

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜRKİYE'DE KURULMASI OLASI BİR NÜKLEER GÜÇ
SANTRALİ YER SEÇİMİNİN BULANIK AHP VE BULANIK
TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

TOLGA OFLU

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'DE KURULMASI OLASI BİR NÜKLEER GÜÇ
SANTRALİ YER SEÇİMİNİN BULANIK AHP VE BULANIK
TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

TOLGA OFLU

Doç. Dr. Yıldız ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üni.
Prof. Dr. Kasım BAYNAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üni.
Prof. Dr. Semra BİRGÜN
Jüri Üyesi, Doğuş Üni.

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
(İmza)

Tolga OFLU

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
(İmza)

Tolga OFLU

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz dünyasında teknolojik gelişmeler ve nüfus artışıyla birlikte enerji açıkları oluşmuş ve ülkeler bu enerji açıklarını gidermek için alternatif yöntemler düşünmüşlerdir. Bu alternatif enerji kaynaklarından birisi nükleer enerjidir. Nükleer enerji kullanımı gün geçtikçe gelişen teknoloji ile daha güvenli ve daha kullanılabilir hale gelmiş ve dünyada yaklaşık 400'ün üzerinde nükleer enerji santrali kurulmuştur. Türkiye'de dışa bağımlılığını azaltmak ve kendi enerji ihtiyacını karşılayabilmek için nükleer güç santrallerine yatırım yapmaya başlamıştır.

Bu çalışmada kurulması düşünülecek bir nükleer santralin yer seçimi konusu incelenmiştir. Kurulacak tesis için gerekli kriterler ve alternatifler belirlenmiş fakat asıl amaç olarak deniz kıyıları hariç nerelere kurulabilir cevabı aranmıştır. Bu konu hakkında bana çalışma fırsatı sunan değerli Doç. Dr. Yıldız ŞAHİN hocama teşekkür ederim.

Haziran – 2024

Tolga OFLU

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Nükleer Enerji ve Gerekliliği	3
2.2 Nükleer Enerji	9
2.2.1 Fisyon	9
2.2.2 Füzyon	10
2.3 Nükleer Santral Çalışma Prensibi (Fisyon)	13
2.4 Nükleer Santrallerin Bölümleri ve Görevleri	14
2.5 Nükleer Santral Reaktör Tipleri	15
2.5.1 Hafif-su Soğutmalı Reaktörler	16
2.5.1.1 Basınçlı Su Reaktörleri (PWR / Rus Tipi – VVER)	16
2.5.1.2 Kaynar Su Reaktörleri (BWR / Rus Tipi - RBMK)	17
2.5.2 Ağır-su Soğutmalı Reaktörler (PHWR)	18
2.5.3 Gaz Soğutmalı Reaktörler (AGR)	18
2.5.4 Hızlı Üretken Reaktörler (FBR)	19
2.6 Nükleer Atıklar	20
2.6.1 KBS-3 Çoklu Bariyer Tabanlı Tasarım	21
2.6.2 Derin Yatay Sondaj Deposu Konsepti	22
3. LİTERATÜR TARAMASI	23
4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ	43
4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	43
4.1.1 AHP Yöntemi Uygulama Adımları	44
4.2 TOPSIS Yöntemi	48
4.2.1 TOPSIS Yönteminin Uygulama Adımları	49
5. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER	53
5.1 Bulanık Mantık	53
5.2 Üyelik Fonksiyonları	54
5.3 Üçgensel (Triangular) Üyelik Fonksiyonu	54
5.4 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (B-AHP)	55
5.5 Bulanık TOPSIS Yöntemi (B-TOPSIS)	59
6. B-AHP VE B-TOPSIS YÖNTEMLERİNİN NGS YER SEÇİMİ PROBLEMİNE UYGULANMASI	64
6.1 Alternatiflerin ve Kriterlerin Belirlenmesi	65
6.1.1 B-AHP İle Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması	68
6.2 B-TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması	70
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	80

EKLER	86
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	91
ÖZGEÇMİŞ	92



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Türkiye’de Kullanılan Enerji Kaynaklarının Dağılımı	4
Şekil 2.2	Dünya Nükleer Güç Dağılımı	5
Şekil 2.3	Nükleer Fisyon	9
Şekil 2.4	Dünya’da Reaktör Tiplerine Göre Santral Kullanımı	10
Şekil 2.5	CO_2 Emisyon Değerleri	11
Şekil 2.6	CO_2 Emisyon Değerlerinin Yıllara Göre Dağılımı	12
Şekil 2.7	Füzyon Reaksiyonu	12
Şekil 2.8	Nükleer Enerjinin Elektrik Enerjisine Çevrimi	15
Şekil 2.9	Basınçlı-Su Reaktörü (PWR)	17
Şekil 2.10	Kaynar-Su Reaktörü (BWR)	17
Şekil 2.11	Ağır-Su Reaktörü (PHWR)	18
Şekil 2.12	Gaz Soğutmalı Reaktör (AGR)	19
Şekil 2.13	Hızlı Üretken Reaktör (FBR)	19
Şekil 2.14	KBS-3 Çoklu Bariyer Tabanlı Konsept	21
Şekil 2.15	Derin Sondaj Depo Konsepti	22
Şekil 3.1.	NGS Literatür Tarama Makale Sayısının Yıllara Göre Dağılımı	32
Şekil 4.1.	AHP Hiyerarşisi	45
Şekil 4.2.	İki Boyutlu Uzayda Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler Kümesi	49
Şekil 5.1.	Kalınlık İçin Sözel Değişken Klasik Küme Fonksiyonu	53
Şekil 5.2.	Kalınlık İçin Sözel Değişken Bulanık Küme Fonksiyonu	54
Şekil 5.3.	Üçgensel Üyelik Fonksiyonu Grafiği	55
Şekil 5.4.	Üçgensel Sayı Ordinatlari	58
Şekil 6.1	Kriter ve Alternatiflere İlişkin Hiyerarşik Yapı	66
Şekil 6.2.	Türkiye Rüzgar Yönleri Haritası	71
Şekil 6.3.	Türkiye Deprem Haritası	72
Şekil 6.4.	NGS Yer Seçimi İçin d^* & d^- Değerlendirmesi	75

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Dünyadaki Enerji Kaynakları	3
Tablo 2.2.	Dünya’da İnşa Edilen Reaktörler	6
Tablo 2.3.	Dünya’da Yapım Aşamasında Planlanan ve Önerilen Nükleer Santraller	8
Tablo 2.4	Reaktör Bileşen ve İşlevleri	15
Tablo 2.5	Dünyadaki Nükleer Reaktör Çeşidi ve Sayısı	20
Tablo 3.1	Nükleer Güç Santrali Literatür Taraması	30
Tablo 3.2	Bulanık AHP Literatür Taraması	37
Tablo 3.3.	Bulanık TOPSIS Literatür Taraması	41
Tablo 4.1.	AHP Kullanım Alanlarının Yıllara Göre Dağılımı	44
Tablo 4.2.	Saaty Karşılaştırma Ölçeği	46
Tablo 4.3.	Karşılaştırma Matrislerinin Boyutlarına Göre <i>RI</i> Değerleri	47
Tablo 5.1.	Bulanık AHP Yönteminde Kullanılan Üçgen Bulanık Sayılar	56
Tablo 5.2.	Bulanık TOPSIS Yöntemlerinin Kıyaslanması	59
Tablo 5.3.	Kriterlerin Önem Ağırlığının Belirlenmesinde Kullanılan Değişkenler	60
Tablo 5.4.	Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Değişkenler	60
Tablo 6.1.	Kriter Belirlemede Literatür Taraması	65
Tablo 6.2.	Bulanık Sentetik Mertebe Değerleri	69
Tablo 6.3.	Bulanık Olabilirlik Dereceleri	69
Tablo 6.4.	Kriter Ağırlık Değerleri	70
Tablo 6.5.	Kriter Önem Ağırlık Belirlemede Kullanılan Değişkenler	71
Tablo 6.6.	Alternatif Değerlendirme İçin Kullanılan Değişkenler	71
Tablo 6.7.	Karar Vericiler Tarafından Alternatiflerin Sözel Olarak Değerlendirilmesi	72
Tablo 6.8.	Bulanık Karar Matrisi	73
Tablo 6.9.	Kriterlerin Ağırlıkları	73
Tablo 6.10.	Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi	74
Tablo 6.11.	Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi	74
Tablo 6.12.	Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklıklar	74
Tablo 6.13.	Pozitif İdeal Çözüme Olan Uzaklıklar	75
Tablo 6.14.	Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklıklar	75
Tablo 6.15.	Alternatiflerin Sıralanması	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_{ij}	: i Kriteri ile j Kriterinin İkili Karşılaştırılması
A^*	: Pozitif İdeal Çözüm
A^-	: Negatif İdeal Çözüm
C_i^*	: Pozitif İdeal Çözüme Benzerlik
C_i^-	: Negatif İdeal Çözüme Benzerlik
CC_i	: Yakınlık Katsayısı
CI	: Tutarlılık İndeksi
CO_2	: Karbondioksit
CR	: Tutarlılık Oranı
d^*	: Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
d^-	: Bulanık Negatif İdeal Çözüm
D_2O	: Ağır Su
$GW_e.$	: Gigawatt Elektrik
H_2O	: Hafif Su
l, m, u	: Üçgen Üyelik Fonksiyonları
M_{gi}^j	: Bir Amaca Yönelik Genişletilmiş Değer
$MW.$	: Megawatt
$MW_e.$	: Megawatt Elektrik
NO_2	: Azot Dioksit
$\tilde{R}$	: Bulanık Karar Matrisi
RI	: Rassal İndeks
S_i^*	: Pozitif İdeal Çözüme Uzaklık
S_i^-	: Negatif İdeal Çözüme Uzaklık
S_i	: Amacın Sentez Değeri
SO_2	: Sülfür Dioksit
$TW_h.$	: Terawatt Elektrik
$U-235$	: Uranyum-235
$\tilde{W}$	: Bulanık Ağırlıklar Matrisi
w_j	: j Kriterin Önem Ağırlığı
λ_{max}	: En Büyük Özdeğer
$\oplus$	: Bulanık Toplama İşlemi
$\odot$	: Bulanık Çarpma İşlemi
$^{\circ}C.$	: Sıcaklık
$^{233}_{92}U$	: Uranyum İzotopu

Kısaltmalar

AGR	: Advanced Gas Cooled Reactor (Gaz Soğutmalı Reaktörler)
AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
ANP	: Analytic Network Process (Analitik Ağ Süreci)
B-AHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
B-ÇKKV	: Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

B-TOPSIS	: Bulanık Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği)
B-VIKOR	: Bulanık Vlsekriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm)
BWM	: Best-Worst Methodu
BWR	: Boiling Water Reactor (Kaynar-Su Reaktörler)
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri
DGR	: Deep Geological Repositories (Derin Jeolojik Depolar)
FBR	: Fast Breeder Reactor (Hızlı Üretken Reaktörü)
F-NIS	: Fuzzy Negative Ideal Solution (Bulanık Negatif İdeal Çözüm)
F-PIS	: Fuzzy Positive Ideal Solution (Bulanık Pozitif İdeal Çözüm)
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
IAEA	: International Atomic Energy Agency (Uluslar Arası Atom Enerji Kurumu)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
LWGR	: Light Water Graphite Reactor (Hafif Su Soğutmalı Reaktörler)
MOORA	: Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis
NGS	: Nükleer Güç Santrali
NIS	: Negative Ideal Solution (Negatif İdeal Çözüm)
OECD	: Organisation For Economic Co-Operation And Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
OPEC	: Organization of Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü)
PHWR	: Pressurized Heavy Water Reactor (Ağır-Su Reaktörü)
PIS	: Positive Ideal Solution (Pozitif İdeal Çözüm)
PWR	: Pressurized Water Reactor (Basınçlı-Su Reaktörler)
RBMK	: Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyi (Rus Tipi Kaynar-Su Reaktörü)
SPSS	: Statistical Package For The Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı)
SWARA	: Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)
TMMBO	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TOPSIS	: Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği)
TPM	: Total Productive Maintenance (Toplam Üretken Bakım)
VIKOR	: Vlsekriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm)
VVER	: Voda Vodyanoi Energetichesky Reaktor (Rus Tipi Basınçlı-Su Reaktörü)
WNA	: World Nuclear Association (Dünya Nükleer Birliği)

TÜRKİYE’DE KURULMASI OLASI BİR NÜKLEER GÜÇ SANTRALİ YERİ SEÇİMİNİN BULANIK AHP VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Geçmişten günümüze gelişen nükleer teknoloji sayesinde bugün yaşıtımızda alternatif olarak kullanabileceğimiz enerji kaynakları ortaya çıkmıştır. Bu enerji kaynaklarından birisi de nükleer teknolojidir. Nükleer teknolojinin geliştirilmesindeki ana unsur atom çekirdeğinin parçalanmasıdır. Bu parçalanma sonucunda ortaya çıkan büyük enerjinin, elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi nükleer güç santrallerinin enerji üretiminde kullanılmasının yolunu açmıştır. Nükleer enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yüksek teknolojiye sahip bu tesisler, tasarlanma aşamasından üretimdeki sürdürülen tüm faaliyetlere kadar özel uygulamalar gerektiren ve bağımsız bir düzenleme kuruluşu tarafından denetlenerek işletilen tesislerdir.

Nükleer güç santralleri konusundaki faaliyetler Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu’nun kurulması ile 1956 yılında Türkiye’de başlamıştır. Fakat uzun yıllar boyunca kapsamlı ve uzun vadeli bir nükleer enerji programı oluşturulamamıştır. Bu konudaki geç kalınlık sonucunda ülkenin enerji ihtiyacı konusunda ki dışa bağımlılığı gün geçtikçe artmıştır. Dolayısı ile dışa olan bu bağımlılığı ortadan kaldırmak veya daha düşük seviyelere çekmek için Nükleer güç santralleri (NGS) kurulmasına karar verilmiştir. Türkiye’de kurulan ilk NGS Akkuyu Nükleer Güç Santralidir. Akkuyu NGS Rus kamu şirketi olan Atomstroyexport tarafından kurulmuştur. Kurulan santral 1200 MWe’lik dört üniteden oluşmaktadır ve Türkiye’nin yaklaşık olarak %6’lık enerji ihtiyacını karşılamaktadır.

Türkiye’de kurulması planlanan iki güç santrali daha vardır. Kurulacak bu santrallerin kurulum lokasyonları, çevreye olan etkileri ve santralin azami gerekliliklerinin karşılanması açısından doğru olarak belirlenmelidir. Bu araştırmanın amacı çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (B-AHP) ve Bulanık Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (B-TOPSIS) kullanılarak alternatiflere göre kurulması en uygun olacak lokasyonun belirlenmesidir. Kullanılacak yöntemlerin çözüm yolları adım adım anlatılacaktır. Santralin kurulması ve güvenli işletilebilmesi için uygun alternatifler belirlenecek ve belirlenen alternatiflere göre kriterler ve alt kriterler oluşturulacaktır. Daha sonra B-AHP ve B-TOPSIS yöntemleri ile belirlenen alternatif ve kriterler doğrultusunda santralin kurulmasının en uygun olacağı alternatif bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Nükleer Güç Santralleri.

DETERMINATION OF THE LOCATION OF A POSSIBLE NUCLEAR POWER PLANT IN TURKEY USING FUZZY AHP AND FUZZY TOPSIS METHODS

ABSTRACT

Thanks to nuclear technology, which has developed from past to present, energy sources that we can use as alternative in our lives have emerged. One of these energy sources is Nuclear technology. The main element in the development of nuclear technology is the fission of the atomic nucleus. The ability to convert the large amount of energy resulting from this fragmentation into electrical energy has paved the way for the use of nuclear power plants in energy production. These high-tech facilities that convert nuclear energy into electrical energy are facilities that require special applications from the design stage to all activities in production and are inspected and operated by an independent regulatory body.

Activities on nuclear power plants started in Turkey in 1956 with the establishment of the Prime Ministry Atomic Energy Commission. However, a comprehensive and long-term nuclear energy program could not be established for many years. As a result of the delay in this matter, the country's dependence on foreign energy needs has increased day by day. Therefore, it was decided to establish Nuclear Power Plants (NGP) in order to eliminate this external dependency or reduce it to lower levels. It is the first NPP Akkuyu Nuclear Power Plant established in Turkey. Akkuyu NPP was established by Atomstroyexport, a Russian public company. The established power plant consists of four units of 1200 MWe and meets approximately 6% of Turkey's energy needs.

There are two more power plants planned to be established in Turkey. The installation locations of these power plants must be determined accurately in terms of their impact on the environment and meeting the maximum requirements of the power plant. The aim of this research is to determine the most appropriate location to establish according to the alternatives by using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (B-AHP) and Fuzzy Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (B-TOPSIS), which are multi-criteria decision-making methods. The solutions of the methods to be used will be explained step by step. Suitable alternatives for the establishment and safe operation of the power plant will be determined and criteria and sub-criteria will be created according to the determined alternatives. Then, the most suitable alternative for the establishment of the power plant will be found in line with the alternatives and criteria determined by B-AHP and B-TOPSIS methods.

Keywords: Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Multi Criteria Decision Making Methods, Nuclear Power Plant.

1. GİRİŞ

Artan insan yaşam süreleri ve teknolojik gelişmeler sayesinde günden güne enerji ihtiyaçlarında yüksek artışlar görülmeye başlanmıştır. Bu enerji ihtiyaç artışlarına paralel olarak, Türkiye'nin de enerji tüketim miktarlarında gözle görülür yükselmeler olduğu görülmektedir. Ayrıca, halihazırda kullanılan fosil kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve çevreye verdikleri büyük zararlar nedeniyle elektrik üretimi için kullanımının zamanla azaltılmaya çalışıldığı görülmektedir. Bu sebeplerden dolayı Dünya'da ve Türkiye'de fosil kaynaklı yakıtların kullanımının azaltılması ve diğer enerji kaynaklarına yönelimin artması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir.

Türkiye oluşan bu iklim bilincinin bir parçası olmaya çalışmaktadır. Türkiye konumu gereği yenilenebilir enerji kaynakları bakımından yüksek potansiyele sahip bir ülkedir fakat yenilenebilir enerji ile elde edilebilecek enerji (günümüz teknolojisinin sunduğu kadarıyla) oluşan enerji ihtiyacının çok az bir bölümünü karşılayabilecek güce sahiptir. Fosil yakıtların çok büyük bir bölümü ise yurtdışından temin edilmektedir. Bu sebepten dolayı Türkiye enerji ihtiyacı bakımından dışa bağımlı kalmaktadır. Türkiye oluşan bu enerji açığını kapatabilmesi için alternatif bir enerji kaynağı olan nükleer enerjiyi kullanmaya başlaması geleceği için faydalı olabilir. Dolayısıyla Türkiye gelecekteki enerji politikalarını şekillendirirken nükleer enerji politikalarını ve nükleer enerji kültürünü de göz önünde bulundurması gereklidir.

Burada önemli bir konuda NGS'nin kurulu bulunduğu bölgede yaşamını sürdüren halkın kaygı halinde bulunmasını önlemek için gerekli adımların atılmış olmasıdır. Aslında incelendiğinde görülecektir ki nükleer enerji santrallerinin diğer enerji kaynaklarına göre avantajları da vardır. Örnek vermek istersek nükleer enerji karbon salınımı yapmamakta sera gazı oluşumuna sebep olmamaktadır, enerji üretimi diğer enerji kaynaklara göre çok daha verimlidir. Gelişen teknoloji ile kurulumu ve kullanımı açısından her geçen gün daha güvenli hale gelmektedir. Tabii ki olası kazalar da göz önünde bulundurulmalı, bu durumların senaryoları düşünülmeli ve önceden bu oluşabilecek durumlar için santralin inşası ve dizaynından başlayarak üretimine kadar önlemler alınmalıdır. Ayrıca toplum güvenliği bakımından nükleer kaza senaryoları karşısında nasıl bir yol izleneceği konusunda acil durum planları yapılmış olunmalı ve gerektiği durumlarda kitlesel yer değişimlerinin hızlı bir şekilde yapılabileceği planlar

hazırlanmış olunmalıdır. Nükleer güvenliği sağlayabilmek için sorumlulukların net bir şekilde ortaya konulması ve gerekli yasal düzenlemeler ve resmi çerçevenin hazırlanmış olması gereklidir. Nükleer güvenlik için gerekli unsurlar halk, yöneticiler tarafından benimsenmeli, kamuoyunun güveni kazanılmalı ve bu sayede nükleer kültürün oluşturulması sağlanmalıdır. Oluşturulan bu nükleer güvenlik ve bilincin nesiller boyunca aktarılabilmesi için gerekli eğitim ve bilgilendirme platformları oluşturulmalıdır. Tüm bu girişimler yapıldığında toplum bu enerji kaynağı hakkında bilgi sahibi olmuş, önyargılarından arınmış ve olumsuz oluşan görüşlerini değiştirme fırsatı yakalamış olacağına inanılmaktadır.

Nükleer santral kurulum yeri belirleme için karar verme sürecinde daha etkin bir sonuca ulaşabilmek için bulanık küme teorisi’de karar verme sürecine dâhil edilmiştir. Karar verme süreçleri belirsizlikler içerebilmektedir böyle durumlarda bulanık karar verme tekniklerinin kullanılmasının daha etkin bir sonuca varılmasını sağlayacağı kanaatine varılmıştır. Bu tez çalışmasında, karar verme sürecinde nükleer santral yer seçimi için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (B-AHP) ve Bulanık TOPSIS (B-TOPSIS) yöntemleri kullanılmıştır. Yer seçimi için insan faktöründen kaynaklanacak sübjektifliği ortadan kaldırabilmek için bir karar verici yerine üç karar vericinin değerlendirmelerinden faydalanılmıştır.

Literatür taraması yapıldığında B-AHP ve B-TOPSIS yöntemlerinin yer seçimi problemlerinde çok sık uygulandığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında bu iki yöntem kullanılarak nükleer güç santrallerinin kurulum yeri seçimine çözüm aranmıştır. Uygulamada B-AHP ve B-TOPSIS yöntemleri kullanılmış olunmasına rağmen, tezin teori bölümünde AHP ve TOPSIS yöntemlerine de ayrıntılı bir şekilde değinilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Nükleer Enerji ve Gerekliliği

Gelişen dünya çerçevesinde gün geçtikçe kendini yenileyen bir üst noktaya çıkan teknoloji sayesinde enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Artan bu ihtiyacın karşılanması doğal bir hak olarak hatta sosyal bir eşitlik olarak görülmeye başlanmıştır. Bu nedenle enerjiye erişim sadece devletlerin değil, bireysel toplumun ve kuruluşlarında zorunlu bir ihtiyacı durumuna gelmiştir.

Dünyada enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar olarak ikiye ayrılabilir. Bu sınıflandırma aşağıdaki tablodaki gibi gösterilebilir.

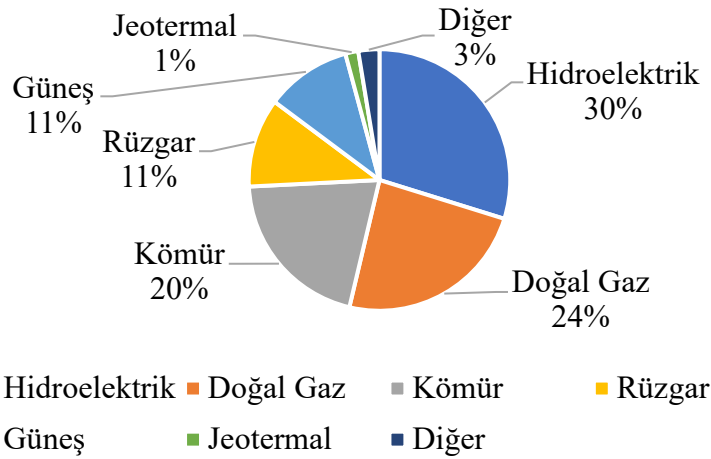
Tablo 2.1. Dünyadaki Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Petrol	Hidroelektrik
Doğal Gaz	Biokütle
Hidrokarbon gazı sıvıları	Jeotermal
Nükleer Enerji	Güneş
- Fısyon (Parçalama) – Füzyon (Birleştirme)	Dalga Enerjisi
Kömür	Rüzgar

Türkiye enerji ihtiyacının önemli bir kısmını yenilenemez enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Türkiye dünyada enerji tüketimi sırasında 4'üncü, karbon salınımı ve kömür tüketiminde 2'inci, petrol tüketiminde ise 6'ıncı olduğu görülmektedir. Türkiye elektrik ihtiyacını doğal gaz, kömür, linyit gibi yenilenemeyen enerjiler ve jeotermal ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerjiler ile karşılamaktadır. 2023 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; %29,8'i hidrolik enerji, %23,9'u doğal gaz, %20,5'i kömür, %11'i rüzgar, %10,6'sı güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,6'sı ise diğer kaynaklardandır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2023). (Şekil 2.1)

Türkiye, halihazırda kullandığı fosil kaynaklardan meydana gelen çevresel kirliliği önlemek ve enerji politikalarını genişletebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmek istemiştir fakat günümüz mevcut teknolojileri ile bu enerji

kaynaklarından elde edilen enerji yetersiz kalmaktadır. (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2016). Bu durum göz önüne alındığında Türkiye'nin enerji açısından dışa bağımlılığını ortadan kaldırmak için mevcut enerji kaynaklarının çeşitliliğinin geliştirilmesi ve küresel teknolojik gelişmeleri takip ederek ayak uydurması gereklidir. Bu nedenle Türkiye mevcut bulunan enerji kaynaklarına alternatif olarak nükleer enerji kaynaklarını da değerlendirmeyi düşünmüştür.



Şekil 2.1. Türkiye'de Kullanılan Enerji Kaynaklarının Dağılımı (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2023)

Türkiye değerlendirmek istediği nükleer enerji için, üç adet nükleer santral yapımının düşünüldüğü bir plan oluşturmuştur (World Nuclear Association, 2022). İkili antlaşmalar sonucunda ilk santral Mersin ilinde Rusya tarafından ikinci santral ise Sinop ilinde Güney Kore tarafından yapılması için görüşmelere başlanmıştır. Rusya'nın kuracağı ilk santralin birinci güç ünitesinin temelleri 2018 yılında atılmıştır. Takip eden yıllarda dört güç ünitesinin de temelleri atılmış ve koryum tutma ve soğutma aracı tasarımı konumlarına yerleştirilmiştir. 2021 de birinci güç ünitesinin reaktör kabı tasarımı konumuna konulmuş ve takip eden yılda reaktör soğutma boru hattının kaynakları yapılmıştır. 2022 de üçüncü güç ünitesi koryum tutma ve soğutma aracı kabı tasarımı konumuna konmuş ve dördüncü ünitenin temelleri atılmıştır. Tüm bu ilerlemelerden sonra 2013 yılında birinci güç ünitesi için taze nükleer yakıt teslimatı yapılmıştır. Görüldüğü gibi ilk kurulacak NGS için çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye sürdürülebilir bir kalkınma politikası izleyebilmesi için petrol ve doğal gaz kullanımını azaltmalı ve daha verimli enerji kaynaklarını kullanmalıdır. Çünkü her geçen yıl enerji ithalatına ödediği miktar artmaktadır. Bu açığın kapatılmasında NGS' nin büyük bir rol oynayacağı açık bir şekilde görülmektedir. AKKUYU da kurulacak olan NGS elektrik üretiminde yıllık %10 gibi bir fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Türkiye'de kurulacak NGS' leri ile kendi enerji piyasasına rekabet kazandıracağı gibi istihdamında artmasına olanak sağlayacaktır. Bu enerji kaynağının sağlayacağı faydalara bakıldığında Türkiye'deki enerji üretimine katkısı bakımından vazgeçilmeyecek bir enerji kaynağı olacağı açıkça görülmektedir.

Dünyada da nükleer enerji kullanımı teknoloji ve popülasyonun artmasıyla doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Fransa enerji ihtiyacının yaklaşık %85 ini nükleer enerjiden sağlamaktadır. Uluslararası Atom Enerji Kurumu tarafından yayınlanan Nükleer Enerji Programlarının Küresel Durumunu ve gelişimi raporuna göre dünyadaki nükleer güç dağılımı aşağıdaki gibi görülmektedir.



