interval Rough MABAC Methods for Evaluating University Web Pages. *Applied Soft Computing*, 67, 141–163, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.057>.
- [45] Ozdemir, S.; Sahin, G. Multi-Criteria Decision-Making in the Location Selection for a Solar PV Power Plant Using AHP. *Measurement*, 129, 218–226, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.020>.
- [46] Kokangül, A.; Polat, U.; Dağsuyu, C. A New Approximation for Risk Assessment Using the AHP and Fine Kinney Methodologies. *Safety Science*, 91, 24–32, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.015>.

- [47] Hillerman, T.; Souza, J. C. F.; Reis, A. C. B.; Carvalho, R. N. Applying Clustering and AHP Methods for Evaluating Suspect Healthcare Claims. *Journal of Computational Science*, 19, 97–111, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.02.007>.
- [48] Dong, Q.; Cooper, O. An Orders-of-Magnitude AHP Supply Chain Risk Assessment Framework. *International Journal of Production Economics*, 182, 144–156, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.021>.
- [49] Gürcan, Ö. F.; Yazıcı, İ.; Beyca, Ö. F.; Arslan, Ç. Y.; Eldemir, F. Third Party Logistics (3PL) Provider Selection with AHP Application. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 235, 226–234, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.11.018>.
- [50] Dweiri, F.; Kumar, S.; Khan, S. A.; Jain, V. Designing an Integrated AHP Based Decision Support System for Supplier Selection in Automotive Industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273–283, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.030>.
- [51] Lee, J.; Lee, H. Deriving Strategic Priority of Policies for Creative Tourism Industry in Korea Using AHP. *Procedia Computer Science*, 55, 479–484, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.018>.
- [52] Jovanović, B.; Filipović, J.; Bakić, V. Prioritization of Manufacturing Sectors in Serbia for Energy Management Improvement – AHP Method. *Energy Conversion and Management*, 98, 225–235, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.03.107>.
- [53] Lolli, F.; Ishizaka, A.; Gamberini, R. New AHP-Based Approaches for Multi-Criteria Inventory Classification. *International Journal of Production Economics*, 156, 62–74, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.05.015>.
- [54] Ozgormus, E.; Mutlu, O.; Guner, H. Bulanik AHP İle Personel Seçimi; İstanbul Ticaret Üniversitesi, 2005.
- [55] Montazar, A.; Gheidari, O. N.; Snyder, R. L. A Fuzzy Analytical Hierarchy Methodology for the Performance Assessment of Irrigation Projects. *Agricultural Water Management*, 121, 113–123, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.01.011>.
- [56] Karimi, A. R.; Mehrdadi, N.; Hashemian, S. J.; Bidhendi, G. R. N.; Moghaddam, R. T. Selection of Wastewater Treatment Process Based on the Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Analytical Hierarchy Process Methods. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 8 (2), 267–280, 2011. <https://doi.org/10.1007/BF03326215>.

- [57] Yilmaz, E. Bulanık AHP-VIKOR Bütünleşik Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33 (2), 331–354, 2012. <https://doi.org/10.14780/iibd.75819>.
- [58] Sofyalioglu, C.; Kartal, B. The Selection of Global Supply Chain Risk Management Strategies by Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process – A Case from Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 1448–1457, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.1131>.
- [59] Rajasekhar, M.; Sudarsana Raju, G.; Sreenivasulu, Y.; Siddi Raju, R. Delineation of Groundwater Potential Zones in Semi-Arid Region of Jilledubanderu River Basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India Using Fuzzy Logic, AHP and Integrated Fuzzy-AHP Approaches. *HydroResearch*, 2, 97–108, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.11.006>.
- [60] Marhavilas, P. K.; Filippidis, M.; Koulinas, G. K.; Koulouriotis, D. E. An Expanded HAZOP-Study with Fuzzy-AHP (XPA-HAZOP Technique): Application in a Sour Crude-Oil Processing Plant. *Safety Science*, 124, 104590, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104590>.
- [61] Li, M.; Wang, H.; Wang, D.; Shao, Z.; He, S. Risk Assessment of Gas Explosion in Coal Mines Based on Fuzzy AHP and Bayesian Network. *Process Safety and Environmental Protection*, 135, 207–218, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.01.003>.
- [62] Olabanji, O. M.; Mpofu, K. Hybridized Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Weighted Average for Identifying Optimal Design Concept. *Heliyon*, 6 (1), e03182, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03182>.
- [63] Çolak, M.; Kaya, İ. Multi-Criteria Evaluation of Energy Storage Technologies Based on Hesitant Fuzzy Information: A Case Study for Turkey. *Journal of Energy Storage*, 28, 101211, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101211>.
- [64] Khan, A. A.; Shameem, M.; Kumar, R. R.; Hussain, S.; Yan, X. Fuzzy AHP Based Prioritization and Taxonomy of Software Process Improvement Success Factors in Global Software Development. *Applied Soft Computing*, 83, 105648, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105648>.
- [65] Breaz, R. E.; Bologa, O.; Racz, S. G.; Crenganiş, M. Selecting between CNC Turning Centers Using a Combined AHP and Fuzzy Approach. *Procedia Computer Science*, 162, 290–297, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.287>.