Şekil 2.2. Dünya Nükleer Güç Dağılımı (IAEA - Uluslararası Atom Enerji Kurumu 2023)

Raporda da görüldüğü gibi dünyada nükleer enerji kullanımı için birçok yatırımlar yapılmaktadır. 2024 itibariyle Dünya çapında yaklaşık 60 reaktör yapım aşamasındadır ve 110 santral ise yapımı için planlanmaktadır. Yapım aşamasında ve planlanan reaktörlerin çoğu Asya kıtasındadır. Günümüzde 32 ülkede ve Tayvan'da faaliyet gösteren ve kapasite gücü yaklaşık 390 GW_e (Gigawatt Elektrik) olan yaklaşık 440 nükleer güç santrali bulunmaktadır. Bu santrallerden 2022 yılında dünya elektriğinin yaklaşık %10'unu olan 2545 TW_h (Terawatt-Saat) sağlanmıştır. Dünyada günümüzde 17 ülkede yaklaşık 60 güç reaktörü inşa edilmektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Dünya'da İnşa Edilen Reaktörler (IAEA - Uluslararası Atom Enerji Kurumu 2024)

<i>Başlangıç</i>	<i>Ülke</i>	<i>Reaktör</i>	<i>Model</i>	<i>Brüt MW_e</i>
2024	Bangladeş	Rooppur 1	VVER-1200	1200
2024	Bangladeş	Rooppur 2	VVER-1200	1200
2024	Çin, CGN	Fangchenggang 4	Hualong One	1180
2024	Çin, CNNC	Xiapu 1	CFR600	600
2024	Çin, Guodian ve CNNC	Zhangzhou 1	Hualong One	1212
2024	Çin, SPIC ve Huaneng	Shidaowan 1	CAP1400	1500
2024	Fransa, EDF	Flamanville 3	EPR	1650
2024	Hindistan, NPCIL	Kakrapar 4	PHWR-700	700
2024	Hindistan, NPCIL	Kalpakkam PFBR	FBR	500
2024	Kore, KHNP	Saeul 3	APR1400	1400
2024	Kore, KHNP	Saeul 4	APR1400	1400
2024	Slovakya, SE	Mochovce 4	VVER-440	471
2024	Türkiye	Akkuyu 1	VVER-1200	1200
2024	Türkiye	Akkuyu 2	VVER-1200	1200
2024	ABD, Southern	Vogtle 4	AP1000	1250
2024	BAE, ENEC	Barakah 4	APR1400	1400
2025	Çin, CGN	Taipingling 1	Hualong One	1200
2025	Çin, Guodian ve CNNC	Zhangzhou 2	Hualong One	1212
2025	Çin, SPIC ve Huaneng	Shidaowan 2	CAP1400	1500
2025	Hindistan, NPCIL	Kudankulam 3	VVER-1000	1000
2025	Hindistan, NPCIL	Kudankulam 4	VVER-1000	1000
2025	Rusya, Rosenergoatom	Kursk II-1	VVER-TOI	1255
2025	Rusya, Rosenergoatom	Kursk II-2	VVER-TOI	1255
2025	Türkiye	Akkuyu 3	VVER-1200	1200
2026	Çin, CGN	Cangnan/San'ao 1	Hualong One	1150
2026	Çin, CGN	Taipingling 2	Hualong One	1202

Tablo 2.2. (Devam) Dünya'da İnşa Edilen Reaktörler (IAEA - Uluslararası Atom Enerji Kurumu 2024)

<i>Başlangıç</i>	<i>Ülke</i>	<i>Reaktör</i>	<i>Model</i>	<i>Brüt MW_e</i>
2026	Çin, CNNC	Changjiang SMR 1	ACP100	125
2026	Çin, CNNC	Tianwan 7	VVER-1200	1200
2026	Çin, CNNC	Xiapu 2	CFR600	600
2026	Çin, Huaneng ve CNNC	Changjiang 3	Hualong One	1200
2026	Hindistan, NPCIL	Rajasthan 7	PHWR-700	700
2026	Hindistan, NPCIL	Rajasthan 8	PHWR-700	700
2026	Rusya, Rosatom	Brest-OD-300	Brest-300	300
2026	Türkiye	Akkuyu-4	VVER-1200	1200
2027	Arjantin, CNEA	Carem	Carem25	29
2027	Çin, CGN	Cangnan/San'ao 2	Hualong One	1150
2027	Çin, CNNC	Sanmen 3	CAP1000	1250
2027	Çin, CNNC	Tianwan 8	VVER-1200	1200
2027	Çin, CNNC ve Datang	Xudabao 3	VVER-1200	1200
2027	Çin, Huaneng ve CNNC	Changjiang 4	Hualong One	1200
2027	Çin, SPIC	Haiyang 3	CAP1000	1250
2027	Çin, SPIC	Haiyang 4	CAP1000	1250
2027	Hindistan, NPCIL	Kudankulam 5	VVER-1000	1000
2027	Hindistan, NPCIL	Kudankulam 6	VVER-1000	1000
2027	Birleşik Krallık, EDF	Hinkley Point C1	EPR	1720
2028	İran	Bushehr 2	VVER-1000	1057
2028	Brezilya, Eletrobras	Angra 3	Pre-Konvoi	1405
2028	Çin, CGN	Lufeng 5	Hualong One	1200
2028	Çin, CNNC	Sanmen 4	CAP1000	1250
2028	Çin, CNNC ve Datang	Xudabao 4	VVER-1200	1200
2028	Çin, CNNC Datang	Xudabao 1	CAP1000	1250
2028	Çin, SPIC	Lianjiang 1	CAP1000	1250
2028	Mısır, NPPA	El Dabaa 1	VVER-1200	1200
2028	Birleşik Krallık, EDF	Hinkley Point C2	EPR	1720
2029	Çin, CGN	Lufeng 6	Hualong One	1200
2030	Mısır, NPPA	El Dabaa 2	VVER-1200	1200
2030	Mısır, NPPA	El Dabaa 3	VVER-1200	1200
Askıya Alındı	Japonya, J-Power	Ohma 1	ABWR	1383
Askıya Alındı	Japonya, J-Power	Shimane 3	ABWR	1373
Askıya Alındı	Ukrayna, Energoatom	Khmelnitski 3	VVER-1200 V-392B	1089
Askıya Alındı	Ukrayna, Energoatom	Khmelnitski 4	VVER-1200 V-392B	1089

Listede belirtildiği gibi inşası devam eden nükleer güç santrallerine ilaveten plan aşamasında olan nükleer güç santralleri de mevcuttur. Bu planlanan nükleer enerji santrallerinin tablosu da aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.3. Dünya’da Yapım Aşamasında, Planlanan ve Önerilen Nükleer Santraller (IAEA - Uluslararası Atom Enerji Kurumu 2023)

Ülkeler	Yapım Aşamasında Olan Reaktörler (Kasım 2023)		Reaktörler Planlandı (Kasım 2023)		Önerilen Reaktörler (Kasım 2023)	
	Hayır	MW _e	Hayır	MW _e	Hayır	MW _e
<i>Arjantin</i>	1	29	1	1150	2	1350
<i>Ermenistan</i>	0	0	0	0	1	1060
<i>Bangladeş</i>	2	2400	0	0	2	2400
<i>Belarus</i>	0	0	0	0	2	2400
<i>Brezilya</i>	1	1405	0	0	4	4000
<i>Bulgaristan</i>	0	0	1	1000	3	3000
<i>Kanada</i>	0	0	11	6100	0	0
<i>Çin</i>	26	29.731	42	46.110	154	175,250
<i>Çek Cumhuriyeti</i>	0	0	1	1200	3	3600
<i>Mısır</i>	3	3600	1	1200	0	0
<i>Fransa</i>	1	1650	0	0	6	9900
<i>Macaristan</i>	0	0	2	2400	0	0
<i>Hindistan</i>	8	6700	12	8400	28	32.000
<i>İran</i>	1	1057	1	1057	5	2760
<i>Japonya</i>	2	2756	1	1385	8	11,562
<i>Ürdün</i>	0	0	0	0	1	100
<i>Kazakistan</i>	0	0	0	0	2	600
<i>Güney Kore</i>	3	4200	0	0	6	8400
<i>Litvanya</i>	0	0	0	0	2	2700
<i>Meksika</i>	0	0	0	0	3	3000
<i>Hollanda</i>	0	0	0	0	2	2000
<i>Pakistan</i>	0	0	1	1170	0	0

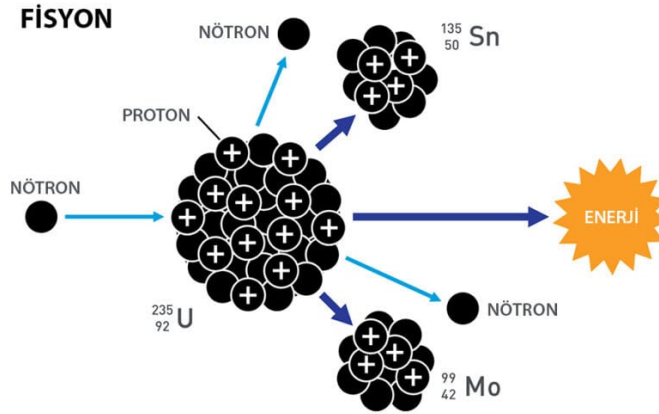
Dünyadaki nükleer güce karşı artan ilgi ve ihtiyaç beraberinde kamuoyunun bu nükleer enerji kullanımı konusundaki toplum bilincinin de büyük oranda ön plana çıkmasını sağlamıştır. Toplumda oluşturulacak nükleer güvenlik kültürü sadece devlet kurumlarının, operatörlerin, idarecilerin değil halkın her bir ferдинin sorumluluğundadır (M. Aslan, B. Çakan, 2023). Burada bahsedilen tüm birimler kendi üzerlerine düşen rolü üstlenirseler nükleer enerji kullanımı konusundaki soru işaretleri teker teker ortadan kalkacaktır. Devletin buradaki görevi nükleer güvenlik rejimini oluşturması ve uygulanabilir, etkili bir güvenlik politikası oluşturmasıdır. Kurumlar uygun yönetim planları oluşturmalı kaynakları en iyi biçimde tesis ederek koordinasyonu sağlamalı ve iş birliği içerisinde çalışmalıdırlar. İdareciler, nükleer güvenliğin önemini personellere iyi bir şekilde aktaracak eğitimler almalarını sağlamalı ve nükleer güvenlik kültürünün

gelişmesine yardımcı olmalıdırlar. Santrallerin kurulması ile ilgili süreçte halkın katılımı sağlanmalı ve bu konu hakkında halkta bilinç oluşturulmalıdır. Nükleer santraller hakkında medya bilinci oluşturulmalı ve asılsız yanlış bilgilerin önüne geçilmesi sağlanmalıdır.

2.2. Nükleer Enerji

2.2.1 Filyon

Atom çekirdeğinin parçalanmasına (filyon) adı verilir. Bu parçalanma sırasında büyük bir enerji açığa çıkar. Günümüz teknolojisiyle filyon, Uranyum-235 (U-235) atomu çekirdeğinin bir nötron ile parçalanması sonucu ortaya çıkan enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi olayıdır (Şekil 2.3).



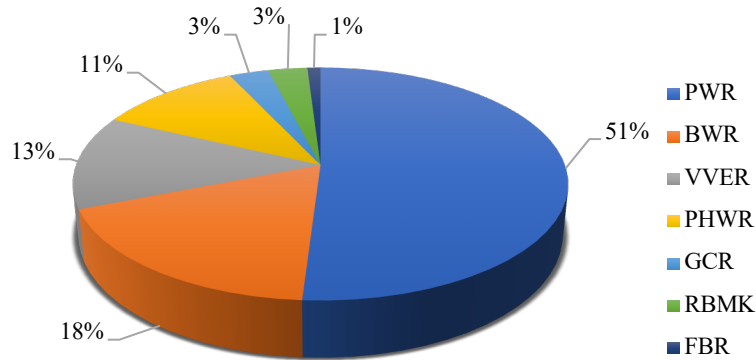
Şekil 2.3. Nükleer Filyon (Canadian Nuclear Association)

Filyon nötron parçacığının, uranyum element atomunun çekirdeğine çarpıtılması sonucunda kararsız hale gelen atomun önceki boyutundan daha küçük iki veya daha fazla çekirdeğe bölünmesi reaksiyonudur. Nükleer enerji üretimi esnasında, reaktörde bulunan nötronlar U-236 çekirdeklerini kararsız hale getirir. Bu oluşan U-236 kararsız çekirdekleri kararlı hale gelebilmek için daha küçük çekirdeklere bölünür. Bu bölünme esnasında çıkan enerjiye nükleer enerji denir. Bölünmeler esnasında oluşan nötronlar U-235 in diğer çekirdeklerine çarparak onların bölünmesini sağlarlar ve böylece sürekli bir enerji üretimi sağlanmış olur. Bu durum zincirleme tepkimeler ile devam eder.

Nükleer reaktördeki ortaya çıkan bu zincirleme reaksiyonun çok yavaş ve kontrollü gerçekleşmesi sağlanır. Fisyon sonucu ortaya çıkan nötronlar hızlıdır. Fakat U-235 çekirdeklerini parçalayabilmeleri için yavaş olmaları gerekmektedir. Dolayısı ile bu nötronları yavaşlatabilecek bir yavaşlatıcı (moderator) gerekmektedir. Burada bahsedilen yavaşlatıcı aslında reaktörün kalbine konan sudaki hidrojen atomlarıdır. Suda bulunan hidrojenlerle nötronlar çarpışır ve nötronların hızları azalır. Sistemdeki kullanan su sadece nötronları yavaşlatmaz aynı zamanda soğutucu görevini de üstlenir.

Parçalanma sırasında oluşan hızlı nötronların yavaşlatılması işlemi için hafif su (H_2O), ağır su (D_2O) ve katı grafitler kullanılmaktadır. Reaktör tiplerine göre nükleer santral aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Hafif-su soğutmalı Reaktörleri (Light Water Reactors-LWGR)
 - a. Basınçlı su reaktörleri (Pressurized Water Reactor-PWR) / Rus tipi (VVER)
 - b. Kaynar su reaktörleri (Boiling Water Reactor-BWR) / Rus tipi (RBMK)
2. Ağır-su soğutmalı Reaktörleri (PHWR)
3. Gaz soğutmalı Reaktörler (AGR)
4. Hızlı Üretken Reaktörler (FBR)



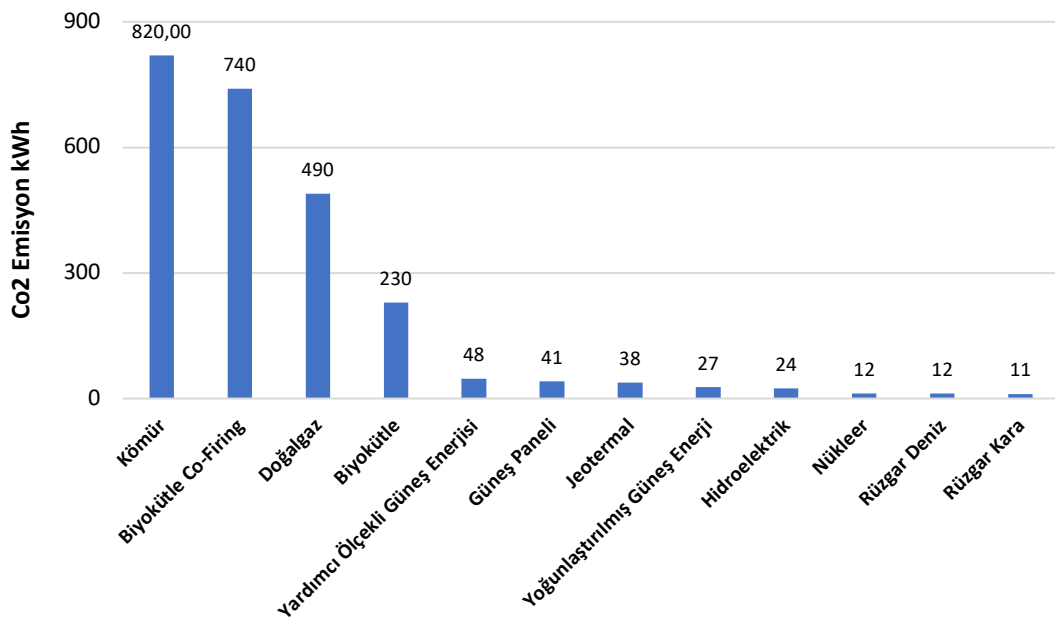
Şekil 2.4. Dünya’da Reaktör Tiplerine Göre Nükleer Santral Kullanımı

2.2.2. Füzyon

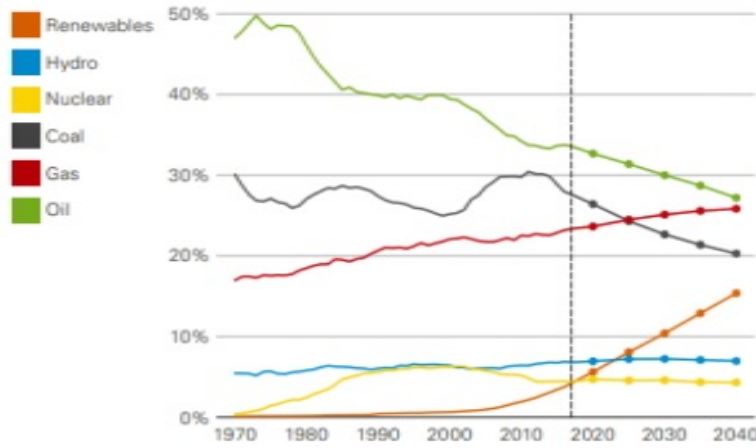
Füzyon hafif elementlerin yüksek ısı ve basınçta birleşmesi ve daha ağır elementlerin oluşması işlemidir. Güneş dahil tüm yıldızlar aşırı sıcak ve yoğun oldukları için füzyon

reaksiyonu gerçekleştirirler. Dünyamızda ışık olarak gördüğümüz ve ısı olarak hissettiğimiz şey, aslında Güneşte meydana gelen füzyonun sonucudur. Füzyon reaksiyonunda hidrojen çekirdekleri çarpışarak birleşir ve daha ağır helyum atomları oluşur. Bu birleşme esnasında enerji ortaya çıkar. Bu iki aynı yüke sahip atomun birleşme isteksizliğini ortadan kaldırabilmek için yüksek sıcaklık ve basınçlara ihtiyaç vardır. Sıcaklık için bir örnek vermek gerekirse Güneş'in çekirdeğindeki sıcaklığın 6 katına ulaşılması gereklidir. Bu sıcaklık ve basınç değerlerine ulaşan hidrojen artık bir gaz değil atomların elektronlardan sıyrıldığı bir plazmadır. Füzyon yıldızların enerji kaynağı olduğu gibi Dünya'da yaşamın var olmasını da sağlayan enerjidir. Aslında füzyon doğanın bir enerjisidir demek yanlış olmaz.

Fisyon reaksiyonu sonucu oluşan ağır elementlerin parçalanması sonucunda ortaya çıkan radyoaktif bozunma veya oluşan nükleer atıklar ve radyoaktif kalıntılar füzyon reaksiyonlarında bulunmamaktadır. Bu sayede füzyon reaksiyonu ile nükleer atık depolama maliyetleri ve riskleri ortadan kalkmış olacaktır. Ayrıca fosil yakıtların ortaya çıkardığı, küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebebiyet veren sera gazı emisyonlarında ortadan kalkmış olacaktır. Enerji üretim yöntemlerinin atmosfere verdiği CO_2 emisyonları Şekil 2.5 gösterilmiştir.

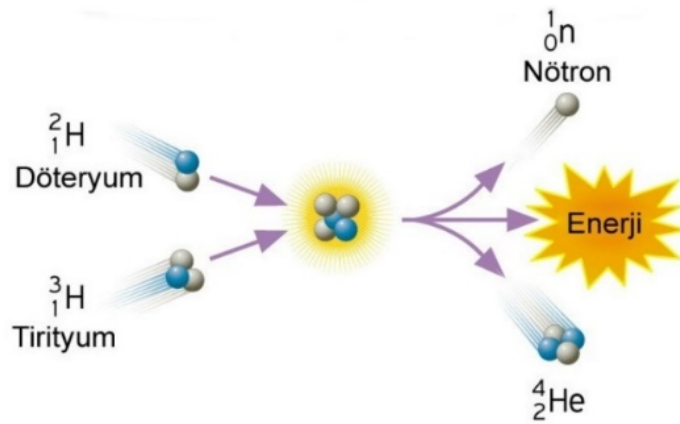


Şekil 2.5. CO_2 Emisyon Değerleri (World Nuclear Association 2022)



Şekil 2.6. CO_2 Emisyon Değerlerinin Yıllara Göre Dağılımı (IEA Küresel Enerji ve CO_2 Durum Raporu 2018)

Aşağıdaki Şekil 2.7 görüldüğü gibi bir döteryum atomu bir trityum atomu ile birleşir ve füzyon reaksiyonu gerçekleşir bunun sonucunda da yüksek bir enerji ortaya çıkar. Bu birleşim için yaklaşık 32 milyon $^{\circ}C$ sıcaklık gerekir ve 17,6 milyon volt enerji üretilir. Atomların birleşmesi sonucunda da daha ağır olan helyum ve bir nötron meydana gelir. Bu reaksiyonda kullanılan döteryum bir proton ve bir nötron içeriyorken elektron içermemektedir. Buradaki döteryum hidrojen izotopudur. Bilindiği gibi hidrojen su bileşimini oluşturan bir elementtir. Buradan da anlaşılacağı gibi deniz suyundan enerji elde etmek mümkündür. 3,8 litre deniz suyundan 1,136 litre benzine eşdeğer derecede enerji üretilebilir.



Şekil 2.7. Füzyon Reaksiyonu (URL-2)

Daha öncede bahsettiğimiz gibi füzyon reaksiyonu için yüksek sıcaklıklar gerekmektedir hatta güneşin sıcaklığının 6 kat daha fazlasının gerektiği söylenmiştir. Buradaki yüksek sıcaklığa ulaşabilmek için güneşteki gibi büyük kütleçekim kuvvetine ihtiyaç duyulur. Eğer bu basıncı dünyada yapay yollarla oluşturabilirsek füzyon reaksiyonunu gerçekleştirmiş dolayısı ile bu reaksiyondan elde edilecek enerjiye de ulaşmış olacağız. Günümüz teknolojisinde füzyon ile elde edilecek enerjiden daha fazla enerji harcanarak reaksiyon gerçekleştirilmektedir. Fakat füzyon ile ilgili çalışmalar devam ettiği ve teknolojinin gün geçtikçe geliştiği göz önüne alındığında bu enerji kaynağından yüksek verimlerle faydalanmanın mümkün olduğu görülecektir. Füzyon reaksiyonun yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi bizlere bir konuda avantaj sağlamaktadır. Bir şeylerin ters gitmesi gibi bir durumda aniden sıcaklık kesilerek reaksiyonun tamamen durdurulması mümkündür. Fisyon sürecinde ise olası bir hata ve patlamada reaksiyonun durdurulması istense de zincirleme reaksiyon devam edecek ve ortama radyasyon yaymaya devam edecektir. Füzyondaki reaksiyona müdahale edilerek durdurulabilme özelliği fisyon'a göre büyük bir avantajdır.

2.3. Nükleer Santral Çalışma Prensibi (Fisyon)

Nükleer santraller nükleer enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesini sağlayan sistemlerdir. Fisyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan nükleer enerji ısı enerjisine dönüştürülür. Açığa çıkan bu ısı enerjisi türbin aracılığı ile kinetik enerjiye sonrada jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir.

Su soğutmalı bir nükleer reaktörden örnek verecek olursak. Fisyon sonucu ortaya çıkan büyük ısıнын, yakıtın bulunduğu ortamdan taşınması için su bir pompa ile dolaştırılır. Yüksek ısıdaki (300 °C) su boruları yardımıyla soğuk su bulunan bir hazneden geçirilir. Bu esnada borulardan geçen sıcak su boruların etrafındaki soğuk su ile ısı transferinde bulunur ve soğuk su buharlaşır. Oluşan buhar, elektrik jeneratörüne bağlı bir buhar türbininden geçirilir. Türbin kanatçıklarına çarpan yüksek basınçtaki buhar, türbin şaftını çevirir ve türbin şaftına bağlı jeneratörün dönmesini sağlar ve bu sayede elektrik üretilmiş olur. Üretilen elektrik iletim hatları ile kullanılmak istenen yere gönderilmiş olur. Türbinden çıkan sıcaklığı düşmüş olan buhar tekrar kullanılmak üzere

yoğunlaştırıcıya gönderilir ve burada soğutularak su haline getirilir. Bu şekilde sistemde döngü halinde kullanılmaya devam eder.

2.4. Nükleer Santral Bölüm ve Görevleri

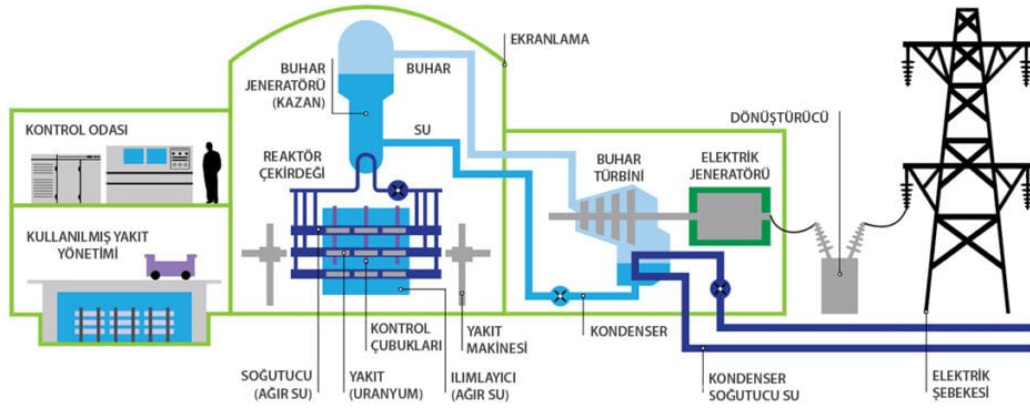
- a. Nükleer Reaktör; Uranyum atomunun fisyon yoluyla parçalandığı, çok yüksek ısıların meydana geldiği, nükleer santralin kalbidir.
- b. Basınç Kabı; Yakıtların bulunduğu, buharın üretildiği ve soğutma suyunun bulunduğu bölümdür. Kalınlığı 20-25 cm kadardır.
- c. Koruma kabı; Basınç kabı, buhar üreteçleri ve tüm reaktör parçalarını koruyan kaptır. İç kısmı 2 cm kalınlığındaki çelik bir zırh ve onun dışında 2 ile 5 m kalınlığındaki bir beton kabuktan oluşur.
- d. Kondanser; Türbinde kullanılan sıcak su buharını yoğunlaştırarak suya dönüşmesini sağlayan bölümdür. Kondanserde yoğunlaşan sıcak su pompa yardımıyla soğutma kulesine gönderilir.
- e. Atık Toplama Sistemi; Nükleer santralin en önemli bölümüdür. Radyoaktif madde içeren atıklar (katı, sıvı, gaz) ayrı ayrı işleme tabi tutulur. En önemli atıklar katı atıklardır cam kaplar içinde tuz madenlerinde saklanırlar.
- f. Moderatör; Parçalanma sonucu ortaya çıkan nötronların yavaşlatılmasını sağlayan bölümdür. Burada kullanılan madde grafit, hafif su veya ağır sudur. Moderatör aynı zamanda soğutma görevini de üstlenir.
- g. Ölçü, kontrol ve koruma sistemi; Santralin tüm ünitelerini izleyen ve kontrol eden bölümdür. Oluşan bir arıza hemen fark edilir.
- h. Buhar Türbini; Sıcak su buharının kinetik enerjiden mekanik enerjiye dönüştüğü bölümdür.
- i. Jeneratör; Buhar türbininden elde edilen mekanik enerjinin şafta aktarılması sonucu elektrik enerjisine dönüştürülen bölümdür.
- j. Şalt Sahası; Nükleer enerjiden elde edilen elektrik enerjisinin alıcılara iletmek üzere yükseltildiği bölümdür.

Yukarıda fisyon yoluyla enerji üreten bir nükleer güç santralinin bileşenleri tek tek yazılmış ve yaptığı görevler anlatılmıştır. Reaktör bileşenlerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve ayrıntılı bir şekilde ortaya konması açısından aşağıda görülen Tablo 2.4 hazırlanmıştır. Tüm bileşenlerin malzemeleri ve işlevleri Tablo 2.4 de yer almaktadır.

Tablo 2.4. Reaktör Bileşen ve İşlevleri

REAKTÖR BİLEŞENLERİ	MALZEME	İŞLEV
Yakıt	$^{233}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{U}$, $^{241}_{94}\text{U}$	Fisyon Reaksiyonu
Yavaşlatıcı	Hafif su, Ağır su, Karbon, Berilyum	Hızlı nötronların enerjisini azaltarak termal nötronlar seviyesine indirmek
Soğutucu	Hafif su, Ağır su, Hava, Karbondioksit, Helyum, Sodyum, Bizmut, Potasyum, Organikler	Isıyı ortamdan uzaklaştırmak
Yansıtıcı	Moderatör ile aynı	Nötron kaçışını en aza indirmek
Zırhlama	Beton, Su, Çelik, Kurşun, Polietilen	Radyasyondan korumayı sağlamak
Kontrol çubukları	Kadmiyum, Bor, Hafniyum	Nötron üretim hızını kontrol etmek
Yapı	Alüminyum, Çelik, Zirkonyum, Paslanmaz çelik	Yakıt elemanlarını korumak, reaktör yapısına ve bileşenlerine fiziksel destek sağlamak

Nükleer güç santralının bileşenlerinden bahsettikten sonra çalışma prensibinin daha iyi kavranabilmesi için aşağıdaki şekil verilmiştir. Şekilde görülen santral Su Soğutmalı bir nükleer santralin çalışma şeklidir. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8. Nükleer Enerjinin Elektrik Enerjisine Çevrimi (Canadian Nuclear Association)

2.5.Nükleer Santral Reaktör Tipleri

Nükleer enerjiden elektrik enerjisi elde etmek için birçok tasarım gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tasarımların çoğu zaman içinde yok olup gitmiştir. Bu tasarımların çok azı zor ve maliyetli süreçleri aşarak hayata geçirilebilmiştir. Nükleer reaktörler soğutucu olarak kullanılan malzemeye göre sınıflandırılır. Günümüzde reaktörlerin

yaklaşık %85'i evlerimizde de kullandığımız suyu kullanmaktadır. Bu tarz reaktörlere “Hafif-Su Reaktörleri (LWGR)” denmektedir. Hafif-Su Reaktörleri de kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar Basınçlı-Su Reaktörü (PWR) ve Kaynar-Su Reaktörleridir (BWR). Ruslar bu iki reaktörü de kendi geliştirdikleri sistemlerle çalıştırmaktadır. Rusların geliştirdiği Basınçlı-Su Reaktörü (VVER), Kaynar-Su Reaktörüne de (RBMK) adını vermişlerdir. Diğer bir çeşit Ağır-Su Reaktörlerdir (PHWR). Bu reaktörlerde ağır su (D_2O)⁴ kullanılmaktadır. Gaz soğutmalı reaktörlerde (AGR) vardır. Burada soğutma için helyum gazı kullanılır. Som olarak soğutucu olarak ağır-metal (sodyum) kullanan reaktörlerde (FBR) mevcuttur.

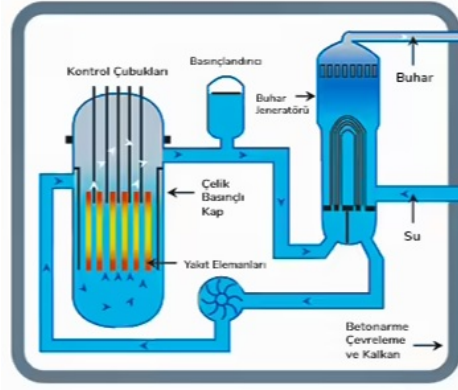
2.5.1. Hafif-su Soğutmalı Reaktörler (LWGR)

Dünyada en çok kullanılan nükleer santral çeşididir. Bu santrallerde su yavaşlatıcı, yansıtıcı ve soğutucu olarak birçok görev üstlenir. Bu reaktörler iki gruba ayrılır daha öncede bahsettiğimiz gibi Basınçlı-Su ve Kaynar-Su olmak üzere. Özellikle bu tip reaktörlerin tasarımlarında önemli iyileştirmeler yapılmıştır. Gelişmiş tasarımlarında birleştirilmiş birincil sistem ve pasif acil kor soğutma sistemine sahiptirler.

2.5.1.1. Basınçlı Su Reaktörleri (PWR) / Rus Tipi (VVER)

Nükleer güç santrallerinde en çok kullanılan ve en yaygın tiptir. PWR'lerin ilk tasarımı nükleer denizaltı reaktör teknolojisi ile ortaya çıkmıştır. İlk sivil PWR, ABD'de kurulmuş ve 1957 de işletmeye alınmıştır. PWR'ler soğutucu ve moderatör olarak su kullanırlar. Tasarımda çok yüksek basınç altında reaktörün çekirdeğinden akan bir birincil soğutma devresine ve türbini çalıştırmak için buharın üretildiği ikincil bir devreye sahip olan sistemlerdir. İlk tasarımında 60 MW elektrik gücü üretirken günümüzde 1300 MW net elektrik üretebilecek duruma gelmiştir. PWR'ler ciddi kazaların oluşmasını önleyecek, oluşması durumunda ise oluşacak hasarı en aza indirecek güvenlik sistemleri ile tasarlanmışlardır. Rusya'da kendi geliştirdikleri Basınçlı-Su Reaktörleri VVER olarak geçmektedir.

Reaktörün çekirdeğinde su yaklaşık olarak 325°C'ye kadar ısınır. Kaynamasını önlemek için yaklaşık 150 kat atmosfer basıncı altında tutulur. Basınç, basınçlandırıcı da buharla korunur.

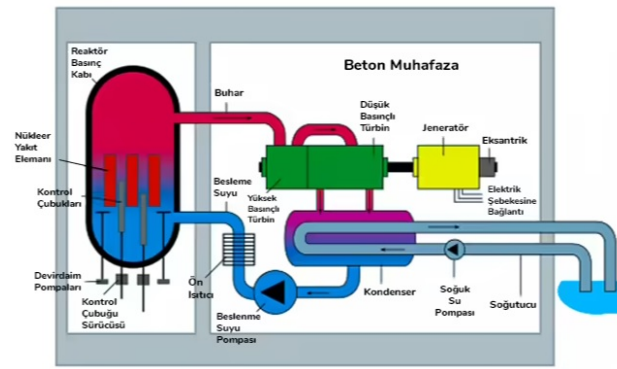


Şekil 2.9. Basıncılı-Su Reaktörü (PWR) (URL-6)

Birincil soğutma devresinde su aynı zamanda moderatördür dolayısı ile bu bölgede suyun buharlaşması fisyon reaksiyonunu yavaşlatır. Burada olumsuz gibi görünen durum bu türün güvenlik özelliklerinden biri olarak karşımıza çıkar. İkincil devrede daha az basınç vardır ve buradaki su buhar jeneratörü olan ısı eşanjörlerinde kaynar. Elde edilen buhar türbini elektrik üretmek için çalıştırır. Kullanılan buhar daha sonra yoğunlaştırılır ve birincil devre ile temas halinde olan ısı eşanjörlerine gönderilir.

2.5.1.2. Kaynar Su Reaktörleri (BWR) / Rus Tipi (RBMK)

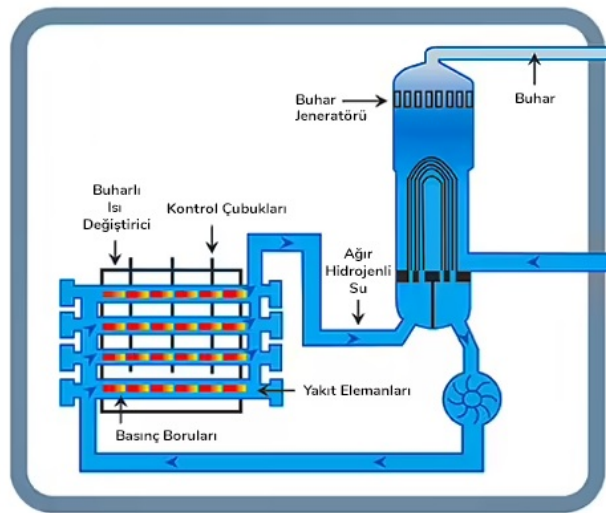
Basıncılı-Su reaktörlerinden sonra en çok kullanılan reaktör tipidir. Bu reaktörlerde buhar üretici yoktur. Burada su daha düşük basınçta (75 kat atmosferik basınç) bu sebepten çekirdekte 285°C 'de kaynadığı tek bir devre vardır. Reaktör, çekirdekteki suyun %12-15'i buhar olacak şekilde tasarlanmıştır. Reaktörde üretilmiş su buharı buhar kurutucularından geçirilerek direk türbine gönderilir ve elektrik enerjisi üretilir.



Şekil 2.10. Kaynar-Su Reaktörü (BWR) (URL-6)

2.5.2. Ağır-su Soğutmalı Reaktörler (PHWR)

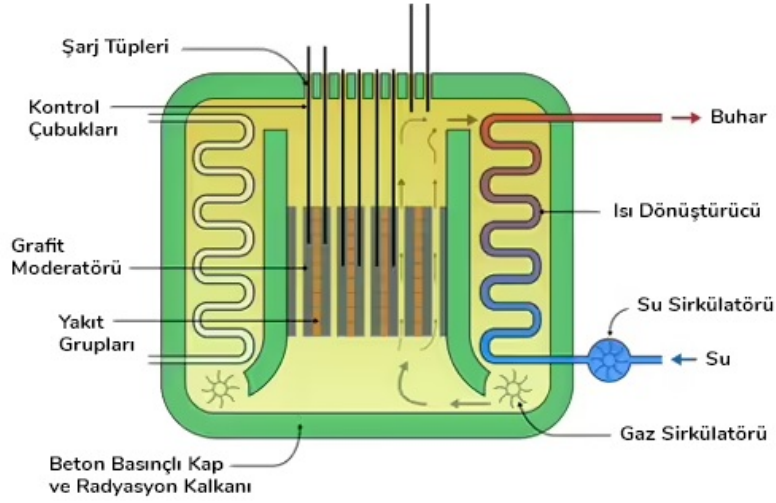
Bu reaktör tasarımı ilk olarak Kanada’da başlamış ve daha sonra Hindistan’da devam etmiştir. Hafif-Su Reaktörlerine göre avantajları daha fazladır. Bu üstünlüklerden bir tanesi yakıt zenginleştirmesine ihtiyaç duymamasıdır. Reaktör çalışır durumdayken yakıt yüklemesi yapılabilir. Bu artılara istinaden kor bölgesinin daha büyük olması, ağır su üretimine ihtiyaç duyulması, ağır su üretim maliyeti ve termodinamik verimliliğin düşük olması dezavantajlarından sayılabilir. Moderatör, yakıt için kanalları oluşturulan birkaç yüz yatay basınç tüpü tarafından nüfuz eden, birincil soğutma devresinde yüksek basınç (100 kat atmosferik basınç) altında ağır su akışı ile soğutulan, yaklaşık 290°C’ye ulaşan, calandria adı verilen büyük bir tanktır. PWR’de olduğu gibi, birincil soğutma sıvısı, türbinleri çalıştırmak için ikincil bir devrede buhar üretir.



Şekil 2.11. Ağır-Su Reaktörü (PHWR) (URL-6)

2.5.3. Gaz Soğutmalı Reaktörler (AGR)

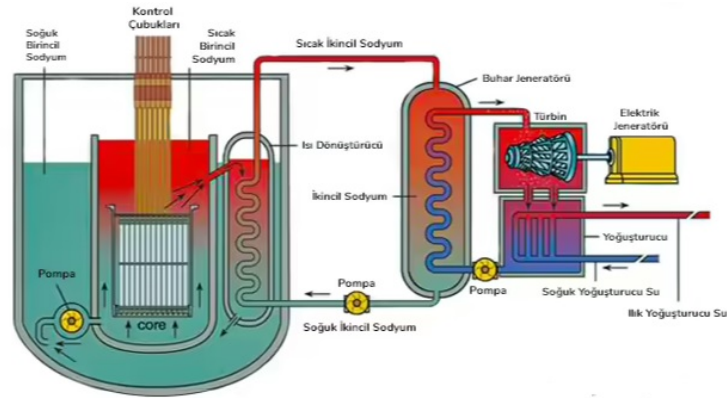
Bu reaktörlerde birincil soğutucu olarak grafit moderatör ve karbondioksit kullanılır. Bu sistemde yakıt paslanmaz çelik borularda %2,5-3,5’e kadar zenginleştirilmiş uranyum oksit paletleridir. Karbondioksit çekirdekte dolaştırılır sıcaklığı 650°C’ye kadar ulaşır. Yüksek sıcaklığa ulaşan gaz buhar jeneratör tüplerinin çevresinden geçer ve buhar elde edilmiş olur. Oluşan basınçlı buhar türbinlerde elektrik enerjisine dönüştürülür.



Şekil 2.12. Gaz Soğutmalı Reaktör (AGR) (URL-6)

2.5.4. Hızlı Üretken Reaktörler (FBR)

Bu tip reaktörlerde sodyum soğutucu reaktör kalbine, reaktör kabının altından pompalanır. Reaktör kabına giren sodyum soğutma işlemini yapar ve sıcaklığı yükselmiş bir şekilde çıkar. Daha sonra sodyum yakıt bölgesinden geçerken reaktör kalbinden aldığı ısı enerjisini “ara ısı değiştiricisi” olarak bilenen düzeneğe taşır. Burada birinci sodyum döngü enerjisi ikinci sodyum döngüsüne aktarılmış olur. İkinci döngüdeki sodyum ısı değiştiricisinden çıktıktan sonra buhar kızdırıcısına sonrada buhar üreticine gider. İkinci döngüde akan sodyumla ters yönde akan üçüncü döngü, suyu ikinci döngüden aldığı enerji ile kızgın buhara çevirir. Oluşan buhar elektrik üretimi için türbinlere gönderilir.



Şekil 2.13. Hızlı Üretken Reaktör (FBR) (URL-6)

Nükleer santral çeşitlerinin nasıl çalıştıkları ile ilgili kısa bilgiler verildikten sonra bu tiplerin hangi ülkelerde ve kaçar adet olduğu ile ilgili bilgiler Tablo 2.5 de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Dünyadaki Nükleer Reaktör Çeşidi ve Sayısı (World Nuclear Association)

Reaktör Tipi	Ana Ülkeler	Sayı	GWe	Yakıt	Soğutucu	Moderatör
Basınçlı-Su Reaktörü (PWR)	ABD, Fransa, Japonya, Rusya, Çin, Güney Kore	307	292.8	Zenginleştirilmiş UO_2	Su	Su
Kaynar-Su Reaktörü (BWR)	ABD, Japonya, İsveç	60	60.9	Zenginleştirilmiş UO_2	Su	Su
Ağır-Su Reaktörü (PHWR)	Kanada, Hindistan	47	24.3	Doğal UO_2	Ağır su	Ağır su
Hafif-Su Grafit Reaktörü (LWGR)	Rusya	11	7.4	Zenginleştirilmiş UO_2	Su	Grafit
Gaz Soğutmalı Reaktör (AGR)	Birleşik Krallık	8	4.7	Doğal U (metal), Zenginleştirilmiş UO_2	CO_2	Grafit
Hızlı Üretken Reaktör (FNR)	Rusya	2	1.4	PuO_2 ve UO_2	Sıvı Sodyum	Hiçbiri
Yüksek sıcaklık gaz soğutmalı reaktör (HTGR)	Çin	1	0.2	Zenginleştirilmiş UO_2	Helyum	Grafit
TOPLAM		436	391.7			

2.6. Nükleer Atıklar

Kullanılan yakıtın içerisindeki U-235 oranının azalması nedeniyle artık fisyon zincir reaksiyonu gerçekleştiremeyen, ömrünü tamamlamış yakıt demetleri reaktörden alınır. Kullanılan bu yakıtlardan, Uranyum ve Plutonyumu kimyasal metodlar ile tekrar kullanıma kazandırmak mümkündür. Bu geri kazanımdan sonra geriye kalan karışım tüm radyoaktiviteden sorumlu olan “yüksek aktiviteli nükleer atık “ olarak adlandırılır.

Nükleer santraller, termik santraller gibi CO_2 ve SO_2 gibi gazlar salmazlar ve kül bırakmazlar. Bu sebepten dolayı sera gazı etkisi oluşturmadığı söylenebilir. Fakat kullanılmış yakıttan çıkan yüksek radyoaktiviteye sahip atıklar çevreye ve insana zarar verme potansiyeli yüksek olan maddelerdir. Bu atıkların dış ortamla etkileşime geçmesi geri dönüşü olmayan büyük tahribatlara yol açabilir. Bu atıkların bertaraf edilmesinde en popüler olarak kullanılan yöntem yeraltı özel depolardır. Yer altında bulunan bu depoların yeraltı sularına karışmaması büyük önem taşımaktadır. Bu sebep ile depoların konumlandırılması jeolojik ve çevresel faktörler göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Oluşan atıklar cam eriyiği ile karıştırıldıktan sonra metal silindirlere boşaltılır. Cam suda çözünmediği için atıkların bir şekilde yeryüzüne çıkma olasılığı da azalmış olacaktır.

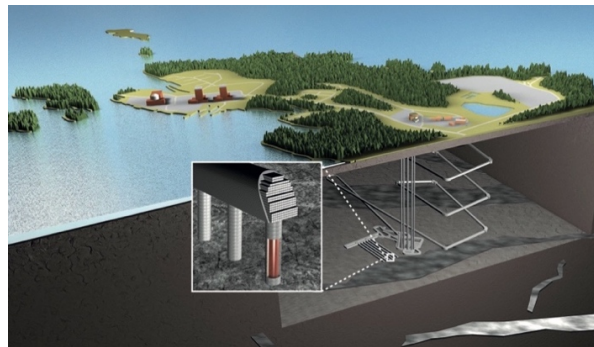
Nükleer atıklar için yeryüzünde oluşturulmuş depolama alanları yakıt hacmi büyüdükçe yeterli olmayacak ve kısa sürede kapasiteleri dolacaktır. Dolayısı ile atıkların depolama ve kalıcı olarak bertaraf edilebilmeleri için yeni tesisler geliştirilmeye başlanmıştır. Yeraltında olacak bu depolara “Derin Jeolojik Depolar (DGR)” adı verilmiştir. Birçok ülke bu depolama hakkında çalışıyor ve teknoloji geliştiriyorlardır. Gelecekte kullanılacak bu depolar ile ilgili bazı modeller önerilmiş ve incelenmiştir. Son zamanlarda, ABD tarafından geliştirilen yatay sondaj deposu tasarımı nükleer atıklar için önerilmiştir.

Çoklu bariyer depo konseptleri şu ana kadar iki tanedir;

- a. Çoklu Bariyer Depo Konsepti
- b. Derin Yatay Sondaj Deposu Konsepti

2.6.1 KBS-3 Çoklu Bariyer Tabanlı Tasarım

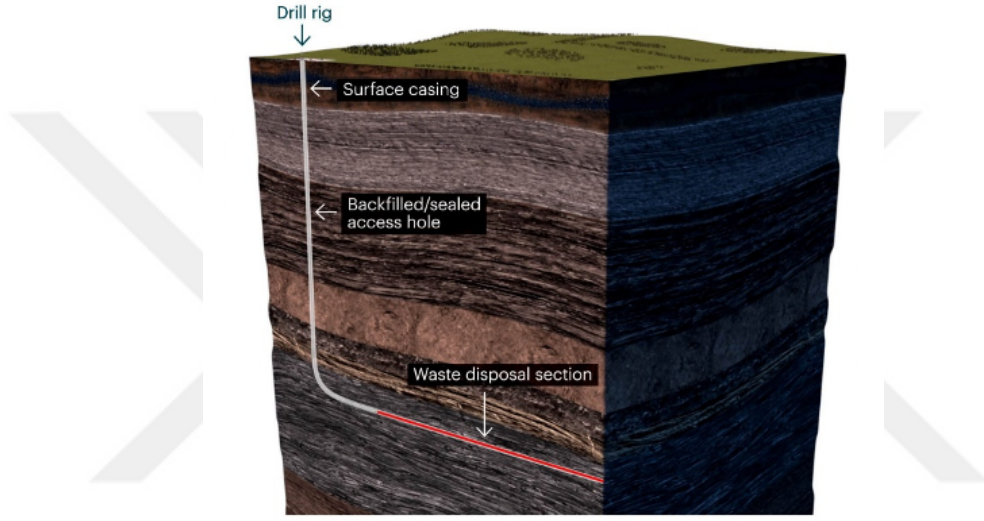
KBS-3 çoklu bariyer deposu İsveç Nükleer Yakıt ve Atık Yönetimi şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bertaraf yöntemi olarak; nükleer atıklar 30 yıl depolarda bekledikten sonra bakır kaplı bidonlarda dökme demir eklerde kapsüllenmesi ve ardından kapsüllerin bentonit kılı içinde 8 m ve 2 m genişliğinde dairesel dikey delikte 500 m de biriktirilmesinden oluşur. Depolama tesisi dolduktan sonra açılan delik kapatılır.



Şekil 2.14. KBS-3 Çoklu Bariyer Tabanlı Konsept (URL-7)

2.6.2. Derin Yatay Sondaj Deposu Konsepti

ABD merkezli bir firma tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemi geliştiren Deep Isolation firması, atıkların daha düşük maliyetlere kalıcı olarak imha edilmesini amaçlamıştır. Geliştirilen sistem dikey erişimli uzun bir sondaj deliği ile başlar ve ardından yavaşça yatay olarak dönenecek şekilde tasarlanmıştır. Çöp kutuları geri alınabilir ve insanların yer altına inmesi gerekmemektedir.



Şekil 2.15. Derin Sondaj Depo Konsepti (URL-7)

3. LİTERATÜR TARAMASI

Günümüz dünyasında teknolojinin gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaç da bir o kadar artmıştır. Ülkeler ortaya çıkan bu enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için alternatif arayışlarına girmişlerdir. Petrol türevi enerji kaynaklarından karşılanan enerji ihtiyacına ek olarak yenilebilir kaynaklarda kullanılmaya başlanmış fakat yeterli olmamıştır. Petrol türevi enerji kaynakları her ne kadar genel enerji ihtiyacını yüksek oranda karşılayabiliyorsa da çevreye ve insana verdiği zararların göz ardı edilemeyecek düzeylere ulaştığı da açıkça görülmektedir. Bu sebeple dünyada ki tüm ülkeler alternatif enerji ihtiyacı için alternatif yöntemler aramaya devam etmişlerdir.

Bu alternatif enerji kaynakları arayışında kullanılabilecek bir yöntem olarak nükleer enerjinin düşünülmesi 1930 yıllarda ortaya çıkmıştır. Fakat bu enerjinin temelleri Albert Enistein'in 1905 yılında $E = mc^2$ formülü ile fisyon sonucu atomun çekirdeklerinin birçok kez bölünüp ortaya büyük bir ısı enerjisinin çıkacağını ortaya atmasıyla başlamıştır. Daha sonra 1930 yılında deneysel olarak bu reaksiyon Otto Hanh ve Lise Meitner tarafından doğrulanmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda 1942 yılında Enrico Fermi önderliğinde ABD'nin Chicago, Illinois kentinde ilk nükleer santral kurulmuştur. Elektrik üreten ilk ticari nükleer santral ise İngiltere de Calder Hall da 1956 yılında kurulmuştur. O günden bugüne birçok ülke nükleer güç santralleri kurmuş ve hala günümüzde kullanmaya da devam etmektedir.

Nükleer santrallerin kurulum yerleri seçimi için dünyada ve ülkemizde ÇKKV yöntemleri ilk sırada olmak üzere birçok yöntemler kullanılmış ve araştırmalar yapılmıştır. Literatür araştırması yapıldığında bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi incelenmiştir.

Nükleer güç santrallerinin çalışması ve uygulamaları hakkındaki yapılan araştırmaların bazıları aşağıdaki gibidir.

Aslan M. ve Çakan B. (2023) Türkiye'de kurulan ilk nükleer güç santralini ekonomik ve toplumsal güvenlik açısından incelemiş ve şu bulgulara ulaşmışlardır. Türkiye enerji alanında kendine yetebilen bir ülke olmadığı ortaya konmuştur. Karbon salınımı konusunda Avrupa'da ikinci sırada yer aldığını tespit etmişlerdir. Jeolojik konumu

gereği yenilenebilir enerji kaynakları yüksek olsa da bu kaynaklardan günümüz teknolojisi ile sağlanan verimin yeterli olamayacağını vurgulamışlardır. Temiz enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için nükleer enerjiye geçişin olması gerektiği üzerine durmuşlardır. Nükleer santrallerin kullanılmasının toplumsal olarak etkisini incelemişler ve 233 kişinin katıldığı anket düzenlemişlerdir. Bu anketten toplumun konu hakkında çok bilgisinin olmaması ve daha önceden oluşan kazaların toplum üzerinde büyük etkisinin olduğunu görmüşlerdir. Etkin bir yasal ve resmi çerçeve oluşturulur, tüm taraflar (halk, yöneticiler v.b.) sürece dahil edilir ve kamuoyuna yeterli bilgi akışı sağlanabilirse olumsuz olan görüşlerin ortadan kalkacağı sonucuna varmışlardır.

Kahraman Z., Özdemir K. (2022) Nükleer santrallerin kurulum ve işletilmesi esnasında ayrıntılı risk analizlerinin yapılmış olması ve yapılan risk analizlerinin getirdiği rutin kontrollerin yapılarak herhangi bir olumsuzluğun yaşanmasının engellenmesi konusunda bilgiler verilmiştir. İş sağlığı ve güvenliği kültürünün işletmenin tamamında oluşturulması ile güvenilir bir çalışma ortamı oluşturacağı vurgulanmıştır.

Türkan N., Kara H. (2022) Küresel ısınma ile ilgili bir risk kaynağı olmaması sebebi ile hızlı bir şekilde dünyada yaygın hale geldiğine değinilmiştir. Kullanılan soğutma sularının denize deşarjı konusunda deniz su sıcaklıklarının artışına bir etkisinin direk olmadığı artışın kümülatif motifte kalmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Dolayısı ile deniz sularına herhangi bir radyasyon sızıntısının söz konusu olmadığı ve turizmi etkileyecek herhangi bir durumun söz konusu olmadığı ortaya konmuştur. Artan enerji gereksinimleri sıkıntılarının ülkemizde yaşanmamasını sağlamak ve toplumun refahı ve yararı için kullanılması konusunda atılacak adımların desteklenmesi konusunda fikir sunmuştur.

Vural A., Ural M., Çiftçi A. (2022) Çalışmada N-gram analizi kullanılarak yenilenebilir, nükleer ve alternatif enerji kaynakları kullanım sıklıkları ortaya konmuştur. N-gram yöntemiyle yenilenebilir enerjinin günümüzde çok popüler olduğu, fosil yakıt enerjisine olan ilginin de gitgide azaldığı tespit edilmiştir. Nükleer enerjinin ise çevre hassasiyetinin az olması sebebi ile öneminin düştüğü ortaya konmuştur.

Berk H., Türker M., Berk Ş. (2022) Türkiye'nin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmak, karbon salınım düzeyini düşürmek ve enerji açığını kapatmak için nükleer santrallerin kurulmasının göz arda edilemeyecek duruma geldiği konusunda bilgiler verilmiştir. Fakat Akkuyu santralının kurulmasıyla bölgenin geçim kaynaklarından biri olan turizmin olumsuz etkileneceği vurgusu yapılmıştır. Nükleer enerji santralleri açısından zengin olan Fransa'nın turizm konusunda herhangi bir sıkıntı yaşamaması örnek alınarak bu bilincin de Türkiye'de oluşturulması gerektiği konusuna vurgu yapılmıştır. Tüm incelemeler sonunda nükleer enerjinin günümüz dünyasında bir gereklilik olduğu ve turizmde yapılan çalışmalarla olumsuz etkilenmeyeceği kanısına varılmıştır.

Çak D., Demir M., (2021) Avrupa Birliği için önemli bir unsur olan enerji, birliğin kalkındırılması açısından da büyük önem taşıdığı konusu ele alınmıştır. Birlik içerisindeki ülkelerin nükleer enerji üretimine karşı olan güvensizlikleri olsa da bir o kadar ekonomik açıdan önemli olduğunun hissedildiği konusu vurgulanmıştır. Fransa'nın bu konudaki öncülüğü göze çarpmakta ve diğer ülkelere göre nükleer enerjiye daha olumlu baktığı anlatılmaktadır.

Önder H., Gündüz İ. (2019) Nükleer enerjinin kullanımının pek çok faydası olduğu konusunda bilgiler verilmiştir. Bunlara örnek olarak nükleer enerjinin daha ekonomik olduğu, maliyetin düşük olduğu, nükleer enerji hammaddesinin rezervlerinin bol olduğu, uluslararası tekelleşmeye sebebiyet vermediği gibi konular üzerine durulmuştur. Nükleer enerjinin makroekonomik olarak ülkelere etkileri de göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan makroekonomik belirleyiciler literatürdeki ampirik çalışmalar incelenerek ortaya konulmuştur. Belirlenen bu değişkenler vasıtasıyla OECD ülkeleri örnekleme ortaya konmuştur. Araştırmacı Türkiye'nin yeterli fosil enerji kaynağının olmadığını göz önüne alarak dışa bağımlılığı azaltmak için nükleer enerji kullanımını değerlendirmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Harunoğulları M. (2019) Gelişen teknoloji sayesinde daha güvenilir nükleer santrallerin kurulduğu ve bu santrallerin ülkelere, toplumlara birçok avantaj getirdiği konusunda bilgiler verilmiştir. Güvenli işletilen nükleer santralin bitki örtüsüne, turizm faaliyetlerine ve tarım alanlarına hiçbir olumsuz etki bırakmadığı vurgulanmıştır. Nükleer enerji kullanımı ile petrol türevi enerji kaynaklarının azalması sonucu sera gazı

etkisinin dolayısı ile iklim değışikliğı etkilerinin daha da azalacağı belirtilmiştir. Bu enerji türünün kullanılması CO_2 salınımını da azaltacağı konusunda bilgiler verilmiştir.