- [66] Calabrese, A.; Costa, R.; Levialedi, N.; Menichini, T. Integrating Sustainability into Strategic Decision-Making: A Fuzzy AHP Method for the Selection of Relevant Sustainability Issues. *Technological Forecasting and Social Change*, 139, 155–168, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.11.005>.
- [67] Nirmala, G.; Uthra, G. AHP Based on Triangular Intuitionistic Fuzzy Number and Its Application to Supplier Selection Problem. *Materials Today: Proceedings*, 16, 987–993, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.186>.
- [68] Güler, M.; Büyüközkan, G. Analysis of Digital Transformation Strategies with an Integrated Fuzzy AHP-Axiomatic Design Methodology. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 1186–1191, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.359>.
- [69] Amini, S.; Rohani, A.; Aghkhani, M. H.; Abbaspour-Fard, M. H.; Asgharipour, M. R. Assessment of Land Suitability and Agricultural Production Sustainability Using a Combined Approach (Fuzzy-AHP-GIS): A Case Study of Mazandaran Province, Iran. *Information Processing in Agriculture*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.10.001>.
- [70] Behera, S.; Panigrahi, M. K.; Pradhan, A. Identification of Geochemical Anomaly and Gold Potential Mapping in the Sonakhan Greenstone Belt, Central India: An Integrated Concentration-Area Fractal and Fuzzy AHP Approach. *Applied Geochemistry*, 107, 45–57, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.05.015>.
- [71] Yang, Y.; Yuan, G.; Zhuang, Q.; Tian, G. Multi-Objective Low-Carbon Disassembly Line Balancing for Agricultural Machinery Using MDFOA and Fuzzy AHP. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1465–1474, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.035>.
- [72] Ilbahar, E.; Karaşan, A.; Cebi, S.; Kahraman, C. A Novel Approach to Risk Assessment for Occupational Health and Safety Using Pythagorean Fuzzy AHP & Fuzzy Inference System. *Safety Science*, 103, 124–136, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.025>.
- [73] Kaganski, S.; Majak, J.; Karjust, K. Fuzzy AHP as a Tool for Prioritization of Key Performance Indicators. *Procedia CIRP*, 72, 1227–1232, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.097>.
- [74] Mahtani, U. S.; Garg, C. P. An Analysis of Key Factors of Financial Distress in Airline Companies in India Using Fuzzy AHP Framework. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 117, 87–102, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.016>.