Güllü M., Güngül M. (2019) Bu çalışmada Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelse de bu kaynakların enerji ihtiyacı için yeterli olmadığını görmesi üzerine nükleer enerjiye yöneldiğı konusunda bilgiler verilmiştir. Türkiye'nin nükleer enerji açısından diğer ülkeler ile ilgili nedensellik sonuçları araştırılmış ulaşılan sonuçlara göre Türkiye'nin enerji açığını kapatabilmesi için nükleer enerji santrallerine ihtiyacı olduğu kanısına varılmıştır.

Joon-Eon Y. (2018) MURA risk derecelendirme yöntemini kullanarak çoklu birim olarak kurulmuş nükleer santrallerin risklerinin azaltılması konusunda öngörülerini ortaya koymuş ve bunlar ile ilgili ön çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda şu yargılara varmıştır. Çoklu birim bir nükleer santrallerin bireysel nükleer santrallere göre daha riskli olup olmadığı konusunda yapılan bu çalışmada her ikisinin de gerekli güvenlik önlemleri alındığında eşit risk seviyesinde olduğu gösterilmiştir. Burada önemli olanın risk değerinden çok risk yönetimine yönelmenin daha doğru olacağı vurgulanmıştır.

Elmacı S. (2018) Türkiye'nin artan enerji ihtiyacının farklı kaynaklardan temim edilmesinin dışa bağımlılığı azaltacağı dolayısı ile nükleer enerjiye yatırımların yapılması gerektiğı konusunda bilgiler verilmiştir. Nükleer enerji kullanımı konusunda gerekli güvenlik önlemleri alınmalı ve bilimsel gelişmeler daima göz önünde bulundurulması gerektiğı söylenmiştir.

Akdağ S., İskenderoğlu Ö. (2018) Bu çalışmada yenilenemeyen, yenilenebilir ve nükleer enerji tüketimleri ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan analizde yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji tüketiminin GSYİH üzerinde anlamlı ve pozitif etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Nükleer enerji tüketiminin ise GSYİH üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Vatansever Z. (2017) Nükleer santrallerin; maliyet performansı, çevreye ve insana zararları, kazalara karşı güvenlik sorunları ve nükleer atık depolama gibi birçok sorunları bünyesinde barındırmasına rağmen alternatif enerji kaynaklarına göre daha

temiz olması konusu üzerinde durulmuştur. Gerekli teknolojik gelişmeler eşliğinde ve gerekli güvenlik önlemleri alınarak bu enerji üretim yönteminin kullanılmasının büyük ölçüde fayda sağlayacağı konusu vurgulanmıştır.

Özalp M. (2017) Gelişmekte olan Türkiye'nin dünya ülkeleri arasında geride kalmaması ve enerji ihtiyaçlarında dışa bağımlı olmaması için nükleer santrallerin kurulması gerektiği konusunda yargılarda bulunulmuştur. Güncel teknolojilerden faydalanılıp daha güvenli santraller inşa etmek ve gerekli enerji ihtiyaç açığının ortadan kaldırılmasını sağlamanın öneminden bahsedilmiştir.

Güngör M., Buldurur M., (2017) Bu çalışmada Türkiye'de enerji tasarruf bilincinin oluşturulması, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin aktif olarak kullanımının sağlanması durumunda nükleer enerji santrallerine ihtiyaç kalmayacağı konusunda bir sonuca varmışlardır.

Min K., Ikhaeng L., Youngsoo J. (2016) Bu çalışmada üç farklı tesis tipi belirlenen risk durumlarına göre birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda fosil ve gaz santrallerine göre nükleer güç santrallerini daha riskli olarak analiz etmişlerdir. Fakat çalışmada faydalanan uzman sayısının yeteri kadar olmaması çalışmanın bir sınırlaması olarak görülmüştür.

Kaya F., Göral E., (2016) Türkiye dört kez nükleer reaktör sahibi olmaya çalışmış olsa da bu girişimlerinin başarısız olduğu konusunda bilgiler verilmiştir. Akkuyu da kurulacak nükleer santralin Türkiye'nin enerji açığını kapatmasında yardımcı olacağı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu kurulması düşünülen santrallerin kamuoyu tarafından mutabakata varılarak yapılmış olmasının üzerinde durulmuştur.

Akyüz E. (2015) PKK ve IŞİD gibi terör örgütlerinin bulunması Türkiye'nin nükleer enerji santrallerinin olası terör saldırılarına karşı büyük risk altında olduğu konusunda bilgiler verilmiştir. Bu terör riskine karşın yenilenebilir enerjilere dönülmesinin daha olası olduğu ve risksiz olduğu konusu üzerinde durulmuştur.

Yılmaz E. (2015) Akkuyu nükleer santralının kurulmasında kullanılan sistemin daha önce kullanılmadığı ruslar tarafından ilk defa deneneceği ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Yenilenebilir enerji açısından zengin olan Türkiye'nin bu alana eğilmesi gerektiği konusuna vurgu yapılmıştır.

Ateş H., Saraçoğlu M. (2013) Yapılan çalışmada fen bilgisi öğretmenlerinin nükleer santraller konusundaki görüşleri incelenmiştir. Genel kanı nükleer enerjinin kullanımının olumsuz etkiler yaratacağı konusunda olmuştur. Gerekli önlemlerin alınamayacağı konusunda hem fikir olmuşlardır. Atıklar konusunda gerekli aksiyonların yeteri kadar alınamayacağını ve bunun sonucunda çevreye büyük tahribatlar verileceği konusunda görüş bildirmişlerdir.

Engin N. (2013) Dünyanın genelinde artan enerji ihtiyaçları sebebi ile birçok ülkenin nükleer enerji kullanımına geçtiği konusunda bilgiler verilmiştir. Nükleer enerji üretimi konusunda kullanılmalı ya da kullanılmamalı tartışmasının olduğu her iki tarafında doğru olduğu kısımların olduğu konusunda bilgiler verilmiştir.

Kaya İ. (2012) Nükleer enerjinin tükenen ve çevreye zarar verme potansiyelinin daha yüksek olan enerji türlerine göre daha az zararlı olduğu ile ilgili bilgiler vermiştir. Çalışma nükleer enerji kullanımının zararlı ve zararsız olduğu ile ilgili oluşan kamuoyunda her iki tarafa da hak vermiş fakat kurulması konusunda karar kılmıştır.

Muradov E. (2012) Gelişmiş teknolojisi ile Almanya'nın enerji ihtiyacının yüksek olduğu ve bu enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılamasının zor olduğu konusunda bilgiler verilmiştir. Nükleer enerji kullanımının tehlikeli olmasına rağmen Almanya'nın sınır komşularında halihazırda bulunan nükleer santrallerinde olası tehlikeleri oluşturduğu dolayısı ile Almanya'nın nükleer enerji kullanımını bıraksa bile nükleer enerji riskinden kurtulamayacağı konusunda bilgiler verilmiştir. Tüm bu durumlar dışında gelişen teknoloji ile ortaya çıkan enerji ihtiyacının nükleer enerji olmadan karşılamasının çok zor olacağı hakkında çıkarımlar yapılmıştır.

İşeri E., Özen C. (2012) Nükleer enerji politikasının yürütülebilmesi aynı hidro elektrik santrallerin yatırımlarında olduğu gibi toplumun uzlaşısı alınarak yapılması gerektiği üzerine durulmuştur. Uygun yasal çerçeve oturtulmalı ve yerel sanayiye gözetin sürdürülebilir bir iktisadi kalkınma planı hazırlanmış olması gerektiği düşünülmüştür.

Polat T., Yalçın A., Şahin H. (2012) Bu çalışmada hidrojenin kullanımının daha verimli, emniyetli ve olumlu çevre etkileri olan bir yakıt olduğu konusunda bilgiler verilmiştir. Temiz bir yakıt olarak hidrojenin endüstriyel düzeyde üretimini sağlayacak önemli birincil enerji kaynağının nükleer enerji olduğu kanısına varılmıştır. Nükleer ısı kaynağından faydalanılarak termokimyasal yolla hidrojen üretiminin incelenen diğer yöntemlere göre en uygun olduğu kanısına varılmıştır.

Tombakoğlu M., Ergün Ş., Atak H., Çelikten O., Duman V., Kayrın K., Tiftikçi A., Türkmen M., Ayhan H., Aksoy B., Ayanoğlu M., Güler A., Pınarbaşı B., Taş F., Bayraktar B. (2011) TMMOB Fizik mühendisleri odası tarafından hazırlanan enerji raporuna göre ulaşılan sonuçlar şunlardır. EMCAS programı kullanılarak yapılan referans senaryo ve nükleer senaryo karşılaştırılmasında Türkiye elektrik piyasasına nükleer güç santrallerinin eklenmesi gerektiği öngörülmüştür. Nükleer santralin bölgede marjinal fiyat değerini düşüreceğine, CO_2 salınım değerlerinin düşeceğine, yerli kömür kaynaklarının kullanım sürelerinin artacağına, yakıt çeşitliliğinin artması sonucu doğalgaza olan talebin azalacağına neden olacağı gösterilmiştir.

Köksal B., Civan A. (2010) Bu çalışmada dünyada nükleer güç enerjisine sahip ülkeler ile Türkiye karşılaştırılmıştır. Analiz sonucu elde edilen bilgiler doğrultusunda hipotez doğrulanmaktadır. Kullanılan parametreler ve Türkiye'nin kişi başı GSHY göre, Türkiye'nin nükleer enerjiye sahip olma ihtimali %60 oranında çıkmıştır ve nükleer enerjiye sahip olma durumunda toplam enerjideki nükleer enerji payı %14-16 civarında olduğu tespit edilmiştir.

Özdemir N., Çobanoğlu E., (2008) Türkiye'de nükleer santraller kurulmasının ve işletilmesi konusunda öğretmen adaylarının tutumlarının, bilgi yapılarının ve epistemolojik inançlarının etkili olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada nükleer santrallerin kurulması konusundaki görüş birliği olan grubun daha çok milli görüşte oldukları kabul etmek istemeyenlerin ise daha çok sosyal demokrat olduğu görülmüştür. Küresel ısınmanın önüne geçilmesinin bir yolunun nükleer enerji sistemlerine geçilmesi olduğunu düşünen grupların olduğu gibi küresel ısınmadan da daha büyük sorunlar getireceğini düşünen başka gruplarında mevcut olduğu vurgulanmıştır.

Yıldırım M., Örnek İ. (2007) Hızlı büyüyen Türkiye için nükleer enerjinin kullanımı konusundaki gereklilikten bahsedilmiştir. Bu enerji türünün kullanılması oluşan enerji açığının kapatılmasında büyük rol oynayacağından bahsedilmiştir. Nükleer enerjinin günümüz dünyasında stratejik bir öneme sahip olduğundan ve bu enerji türünden eksik kalarak komşu ülkelerden bir hayli geri kalınmış olduğundan bahsedilmektedir.

Kaya M. (2007) Gelişen teknoloji ile enerji ihtiyacındaki açıkların giderek büyümekte olduğu Türkiye'nin doğal gaz sebebi ile dışa bağımlı olması nükleer enerji kullanımının gerekliliğini ortaya koyduğu kanısına varılmıştır. Nükleer santralin kurulmasının başlangıçta pahalı olduğu fakat işletilmesi ve yakıt maliyetleri bakımından oldukça ucuz olduğu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Nükleer santrallerin emisyon açısından diğer santrallere göre CO_2 , NO_2 , SO_2 gibi çevreye zararlı gazların salınımının çok daha az olduğu ifade edilmiştir. Atıklar konusunun en büyük tehlikelerden biri olduğu vurgulanmış fakat bu tehlike güvenli bir atık prosedürü oluşturularak ortadan kaldırılabildiği kanısına varılmıştır.

Temurçin K., Aliağaoğlu A. (2003) Gelişen bir ülke olan Türkiye için nükleer enerjinin hayati bir önem taşıdığı ve bu enerji türünün tüm gelişmiş dünya ülkelerinde kullanıldığı konusunda bilgiler verilmiştir. Bu enerji türünün değerlendirilmesi ve kurulması dışa bağımlılığı azaltacağı ve daha güçlü bir Türkiye ekonomisi oluşacağı konusunda bilgiler verilmiştir. Nükleer enerjinin tehlikelerinin göz önünde tutulduğunun fakat sınır komşumuz olan Ermenistan'ın sınırimıza 10 km kadar uzaklıkta bir nükleer santralinin de olduğunun göz ardı edilmemesinin ve nükleer tehlike ile santralimiz olmasa bile karşı karşıya olduğumuz konusunda vurgular yapılmıştır.

Tablo 3.1. Nükleer Güç Santrali Literatür Tarama

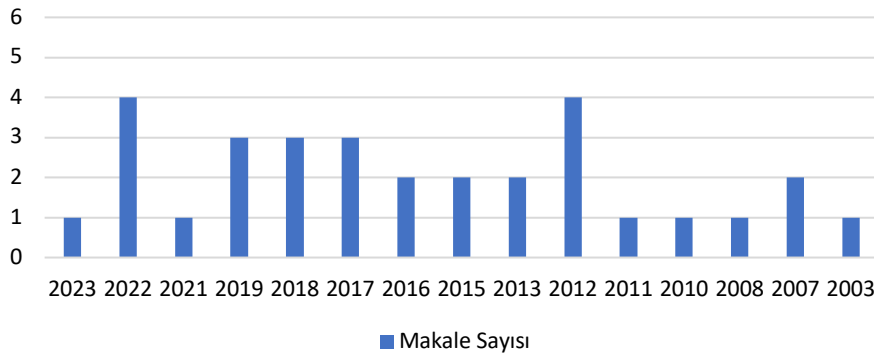
Makalenin Konusu	Yöntem	Yıl	Kriterler
Akkuyu Nükleer Santralinin Bulunduğu Bölgedeki Bazı İllerde Yaşayan Popülasyonun Nükleer Enerjiye Olan Güvenin Ekonomik ve Toplumsal Bağlamda Ölçülmesi	SPSS İstatistiksel araştırma	2023	İstatistiksel
Nükleer Enerji Santralleri Riskleri ve NGS İş Sağlığı ve Güvenliği	-	2022	-

Tablo 3.1. (Devam) Nükleer Güç Santrali Literatür Tarama

NGS lerden Salınan Sıcak Suların Su Ekosistem ve Turizme Etkileri	-	2022	-
Nükleer Enerji ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Retrospektif Değerlendirilmesi	N-gram Analizi	2022	Fosil Yakıt enerji / Yenilenebilir enerji / Yeşil enerji / Nükleer enerji / Alternatif enerji
Nükleer Santralin Turizme Olası Etkileri: Silifke Örneği	-	2022	-
Nükleer Enerjinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü: AB Değerlendirmesi	-	2021	-
Nükleer Enerji Tüketimi Makroekonomik Belirleyicilerinin OECD Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi	Panel Veri Analizi	2019	GSYİH / CO ₂ / Emek / Petrol / Enerji Yoğunluğu / Fosil / Yenilenebilir Enerji / Nükleer enerji tüketimi
Nükleer Enerji ve Geleceği	-	2019	-
Türkiye’de Nükleer Enerjiye Geçişin Ekonomi ve Çevre Üzerindeki Etkisi: ABD, Fransa ve Japonya Örneği	Granger Nedensellik Testi / VAR (Vektör Otoregresif) Model / Birim Kök Testi	2019	Enerji üretimi / Karbon emisyonu / Ekonomik büyüme
Nükleer santrallerin çok üniteli risk değerlendirmesi, mevcut durum ve sorunlar	MURA Risk derecelendirme sistemi	2018	İstatistiksel
Coğrafi Açından Türkiye’de NGS Kurulmasının Değerlendirilmesi	-	2018	-
Avrupa Birliğine Üye ve Aday Ülkelerde Yenilenemeyen Enerji, Yenilenebilir Enerji ve Nükleer Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi	Dinamik Panel Veri Tahmin Modeli	2018	GSYİH / Yenilenemeyen enerji tüketimi / Yenilenebilir enerji tüketimi / Nükleer enerji tüketimi
Nükleer Santrallerin Enerji Güvenliğine Etkisi	-	2017	-
Türkiye’de NGS Kurulumunun Dışa Bağımlılığa Olan Etkisi	-	2017	-
NGS Kurulum Projelerinin Türkiye’deki enerji Potansiyelinin Doğru Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi	-	2017	-
Nükleer Enerji Santrali İnşaatı İçin Uluslararası Proje Risk Yönetimi: Fosil ve Gaz Enerji Santralleri ile Karşılaştırılmalı Analiz Örneği	Risk Analizi	2016	-
Türkiye’nin Nükleer Enerji Politikası	-	2016	-
Türkiye’nin Nükleer Enerji Politikası ve Terör Tehdidi	-	2015	-
NGS’nin Güvenilirlik ve Ekonomi açısından Değerlendirilmesi: Akkuyu NGS Örneği	-	2015	-

Tablo 3.1. (Devam) Nükleer Güç Santrali Literatür Tarama

Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Gözünden Nükleer Enerji	-	2013	İstatistiksel
Nükleer Enerji Dünyada oluşacak Enerji İhtiyaçlarına Çözüm Olabilir mi?	-	2013	-
Nükleer Enerji Dünyasında Çevre ve İnsan	-	2012	-
Almanya'nın Nükleer Enerji Politikasını Etkileyen Faktörler	-	2012	-
Türkiye'de Nükleer Enerjinin Sürdürülebilir Enerji Politikalarındaki Yeri	-	2012	-
Hidrojenin Nükleer Enerji ile Üretim Yollarının İncelenmesi	-	2012	-
Nükleer Enerji Raporu	EMCAS Modelleme	2011	İstatistiksel
Nükleer Güç Santrali Kurma Kararını Etkileyen unsurlar ve Türkiye'de Kurulabilecek Santraller İçin Tahminler	Ekonometrik Model	2010	GSYİH / Kömür / Doğalgaz / Petrol / Hidroelektrik / Enerji yoğunluğu / Elektrik kapasite kullanım oranı / Ekonomik serbestlik endeksi / Nüfus yoğunluğu / Varşova / Enerji maliyeti / Geçmiş enerji maliyeti / Çernobil
Türkiye'nin Nükleer Santrallerin Kurulması ve Nükleer Enerji Kullanımı Konusundaki Öğretmen Adaylarının Tutumları	SPSS / Betimsel Analiz / t-testi / Tek yönlü varyans analizi / Sheffe testi	2008	İstatistiksel
Enerjide Son Seçim: Nükleer Enerji	-	2007	-
Türkiye'de Nükleer Santral Kurulumu	-	2007	-
Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye'de Nükleer Enerji Gerçeği	-	2003	-



Şekil 3.1. NGS Literatür Tarama Makale Sayısının Yıllara Göre Dağılımı

AHP ve B-AHP ile ilgili literatür araştırması aşağıdaki gibidir.

Ekin E., Cesur İ. (2023) Çalışmada hizmet sektöründe müşterilerin hizmet alırken beklentilerinin neler olduğu ve bu beklentilerin önem dereceleri üzerine çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada müşterilerin en çok dikkat ettiği şeyin güvenilirlik olduğu belirlenmiştir. Çalışmada TOPSIS ve B-AHP yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmanın başka sektörlerdeki müşteri beklentilerinin belirlenmesinde de kullanılabileceği ve ışık tutacağı vurgulanmıştır.

Terme B., Çiçek İ., Kiraz A. (2022) Çalışmada her hangi bir işletmenin yer seçiminin tedarik zinciri, sürdürülebilirliği ve Pazar alanı v.b. birçok unsuru etkileyebileceği dolayısı ile tüm bunlar göz önünde bulundurularak seçimlerin yapılması gerektiği anlatılmıştır. Belirlenen kriterlerin önem ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra VIKOR yöntemi ile sıralanmış ve uzlaşık çözüme ulaşılmıştır.

Nebati E., Sağanda G., Erol H., Subaşı S., Göz T. (2021) Çalışanların performanslarının değerlendirilmesinin günümüz koşullarında bir gereklilik olduğu söylenmiştir. Çalışanların performanslarının düşmesine neden olan durumları bulmak ve bunların ortadan kaldırılmasını sağlamanın verimli bir çalışma ortamı oluşturacağı vurgulanmıştır. Yapılan araştırmada AHP analiz yöntemi kullanılmıştır 5 ana kriter belirlenmiş ve her kriter için 3 alt kriter belirlenmiştir. Toplam da 15 kriter içerisinde strateji izleme birimi için en önemli kriter empati kurabilme olarak çıkmış ve en az öneme sahip olan ise etik kurallara uyabilme olmuştur. Eğitim müdürlüğü için ise ana kriterler eşit önemde çıkmıştır. Yapılan bu çalışmanın farklı kurum ve birimlerdeki çalışan performanslarının değerlendirilmesinde de kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Kobanoğlu M., Yüksek yıldız E. (2021) Bu çalışmada yöneticilerin örgütsel başarısızlığa neden olabileceği davranış ve uygulamalarının bulanık AHP yöntemiyle sıralaması yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ilk sırayı bağlam faktörleri almıştır. Alt grubu incelendiğinde ilk unsur doğru konumlandırılmayan kişi-iş uyumu göze çarpmaktadır. Burada örgüt başarısızlıklarının yöneticinin kişisel özelliklerinden ziyade örgüt ortamına ve kurumsal kültüre dayalı olduğu konusunda görüş bildirilmiştir. İkinci kriter olan kişisel özellikler konusunda yöneticinin kişisel hırsları ya da bireysel özgeçmişinin örgütsel hedeflerin önüne geçmesine izin vermesi astları tarafından uygun bir davranış olarak görülmeyeceği konusunda bilgi verilmiştir. Son kriter olarak yöneticilerin sosyal yetkinliklerini geliştirmeleri için kendilerine yatırım yapması gerektiği vurgulanmıştır.

Şahin M., Toroğlu E. (2020) Çalışmada Pınarbaşı ilçesi sınırlarındaki arazilerin tarıma uygunluk derecelerinin belirlenmesi analizi yapılmıştır. Yapılan analizde tarımsal anlamda yanlış arazi kullanımının neredeyse hiç olmadığı görülmüştür. Yapılan çalışmada çiftçinin eğitilmesi gerektiği, su kaynaklarının en iyi şekilde kullanılması ve sulamada tarımsal teknolojilerin takip edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Yüksel O. (2020) Çalışmada diş hekimi kliniklerinin kurulması için yer seçiminin önemi vurgulanmıştır. Belirlenen yer gerek taşınamaz cihazları ve maliyeti ile ileride büyük sorunlar çıkarabileceğini dolayısı ile yer seçiminin önemli olduğunu belirtmiştir. Bu yer seçimi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen kriterler yardımıyla en uygun bölge seçilmiştir. Analizde yer seçiminin en önemli kriteri rekabet unsuru olarak ortaya çıkmıştır. Kliniğin açılacağı yerde bir müşteri portföyü oluşturulması gerektiği yada buna belirli bir zaman ayrılması gerektiği düşünülmüştür. Bu kriterin arkasından yaşanılabilirlik faktörü gelmiştir.

Ertunç E., Çay T. (2020) Bu çalışmada Gümüşhane iline yapılacak olan havaalanının yerinin tespiti için AHP yönteminin kullanılması anlatılmıştır. Havaalanı kurulmasında etken olacak kriterler belirlenmiştir. Daha sonra il ile ait ilçeler alternatif olarak belirlenmiş ve kriterlere göre AHP yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonuca göre il merkezi ve Köse ilçesi en uygun yer olarak belirlenmiştir.

Karakul A. (2020) Günümüzde çevre bilincinin artması ile birlikte yenilenebilir enerjilerin söz konusu olmaya başladığını ve bu kaynakların daha fazla kullanılabilir hale getirilebileceği konusu vurgulanmıştır. Biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji ve rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanmıştır. Bu alternatifler AHP yöntemi ile üstünlüklerine göre sıralanmaya çalışılmıştır. Yapılan sıralama şu şekilde olmuştur Güneş, Hidrolik, Biyokütle, Rüzgar ve Jeotermal. Bu sıralama esnasında bulanık yöntem kullanılarak sonucun gerçeğe yakınlığı arttırılmış.

Gürsoy G., Yıldız M. (2020) Çalışmada üretim israflarının ortadan kaldırılması, iş süreçlerinin yeniden yapılandırılması gibi revizyonların yapılabilmesi için seçilecek yalın üretim tekniğinin AHP yöntemi ile belirlenmesi anlatılmaktadır. Öncelikle kullanılabilecek yalın üretim teknikleri alternatifler olarak belirlenmiştir. Belirlenen

alternatifler için kriterler oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Uzman kişilere değerlendirme formları doldurtulmuştur. Karar vericilerden alınan veriler Super Decisions 2.10 programında analiz edilmiştir. Çıkan sonuca göre en uygun yalın üretim tekniği Toplam Üretken Bakım (TPM) olduğu tespit edilmiştir. Bunu takip eden yöntemler Tempo Süresi, Standart İş ve Değer Akış Haritalama olmuştur. İleride yapılacak araştırmalar için AHP ve ANP yöntemlerinin kullanabileceği ve yalın üretim tekniği seçiminde etkin bir çözüm sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Karakış E. (2019) Öğretmen seçimi için alternatif ve kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin önem ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra bulanık TOPSIS yöntemi ile pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümler hesaplanmıştır. B-TOPSIS de her bir aday için hesaplanan yakınlık katsayılarına göre adayların sıralamaları yapılmış ve en iyi aday belirlenmiştir.

Pirinççi S., Güngör D. (2019) Çalışmada çalışanların motivasyonlarını en çok etkileyen faktörün Sosyo-Ekonomik boyut olduğu görülmüştür. Belirlenen faktörlerle karar AHP yöntemi ile verilmiştir. Sosyo-Ekonomik boyutu Örgütsel ve Yönetmel boyut takip etmiştir. En az etkileyen faktör ise Psiko-Sosyal boyut olmuştur.

Kuşakcı A. (2019) Bu çalışma endüstriyel tip fan seçimi için bulanık AHP ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Fan seçiminde önemli olan 5 kriter belirlenmiş ve bulanık AHP yöntemi ile ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra TOPSIS yöntemi ile kriter ağırlıklarına göre en uygun alternatif belirlenmiştir.

Kavlakcı M., Şahin C. (2018) Çalışmada liman yeri seçimi için AHP, B-TOPSIS ve B-AHP yöntemleri kullanılmıştır. B-AHP ve B-TOPSIS yöntemleri tek tek ve hibrit olacak şekilde iki ayrı yöntemle de analiz edilmiş ve sonucun değişmediği görülmüştür. Bu sonuç her iki yönteminde liman yeri seçiminde tatbik edilebilir olduğunu ortaya koymuştur.

Karakış E. (2018) Bu araştırma kamuda okul öncesi eğitim hizmeti veren anaokulları arasında belirlenen kriterlere göre seçim yapılması ile ilgilidir. Belirlenen okullar arasında hizmet kalitesi değerlendirilmiştir. Belirlenen kriterlerin ağırlıkları B-AHP yöntemi ile bulunmuştur. Okul seçimi için B-MOORA yöntemi kullanılmıştır. Okul

seçiminde en önemli kriter öğretmenlerin mesleki nitelikleri ve tecrübeleri olarak belirlenmiştir. Sıralamanın en sonundaki kriter ise okul yönetim ve ğretmenlerinin ailelerle olan iletişim ve iş birliği olarak çıkmıştır.

Gktołga Z., Karakış E. (2018) alışmada bireysel emeklilik şirketlerinin finansal performansı B-AHP ve VIKOR yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan analiz sayesinde bulanık AHP ve VIKOR yöntemleri performans analiz ölçümünde bütünleşik olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Öneren M., Arar T., elebioğlu E. (2017) Bu alışma günümüzde kaldırılmış merkezi atamaların ve cari alımın zaruri olduğu koşullarda araştırma görevlilerinin hangi faktörler göz önünde bulundurularak alınırsa daha etkili bir seçim yapılmış olunacağını belirlemek için yapılmıştır. Analizde AHP yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yönteme ve belirlenen kriterlere göre en önemli unsur akademik olurken bu kriteri takip eden anlama ve anlatma yeteneği olmuştur.

zdemir Y., Tüysüz S., Başlıgil H. (2016) alışmada nükleer santraller için güvenlik risk modeli oluşturulmuş ve belirlenen kriterler ile olası riskler incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken AHP ve ANP ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. İkili karşılaştırılmalarla belirlenen riskler incelenmiş ve inceleme esnasında karar vericilerin görüşlerine de yer verilmiştir. Her iki yöntemdeki kriterlerin birbirlerini etkilemediği grlmştir.

Ömürbek N., stndağ S., Helvacioğlu . (2013) Isparta ilinde hayvancılık işletmesi için kuruluş yeri seçimi yapılmak istenmiş ve AHP yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Seçim kriterleri olarak işgücü, yatırım maliyeti, çevresel faktörler, ağa yakınlık ve yasalar olarak belirlenmiştir. Bu kriterler ışığında Isparta ilinin 7 ilçesi kıyaslanmıştır. Yapılan analize göre hayvancılık işletmesi için en uygun yer Yalvaç ilçesi çıkmıştır.

şengül ., Eren M., Shiraz S. (2013) alışma toplu taşıma araçlarının seçim süreci üzerine yapılmıştır. Analiz de bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Kriterler ve alternatifler uzman kişi görüşleri sonucunda belirlenmiştir. Alternatifler kareli ortalama

ve kwong-bai yöntemi ile sıralanmış sıralamanın birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Günden C., Miran B. (2008) Çalışma çiftçilerin tarımsal işletmecilik kararlarına gösterdiği duyarlılık ve karar alırken destek bulmayı umduğu kurumlar üzerinedir. Araştırmada bulanık AHP kullanılmış ve belirlenen kriterler Teknik yardım, Planlama ve Kayıt tutma olarak belirlenmiştir. Çiftçilerin üniversitelere olan güven düzeyinin diğer kurumlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumu tarım il ve ilçe müdürlükleri, araştırma kurumları, kooperatifler ve birliklerin takip ettiği ortaya konmuştur.

Tablo 3.2. Bulanık AHP Literatür Tarama

Makale	Konu	Yöntem	Yıl	Kriterler
B-AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Danışmanlık Sektöründe Sunulabilecek Hizmetlerin Değerlendirilmesi		B-AHP / TOSIS	2023	Empati / Yetkinlik / İletişim / Dakiklik / Güvenilirlik
Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi		B-AHP / B-VIKOR	2022	Ulaşım / Maliyet / Sosyal etkenler / Kaynaklar / Fiziki özellikler
AHP Yöntemi İle Çalışan Performansının Değerlendirilmesi		AHP	2021	Analitik düşünme / Etkili iletişim / Güvenilirlik / Sonuç odaklılık / Takım ruhu ve dayanışma
Örgütsel Başarısızlığa Etkili Olan Yönetsel Yetersizliklerin Bulanık AHP Yöntemi İle Değerlendirilmesi		B-AHP	2021	Sosyal yetkinlikler / Kişisel özellikler / Bağlam faktörleri
AHP Yöntemiyle Belirli Bir Bölgenin Tarım Arazilerinin Uygunluk Durumlarının Belirlenmesi		AHP	2020	Büyük toprak grupları / Eğim değeri / Toprak derinliği / Drenaj özellikleri / Sınırlayıcı toprak özellikleri / Erozyon dereceleri / Arazi kullanım kabiliyeti sınıfı / Arazi kullanım kabiliyet alt sınıfı / Bakı/Yükselti / Yağış / Sıcaklık / Ana akarsu ve yan kollara olan mesafe
Muayenehane Açılış Yeri Seçiminde Etkili Olan Faktörlerin AHP Yöntemiyle Önem Düzeylerinin Belirlenmesi		AHP	2020	Yatırım maliyetleri / Çevresel faktörler / Rekabet unsuru / Yaşanılabilirlik
Kurulması Düşünülen Havaalanı yer seçiminin AHP yöntemi ile Belirlenmesi		AHP	2020	Nüfus yoğunluğu / Sıcaklık / Yağış / İl merkezine uzaklık / Karayollarına yakınlık / Yükseklik / Eğim
B-AHP Yöntemiyle Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi		B-AHP	2020	Teknik / Ekonomik / Çevresel / Sosyal
Bir İmalat Prosesinde AHP Yöntemi İle Yalın Üretim Tekniği Seçimi		AHP	2020	Yönetim sorumluluğu / Üretim yönetimi / İş gücü / Teknoloji / Üretim stratejisi
B-AHP ve B-TOPSIS Bütünleşik Modeli ile Özel Okullarda Öğretmen Seçiminin Yapılması		B-AHP / B-TOPSIS	2019	Sosyal ve kişisel özellikler / Alan Bilgisi ve Pedagojik Yeterlilikler / İletişim Yetenekleri / Genel kültür

Tablo 3.2. (Devam) Bulanık AHP Literatür Tarama

Çalışan Motivasyonunu Etkileyen Faktörlerin AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Bir İlaç Firması Uygulaması	AHP	2019	Sosyo-Ekonomik Boyut / Örgütsel ve Yönetel Boyut / Psiko-Sosyal Boyut
B-AHP ve TOPSIS Yöntemine ile Ürün Seçimi	B-AHP / TOPSIS	2019	Ses servisi / Performans / Maliyet / Servis kolaylığı / Motor gücü
AHP ve Hibrit Bulanık AHP-Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Liman Yeri Seçimi ve Örnek Uygulama	AHP / B-AHP / B-TOPSIS	2018	İklim / İş gücü temini / Uluslararası denizyolu trafiğine açık olmak / Pazara yakınlık endüstriyel gelişme açık olmak / Araziye göre inşaat maliyeti / Teşvikler / Hakim rüzgar / Karayolu demiryolu bağlantısı / Batimetrik özellikler
Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleri Kullanılarak Okul Öncesi Eğitim Hizmet Kalitesi Değerlendirmesi ve Anaokulu Seçiminin Gerçekleştirilmesi	B-AHP / MOORA	2018	Okul ücreti / Öğretmen mesleki nitelik ve tecrübeleri / Okulun fiziksel özellikleri ve temizliği / Okuldaki eğitsel sosyal ve kültürel faaliyetler / Okulun uzaklığı / Okul yönetim ve öğretmenlerinin ailelerle olan iletişim ve iş birliği
Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Finansal Performanslarının Bulanık AHP ve VIKOR Yöntemi ile Analizi	B-AHP / VIKOR	2018	Cari oran / Dönem net karı:Özkaynaklar / Dönem net karı:Toplam aktifler / Kaldıraç oranı / Teknik kar oranı / Net karlılık prim oranı / Hasar prim oranı / Yatırım gelir oranı
Akademik Temelini Güçlü Kılmak: Araştırma Görevlisi Alımındaki Faktörlerin AHP ile Belirlenmesi	AHP	2017	Akademik faktörler / İdari faktörler / Kişisel faktörler
AHP ve ANP Yöntemiyle Nükleer Enerji Santralleri Risklerinin Belirlenmesi	AHP / ANP	2016	Hidrojen Üretimi / Başlangıç yan basıncı / Tepe kaplı sıcaklık / Çekirdek soğutucu kütle akışı / Maksimum kaplı oksidasyon / Güvenlik sistemleri / Temel hasar frekansı / Sistemi kapatma / Doz sıklığı / Salı verme frekansı / Faydalı maliyet oranı / Geri ödeme süresi / İstihdam artışı
Kuruluş Yeri Seçiminde AHP Kullanımı: Isparta Bölgesi'nde Bir Uygulama	AHP	2013	İşgücü / Yatırım maliyeti / Çevresel faktörler / Ağa yakınlık / Yasalar
Bulanık AHP ile belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi	AHP / B-AHP	2013	Fiyat / Yolcu kapasitesi / Tüketilen yakıt / Motor tipi / Garanti / Motor gücü / Marka değeri / Ekonomik ömür
Bulanık AHP kullanılarak Çiftçi Kararlarının Analizi	AHP / B-AHP	2008	Teknik yardım / Planlama / Kayıt tutma

TOPSIS ve B-TOPSIS ile ilgili literatür araştırması aşağıdaki gibidir.

Altınsoy E., Baki R. (2023) Çalışmada OPEC'e kayıtlı 12 ülkenin ağırlık değerleri aynı önem derecesinde alınarak en iyi performans değerlendirmesi TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Yapılan analizde petrol rezervleri daha çok olan İran gibi bir ülke çıkmazken

Gabon çıkmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi bazı ülkeler elinde var olan kaynakları doğru kullanamamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda uzman görüşlerinin hesaba katılması ile AHP, SWARA ve BWM gibi yöntemlerle kriter ağırlıkları hesaplanabilir ve farklı karar verme teknikleri ile karşılaştırılabileceği önerilmiştir.

Kayadelen A. (2021) Fabrika kuruluş yeri seçimi firmanın ilerideki başarısı için önemli bir etken olduğu konusuna değinilmiştir. B-AHP yöntemi ile kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmış ve daha sonra ise B-TOPSIS yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Yapılan çalışmada mobilya fabrikası için en iyi bölge Marmara Bölgesi çıkmıştır. Bu bölgeyi İç Anadolu bölgesi takip etmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda farklı karar verme yöntemlerinin de kullanılabileceği önerilmiştir.

Gürkan S., Aldoury N. (2021) TOPSIS yöntemi ile firmaların finansal performanslarını ileriye dönük ne şekilde değerlendirmesi gerektiği konusu irdelenmiştir. Uygulamada teknoloji şirketleri üzerine yoğunlaşmıştır. 8 finansal oran ele alınarak TOPSIS yöntemi yardımıyla firmalar sıralanmıştır.

Ömürgönülşen M., Menten C. (2021) Çalışmada Ankara ilinde olası bir afet durumunda afetzedelerin barınacağı alanların belirlenmesi araştırılmıştır. Bu alanların belirlenmesinde B-TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır. Öncelikle uzman görüşleri alınarak 10 adet kriter belirlenmiştir. Yapılan analizde alternatiflerin içerisinde en uygun bölge Etimesgut olduğu görülmüştür. Çalışmada tek bir afet türüne odaklanılmamış olası tüm afetler göz önünde bulundurularak analiz yapılmıştır. Bu yönüyle literatürde afet sonrası barınma alanları ile ilgili yapılan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Özkan T. (2019) Bu çalışmada 10 adet finansal oran kullanılarak TOPSIS yöntemi ile BIST’ te işlem gören mevduat bankalarının finansal performansları değerlendirilmiştir. Analizde kriterlere verilen ağırlıklar uzun bir literatür araştırmasından sonra oluşturulmuştur. İleride yapılacak çalışmalarda finansal oranlar ve yöntem farklılaştırılarak çözümlere gidilebilir önerisinde bulunulmuştur.

Çaylak M. (2019) Çalışmada Antalya’da faaliyet gösteren bir otelin değişik bölgelerdeki otelleri internet üzerindeki puanları ile değerlendirilmiştir. Analiz için

www.booking.com sitesinden belirlenen 9 kriterin bilgileri alınmıştır. Bu alınan kriterlere göre TOPSIS yöntemiyle alternatifler arasından seçim yapılmıştır. Otel seçiminde başka karar verme yöntemlerinin de kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Yıldız A, Demir Y. (2019) Türkiye’de kurulacak olan araba fabrikasının yerinin seçimi ile ilgili bir araştırmadır. Kurulacak olan fabrikanın yanlış bir bölgeye kurulması ileride olası maliyet sorunlarına yol açacağı konusunda bilgiler verilmiştir. En uygun yerin seçimi için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucunda Bursa-Gemlik bölgesi fabrika kurulumu için en iyi yer olarak belirlenmiştir.

Sağır H., Doğanalp B. (2016) Bu çalışmada Türkiye’nin enerji üretimi için en uygun enerji kaynağının ne olduğu konusunda araştırma yapılmıştır. Analiz için B-TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak nükleer enerji, yenilenebilir enerji ve fosil yakıt enerji kaynakları göz önünde bulundurulmuştur. Araştırma sonucunda sıralama şöyle olmuştur. İlk sırada yenilenebilir enerji kaynakları gelmiştir onu nükleer enerji takip etmiş son olarak da fosil yakıt enerji kaynakları yer almıştır.

Arslan H., Yıldız M, (2015) Bu çalışmanın konusu Düzce Spor Lisesi’nin kuruluş yeri seçimidir. Yer seçiminde B-TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma sayesinde kamu kurum ve kuruluşlarının yer seçiminde B-TOPSIS gibi karar verme yöntemlerinin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ayrıca analiz sayesinde yetkililere eğitim tesisinin optimum yeri ile ilgili bilgiler verilmiş olduğu vurgulanmıştır.

Soba M., Şimşek A., Bayhan M. (2014) Bu çalışmada Uşak ilinde açılacak bir alışveriş merkezinin yerinin seçimi konu edilmiştir. B-TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif ve kriterler sözel dilsel ifadelerle değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda İzmir yolu üzerinde kurulmasına karar verilmiştir.

Yavuz S., Deveci M. (2014) Çalışmada Erzincan ilinde kurulacak alışveriş merkezi yer seçimi B-TOPSIS ve B-VIKOR ile analiz edilmiştir. Kullanılan yöntemlerin sonuçları birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu yöntemlerin sadece yer seçiminde değil grup kararı verme, personel seçimi ve tedarikçi seçimi v.b. durumlarda da kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Uludağ A., Deveci M. (2013) Ankara ilinde kurulacak havaalanının yer seçimi için B-TOPSIS ve B-VIKOR yöntemlerinin kullanılması ve alternatiflerin sıralanması bu çalışmanın konusudur. Her iki yöntemle de belirlenen alternatifler kriterlerin önem derecelerine göre sıralanmış ve sıralamalar birbirinin aynısı çıkmıştır. Sonuçların aynı çıkması bu tip problemlerde bu yöntemlerin kullanılabilirliğini ve çalışmanın tutarlı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Çınar N. (2010) Bu çalışmada banka şubesi açılması için gerekli yer seçimi araştırması yapılmıştır. Analiz B-TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Belirlenen alternatif ve kriterlere göre en uygun yer seçimi Diyarbakır olmuştur. Çalışmada bu tip modellerin çözümünde TOPSIS yönteminin kullanılmasının başarılı sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Tablo 3.3 Bulanık TOPSIS Literatür Tarama

Makale	Konu	Yöntem	Yıl	Kriterler
OPEC Üyesi Ülkelerin TOPSIS Tekniği Aracılığıyla Performans Analizi		TOPSIS	2023	İhracat değeri / Ham petrol rezervi / Doğal gaz rezervi / Ham petrol üretimi / Doğal gaz pazarlanan üretim / Rafineri kapasitesi / Rafineri verimi / Petrol ürünleri üretimi / Ham petrol ihracatı / Petrol ürünleri ihracatı / Doğal gaz ihracatı
Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Bir Mobilya Fabrikası İçin Bölge Seçimi		B-AHP / B-TOPSIS	2021	Ekonomi / Üretim / Pazar Payı
TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırmalı Finansal Performans Analizi: Teknoloji Şirketleri Üzerine Bir Araştırma		TOPSIS	2021	Cari oran / Nakit oran / Net çalışma sermayesi devir hızı / Finansal kaldıraç oranı / Faiz karşılama oranı / Dönem net karı oranı / Aktif karlılık oranı / Özkaynak kararlılık oranı
Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Ankara İli İçin Olası Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi		B-TOPSIS	2021	Ulaşılabilirlik / Sosyal imkanlar / Sağlık hizmetleri / Alan kapasitesi / Toprağın cinsi / Arazinin eğimi / Güvenlik / Altyapı / İklim ve bitki örtüsü / Mülkiyet
BIST'te İşlem Gören Mevduat Bankalarının TOPSIS Yöntemiyle Finansal Performanslarının Değerlendirilmesi		TOPSIS	2019	Çalışmada 10 adet finansal oran kriter olarak kullanılmıştır.
TOPSIS Yöntemi ile En Uygun Otel Seçimi		TOPSIS	2019	Genel puan / Fiyat Fayda dengesi / Konum / Olanaklar / Kahvaltı / Rahatlık / Temizlik / Wifi / Çalışanlar
Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Türkiye'nin Yerli Otomobili İçin En Uygun Fabrika Yerinin Seçimi		B-TOPSIS	2019	Ekonomik özellikler / Coğrafi konum özellikleri / Altyapı özellikleri / Teknik özellikler / Sosyal özellikler

Tablo 3.3 (Devam) Bulanık TOPSIS Literatür Tarama

Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi	B-TOPSIS	2016	Güvenilirlik / Rezerv miktarı / Maliyet / Çevresel etki / Risk / Üretim kapasitesi / İklim değişikliği üzerine etki / Sürdürülebilirliğe olan katkı / Hükümet politikalarınca destekleme / Ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem / Basitlik / Kamu kabulü
Eğitim Tesislerinin Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması: Düzce'de Bir Lokasyon Analizi	B-TOPSIS	2015	Aday spor lisesi yerinin nüfus yoğunluğu / İlgili üniversite birimiyle ilişkilerin kolaylığı / Çevre halkının spor lisesinin yapısına uygunluğu / Alanın fiziksel olarak yeterliliği
Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi: Uşak İlinde Bir Uygulama	B-TOPSIS	2014	Yatırım maliyetleri / Binanın fiziksel şartları / Ulaşım kriteri / Rakip sayısı kriteri
B-OPSIS ve B-VIKOR Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Yer Seçimi	B-TOPSIS / B-VIKOR	2014	Altyapı uygunluğu / Yetenekli İşgücü / Trafik / Sosyal ve kültürel çevre / Yatırım maliyeti / Toplum tutumu / Müşterilere yakınlık / Genişleyebilirlik / İklim koşulları / Arazi özellikleri / Yasal sınırlamalar / Tedarikçilere yakınlık / Enerji bulunabilirliği / Potansiyel talep
Kuruluş Yeri seçim Problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama	B-TOPSIS / B-VIKOR	2013	Coğrafi özellikler / İklim şartları / Genişleme potansiyeli / Yasal sınırlamalar ve düzenlemeler / Talep / Altyapı olanakları / Ulaşım / Maliyet / Çevresel ve sosyal etki
Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama	B-TOPSIS	2010	Müşteri potansiyeli / Kişi başı gayri safi milli hasıla / Ticari faaliyetler / Toplam nüfus / Rakip bankaların varlığı

4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1960'lı yılların sonlarına doğru Myers ve Albert tarafından bir yöntem olarak ortaya atılsa da, uygulama olarak yaygın kullanılmaya başlanması L. Thomas Saaty tarafından geliştirilerek çoklu kriter içeren karar problemlerinde kullanılması ile olmuştur. Problemin çözümü için belirlenen farklı kriterlere göre birbirleriyle kıyaslanması istenen birden çok alternatif içerisinde en doğru ve iyi olanın seçilmesini sağlayan bir yöntemdir. Diğer bir ifade ile çözülmesi karışık ve zor olan problemlerin ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak istenilen çözüme ulaşılmasını sağlayan bir analizdir.

AHP çok kriterli karar verme teknikleri içerisinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu metot belirlenen uzman karar vericilerin düşüncelerini hiyerarşik olarak yapılandırarak, birbirine yakın nitelikteki çiftleri belirli bir ortak özelliğe göre karşılaştırır ve bir etkenin diğerine göre önem seviyesini belirler. AHP sadece sayısal verileri değil öznel verileri de karar verme sürecinin içerisine dahil ettiği için karar verme teknikleri içerisinde bir gelişme olarak kabul edilebilir.

AHP yöntemi kullanılmaya başlandığı 70'li yıllardan beri gelişmiş, bir sürü evrim geçirerek değişmiş ve birçok sektörde kullanılarak geniş bir literatüre sahip olmuştur. AHP yönteminin gelişimi şu şekilde ifade edilebilir. İlk olarak matematiksel formülasyonu Saaty ve Vargas tarafından oluşturulmuştur. Bu sırada yöntemin temelleri gelişirken yöntemdeki kısıtlamalar ve problemler üzerine çalışmalarda yapılmıştır. Yöntem geliştikçe farklı alanlarda yapılan çalışmalar ve gelişen bilgisayar biliminin de faydası ile yöntem çevre bilimi, mühendislik alanları ve ekoloji gibi alanlara da yayılmıştır. Zamanla gelişen ÇKKV problemlerinde ortaya çıkan bilgi karmaşıklığından dolayı akademisyenler AHP metodunun diğer yöntemlerle birlikte kullanılması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Diğer yöntemlerle kullanılmaya başlanması ile klasik AHP yerine devreye Bulanık AHP girmiştir. Bu sayede problemlerin çözümünde daha hassas sonuçlar alınmaya başlanmış ve AHP metodu gelişmiştir.

AHP yönteminin kullanıldığı alanlara göre yıllık dağılımı Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. AHP Kullanım alanlarının Yıllara Göre Dağılımı

	(1979- 1990)	(1991-2001)	(2002-2024)
<i>Matematiksel Yöntemler</i>	√	√	√
<i>İş ve Yönetim</i>	√	√	√
<i>Ekonomi</i>	√	√	√
<i>Sağlık ve Sosyal Konular</i>	√	√	√
<i>Bilgisayar Bilimi</i>	√	√	√
<i>Makine Mühendisliği</i>	√	√	√
<i>Çevre Bilimi ve Teknolojisi</i>		√	√
<i>Madde Bilimi</i>		√	√
<i>Ekoloji</i>		√	√
<i>Sosyal Çalışmalar</i>		√	√
<i>Yer Bilimi</i>		√	√

4.1.1. AHP Yönteminin Uygulama Adımları

AHP metoduna göre karar verme süreci üç temel adıma dayanmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir ana hedef, kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi, hiyerarşi yapısının oluşturulması ve kriterlerin ikili karşılaştırılmasıdır. İkili karşılaştırmaların tutarlı olabilmesi için seçilen kriterlerin sayısı ve tanımlanmaları doğru bir şekilde yapılmış olunmalıdır. Kriterlerin sınıflandırılmaları ortak özelliklerine göre yapılmış olunmalıdır. Duyarlılık analizi ile sonucun esnekliği de kontrol edilebilir. Hiyerarşinin ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması öznel olduğundan deneyimli ve konusunda uzman kişilere ihtiyaç duyulacaktır.

AHP yönteminin adımları şu şekildedir.

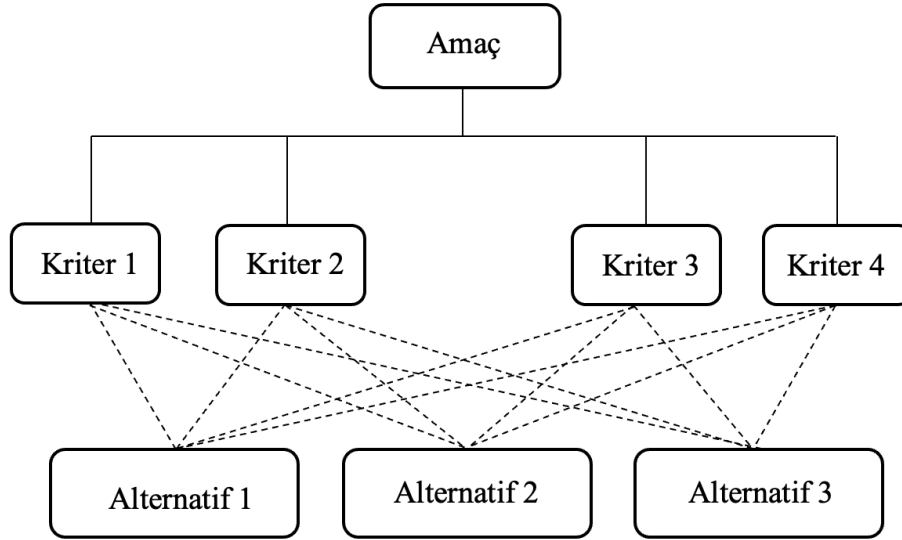
1. Adım: Problem tanımlanır.

Öncelikle çözülmek istenen problem belirlenir ve tanımlanır. Ardından hedef belirlenir ve bu hedefe ulaşabilmek için gerekli kriterler ortaya konur. Daha sonra kriterleri birbiriyle kıyaslayacağımız alternatifler tespit edilir.

2. Adım: Hiyerarşik yapının oluşturulması

Hiyerarşinin yapısı 3 aşamadan oluşur. En üst basamakta ulaşılmak istenen hedef belirtilir. Ara basamağı kriterler ve alt kriterler oluşturur. En alt basamakta ise hedefe ulaşmak için seçilen alternatifler yer alır. Problemin karmaşıklığı ve detay derecesine

göre aşama sayısı azalır ya da çoğalır. Hiyerarşik yapı oluşturulurken, aynı düzlemdeki alternatiflerin birbirinden tamamen bağımsız olduğu kabul edilir.



Şekil 4.1. AHP Hiyerarşisi

3. Adım: İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Bu adımda önem derecesi ölçeği kullanılarak, karar seçeneklerinin karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

a_{ij} , i kriteri ile j kriterinin ikili karşılaştırma değerini ifade etmektedir. a_{ji} değeri $1/a_{ij}$ den elde edilir. a_{ji} değeri, “ Kriter i değeri başka bir kriter j ye göre ne oranda tercih edilmelidir?” sorusuna cevaptır. Karar seçenekleri her bir kriteriye göre ayrı ayrı karşılaştırılır. Karar matrisleri, Saaty tarafından geliştirilmiş olan 1-9 karşılaştırma ölçeği kullanılarak oluşturulur.

Tablo 4.2. Saaty Karşılaştırma Ölçeği

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit değerde öneme sahiptir
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir kriter diğerine göre biraz daha önemli sayılmıştır.
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir kriter diğerine göre çok daha önemli sayılmıştır.
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Kriter diğer kritere göre kesinlikle çok daha önemli sayılmıştır.
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir kriterin diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır.

4. Adım: İkili karşılaştırma matrisi normalize edilir.

Matristeki her sütun kendi içerisinde toplanır ve matrisin her satırı bulunduğu sütundaki toplama bölünerek normalize edilir. Normalize edilen matrisin her sütun toplamı 1 e eşit olması gereklidir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} , i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır.

5. Adım: Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Normalize edilen matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünür ve ortalaması alınır. Bulunan değerler her bir kriter için hesaplanan önem ağırlıklarıdır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} , i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak kriterlerin birbirlerine göre olan önem değerleri bulunur ve yüzde önem dağılımları elde edilmiş olunur.

6. Adım: Tutarlılık oranı hesaplanması

İkili karşılaştırma ve önceliklerin belirlenmesinden sonra matrislerin tutarlılığı hesaplanır. Karşılaştırma sonrası oluşan bir A matrisinin tutarlı olup olmadığını belirleyebilmek için “Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI)” adı verilen katsayının hesaplanması gerekmektedir. CI katsayısı

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4.4)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Buradaki λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \text{ dır.} \quad (4.5)$$

$$A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.7)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4.8)$$

Tutarlılığı değerlendirmek için “Rassal İndeks (Random Index-RI)” değeri bilinmelidir. n boyutlu karşılaştırma matrisleri için tanımlanan RI değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Karşılaştırma Matrislerinin Boyutlarına Göre RI Değerleri

<u>n</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

CI ve RI değerleri bulunduktan sonra “Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR)” hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.9)$$

Hesaplanan CR 'nin 0.10'dan küçük olması karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterir.

7. Adım: Öncelik vektörü hesaplanır

Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak karar alternatiflerinin öncelik vektörü hesaplanır.

8. Adım: Karar seçeneklerinin sıralama işlemi yapılır

Kriterler için hesaplanan öncelik vektörleri kullanılarak, tüm öncelikler matrisi oluşturulur. Oluşturulan matris ile karar alternatiflerinin öncelik vektörü önce çarpılır daha sonra toplanır bu sayede sonuç vektörü elde edilmiş olunur. Vektörde ağırlığı en yüksek olan alternatif problemin çözümüdür.

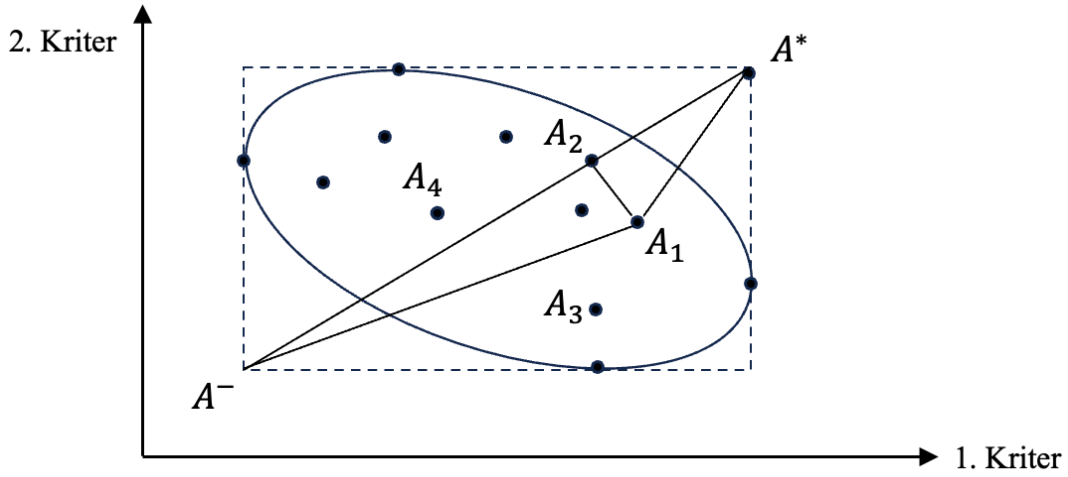
4.2. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon tarafından (1981) geliştirilmiş bir ÇKKV yöntemidir. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, kullanımının kolay olması ve kolay anlaşılıp yorumlanabilmesi gibi nedenlerden dolayı literatürde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Personel seçimi, tedarikçi değerlendirilmesi ve seçimi, kuruluş yeri seçimi, maden yatakları araştırmalarında maden potansiyellerinin haritalanması v.b. gibi bir çok alanda kullanılmıştır.