- [75] Sahin, B.; Yip, T. L. Shipping Technology Selection for Dynamic Capability Based on Improved Gaussian Fuzzy AHP Model. *Ocean Engineering*, 136, 233–242, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.03.032>.
- [76] Asakereh, A.; Soleymani, M.; Sheikhdavoodi, M. J. A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran. *Solar Energy*, 155, 342–353, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.075>.
- [77] Modak, M.; Pathak, K.; Ghosh, K. K. Performance Evaluation of Outsourcing Decision Using a BSC and Fuzzy AHP Approach: A Case of the Indian Coal Mining Organization. *Resources Policy*, 52, 181–191, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.03.002>.
- [78] Anish Kumar, K.; Senthil Kumar, P.; Madhusudanan, S.; Pasupathy, V.; Vignesh, P. R.; Sankaranarayanan, A. R. A Simplified Model for Evaluating Best Biodiesel Production Method: Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach. *Sustainable Materials and Technologies*, 12, 18–22, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.03.002>.
- [79] Wang, Q.; Wang, H.; Qi, Z. An Application of Nonlinear Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Safety Evaluation of Coal Mine. *Safety Science*, 86, 78–87, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.02.012>.
- [80] Leong, Y. T.; Tan, R. R.; Aviso, K. B.; Chew, I. M. L. Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Targeting for Inter-Plant Chilled and Cooling Water Network Synthesis. *Journal of Cleaner Production*, 110, 40–53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.036>.
- [81] Babashamsi, P.; Golzadfar, A.; Yusoff, N. I. M.; Ceylan, H.; Nor, N. G. M. Integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process and VIKOR Method in the Prioritization of Pavement Maintenance Activities. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9 (2), 112–120, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.03.002>.
- [82] Biju, P. L.; Shalij, P. R.; Prabhushankar, G. V. Evaluation of Customer Requirements and Sustainability Requirements through the Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Journal of Cleaner Production*, 108, 808–817, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.051>.
- [83] Nguyen, A. T.; Nguyen, L. D.; Le-Hoai, L.; Dang, C. N. Quantifying the Complexity of Transportation Projects Using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 33 (6), 1364–1376, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.007>.

- [84] Montazar, A.; Gheidari, O. N.; Snyder, R. L. A Fuzzy Analytical Hierarchy Methodology for the Performance Assessment of Irrigation Projects. *Agricultural Water Management*, 121, 113–123, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.01.011>.
- [85] Tang, Y.-C.; Chang, C.-T. Multicriteria Decision-Making Based on Goal Programming and Fuzzy Analytic Hierarchy Process: An Application to Capital Budgeting Problem. *Knowledge-Based Systems*, 26, 288–293, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2011.10.005>.
- [86] Padma, T.; Balasubramanie, P. A Fuzzy Analytic Hierarchy Processing Decision Support System to Analyze Occupational Menace Forecasting the Spawning of Shoulder and Neck Pain. *Expert Systems with Applications*, 38 (12), 15303–15309, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.06.037>.
- [87] Wang, J.; Fan, K.; Wang, W. Integration of Fuzzy AHP and FPP with TOPSIS Methodology for Aeroengine Health Assessment. *Expert Systems with Applications*, 37 (12), 8516–8526, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.05.024>.
- [88] Tiryaki, F.; Ahlatcioglu, B. Fuzzy Portfolio Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Information Sciences*, 179 (1), 53–69, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.07.023>.
- [89] Özgörmüş, E.; Mutlu, Ö.; Güner, H. Bulanık AHP ile Personel Seçimi. 2005.
- [90] Chang, D.-Y. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95 (3), 649–655, 1996. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2).
- [91] Hwang, C.-L.; Yoon, K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey; Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems; Springer-Verlag: New York, NY, 1981. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_1.
- [92] Ramasamy, V.; Subramanian, Y.; Varadarajan, S.; Ramaswamy, K.; Kaliappan, K.; Arulmozhi, D.; Srinivasan, G. R.; Gubendiran, R. K. Influence of Process Parameters on the Optimisation of Crystalline Phase, Size and Strain of Multiferroic Bismuth Iron Tri Oxide (BiFeO₃) Nanoceramics: A MCDM Based TOPSIS Approach. *Ceramics International*, 46 (2), 1457–1471, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.111>.

- [93] Seker, S.; Aydin, N. Hydrogen Production Facility Location Selection for Black Sea Using Entropy Based TOPSIS under IVPF Environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.183>.
- [94] Abdel-Basset, M.; Mohamed, R. A Novel Plithogenic TOPSIS- CRITIC Model for Sustainable Supply Chain Risk Management. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119586, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119586>.
- [95] Zhang, L.; Zhan, J.; Yao, Y. Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method Based on CVPIFRS Models: An Application to Biomedical Problems. *Information Sciences*, 517, 315–339, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.01.003>.
- [96] Chen, P. Effects of Normalization on the Entropy-Based TOPSIS Method. *Expert Systems with Applications*, 136, 33–41, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.06.035>.
- [97] Dash, R.; Samal, S.; Dash, R.; Rautray, R. An Integrated TOPSIS Crow Search Based Classifier Ensemble: In Application to Stock Index Price Movement Prediction. *Applied Soft Computing*, 85, 105784, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105784>.
- [98] El Allaki, F.; Christensen, J.; Vallières, A. A Modified TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) Applied to Choosing Appropriate Selection Methods in Ongoing Surveillance for Avian Influenza in Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, 165, 36–43, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.02.006>.
- [99] Zhang, X.; Su, J. A Combined Fuzzy DEMATEL and TOPSIS Approach for Estimating Participants in Knowledge-Intensive Crowdsourcing. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106085, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106085>.
- [100] Jha, K.; Kumar, R.; Verma, K.; Chaudhary, B.; Tyagi, Y. K.; Singh, S. Application of Modified TOPSIS Technique in Deciding Optimal Combination for Bio-Degradable Composite. *Vacuum*, 157, 259–267, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.08.063>.
- [101] Ligus, M.; Peternek, P. Determination of Most Suitable Low-Emission Energy Technologies Development in Poland Using Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS Method. *Energy Procedia*, 153, 101–106, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.046>.