Alternatiflerin değerlendirilmesi pozitif ideal ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki ana unsura dayanır. TOPSIS yönteminde en yakın uzaklıkta ki pozitif ideal çözüm (PIS) ile negatif ideal çözüm (NIS) belirlenir. Belirlenen pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak alternatif en iyi alternatiftir (Sağır ve Doğanalp, 2016:11). Pozitif ideal çözüm, maliyet kriterini minimize eden, fayda kriterini ise maksimize eden çözümdür. Negatif ideal çözüm ise, maliyet kriterini maksimize eden, fayda kriterini ise minimize eden çözümdür.

Bazı durumlarda seçilen alternatif pozitif ideal çözüme en yakın olmasına rağmen negatif ideal çözüme diğer alternatiflere göre daha yakın durumda olabilir. Böyle durumlarda iki uzaklıkta dikkate alınması gerekir (Lai vd, 1994:489). Bunun

gerçekleştirilebilmesi için ideal çözüme benzerlik hesaplanır. İdeal çözüme benzerliği en büyük olan alternatif, karar problemi çözümü olur. (Gürbüz vd, 2006:428).



Şekil 4.2. İki boyutlu uzayda pozitif ve negatif ideal çözümler kümesi

Pozitif ideal çözüme en yakın çözüm, negatif ideal çözüme en uzak çözüm olması gerekirken bazı durumlarda bu iki noktanın aynı nokta olmadığı gibi durumlar ortaya çıkabilir. Örneğin Şekil 2’de görüldüğü gibi A_1 ve A_2 iki alternatif göz önüne alınırsa A_2 , A^* ’ya en yakın noktadır fakat A_1 de aynı zamanda A^- ’den en uzak noktadır.

4.2.1. TOPSIS Yönteminin Uygulama Adımları

TOPSIS yöntemi kullanarak bir karar problemi çözülmek istendiğinde izlenecek adımlar şu şekildedir.

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması

Alternatif ve kriterlerin belirlenmesinden sonra karar verici tarafından oluşturulan $n \times m$ boyutlu bir matristir. Belirtilen n ve m sırasıyla alternatif ve kriter sayılarıdır.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Yukarıda görüldüğü gibi (1) ile ifade edilen D karar matrisinin satırları alternatifleri, sütunları kriterleri göstermektedir. d_{ij} , i alternatifinin j kriterine göre $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ mevcut performansını göstermektedir.

2. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesi

Karar matrisinin her bir kriterine ait değerlerin kareleri toplamının (sütun değerleri) karekökü alınarak, sütunun ilgili elemanının bu çıkan değere bölünmesi ile standart karar metrisi oluşturulur.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

R standart karar matrisinin elemanları

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n d_{kj}^2}} & , i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \\ 0 & , \text{ d.y.} \end{cases} \quad (4.12)$$

Büçiminde hesaplanır.

3. Adım: Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması

Kriterlere ilişkin ağırlık değerleri ($w_i, i = 1, 2, \dots, m$) belirlenir.

Burada, $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ dir. Bu ağırlıklandırma işlemi yöntemin subjektif yönünü ortaya koyar. Bunun sebebi ağırlıklandırma kriterlerin önem derecesine göre yapılmaktadır. R matrisinin elemanları ilgili ağırlık değerleri ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi, V oluşturulur.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_m r_{1m} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_m r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{n1} & w_2 r_{n2} & \dots & w_m r_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

4. Adım: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesi

V matrisi kullanılarak, ilgilenilen değerlendirme ölçütünün amacına göre her bir ölçüt için pozitif ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri elde edilir. Değerlendirme ölçütleri fayda cinsinden ise, pozitif ideal çözüm V matrisinin sütunlarının en büyük değerleri olup negatif ideal çözüm V matrisinin sütunlarının en küçük değerleridir. Değerlendirme ölçütleri maliyet cinsinden ise, pozitif ideal çözüm V matrisinin sütunlarının en küçük değerleri olup negatif ideal çözüm V matrisinin sütunlarının en büyük değerleridir.

Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm aşağıdaki gibi bulunur:

$$\begin{aligned} V^* &= \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} \\ &= \{(max_i v_{ij} \mid j \in J_1), (min_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i \in 1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} V^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \\ &= \{(min_i v_{ij} \mid j \in J_1), (max_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid i \in 1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (4.15)$$

5. Adım: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerine olan uzaklık değerleri hesaplanır

Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden sapmaları bulabilmek için Öklid yaklaşımından faydalanılır.

Pozitif ideal çözüme uzaklık;

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.16)$$

Negatif ideal çözüme uzaklık;

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.17)$$

6. Adım: İdeal çözüme göreli yakınlık katsayıları hesaplanır

Her bir karar seçeneğinin ideal çözüme göreli yakınlık katsayılarının hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden uzaklıklar kullanılır.

$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^* + s_i^-}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.18)$$

Eşitliği ile her bir karar seçeneği için göreli yakınlık değerleri hesaplanır. Burada, $0 \leq C_i^* \leq 1$, $i = 1, 2, \dots, n$ dir. Buradan da anlaşıldığı üzere, 1'e daha yakın C_i^* , $i = 1, 2, \dots, n$ alternatifler tercih edilmiş olunur.



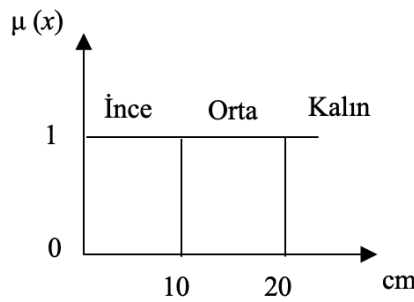
5. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER

5.1. Bulanık Mantık

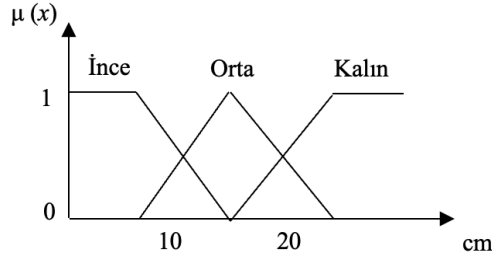
Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi Azerbaycan asıllı Lotfi Askerzade Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilmiş ve bu konu ile ilgili “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” adlı makalesini yayınlamıştır. Sonraki yıllarda, bulanık mantık yönteminin belirsizlik içeren sistemlerde kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık 1970'lerde kullanılmaya başlanılmıştır. 1980' li yıllarda ise Japonlar bulanık mantık ve sisteme ilişkin yapıları kullanarak teknolojik alanda büyük gelişmeler yaratması sonucunda dikkate alınmaya başlamıştır.

Bulanık mantık klasik mantığı da içeren bizlere geniş bir perspektifte inceleme yapma fırsatı sunan bir yöntemdir. Klasik mantık belirsizlik içeren durumlar ile ilgilenmemektedir. Klasik mantık da ya kesin doğru yada kesin yanlış vardır. Klasik mantık iki doğruluk değeri ortaya koyarken bulanık mantık ise birçok doğruluk değerleri ortaya koyarak duruma daha gerçekçi bir bakış açısı getirmektedir. İnsan mantığı; kesin ifadelerin yanı sıra ara değerleri de göz önüne almaktadır. Buradan da anlaşılabilceği gibi bulanık mantık, doğrunun veya yanlışın derecesini belirlemeye çalıştığı için iki tercihli mantığın oldukça genişletilmiş hali olarak da düşünülebilir.

Klasik kümelerde fonksiyonlar derece olarak 0 veya 1 alabilirken, bulanık kümeler de fonksiyonlar 0 ile 1 arasındaki değerleri alabilirler. Bakıldığında bulanık kümeler klasik kümelerin genişletilmiş bir şeklidir de denebilir. Klasik küme ile bulanık kümenin daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek verirsek.



Şekil 5.1. Kalınlık için sözel değişken klasik küme fonksiyonu



Şekil 5.2. Kalınlık için sözel değişken bulanık küme fonksiyonu

Bir metal çubuğun kalınlıkları şu şekilde verilmiş olsun:

A: 19 cm, B: 12 cm, C: 9 cm

Bu üç metal çubuğun kalınlıkları şekil 5.1'deki gibi tanımlanmış olsun. Yukarıda görüldüğü üzere A ve B orta kalınlık kümesine, C ise ince kalınlık kümesine ait olmuştur. B ile C arasındaki kalınlık farkı farklı grupta olmalarına rağmen 3 cm iken, A ile B arasındaki kalınlık farkı aynı grupta olmalarına rağmen 7 cm olarak görülmektedir (Tanaka, 1997: 11). Bulanık mantık da ise şekil 5.2'de görüldüğü gibi A kalınlığı hem orta hem kalın kümede kalmıştır. Diğer değerlerde farklı kümelerin üyeleri olarak bulunabilir bu durum daha ayrıntılı bir analiz yapmamıza olanak sağlar.

5.2. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme üyelik fonksiyonları, bir elemanın bir bulanık küme içindeki üyelik derecesini belirlemek için kullanılan matematiksel fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar, bir veya daha fazla giriş parametresine dayalı olarak bir elemanın bulanık kümeye ne kadar uyduğunu belirler. Bazı bulanık küme üyelik fonksiyonları şunlardır. Üçgensel üyelik fonksiyonu, gaussiyen üyelik fonksiyonu, çan üyelik fonksiyonu, sigmoid üyelik fonksiyonu ve genel üyelik fonksiyonu. Bu çalışmada üçgensel üyelik fonksiyonu üzerinde durulacaktır.

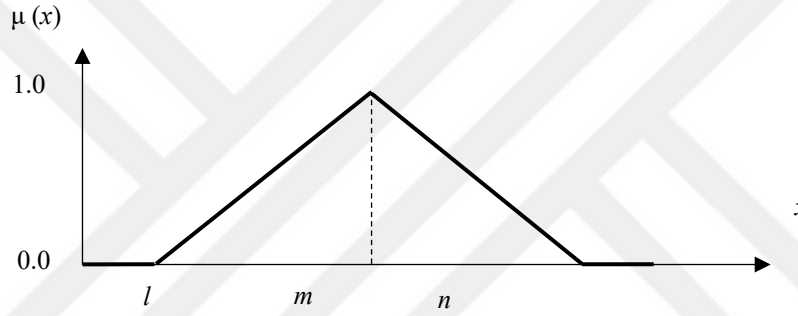
5.3. Üçgensel (Triangular) Üyelik Fonksiyonu

Üçgensel üyelik fonksiyonu, bir bulanık küme içindeki bir elemanın üyelik derecesini belirlemek için kullanılan bir fonksiyon türüdür. Bu fonksiyon, üç parametre ile tanımlanır: başlangıç, tepe noktası ve bitiş değerleri. Bu üç parametre, genellikle

sırasıyla a, b ve c ile gösterilir. Üçgensel üyelik fonksiyonu, birçok uygulamada kullanılır, özellikle bulanık mantık ve bulanık sistemlerde girdi değişkenlerinin tanımlanması ve modellemenin yanı sıra çıkış değişkenlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Üçgensel üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{n-x}{n-m}, & m \leq x \leq n \\ 0, & x > n \end{cases}, \text{şeklindedir.}$$

Üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 5.3’de görülmektedir.



Şekil 5.3. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu Grafiği

5.4. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (B-AHP)

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi, çeşitli sektörlerdeki problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, karar problemlerini hiyerarşik bir düzende ele alır ve amaç, hedefler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi göstererek karar vericilere doğru ve mantıklı bir şekilde veri, tecrübe, anlayış ve sezgilerini uygulama imkanı sağlar. AHP'nin faydalarından bir tanesi, uzman görüşlerinin karar verme sürecine dahil edilmesiyle kararların daha doğru verilmesine yardımcı olmasıdır. Ancak, AHP'nin bazı durumlarda yetersiz kalmasının nedenlerinden biri, kriter ve alternatiflerin ikili kıyaslamalarında kesin sayısal değerlerin kullanılmasıdır. Bu sorunu çözmek için belirsizliği ve bulanıklığı probleme dahil ederek, belirli bir aralıktaki sayısal değerlerin karar vericiler tarafından verilebilmesini sağlayacak B-AHP yöntemi geliştirilmiştir. B-AHP, ikili karşılaştırmalardaki sözlü ifadelerin neden olduğu belirsizlikleri ele alır. B-AHP'nin

kullanılması, belirsizlik durumunu çözüme dahil ettiği için daha yakın sonuçların elde edilmesini sağlar. Bu nedenle, ÇKKV problemlerinin çözümünde AHP yerine B-AHP'nin tercih edilmesi daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlar. Bulanık mantığın kullanıldığı çalışmalarda sonuçların daha tutarlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle ikili karşılaştırmaların nitel değerlendirme ile yapıldığı durumlarda bulanık mantık yönteminin daha iyi bir sonuç vereceği gözlemlenmiştir. B-AHP yöntemleri, işlem basamakları açısından farklılık gösterebilir. En çok tercih edilen tekniklerden biri, Chang'ın Genişletilmiş Analizi'dir. Bu yöntem, adımlarının kolay, anlaşılır ve kısa olması nedeniyle tercih edilir. Bu yüzden NGS yer seçiminde, B-AHP yöntemi kullanılmıştır.

Chang'ın B-AHP tekniğini işlem adımları aşağıdaki gibidir.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ nesneler kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ amaç kümesi olduğunu düşünelim. Chang'ın yöntemine göre her nesne ele alınır ve her hedef için ayrı bir mertebe değeri (g_i) değeri oluşturulur. Bu sayede her ayrı nesne için m genişletilmiş analiz değerleri elde edilmiş olur.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^n \quad i=1,2,\dots,n$$

Bu değerlerin hepsi $M_{g_i}^j$ ($j=1,2,\dots,m$) üçgen bulanık sayılardır. Bu sayılar Tablo 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1. Bulanık AHP Yönteminde Kullanılan Üçgen Bulanık Sayılar

Dilsel Değişim	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit derecede önemli	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Orta derecede önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Mutlak derecede önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)
Ara değerler	(1,2,3)	(1/3,1/2,1/1)
	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)

1. Adım: İlk adım olarak bulanık sentetik mertebe değeri hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j * \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (5.1)$$

Buradaki;

$S_i = i$, amacın sentez değeridir.

$M_{g_i}^j$, her bir amaca yönelik genişletilmiş değerdir.

Yukarıda yer alan ifadeler eşitlik 2 ve eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ ifadesini elde etmek için m değerlerinin üzerinde bulanık sayılarda toplama işlemini eşitlik 2 ile yaparız. Bu ifade şu şekilde hesaplanır;

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (5.2)$$

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ ifadesini elde etmek için $M_{g_i}^j = (j = 1, 2, \dots, m)$ değerleri üzerinde eşitlik 3 kullanılarak bulanık toplama işlemi yapılır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (5.3)$$

bu adımın son aşaması olarak ise denklemdeki vektörün tersi hesaplanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (5.4)$$

2. Adım: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup \left(\min \left(\mu_{m_1}^{(x)}, \mu_{m_1}^{(y)} \right) \right) \quad (5.5)$$

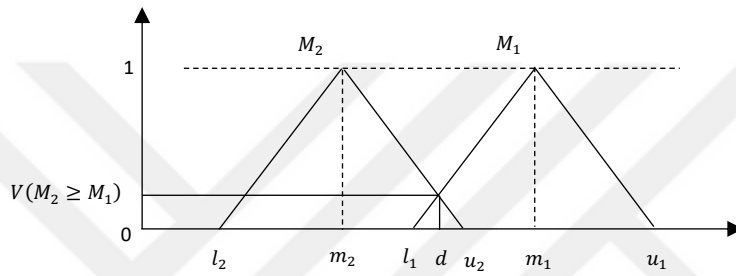
$y \geq x$

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel bulanık sayılar olmak üzere

$$V(M_2 \geq M_1) \text{ hgt}(M_1 M_2) = \mu_{m_2}^{(d)} \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{((m_2 - u_2) - (m_1 - l_1))} & \text{diğer,} \end{cases} \quad (5.6)$$

Karşılaştırılan iki durumun kesişim noktası bulunmaktadır. M_1 ve M_2 yi karşılaştırabilmek için $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerleri gereklidir.

Şekil 5.4’de kesişim noktası “ d ” görülmektedir.



Şekil 5.4. Üçgensel sayı ordinatları

3. Adım: Aşağıda, k tane bulanık sayıdan $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ büyük olma durumlarına ilişkin olabilirlik dereceleri görülmektedir.

$$V(M \geq M_1, M_2, M_k) = V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (5.7)$$

$k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ için $d'(A_i) = \min(S_i \geq S_k)$ olarak kabul edilirse ağırlık vektörü şu şekilde bulunur.

$$w' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (5.8)$$

İfadesinde bulunan $A_i(1, 2, \dots, n)$ n tane elemandan oluşmuştur.

4. Adım: Bu adım ağırlık vektörünün normalize edildiği basamaktır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (5.9)$$

Vektörü bulunur. Buradaki W artık bulanık sayı değildir.

5.5. Bulanık TOPSIS Yöntemi (B-TOPSIS)

TOPSIS yöntemi, en iyi alternatifin belirlenmesi için fayda kriterlerini maksimize eden ve maliyet kriterlerini en aza indiren pozitif ideal çözüme (PIS) en yakın mesafeye sahip olanın bulunması ve maliyet kriterlerini maksimize eden ve fayda kriterlerini en aza indiren negatif ideal çözümden (NIS) en uzak mesafede olanın bulunmasına dayanır. Ancak, kriterlerin, kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin kesin olarak tanımlanamadığı veya net verilerle dolu bir karar matrisi tanımlanamadığı durumlarda, gerçek hayattaki karar verme problemlerinde eksiklikler ve öznellikler ortaya çıkabilir. Bu tür durumlarda, belirsizlik ve dilbilimsel kavramları ele alarak çözüme ulaşmak için bulanık küme teorisi kullanılabilir. Bulanık TOPSIS (B-TOPSIS) yöntemi, bulanık ortam altında karar verme sorunlarını çözmek ve belirsizlikle başa çıkmak için geleneksel TOPSIS yönteminden daha etkilidir. B-TOPSIS yönteminde tüm derecelendirmeler ve ağırlıklar, bulanık sayılarla ifade edilen dilsel değişkenler tarafından yapılır. Bu yöntem, tesis yeri seçimi, tedarikçi seçimi, enerji santrali yeri seçimi, üretimde optimal robot seçimi, enerji, sağlık, hizmet ve diğer birçok sektörde karar verme problemlerinde kullanılmıştır. Literatürde, birçok araştırmacı tarafından farklı B-TOPSIS yöntemleri önerilmiştir ve bu yöntemler, belirsizlikle başa çıkmak ve karar verme süreçlerini iyileştirmek için çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 5.2’de görülmektedir.

Tablo 5.2. Bulanık TOPSIS Yöntemlerin Kıyaslanması (Kahraman vd, 2007a: 150)

Kaynak	Kriter Ağırlığı	Bulanık Sayı Çeşidi	Sıralama Yöntemi	Normalizasyon Yöntemi
Chen ve Hwang (1992)	Bulanık Sayılar	Yamuk	Lee ve Li’nin genel ortalama yöntemi	Doğrusal normalizasyon
Chen (2000)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler (1,1,1) ve (0,0,0) olarak alınmıştır.	Doğrusal normalizasyon
Chu (2002)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Liou ve Wang’ın (1992) sıralama yöntemi	Yenilenmiş Manhattan uzaklığı
Tsaur vd (2002)	Kesin Değerler	Üçgen	Zhao ve Govind’in (1991) ağırlık merkezi yöntemi	Vektör normalizasyonu
Zhang ve Lu (2003)	Kesin Değerler	Üçgen	Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümler (1,1,1) ve (0,0,0) olarak alınmıştır.	Manhattan uzaklığı
Chu ve Lin (2003)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Kaufmann ve Gupta’nın (1988) önerdiği ortalama yöntemi	Doğrusal normalizasyon
Chen vd (2006)	Bulanık Sayılar	Yamuk	Bulanık pozitif ideal çözüm maksimum değerler ve negatif ideal çözüm minimum değerler olarak alınmıştır.	Doğrusal normalizasyon

B-TOPSIS yöntem adımları aşağıdaki gibidir.

1. ve 2. Adım: Model belirlenir ve dilsel değişkenler değerlendirilir

N tane karar vericiden oluşan bir küme; $E = KV_1, KV_2, \dots, KV_N$ şeklindedir. Sonraki adımda alternatifler; $E = A_1, A_2, \dots, A_m$ belirlenir ve kriterler; $E = K_1, K_2, \dots, K_n$ belirlenir. Alternatifler ve kriterler belirlendikten sonra, alternatiflerin değerlendirilmesi ve kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacak olan sözel değişkenler seçilir. Karar vericiler, bu sözel değişkenler yardımıyla alternatif ve kriterleri değerlendirirler ve bu değerlendirmeler, karar vericiler tarafından sözel değişkenler ile yapılan değerlendirmelerin bulanık sayılar şeklinde ifade edilir. Bu, genellikle bulanık mantık yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu şekilde, belirsizlikler ve kesin olmayan veriler bulanık sayılarla ifade edilerek daha etkili bir karar verme süreci sağlanabilir.

Sözel değişkenlerin bulanık sayılar şeklinde ifadesi Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Kriterlerin Önem Ağırlığının Belirlenmesinde Kullanılan Değişkenler (Chen, 2000)

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Orta Düşük (OD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1, 1)

Tablo 5.4. Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Değişkenler (Chen, 2000)

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Orta İyi (OI)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

N tane karar vericinin kriterler ve alternatifler için yapmış olduğu değerlendirmeleri tek bir değere indirgeyebilmek için aşağıdaki yol izlenir;

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{N} [\tilde{x}_{ij}^1 \oplus \tilde{x}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{x}_{ij}^N],$$

$$\tilde{x}_{ij} = (a_j, b_j, c_j), a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N b_{ijk}, c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \quad (5.10)$$

sonunda bulunan $\tilde{x}_{ij}^N$ N. karar vericinin değerlendirmesini ifade etmektedir.

Tüm kriterler için N tane karar verici tarafından belirlenmiş ağırlıkları tek bir değerde toplamak için, aşağıdaki eşitlikten faydalanılır;

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{N} [\tilde{w}_j^1 \oplus \tilde{w}_j^2 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_j^N] \quad (5.11)$$

Burada $\tilde{w}_j^N$ N. karar vericinin ağırlığını göstermektedir.

3. Adım: Karar probleminin matris formatına dönüştürülmesi.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (5.12)$$

Yukarıdaki $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ üçgen bulanık sayıları ifade etmektedir, bulanık karar matrisini $\tilde{D}$ gösterirken, bulanık ağırlıklar matrisini ise $\tilde{W}$ göstermektedir.

4. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesi

Oluşturulan bulanık karar matrisi (5.13) ve (5.14) eşitlikleri kullanılarak normalize edilmiş bulanık karar matrisi $\tilde{R}$ oluşturulur.

B ve C, fayda maliyet kriterleridir

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j}, \frac{m_{ij}}{u_j}, \frac{u_{ij}}{u_j} \right), \quad j \in B, \quad u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad (5.13)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), \quad j \in C, \quad l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (5.14)$$

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.15)$$

5. Adım: Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması

Oluşturulan normalize bulanık karar matrisi, kriter önem ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulur:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.16)$$

$$\text{Buradaki } \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \odot \tilde{w}_j \text{ 'dır} \quad (5.17)$$

6. Adım: Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözümün bulunması

Ağırlıklı bulanık karar matrisi oluşturulur. Daha sonra bulanık pozitif ideal çözüm ($FPIS, A^*$) ve bulanık negatif çözüm ($FNIS, A^-$) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$A^* = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad (5.18)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (5.19)$$

Burada $\tilde{v}_{ij}^* = (1,1,1)$ ve $\tilde{v}_{ij}^- = (0,0,0)$ $j = 1, 2, \dots, n'$ dir.

Daha sonra, tüm alternatiflerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları şu şekilde hesaplanır;

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.20)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.21)$$

Burada d_v olarak verilen değer (a,b) iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı belirtmektedir.

Vertex yöntemi ile iki bulanık sayı arasındaki uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$d(a,b) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u_a - u_b)^2]} \quad d(a,b) \in R^+ \quad (5.22)$$

7. Adım: Bu adımda yakınlık katsayıları hesaplanır

Uzaklıkların bulunmasından sonra her alternatifin yakınlık katsayıları (CC_i) hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5.23)$$

Bulunan yakınlık katsayısına göre alternatif tercihi yapılır. 1'e en yakın değerdeki alternatif en iyi çözümdür.



6. B-AHP VE B-TOPSIS YÖNTEMLERİNİN NÜKLEER GÜÇ SANTRALİ YER SEÇİMİ PROBLEMİNE UYGULANMASI

Sürekli gelişen teknoloji ve artan popülasyon sebebiyle dünyada enerji ihtiyacının arttığı görülmektedir. Bu enerji açığının giderilmesi için bir çok yöntem uygulanmakta fakat bu uygulanan yöntemlerden birçoğunun temel yakıtı petrol ve türevlerini içermektedir. Petrol ve türevi yakıtların kullanılması dünyada geri dönüşü olmayacak zararlar oluşturmakta ve bu yakıtların artık kullanılması tercih edilmemektedir. Dolayısı ile dünya alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu alternatif enerji kaynaklarından ilk olarak tercih edilebilecek olan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır çünkü petrol tabanlı yakıtların sebep olduğu karbon emisyonu ve sera gazı etkisini oluşturmamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi çevre için büyük fayda sağlarken maalesef bu enerji kaynağından elde edilen enerjinin verimliliği çok düşüktür. Bu sebepten günümüz teknolojisinin sağladığı imkanlar dahilinde gerekli enerji ihtiyacını karşılamamaktadır. Gelecekte teknolojinin gelişmesi ile belki daha verimli ve tercih edilebilir duruma gelecektir fakat şu an için gerekli enerji ihtiyacımızı karşılamamaktadır. Yenilenebilir enerjinin yetersiz kaldığı bu durumda dünya başka bir enerji kaynağına ihtiyaç duymuştur. Nükleer enerji santralleri bu ihtiyacı karşılayabilmesi için bizlere bir olanak sağlamıştır. Nükleer enerji kullanımı geçmişte çok yaygın olmamasına rağmen günümüzde büyük bir alana yayılmış ve birçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Nükleer enerjinin en büyük avantajı karbon emisyonunun ve sera gazı etkisinin olmaması ve çevreye zarar vermemesidir. Bu getirisine artı olarak verimi de çok yüksektir fakat işletilmesindeki olası bir hata çok büyük zararlar doğurabilecek tehlikeye de sahiptir. Hayatta birçok şeyde olduğu gibi tamamen faydalı yada tamamen faydasız bir şey yoktur. Önemli olan ortaya konan getiri ve götürülerin bu riski almaya değip değmeyeceğidir. Örnek olarak hava taşımacılığında oluşabilecek bir kaza büyük oranda ölüm getirecekken kara taşımacılığında oluşabilecek bir kaza belki hava taşımacılığı kadar tehlikeli görünmeyebilir fakat istatistiksel olarak bakıldığında hava taşımacılığında oluşan kazalar kara taşımacılığına göre çok az ve hatta ölüm oranı çok düşüktür. Dolayısı ile hava taşımacılığından vazgeçilmemiş, teknolojisi geliştirilmiş ve risk oranı çok daha düşürülmüştür. Bu örnekteki risk olgusu nükleer santral ve diğer enerji kaynakları için düşünüldüğünde, gelişen teknolojinin

uygulanması ve uzman kişiler yetiştirilerek işletilmesi durumunda nükleer santral kullanımının tercih edilmesi konusunda bizlere ışık tutacaktır.

Bu çalışmada Türkiye’de kurulan veya kurulması düşünülen nükleer santrallerin hangi bölgelerde konumlandırılması, hem çevre hem popülasyon hem de verimlilik açısından daha iyi olacaktır bunun araştırması yapılacaktır. NGS lerin yerlerinin belirlenmesinde ÇKVY yöntemi olan B-AHP kullanılarak kriterlerin ağırlık oranları hesaplanacak ve daha sonra diğer bir karar verme yöntemi olan B-TOPSIS yöntemi ile bu belirlenen kriterlere göre alternatifler içerisinde hangisinin daha iyi bir seçim olacağı tespit edilecektir. Her iki yöntemde bulanık mantık ile kullanılacağından öncelikle dilsel değerlendirmeler göz önünde bulundurulacak ve daha sonra durulaştırma ile sonuca ulaşılabacaktır.

6.1. Alternatiflerin ve Kriterlerin Belirlenmesi

NGS yerinin belirlenmesinde kullanılacak alternatiflerin belirlenmesinde şu hususlara dikkat edilmiştir. Türkiye’de ilk olarak kurulması düşünülen ve kurulum aşamasında olan santraller sadece deniz kıyılarına yakın yerlerde düşünülmüştür. Bu çalışmada, örnekleri dünyada birçok yerde görülen göl, baraj ve akarsuların yakınlarında kurulan tesisler baz alınmış ve Türkiye’nin kapasitesi en büyük göl ve barajları belirlenerek bunların içerisinde uzman kişilerin görüşleri ışığında alternatifler belirlenmiştir. Bu alternatifler şu şekildedir; Konya-Isparta/Beyşehir Gölü (A1), Ankara-Konya-Aksaray/Tuz Gölü (A2), Van/Van Gölü (A3), Elazığ/Hazar Gölü (A4), Isparta/Eğirdir Gölü (A5), Aksaray-Kırşehir/Kızılırmak Barajı (A6), Şanlıurfa/Atatürk Barajı (A7), Karaman/Ermenek Barajı (A8). Daha sonra tesis yer seçiminde önemli olabilecek 8 kriter literatür taraması ve uzman kişiler tarafından verilen bilgiler ışığında Tablo 6.1 deki kriterlerin içerisinde seçilerek belirlenmiştir.

Tablo 6.1. Kriter Belirlemede Literatür Tarama Tablosu

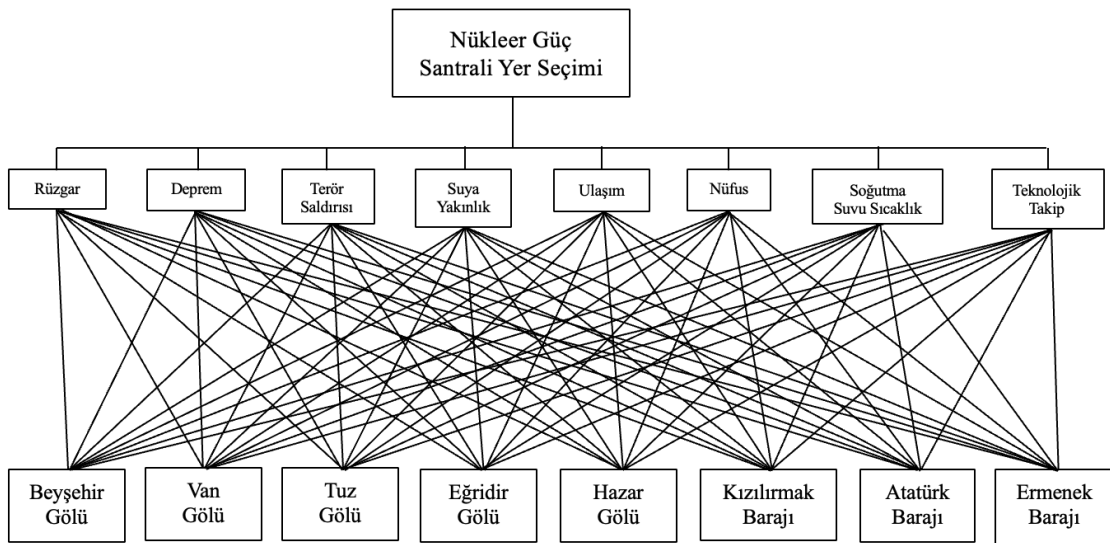
Kriterler Yayınlar	Deprem	Meteoroloji	Nüfus	Coğrafi Özellikler	Ulaşım	Teknolojik Takip	Soğutma Suyu Sıcaklığı
T.C. Çevre Şehircilik Bakanlığı – ÇED Rehberi Nükleer Enerji Santralleri	*	*	*	*	*	-	-

Tablo 6.1. (Devamı) Kriter Belirlemede Literatür Tarama Tablosu

Türkiye Atom Enerji Kurumu – Nükleer Güç Santralleri için Yer Raporu Biçim ve İçeriği Kılavuzu	*	*	*	-	*	*	-
Türkiye’de Kurulması Planlanan NGS İçin Kuruluş Yeri Seçimi – Aslı Özmen	*	*	-	*	-	-	*
ÇKKV Yöntemleri İle Türkiye’de Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi – Sami Küçüköğlü	*	*	*	*	*	-	*
Nükleer Santrallerin Yer Seçiminde Deprem Etkisinin Önemi	*	-	-	-	-	-	-
Dünden Bugüne Türkiye’de Enerji – Fizik Mühendisliği Odası	*	*	*	*	*	-	*
Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu	*	*	*	*	-	-	-
NGS için Yer Belirleme Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi – Zeki Mehmet Başkurt	*	-	*	*	-	-	*
TÜBA-Nükleer Enerji Raporu 2019	*	-	*	*	-	-	-

* Mevcut , - Mevcut Değil

Belirlenen alternatif ve kriterler için oluşturulan hiyerarşik yapı aşağıdaki Şekil 6.1’deki gibidir.



Şekil 6.1. Kriter ve Alternatlere İlişkin Hiyerarşik Yapı

Kriterler; Tablo 6.1. deki literatürde kullanılmış kriterler içerisinde uzman kişilerin önerileri alınarak oluşturulmuştur.

Nükleer Enerji Santrali Kurulum Yeri Seçim Kriterleri;

1. Rüzgar (K1)

Rüzgar kriteri nükleer santralin kurulduğu alandaki olası tehlikelerde sızıntının ne kadar hızla ve nereye kadar yayılabileceğini belirleyecektir.

2. Deprem (K2)

Nükleer santralin kurulacağı bölge olası deprem riskleri göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

3. Terör Saldırısı (K3)

Tesisin bulunduğu bölgede oluşabilecek terör saldırıları kurulum ve işletim için çok önemlidir. Olası bir saldırı geri dönüşü olmayacak hasarlar bırakabilir. Seçilecek bölge bu tip bir saldırının olma olasılığının en düşük olacağı yerlerde seçilmelidir.

4. Suyu Yakınlık (K4)

Tesisin işleyişinde su büyük bir rol oynamaktadır. Su hem üretimde hem de soğutma işleminde kullanılmaktadır. Suyu yakınlık önem taşımaktadır.

5. Soğutma Suyu Sıcaklığı (K5)

Soğutma suyu olarak kullanılan suyun sıcaklığı verim açısından önemlidir. Düşük sıcaklıklar soğutma işleminde daha verimli çalışılmasını sağlayacaktır.

6. Ulaşım (K6)

Tesise ulaşımın kolaylığını ifade eder.

7. Nüfus (K7)

Tesisin kurulduğu yerin etrafında yerleşim yeri olarak bulunan bölgelerdeki yaşayan insan sayısını ifade eder.

8. Teknolojik Takip (K8)

Nükleer santralin kurulumu ve kullanımı esnasında güncel gelişmiş teknolojilerin takip edilmesi büyük önem taşımaktadır. Teknolojik gelişmeler santrallerin güvenli ve daha verimli çalışmasını sağlayacak bir unsurdur bu sebepten bu kriter gerek yer seçiminde gerekse santrallerin işletilmesinde göz arda edilemeyecek düzeydedir.

6.1.1. B-AHP İle Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Belirlenen kriterlerin ikili karşılaştırmaları Saaty' nin ikili karşılaştırma ölçeği yardımıyla birbirleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama işlemi nükleer güç santralleri alanında uzman olan fizik bölümü akademisyen ve öğretmenleri tarafından yapılmıştır. Kullanılan ikili karşılaştırma anketlerinin geometrik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Uzman karar vericilerin cevapları ile oluşturulan bu geometrik ortalama tablosu kullanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Oluşturulan bu ikili matrislere daha sonra B-AHP algoritması uygulanır böylece bulanık ağırlıklar matrisi elde edilmiş olur.

Yukarıda elde edilen uzman görüşleri ile ilgili ikili karşılaştırma tablosu yardımıyla ikili karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur. Bu tablo oluşturulurken tabloda diagonal bir çizgi çekilmiş gibi düşünülür ve ikili kıyaslanan değerlerin hangisi diğerine göre daha önemli ise o kısma bulanık değerler diğer kısımda bulanık değerlerin tersleri yazılır ve bu şekilde matris oluşturulmuş olur.

İkili karşılaştırma matrisi bulanık sayılar ile oluşturulduktan sonra bulanık sentetik mertbe değerlerini hesaplayabilmek için bulanık AHP yöntemi anlatılırken verilen;

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j * \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \text{ denkleminde faydalanılır.}$$

Bulanık sayılar ayrı ayrı toplanır. Toplama işleminden sonra formülde gösterildiği gibi l değerleri u değerlerinin toplamına, u değerleri l değerlerinin toplamına ve m değerleri de kendi toplamlarına bölünür ve böylelikle aşağıdaki Tablo 6.2. de görüldüğü gibi bulanık sentetik mertbe değerleri bulunmuş olur.

Tablo 6.2. Bulanık Sentetik Mertebe Değerleri

	l	m	u
Rüzgar	0,00997014	0,01509374	0,03088111
Deprem	0,15802883	0,27869755	0,47903397
Terör Saldırısı	0,04289297	0,09041402	0,18301493
Suya Yakınlık	0,1244477	0,22252574	0,40533644
Soğutma Suyu Sıcaklığı	0,06687978	0,12822226	0,24565783
Ulaşım	0,01435988	0,03381807	0,07562657
Nüfus	0,02862643	0,05893325	0,12037203
Teknolojik Takip	0,09086658	0,17229536	0,32549714

Bir sonraki adımda kriter değerleri birbirleri ile kıyaslanarak olabilirlik dereceleri hesaplanacaktır. Bu kıyaslama şu eşitlikler ile yapılacaktır;

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

Tablo 6.3. Bulanık Olabilirlik Dereceleri

	Rüzgar	Deprem	Terör Saldırısı	Suya Yakınlık	Soğutma Suyu Sıcaklığı	Ulaşım	Nüfus	Teknolojik Takip
Rüzgar	-	0	0	0	0	0,4689	0,049	0
Deprem	1	-	1	1	1	1	1	1
Terör Saldırısı	1	0,1171	-	0,30714	0,7543	1	1	0,5296
Suya Yakınlık	1	0,8151	1	-	1	1	1	1
Soğutma Suyu Sıcaklığı	1	0,3680	1	0,5624	-	1	1	0,7784
Ulaşım	1	0	0,3662	0	0,0846	-	0,6516	0
Nüfus	1	0	0,5778	0	0,4353	1	-	0,2068
Teknolojik Takip	1	0,6114	1	0,8001	1	1	1	-

Yukarıdaki Tablo 6.3. oluşturulduktan sonra normalizasyon işlemi yapılır. Bunun için tablodaki tüm satırların tek tek en küçük değerleri belirlenir ve belirlenen bu değerler

toplanır. Toplam değer elde edildikten sonra tüm minimum değerler bu toplam değere bölünerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu sayede kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmış olur. Aşağıdaki Tablo 6.4. de kriterlerin ağırlık değerleri görülmektedir.

Tablo 6.4. Kriter Ağırlık Değerleri

	Minimum Değerler	Kriter Ağırlıkları (W)
Rüzgar	0	$\frac{0}{2,9116} = 0$
Deprem	1	$\frac{1}{2,9116} = 0,34$
Terör Saldırısı	0,1171	0,04
Suya Yakınlık	0,8151	0,27
Soğutma Suyu Sıcaklığı	0,3680	0,12
Ulaşım	0	0
Nüfus	0	0
Teknolojik Takip	0,6114	0,2
Toplam	2,9116	

Bazı kriter ağırlıkları sıfır çıkmıştır bu durum, sıfır çıkan kriterlerin karar aşamasında önemli bir görüş sunmadığını göstermektedir. Kriter ağırlıklarının sıfır çıkması karar verme işleminde o kriterlerin çözüm aşamasında kullanılmayacağını gösterir bu durum B-AHP yönteminin bir dezavantajı olarak görülebilir.

6.2. B-TOPSIS Yöntemi İle Alternatiflerin Sıralanması

Nükleer güç santrali kurulum yeri seçimi probleminde B-AHP ile belirlediğimiz kriter ağırlıkları, B-TOPSIS yönteminde alternatiflerin sıralanması için kullanılacaktır. Öncelikle kriter ve alternatifler karar vericilerin belirlediği sözel değişkenler ile değerlendirilir bu belirlenen sözel değişkenler daha sonra bulanık sayılara çevrilir. Bu değerlendirmelerin bulanık sayı olarak ifadesi aşağıdaki Tablo 6.5. ve Tablo 6.6.'deki gibi olacaktır.

Tablo 6.5. Kriter Önem Ağırlık Belirlemede Kullanılan Değişkenler (Chen, 2000)

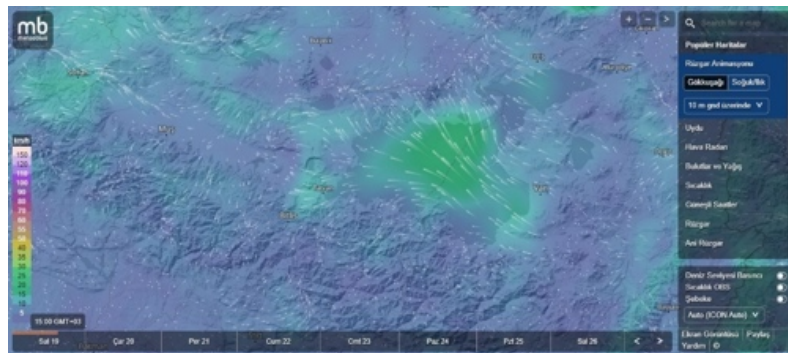
Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Orta Düşük (OD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1, 1)

Tablo 6.6. Alternatif Değerlendirme İçin Kullanılan Değişkenler (Chen, 2000)

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

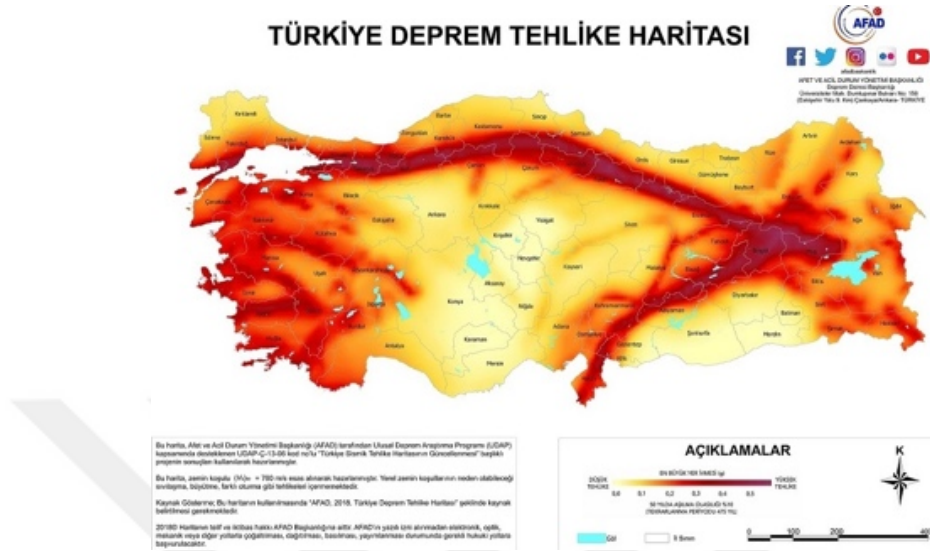
Kriterler ve Alternatifler için dilsel değişkenler yarımıyla bulanık sayılar oluşturulmadan önce alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde karar vericilerin bazı bilgilere ihtiyacı vardır.

Alternatife göre rüzgar kriteri değerlendirilirken rüzgarın buradaki önemi tesisin kurulduğu yerde hangi yönden estiği olacaktır. Rüzgarın hangi yönden estiği bilgisi de <https://www.meteoblue.com/tr> sitesinden alınarak değerlendirilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Türkiye Rüzgar Yönleri Haritası (URL-8)

Alternatife göre deprem kriteri değerlendirilirken deprem ile ilgili TMMBO Jeoloji Mühendisleri Odasının oluşturulmuş olduğu haritalardan faydalanılmıştır.



Şekil 6.3. Türkiye Deprem Haritası (URL-9)

İlk olarak, literatür taramasına göre belirlenmiş kriterler karar vericiler tarafından Tablo 6.5’ de verilen dilsel değişkenler kullanılarak ortak bir görüş doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Tablo 6.7 oluşturulmuştur.

Tablo 6.7. Karar Vericiler Tarafından Belirlenen Kriter Ağırlık Değerlendirilmesi

	KV1	KV2	KV3
K1	D (0, 0.1, 0.3)	OD (0.1, 0.3, 0.5)	ÇD (0, 0, 0.1)
K2	Y (0.7, 0.9, 1)	OY (0.5, 0.7, 0.9)	ÇY (0.9, 1, 1)
K3	O (0.3, 0.5, 0.7)	D (0, 0.1, 0.3)	D (0, 0.1, 0.3)
K4	OY (0.5, 0.7, 0.9)	OY (0.5, 0.7, 0.9)	Y (0.7, 0.9, 1)
K5	O (0.3, 0.5, 0.7)	OY (0.5, 0.7, 0.9)	O (0.3, 0.5, 0.7)
K6	ÇD (0, 0, 0.1)	OD (0.1, 0.3, 0.5)	OD (0.1, 0.3, 0.5)
K7	OD (0.1, 0.3, 0.5)	D (0, 0.1, 0.3)	OD (0.1, 0.3, 0.5)
K8	OY (0.5, 0.7, 0.9)	O (0.3, 0.5, 0.7)	Y (0.7, 0.9, 1)

Kriterler dilsel ifadelerle ifade edildikten sonra belirlenen alternatifler karar kriterlerine göre karar vericiler tarafından Tablo 6.6’ daki dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilmiştir.

Karar vericiler tarafından belirlenen bulanık sayılar (5.10) eşitliği kullanılarak tek bir değere indirgenir ve Tablo 6.8 deki gibi bulanık karar matrisi oluşturulmuş olunur.

Tablo 6.8. Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	(5,7,9)	(5,7.66,10)	(7,9.66,10)	(5,8.33,10)	(1,3.66,7)	(5,8.66,10)	(5,8.66,10)	(1,5.66,10)
A2	(0,3,7)	(7,9.33,10)	(7,9.33,10)	(7,9.66,10)	(7,9.66,10)	(7,9.33,10)	(3,7,10)	(3,7.66,10)
A3	(5,7,9)	(0,0.66,3)	(0,0.5,3)	(7,9.66,10)	(7,9,10)	(5,8.33,10)	(1,5,9)	(1,5,9)
A4	(3,6.33,9)	(0,0.5,3)	(1,4.33,7)	(3,7,10)	(1,5,9)	(3,5.66,9)	(3,7,10)	(5,7.66,10)
A5	(5,8.33,10)	(1,5,9)	(7,9.66,10)	(7,9.66,10)	(0,3,7)	(3,5.66,9)	(5,7.66,10)	(1,5.66,10)
A6	(1,4.33,7)	(5,8.33,10)	(3,7,10)	(7,9.66,10)	(3,8,10)	(1,4.33,9)	(3,7,10)	(3,7,10)
A7	(5,8.33,10)	(5,8.33,10)	(0,1.66,5)	(5,8.33,10)	(0,3,7)	(3,7,10)	(0,3,7)	(1,5.66,10)
A8	(5,7,9)	(7,9.33,10)	(7,9.33,10)	(3,7,10)	(0,3,7)	(1,5,7)	(5,8.66,10)	(1,5,9)

Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirme sonuçları (5.11) eşitliği kullanılarak tek değerlere indirgenmiş, kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiş ve Tablo 6.9'deki gibi verilmiştir.

Tablo 6.9. Kriterlerin Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar	Sıralama
K1	(0.03,0.13,0.3)	8
K2	(0.7,0.86,0.96)	1
K3	(0.1,0.23,0.43)	5
K4	(0.56,0.76,0.93)	2
K5	(0.36,0.56,0.76)	4
K6	(0.06,0.2,0.36)	7
K7	(0.06,0.23,0.43)	6
K8	(0.5,0.7,0.86)	3

Normalize karar matrisi oluşturulurken kriterlerin Fayda-Maliyet durumları tüm kriterler için fayda olarak belirlenmiş ve buna göre hesaplanmıştır. Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi için (5.13) ve (5.14) eşitlikleri kullanılır ve Tablo 6.10 aşağıdaki gibi oluşturulur.

Tablo 6.10. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	(0.5,0.7,0.9)	(0.5,0.76,1)	(0.7,0.96,1)	(0.5,0.83,1)	(0.1,0.36,0.7)	(0.5,0.86,1)	(0.5,0.86,1)	(0.1,0.56,1)
A2	(0.0,3,0.7)	(0.7,0.93,1)	(0.7,0.93,1)	(0.7,0.96,1)	(0.7,0.96,1)	(0.7,0.93,1)	(0.3,0.7,1)	(0.3,0.76,1)
A3	(0.5,0.7,0.9)	(0.0,06,0.3)	(0.0,05,0.3)	(0.7,0.96,1)	(0.7,0.9,1)	(0.5,0.83,1)	(0.1,0.5,0.9)	(0.1,0.5,0.9)
A4	(0.3,0.63,0.9)	(0.0,05,0.3)	(0.1,0.43,0.7)	(0.3,0.7,1)	(0.1,0.5,0.9)	(0.3,0.56,0.9)	(0.3,0.7,1)	(0.5,0.76,1)
A5	(0.5,0.83,1)	(0.1,0.5,0.9)	(0.7,0.96,1)	(0.7,0.96,1)	(0,0,3,0.7)	(0.3,0.56,0.9)	(0.5,0.76,1)	(0.1,0.56,1)
A6	(0.1,0.43,0.7)	(0.5,0.83,1)	(0.3,0.7,1)	(0.7,0.96,1)	(0.3,0.8,1)	(0.1,0.43,0.9)	(0.3,0.7,1)	(0.3,0.7,1)
A7	(0.5,0.83,1)	(0.5,0.83,1)	(0,0,16,0.5)	(0.5,0.83,1)	(0,0,3,0.7)	(0.3,0.7,1)	(0,0,3,0.7)	(0.1,0.56,1)
A8	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.93,1)	(0.7,0.93,1)	(0.3,0.7,1)	(0,0,3,0.7)	(0.1,0.5,0.7)	(0.5,0.86,1)	(0.1,0.5,0.9)

Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6.9 da belirtilmiş olan kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6.11 de görüldüğü gibi elde edilir.

Tablo 6.11. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	(0.01,0.09,0.27)	(0.35,0.65,0.96)	(0.07,0.22,0.43)	(0.28,0.63,0.93)	(0.03,0.2,0.53)	(0.03,0.17,0.36)	(0.03,0.19,0.43)	(0.05,0.39,0.86)
A2	(0.0,0.03,0.21)	(0.49,0.79,0.96)	(0.07,0.21,0.43)	(0.39,0.72,0.93)	(0.25,0.53,0.76)	(0.04,0.18,0.36)	(0.01,0.16,0.43)	(0.15,0.53,0.86)
A3	(0.01,0.09,0.27)	(0.0,0.05,0.28)	(0.0,0.01,0.12)	(0.39,0.72,0.93)	(0.25,0.5,0.76)	(0.03,0.16,0.36)	(0.006,0.11,0.38)	(0.05,0.35,0.77)
A4	(0.009,0.08,0.27)	(0.0,0.04,0.28)	(0.01,0.09,0.3)	(0.16,0.53,0.93)	(0.03,0.28,0.68)	(0.01,0.11,0.32)	(0.01,0.16,0.43)	(0.25,0.53,0.86)
A5	(0.01,0.1,0.3)	(0.07,0.43,0.86)	(0.07,0.22,0.43)	(0.39,0.72,0.93)	(0.0,0.16,0.53)	(0.01,0.11,0.32)	(0.03,0.17,0.43)	(0.05,0.39,0.86)
A6	(0.003,0.05,0.21)	(0.35,0.71,0.96)	(0.03,0.16,0.43)	(0.39,0.72,0.93)	(0.1,0.44,0.76)	(0.006,0.08,0.32)	(0.01,0.16,0.43)	(0.15,0.49,0.86)
A7	(0.01,0.1,0.3)	(0.35,0.71,0.96)	(0.0,0.03,0.21)	(0.28,0.63,0.93)	(0.0,0.16,0.53)	(0.01,0.14,0.36)	(0,0.06,0.3)	(0.05,0.39,0.86)
A8	(0.01,0.09,0.27)	(0.49,0.79,0.96)	(0.07,0.21,0.43)	(0.16,0.53,0.93)	(0.0,0.16,0.53)	(0.006,0.1,0.25)	(0.03,0.19,0.43)	(0.05,0.35,0.77)

Daha sonra, bulanık pozitif ideal çözüme (A^+) ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklıklar (5.20) ve (5.21) eşitlikleri yardımıyla hesaplanıp aşağıdaki Tablo 6.12’ deki gibi gösterilmiştir.

Tablo 6.12. Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklıklar

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A^+	(0.01,0.1,0.3)	(0.49,0.79,0.96)	(0.07,0.22,0.43)	(0.39,0.72,0.93)	(0.25,0.53,0.76)	(0.04,0.18,0.36)	(0.03,0.19,0.43)	(0.25,0.53,0.86)
A^-	(0.0,0.03,0.21)	(0.0,0.04,0.28)	(0.0,0.01,0.12)	(0.16,0.53,0.93)	(0.0,0.16,0.53)	(0.006,0.1,0.25)	(0,0.06,0.3)	(0.05,0.35,0.77)

Uzaklıklar belirlendikten sonra her alternatifin tüm kriterleri için (5.22) eşitliği yardımıyla F-PIS (Bulanık Pozitif İdeal Çözüm) ve F-NIS’ten (Bulanık Negatif İdeal Çözüm) olan uzaklıklar verteks yöntemiyle hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 6.13 ve Tablo 6.14 de gösterilmiştir.

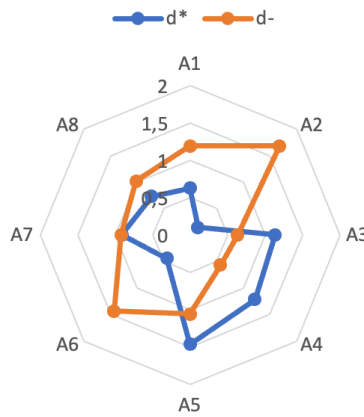
Tablo 6.13. Pozitif İdeal Çözüm Olan Uzaklıklar

Kriter	$d(A1,A^+)$	$d(A2,A^+)$	$d(A3,A^+)$	$d(A4,A^+)$	$d(A5,A^+)$	$d(A6,A^+)$	$d(A7,A^+)$	$d(A8,A^+)$
K1	0,018	0,066	0,018	0,02	0	0,059	0	0,018
K2	0,114	0	0,645	0,649	0,324	0,093	0,093	0
K3	0	0,005	0,219	0,111	0	0,041	0,172	0,005
K4	0,082	0	0	0,172	0	0	0,082	0,172
K5	0,264	0	0,017	0,197	0,29	0,1	0,29	0,29
K6	0,008	0	0,012	0,049	0,049	0,065	0,028	0,081
K7	0	0,02	0,055	0,02	0,655	0,02	0,107	0
K8	0,14	0,057	0,163	0	0,14	0,062	0,14	0,163
d_i^+	0,626	0,148	1,129	1,218	1,458	0,44	0,912	0,729

Tablo 6.14. Negatif İdeal Çözüm Olan Uzaklıklar

Kriter	$d(A1,A^-)$	$d(A2,A^-)$	$d(A3,A^-)$	$d(A4,A^-)$	$d(A5,A^-)$	$d(A6,A^-)$	$d(A7,A^-)$	$d(A8,A^-)$
K1	0,049	0	0,049	0,045	0,066	0,011	0,066	0,049
K2	0,564	0,649	0,005	0	0,405	0,587	0,587	0,649
K3	0,219	0,216	0	0,113	0,219	0,199	0,053	0,216
K4	0,09	0,172	0,172	0	0,172	0,172	0,09	0
K5	0,028	0,29	0,277	0,112	0	0,217	0	0
K6	0,076	0,132	0,073	0,04	0,04	0,042	0,067	0
K7	0,107	0,094	0,054	0,094	0,099	0,094	0	0,107
K8	0,056	0,129	0	0,163	0,056	0,112	0,056	0
d_i^-	1,189	1,682	0,63	0,567	1,057	1,434	0,919	1,021

Her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlık katsayıları bulunmuş ve bu değerler aşağıdaki Şekil 6.4 de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. NGS Yer Seçimi İçin d^* & d^- Değerlendirmesi

Bulunan bu katsayılarla göre alternatiflerin sıralamaları (5.23) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 6.15' deki gibi gösterilmiştir.