- [102] Shukla, A.; Agarwal, P.; Rana, R. S.; Purohit, R. Applications of TOPSIS Algorithm on Various Manufacturing Processes: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4 (4), 5320–5329, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.042>.
- [103] Srirangan, A. K.; Sathiya, P. Optimisation of Process Parameters for Gas Tungsten Arc Welding of Incoloy 800HT Using TOPSIS. *Materials Today: Proceedings*, 4 (2), 2031–2039, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.048>.
- [104] Zhao, J.; Fang, Z. Research on Campus Bike Path Planning Scheme Evaluation Based on TOPSIS Method: Wei'shui Campus Bike Path Planning as an Example. *Procedia Engineering*, 137, 858–866, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.326>.
- [105] Kazan, H.; Karaman, E.; Akçalı, B. Y.; Şişmanoğlu, E. Assessment of TEOG Examination Success: Topsis Multi-Criteria Decision-Making Method Practice. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 915–924, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.371>.
- [106] Palczewski, K.; Sałabun, W. The Fuzzy TOPSIS Applications in the Last Decade. *Procedia Computer Science*, 159, 2294–2303, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.404>.
- [107] Boran, F. E.; Genç, S.; Kurt, M.; Akay, D. A Multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method. *Expert Systems with Applications*, 36 (8), 11363–11368, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>.
- [108] Wang, J.-W.; Cheng, C.-H.; Huang, K.-C. Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection. *Applied Soft Computing*, 9 (1), 377–386, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2008.04.014>.
- [109] Dağdeviren, M.; Yavuz, S.; Kılınç, N. Weapon Selection Using the AHP and TOPSIS Methods under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 8143–8151, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.016>.
- [110] Amiri, M. P. Project Selection for Oil-Fields Development by Using the AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Expert Systems with Applications*, 37 (9), 6218–6224, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.103>.
- [111] Sun, C.-C. A Performance Evaluation Model by Integrating Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Expert Systems with Applications*, 37 (12), 7745–7754, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.066>.

- [112] Kelemenis, A.; Askounis, D. A New TOPSIS-Based Multi-Criteria Approach to Personnel Selection. *Expert Systems with Applications*, 37 (7), 4999–5008, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.013>.
- [113] Krohling, R. A.; Campanharo, V. C. Fuzzy TOPSIS for Group Decision Making: A Case Study for Accidents with Oil Spill in the Sea. *Expert Systems with Applications*, 38 (4), 4190–4197, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.081>.
- [114] Büyüközkan, G.; Çifçi, G. A Novel Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS to Evaluate Green Suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 3000–3011, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>.
- [115] Chamodrakas, I.; Martakos, D. A Utility-Based Fuzzy TOPSIS Method for Energy Efficient Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks. *Applied Soft Computing*, 12 (7), 1929–1938, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.04.016>.
- [116] Büyüközkan, G.; Çifçi, G. A Combined Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Based Strategic Analysis of Electronic Service Quality in Healthcare Industry. *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 2341–2354, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.061>.
- [117] Xu, Z.; Zhang, X. Hesitant Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Based on TOPSIS with Incomplete Weight Information. *Knowledge-Based Systems*, 52, 53–64, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.05.011>.
- [118] Govindan, K.; Khodaverdi, R.; Jafarian, A. A Fuzzy Multi Criteria Approach for Measuring Sustainability Performance of a Supplier Based on Triple Bottom Line Approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345–354, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.014>.
- [119] Kannan, D.; Khodaverdi, R.; Olfat, L.; Jafarian, A.; Diabat, A. Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method and Multi-Objective Programming Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Green Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355–367, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.010>.
- [120] Lima Junior, F. R.; Osiro, L.; Carpinetti, L. C. R. A Comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods to Supplier Selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194–209, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>.