Tablo 6.15. Alternatiflerin Sıralamaları

Alternatifler	d_i^*	d_i^-	CC_i	Sıralama	
A1	0,626	1,189	0,655	3	Beyşehir Gölü
A2	0,148	1,682	0,919	1	Tuz Gölü
A3	1,129	0,63	0,358	7	Van Gölü
A4	1,218	0,567	0,317	8	Hazar Gölü
A5	1,458	1,057	0,42	6	Eğridir Gölü
A6	0,44	1,434	0,765	2	Kızılırmak Barajı
A7	0,912	0,919	0,501	5	Atatürk Barajı
A8	0,729	1,021	0,583	4	Ermenek Barajı

Tablo 6.18’ de görüldüğü gibi yakınlık katsayılarını büyükten küçüğe doğru sıraladığımızı alternatifler arasında $A2 > A6 > A1 > A8 > A7 > A5 > A3 > A4$ şeklinde bir sıralama oluşmuştur. Bu sıralamadan da anlaşıldığı gibi en iyi alternatif Tuz Gölü olup bunu sırasıyla Kızılırmak Barajı, Beyşehir Gölü, Ermenek Barajı, Atatürk Barajı, Eğridir Gölü, Van Gölü ve Hazar gölü takip etmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji, teknolojik gelişmeler doğrultusunda artan günümüz dünyasının vazgeçilmez ihtiyaçlarından birisidir. Dünya üzerindeki birçok ülke bu ihtiyacı karşılayabilmek için çalışmalar yapmakta ve yeni kaynaklar bulmaya çalışmaktadırlar. Türkiye’de bu enerji ihtiyacını karşılayabilmek için çalışmalar yapmış fakat yeterli kapasiteye ulaşamamıştır. Bu sebepten yurtdışına bağımlı kalmış ve bu enerji açığı için her yıl büyük miktarlarda paralar ödemek zorunda kalmıştır. Günümüz teknolojik çağının en önemli unsuru enerji kaynağı olduğu için Türkiye’de bu konularda çalışmalar yapmalı global dünyayı takip etmeli ve çıkan son teknolojileri kendi ülkesine getirmelidir.

Enerji kaynağı olarak kullanılabilecek birçok yöntem mevcuttur fakat tüm bu yöntemlerin getirileri olduğu gibi götürüleri de vardır. Yani hiçbir yöntem %100 iyi veya %100 kötü olamaz. En zararsız olarak görülen yenilenebilir enerji kaynaklarını ele alırsak bu yöntem ile elde edeceğimiz verim çok düşük kalacaktır ve enerji açığını kapatmakta yeterli olmayacaktır. Şu anki teknolojik gelişme durumuna göre yenilenebilir kaynaklar sadece destek enerji kaynakları olarak kullanılabilir gibi görünüyor fakat gelişen teknolojiye ileride daha verimli hale gelirse tabi ki kullanımını artacaktır. Fosil yakıtlar bilindiği gibi yüksek enerji kaynağı olsa da tüketimi sonucu ortaya sera gazları çıkartırlar (CO_2 , CH_4 , N_2O , Florlu gazlar) ve bu yüzden çevreye çok büyük zararlar verirler. Fosil yakıtlar ayrıca radyoaktif maddelerden olan uranyum ve toryumda içermektedir. Bu duruma bir örnek verilmesi gerekirse ABD’nin 1982 yılında yakmış olduğu kömürün salmış olduğu radyoaktivite Three Mile Island kazasından 155 kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Fosil yakıtlar iklim değişikliklerinin en büyük etkenidir. Ekolojik sistemi bu kadar kötü etkilemesine rağmen en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır. NGS santralleri ise gelişen teknoloji ile dünyada hızla yayılmış ve kullanılır hale gelmiştir. Sadece Fransa’da yaklaşık 56 tane reaktör bulunmaktadır ve Fransa enerji ihtiyacının %77 sini bu santrallerden karşılamaktadır. Nükleer güç üretiminin avantajlarına bakıldığında fosil yakıtlar gibi sera gazları oluşturmaması ve veriminin çok yüksek olmasıdır. Dezavantajları olası bir kaza veya yayılmada çevreye ve insana uzun zaman dilimlerinde büyük zararlar vermesidir. İlk kurulan nükleer güç santralinden (1956) bugüne kadar 4 tane kaza meydana gelmiştir. Bu kazaların bazıları teknolojik bazıları operatör hataları ile olmuştur. Bu kazaların ikisi teknoloji ve

operatör, biri operatör ve diğeri ise doğal afet ile oluşmuştur. Tüm kazaların nedenlerine bakıldığında günümüz teknolojisi ve deneyimi ile bu kazaların oluşmasının büyük oranda engellenebileceği görülmektedir.

Türkiye nükleer güç ile ilgili çalışmalarına Akkuyu santrali ile başlamış bu santrale ek olarak kurulması düşünülen santral projeleri ile devam etmiştir. Kurulması düşünülen santraller genellikle deniz kenarlarında olduğu için gerek turizmi gerekse enerjinin dağıtımını konusunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu santrallerin sanayi bölgelerine daha yakın enerji hatlarının daha kısa mesafelerde iletildiği konumlarda seçilmesi daha verimli çalışmasını sağlayacaktır. Bu sayede turizm ile ilgilide sorunlar ortadan kalmış olacaktır. Bu çalışmada kurulması düşünülecek bir nükleer santralin deniz kıyısı hariç daha farklı su kaynaklarına yakın nerelere kurulması en uygun olur bu incelenmiştir. Bu inceleme için birçok kriter mevcut olduğundan dolayı çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV) faydalanılmıştır. Literatürde birçok ÇKKV yöntemi kullanılmaktadır. Genellikle yer seçimi gibi problemlerin kullanımında AHP ve TOPSIS kullanıldığı görülmüştür. ÇKKV yöntemlerinde son yıllarda kişisel görüşlerinde göz önünde bulundurulması gerektiği konusu ortaya çıkmıştır ve bu sebepten dolayı bulanık mantık yöntemlerinin de kullanılması söz konusu olmuştur. ÇKKV yöntemleri ile bulanık mantığın hibrit bir şekilde kullanımı sıkça tercih edilmektedir. Çalışmada, Türkiye’de kurulacak bir nükleer santralin en uygun yerinin belirlenmesi amacıyla Bulanık-TOPSIS (B-TOPSIS) yöntemi kullanılmıştır. Karar vericilerin değerlendirmelerine göre sözel veriler üçgen bulanık sayılara çevrilmiş B-AHP ve B-TOPSIS yöntemlerinde kullanılmıştır. Öncelikle Bulanık-AHP (B-AHP) ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve sıralanmıştır. Daha sonra B-TOPSIS ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve B-AHP kriter ağırlıkları ile kıyaslanmıştır. Bulunan değerler birbirlerine yakın ve tutarlı çıkmıştır bu durum alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriter ağırlıklarının doğruluğunun teyit edilmiş olduğunu göstermektedir. B-TOPSIS ile belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda yapılan analizde en önemli olan kriter ağırlığı K2 deprem (0.7,0.86,0.96) ve K4 suya yakınlık (0.56,0.76,0.93) birbirlerine çok yakın değerler olarak belirlenmiştir. Bu kriterleri sırasıyla, K8 teknolojik takip (0.5,0.7,0.86), K5 soğutma suyu sıcaklığı (0.36,0.56,0.76), K3 terör saldırısı (0.1,0.23,0.43), K7 Nüfus (0.06,0.23,0.43), K6 ulaşım (0.06,0.2,0.36), K1 rüzgar (0.03,0.13,0.3) kriterleri takip

etmiştir. Türkiye’de kurulabilecek bir nükleer güç santralinin yerinin seçimi için karar vericilerden görüşleri alınmış alınan bu görüşler ışığında oluşturulan veriler B-TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiş ve alternatiflerin sıralaması yakınlık katsayısı en yüksekten en düşüğe doğru Tuz Gölü (0,919), Kızılırmak Barajı (0,765), Beyşehir Gölü (0,655), Ermenek Barajı (0,583), Atatürk Barajı (0,501), Eğridir Gölü (0,42), Van Gölü (0,358), Hazar Gölü (0,317) olarak belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Altınkaya, Z. (2021). AHP Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak İyileştirme Önerileri için Karar Destek Sistemi Oluşturulması. Yüksek Lisans Tez, Hacettepe Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 691595
- Altınsoy, E., & Baki, R. (2023). OPEC Üyesi Ülkelerin TOPSIS Tekniği Aracılığıyla Performans Analizi. *Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 224-238. <https://doi.org/10.38122/ased.1365003>
- Başkurt, Z., Aydın, C. C. (2020). Nükleer Santraller için Yer Belirleme Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 2(1), 37-48.
- Çaylak, M. (2019). TOPSIS Yöntemi ile En Uygun Otel Seçimi. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 65-76.
- Çınar, N. T. (2010). Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yöntemi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2010(1), 37-45.
- Dinçer, İ. (2019). TÜBA Nükleer Enerji Raporu, *Türkiye Bilimler Akademisi*, 978-605-2249-28-4
- Doğan, A., Korkmaz, M., Doğruluk, M., & Kalkan, N., (2018). The Importance of Earthquake Effect In Location Of Nuclear Plsnts. *Academic Works in The Fields of Science, Culture and Art - 2018 Autumn* (pp.25-33), Ankara: Gece Akademi.
- Ekin, E., Cesur, İ. G. (2023). Genişletilmiş Analiz Yöntemine Dayalı Bulanık AHP ve TOPSIS Yöntemi ile Danışmanlık Sektöründe Sunulan Hizmetlerin Değerlendirilmesi. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 15(28), 12-34. <https://doi.org/10.20990/kilisiibfakademik.1231038>
- Erdem, S., Gencer, C., Atmaca, E., Karaca, T., vd. (2014). Türkiye’de Enerji Santrallerinin AHP Yöntemi İle Seçimi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 243-252.
- Erdoğan, S. (2020), Enerji. Çevre ve Sera Gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303. <https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.670673>
- Ertunç, E. ve Çay, T. (2020). Havaalanı Yer Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı. *KONJES*, c. 8, sy. 2, ss. 200–210, 2020. doi: 10.36306/konjes.590605.
- Hacıbektaşoğlu, S. E., Mertoğlu, B., & Tozan, H. (2022). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Risk Analizi Uygulaması. *International Journal of*

Advances in Engineering and Pure Sciences, 34(3), 403-414.
<https://doi.org/10.7240/jeps.1125094>

- Harmanda, B. G., & Aslan, M. (2023). Akkuyu Nükleer Enerji Santrali: Adana, Hatay ve Mersin Bölgesinde Nükleer Enerji Santrali ve Nükleer Güvenliğe Yönelik Görüşün Ekonomik ve Toplumsal Güvenlik Bağlamında Ölçülmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41(2), 175-203.
<https://doi.org/10.17065/huniibf.1123640>
- Göktolga, Z. G., & Karakış, E. (2018). Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Finansal Performanslarının Bulanık AHP ve VIKOR Yöntemi ile Analizi, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(1), 92-108.
- Günden, C., & Miran, B. (2008). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Çiftçi Kararlarının Analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(3), 195-206.
- Gürkan, S. (2021). TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Karşılaştırmalı Finansal Performans Analizi. *Teknoloji Şirketleri Üzerine Bir Araştırma, Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 225-239.
<https://doi.org/10.29106/fesa.868905>
- Karakaşoğlu N., (2008). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Denizli, 226810
- Karakış, E. (2019). Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS ile Bütünleşik Karar Destek Modeli Önerisi. *Özel Okullarda Öğretmen Seçimi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*(53), 112-137.
<https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.414655>
- Karakış, E. (2018). Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleri ile Okul Öncesi Eğitimi Hizmet Kalitesi Değerlendirmesi ve Anaokulu Seçimi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(2), 184-198.
- Kavkalcı M., Şahin C. (2018). Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hibrit Bulanık AHP-Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Liman Yeri Seçimi ve Örnek Uygulama. *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 35-4
- Kayadelen, A. N. (2021). Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Bir Mobilya Fabrikası İçin Bölge Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 71-76.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.1009377>
- Kayahan Karakul, A. (2020). Bulanık AHP Yöntemi ile Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(19), 127-150.
<https://doi.org/10.29029/busbed.640162>

- Keleş, N. (2022). Okul Yeri Seçiminde Kullanılan Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemiyle Önemlerinin Belirlenmesi. *Artuklu Kaime Uluslararası İktisadi Ve İdari Araştırmalar Dergisi* 135-154. <https://doi.org/10.55119/artuklu.1055278>
- Kılıç A, Aygün S, Aydın Keskin G, Baynal K (2014). Çok Kriterli ABC Analizi Problemine Farklı Bir Bakış Açısı: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi - İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Tercih Sıralama Tekniği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 179 - 188.
- Kobanoğlu, M. S., & Yüksekşildiz, E. (2021). Örgütsel Başarısızlığa Etkili Olan Yönetmelik Yetersizliklerinin Bulanık AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 22(2), 290-323. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.974869>
- Kurt Ü. (2014). Nükleer Santral Yeri Seçimi için Bulanık TOPSIS ve Genelleştirilmiş Choquet Bulanık İntegral Algoritması – Türkiye’den Bir Örnek Çalışma. *Nükleer Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 51:10, 1241-1255, DOI:10.1080/00223131.2014.918524
- Kusakci, A. O. (2019). Ürün Seçimi için Hibritlenmiş Fuzzy-AHP ve TOPSIS Yöntemine Dayalı Bir Karar Destek Sistemi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(1), 99-108. <https://doi.org/10.29137/umagd.370349>
- Küçükkoğlu, S. (2020). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Türkiye’de Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi. Yüksek Lisans Tezi. T.C. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 640178
- Kütükçüoğlu, A. (2020). *Dünden Bugüne Türkiye’de Nükleer Enerji*. Fizik Mühendisleri Odası, <https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/09/baskı.pdf> (Ziyaret tarihi: 04 Nisan 2024)
- Nebati, E., Sağanda, G. N., Erol, H., Subaşı, S. R., vd. (2021). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi ile Çalışan Performansının Değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 582-590. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.790551>
- Nihan, T. C. (2011). Fuzzy Topsis Methods in Group Decision Making And An Application for Bank Branch Location Selection. *Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma*, 29, 11-24.
- Ocak, K. (2014). *ÇED Rehberi Nükleer Enerji Santralleri*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://ced.csb.gov.tr/ced-sektorel-rehberleri-i-2738> , (Ziyaret tarihi: 03 Şubat 2024)
- Oral N, Yapıcı S, Yumuşak R, Eren T (2022). Pandemi Sürecinde Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi için İlaç Deposu ve Aşı Dağıtım Merkezi Yeri Seçimi. *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1397 - 1409. 10.2339/politeknik.884835

- Ömürbek, N., Üstündağ, S., & Helvacıoğlu, Ö. C. (2013). Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı. *Isparta Bölgesinde Bir Uygulama, Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11(21), 101-116.
- Ömürgönülşen, M., & Menten, C. (2021). Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Ankara İli için Olası Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi. *Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi*, 7(1), 159-175. <https://doi.org/10.21324/dacd.691088>
- Öneren, M., Arar, T., & Çelebioğlu, E. S. (2017). Akademinin Temelini Güçlü Kılmak: Araştırma Görevlisi Alımındaki Faktörlerin AHP İle Belirlenmesi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 39-50.
- Özdemir A (2020). Türk Eğitim Sisteminde Eğitim Yöneticilerinin Yeterliklerinin ve Bu Yeterlik Derecelerinin Çok Kriterli Karar Verme ile Belirlenmesi. *Eğitim ve Bilim*, 45(204), 251 - 301. 10.15390/EB.2020.8726
- Özkan, T. (2019). BIST’te İşlem Gören Mevduat Bankalarının TOPSIS Yöntemiyle Finansal Performanslarının Değerlendirilmesi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(18), 815-836. <https://doi.org/10.29029/busbed.563723>
- Özmen, A. (2007). Türkiye’de Kurulması Planlanan Nükleer Santraller İçin Kuruluş Yeri Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bolu, 214421
- Palabıyık H., (2022). AHP Bulanık AHP ve Tereddütlü Bulanık AHP Yöntemleriyle Sağlık Kurumları için Performans Göstergelerinin Önceliklendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 752146
- Sağır, H., & Doğanalp, B. (2016). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 233-256.
- Soba, M., Şimşek, A., & Bayhan, M. (2014). Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi. *Uşak ilinde bir uygulama, Ekonomi Ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 103-132.
- Şahin, M., & Toroğlu, E. (2020). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Kullanılarak Pınarbaşı İlçesi (Kayseri) Arazilerinin Tarımsal Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*(75), 119-130. <https://doi.org/10.17211/tcd.798755>
- Şeker, Ö., Alakaş, H., (2019). Bir Lojistik Firması için Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle İç Anadolu Bölgesinde Depo Yeri Seçimi. *Academic Perspective Procedia*, 2 (3), 841-850. DOI: 10.33793/acperpro.02.03.93

- Şengül, Ü., Eren, M., & Eslamian Shiraz, S. (2015). Bulanık AHP İle Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*(40), 143-165.
- Terme, B., Çiçek, İ., & Kiraz, A. (2022). Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 383-398. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1146098>
- Toksarı, M., & Toksarı, M. D. (2011). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yaklaşımı Kullanılarak Hedef Pazarın Belirlenmesi. *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 38(1),51–70.
<http://www2.feas.metu.edu.tr/metusd/ojs/index.php/metusd/article/view/428>
- Tombakoğlu M., Ergün Ş., Atak H., Çelikten O., Duman V., Kayrın K., Tiftikçi A., Türkmen M., Ayhan H., Aksoy B., Ayanoğlu M., Güler A., Pınarbaşı B., Taş F. Bayraktar N. (2011). Nükleer Enerji Raporu, *Fizik Mühendisleri Odası*, 9786050102284, 139 s.
- Turgut E.Ç., (2015). Tedarik Zinciri Yönetiminde AHP ve Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi. Yeni Yöntem Önerileri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İzmir, 410417
- URL-1: <https://acikders.ankara.edu.tr> , (Ziyaret tarihi: 16 Kasım 2024)
- URL-2: <https://evrimagaci.org/soru/fizyon-reaktorleri-nasil-calisir-18810> , (Ziyaret tarihi: 29 Kasım 2024)
- URL-3:
http://www.nukleer.web.tr/nukleer_santral_turleri/nukleer_santral_turleri.html , (Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2024)
- URL-4: <https://www.ndk.org.tr/kilavuzlar>, (Ziyaret tarihi: 13 Mart 2024)
- URL-5: <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/835-bolum-05-nukleer-guvenlik.html> , (Ziyaret tarihi: 05 Mart 2024)
- URL-6: <https://www.encazip.com/bilgi/enerji/nukleer-reaktor-nedir>, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2024)
- URL-7: <https://www.stimson.org/2020/spent-nuclear-fuel-storage-and-disposal/>, (Ziyaret tarihi: 03 Nisan 2024)
- URL-8: <https://www.meteoblue.com/tr>, (Ziyaret tarihi: 07 Nisan 2024)
- URL-9: <https://www.jmo.org.tr>, (Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2024)

- Ünal Z, Ipekci Cetin E (2019). Gübre Üreticisinin Hedef Pazar Seçiminde Bütünleşik AHP-TOPSIS Yöntemi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 357 - 364. 10.29136/mediterranean.584120
- Yavuz, S., & Deveci, M. (2014). Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi ve Bir Uygulama. *Ege Academic Review*, 14(3).
- Yıldırım, B., & Önay, O. (2018). Bulut Teknolojisi Firmalarının Bulanık AHP – MOORA Yöntemi Kullanılarak Sıralanması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 24(75), 59-81.
- Yıldız, A., & Demir, Y. (2019). Bulanık TOPSIS Yöntemiyle TÜRKİYE'nin Yerli Otomobili İçin En Uygun Fabrika Yerinin Seçimi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(4), 1427–1445. <https://doi.org/10.15295/bmij.v7i4.1210>
- Yüksel, O. (2020). Muayenehane Açılış Yeri Seçiminde Etkili Olan Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemiyle Önem Düzeylerinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 57-69. <https://doi.org/10.47147/ksuiibf.783484>



EK-A

Tablo A.1. Uzmanların İkili Karşılaştırma Geometrik Ortalama Değerleri

Kriterler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriterler
Rüzgar																	√	Deprem
Rüzgar											√							Terör Saldırısı
Rüzgar																√		Suya Yakınlık
Rüzgar												√						Ulaşım
Rüzgar													√					Nüfus
Rüzgar															√			Soğutma Suyu Sıcaklık
Deprem				√														Terör Saldırısı
Deprem							√											Suya Yakınlık
Deprem		√																Ulaşım
Deprem				√														Nüfus
Deprem				√														Soğutma Suyu Sıcaklık
Terör Saldırısı										√								Suya Yakınlık
Terör Saldırısı									√									Ulaşım
Terör Saldırısı									√									Nüfus
Terör Saldırısı										√								Soğutma Suyu Sıcaklık
Suya Yakınlık			√															Ulaşım
Suya Yakınlık			√															Nüfus
Suya Yakınlık				√														Soğutma Suyu Sıcaklık
Ulaşım													√					Nüfus
Ulaşım														√				Soğutma Suyu Sıcaklık
Nüfus													√					Soğutma Suyu Sıcaklık
Teknolojik Takip				√														Rüzgar
Teknolojik Takip											√							Deprem
Teknolojik Takip				√														Terör Saldırısı
Teknolojik Takip							√											Ulaşım
Teknolojik Takip								√										Suya Yakınlık
Teknolojik Takip							√											Nüfus
Teknolojik Takip								√										Soğutma Suyu Sıcaklık

EK-B**Tablo B.1. Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi**

	Rüzgar	Deprem	Terör Saldırısı	Suya Yakınlık	Soğutma Suyu Sıcaklığı	Ulaşım	Nüfus	Teknolojik Takip
Rüzgar	(1, 1, 1)	(1/9, 1/9, 1/7)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/9, 1/8, 1/7)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/9, 1/7, 1/5)
Deprem	(7, 9, 9)	(1, 1, 1)	(5, 6, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(7, 8, 9)	(5, 7, 9)	(3, 4, 5)
Terör Saldırısı	(3, 5, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1, 1, 1)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/5, 1/3, 1)	(3, 4, 5)	(1, 3, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
Suya Yakınlık	(7, 8, 9)	(1/5, 1/3, 1)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)	(5, 7, 9)	(5, 6, 7)	(1, 3, 5)
Soğutma Suyu Sıcaklığı	(5, 6, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 3, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(3, 4, 5)	(1/5, 1/3, 1)
Ulaşım	(1, 3, 5)	(1/9, 1/8, 1/7)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/9, 1/7, 1/5)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/7, 1/6, 1/5)
Nüfus	(3, 4, 5)	(1/9, 1/7, 1/5)	(1/5, 1/3, 1)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1/7, 1/5, 1/3)
Teknolojik Takip	(5, 7, 9)	(1/5, 1/4, 1/3)	(3, 4, 5)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 3, 5)	(5, 6, 7)	(3, 5, 7)	(1,1,1)

Tablo B.2. Bulanık Sayıların Toplam Değerleri

	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
Rüzgar	(1+1/9+1/7+1/9+1/7+1/5+1/5+1/9)	(1+1/9+1/5+1/8+1/6+1/3+1/4+1/7)	(1+1/7+1/3+1/7+1/5+1+1/3+1/5)
Deprem	(7+1+5+1+3+7+5+3)	(9+1+6+3+5+8+7+4)	(9+1+7+5+7+9+9+5)
Terör Saldırısı	(3+1/7+1+1/7+1/5+3+1+1/5)	(5+1/6+1+1/5+1/3+4+3+1/4)	(7+1/5+1+1/3+1+5+5+1/3)
Suya Yakınlık	(7+1/5+3+1+3+5+5+1)	(8+1/3+5+1+4+7+6+3)	(9+1+7+1+5+9+7+5)
Soğutma Suyu Sıcaklığı	(5+1/7+1+1/5+1+3+3+1/5)	(6+1/5+3+1/4+1+5+4+1/3)	(7+1/3+5+1/3+1+7+5+1)
Ulaşım	(1+1/9+1/5+1/9+1/7+1+1/5+1/7)	(3+1/8+1/4+1/7+1/5+1+1/3+1/6)	(5+1/7+1/3+1/5+1/3+1+1+1/5)
Nüfus	(3+1/9+1/5+1/7+1/5+1+1+1/7)	(4+1/7+1/3+1/6+1/4+3+1+1/5)	(5+1/5+1+1/5+1/3+5+1+1/3)
Teknolojik Takip	(5+1/5+3+1/5+1+5+3+1)	(7+1/4+4+1/3+3+6+5+1)	(9+1/3+5+1+5+7+7+1)
TOPLAM	108,55	154,28	202,49

EK-C

Tablo C.1. Karar Vericiler Tarafından Alternatiflerin Sözel Olarak Değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)
	A2	BK (1, 3, 5)	K (0, 1, 3)	O (3, 5, 7)
	A3	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)
	A4	Bİ (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)	Bİ (5, 7, 9)
	A5	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)
	A6	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)	O (3, 5, 7)
	A7	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)
	A8	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)
K2	A1	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)	Bİ (5, 7, 9)
	A2	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Çİ (9, 10, 10)
	A3	K (0, 1, 3)	K (0, 1, 3)	ÇK (0, 0, 1)
	A4	K (0, 1, 3)	K (0, 1, 3)	ÇK (0, 0, 1)
	A5	O (3, 5, 7)	Bİ (5, 7, 9)	BK (1, 3, 5)
	A6	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)
	A7	Bİ (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)
	A8	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Çİ (9, 10, 10)
K3	A1	Çİ (9, 10, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A2	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)
	A3	ÇK (0, 0, 1)	ÇK (0, 0, 1)	K (0, 1, 3)
	A4	BK (1, 3, 5)	O (3, 5, 7)	O (3, 5, 7)
	A5	Çİ (9, 10, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A6	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)
	A7	K (0, 1, 3)	K (0, 1, 3)	BK (1, 3, 5)
	A8	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)
K4	A1	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)
	A2	Çİ (9, 10, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A3	Çİ (9, 10, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A4	O (3, 5, 7)	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)
	A5	Çİ (9, 10, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A6	Çİ (9, 10, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A7	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)
	A8	Bİ (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)	O (3, 5, 7)
K5	A1	BK (1, 3, 5)	BK (1, 3, 5)	O (3, 5, 7)
	A2	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	Çİ (9, 10, 10)
	A3	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)
	A4	BK (1, 3, 5)	Bİ (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)
	A5	BK (1, 3, 5)	K (0, 1, 3)	O (3, 5, 7)
	A6	İ (7, 9, 10)	O (3, 5, 7)	Çİ (9, 10, 10)
	A7	O (3, 5, 7)	K (0, 1, 3)	BK (1, 3, 5)
	A8	BK (1, 3, 5)	K (0, 1, 3)	O (3, 5, 7)
K6	A1	Bİ (5, 7, 9)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A2	İ (7, 9, 10)	Çİ (9, 10, 10)	İ (7, 9, 10)
	A3	Bİ (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)	İ (7, 9, 10)
	A4	O (3, 5, 7)	Bİ (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)
	A5	O (3, 5, 7)	Bİ (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)
	A6	BK (1, 3, 5)	Bİ (5, 7, 9)	BK (1, 3, 5)
	A7	O (3, 5, 7)	İ (7, 9, 10)	Bİ (5, 7, 9)
	A8	BK (1, 3, 5)	Bİ (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)
K7	A1	Bİ (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)	Çİ (9, 10, 10)
	A2	O (3, 5, 7)	Bİ (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)

Tablo C.1. (Devam) Karar Vericiler Tarafından Alternatiflerin Sözel Olarak Değerlendirilmesi

	A3	BI (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)
	A4	O (3, 5, 7)	BI (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)
	A5	BI (5, 7, 9)	BI (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)
	A6	O (3, 5, 7)	BI (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)
	A7	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)	K (0, 1, 3)
	A8	BI (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)	Çİ (9, 10, 10)
K8	A1	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)	İ (7, 9, 10)
	A2	İ (7, 9, 10)	O (3, 5, 7)	İ (7, 9, 10)
	A3	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)	BI (5, 7, 9)
	A4	BI (5, 7, 9)	BI (5, 7, 9)	İ (7, 9, 10)
	A5	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)	İ (7, 9, 10)
	A6	BI (5, 7, 9)	O (3, 5, 7)	İ (7, 9, 10)
	A7	BK (1, 3, 5)	O (3, 5, 7)	İ (7, 9, 10)
	A8	O (3, 5, 7)	BK (1, 3, 5)	BI (5, 7, 9)

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Oflu, T., Akman, G., Boyacı, A. (2023). Examination of Consumers' Choice of Cleaning Materials with Conjoint Analysis. *Communication Economics Organization*, İstanbul, Türkiye, 16-18 Haziran 2023.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kütahya’da tamamladı. 1999 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü’nden 2003 yılında Talaşlı Üretim Öğretmenliğinden mezun oldu. Daha sonrasında mühendislik tamamlama programı sayesinde 2014 yılında girdiği Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2022-2024 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