- [121] Taylan, O.; Bafail, A. O.; Abdulaal, R. M. S.; Kabli, M. R. Construction Projects Selection and Risk Assessment by Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methodologies. *Applied Soft Computing*, 17, 105–116, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>.
- [122] Kannan, D.; Jabbour, A. B. L. de S.; Jabbour, C. J. C. Selecting Green Suppliers Based on GSCM Practices: Using Fuzzy TOPSIS Applied to a Brazilian Electronics Company. *European Journal of Operational Research*, 233 (2), 432–447, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.023>.
- [123] Chen, T.-Y. The Inclusion-Based TOPSIS Method with Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets for Multiple Criteria Group Decision Making. *Applied Soft Computing*, 26, 57–73, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.09.015>.
- [124] Şengül, Ü.; Eren, M.; Eslamian Shiraz, S.; Gezder, V.; Şengül, A. B. Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75, 617–625, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.045>.
- [125] Zyoud, S. H.; Kaufmann, L. G.; Shaheen, H.; Samhan, S.; Fuchs-Hanusch, D. A Framework for Water Loss Management in Developing Countries under Fuzzy Environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 61, 86–105, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016>.
- [126] He, Y.-H.; Wang, L.-B.; He, Z.-Z.; Xie, M. A Fuzzy TOPSIS and Rough Set Based Approach for Mechanism Analysis of Product Infant Failure. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 47, 25–37, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.002>.
- [127] Hatami-Marbini, A.; Kangi, F. An Extension of Fuzzy TOPSIS for a Group Decision Making with an Application to Tehran Stock Exchange. *Applied Soft Computing*, 52, 1084–1097, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.09.021>.
- [128] Onu, P. U.; Quan, X.; Xu, L.; Orji, J.; Onu, E. Evaluation of Sustainable Acid Rain Control Options Utilizing a Fuzzy TOPSIS Multi-Criteria Decision Analysis Model Frame Work. *Journal of Cleaner Production*, 141, 612–625, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.065>.
- [129] Shen, F.; Ma, X.; Li, Z.; Xu, Z.; Cai, D. An Extended Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Method Based on a New Distance Measure with an Application to Credit Risk Evaluation. *Information Sciences*, 428, 105–119, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.10.045>.

- [130] Wu, T.; Liu, X.; Liu, F. An Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS Model for Large Scale Group Decision Making Problems with Social Network Information. *Information Sciences*, 432, 392–410, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.12.006>.
- [131] Rajak, M.; Shaw, K. Evaluation and Selection of Mobile Health (MHealth) Applications Using AHP and Fuzzy TOPSIS. *Technology in Society*, 59, 101186, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101186>.
- [132] Samaie, F.; Meyar-Naimi, H.; Javadi, S.; Feshki-Farahani, H. Comparison of Sustainability Models in Development of Electric Vehicles in Tehran Using Fuzzy TOPSIS Method. *Sustainable Cities and Society*, 101912, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101912>.
- [133] Walczak, D.; Rutkowska, A. Project Rankings for Participatory Budget Based on the Fuzzy TOPSIS Method. *European Journal of Operational Research*, 260 (2), 706–714, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.044>.
- [134] Karayel, H. Güncel Şartlara Göre Türkiye için En Uygun LNG Doğal Gaz Tedarikçisinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Seçimi. Yüksek Lisans Projesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Kadriye CANPOLAT, 1991 yılının Kasım ayında Sakarya'da dünyaya gelmiştir. İlk ve orta öğretimini Sakarya'da tamamladıktan sonra Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazanmıştır. 2010 yılında ise çift anadal programı ile Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nün de eğitimine başlamıştır. 2013 yılında iki bölümden de mezun olmuştur. Mezuniyetinden sonra 2018 yılına kadar Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Yazılım Mühendisi olarak görev yapmıştır. Yüksek lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği anabilim dalında tamamlamış ve aynı enstitünün Endüstri Mühendisliği anabilim dalında sürdürmektedir. 2018 yılının mart ayından beri Sakarya Üniversitesi bünyesinde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.