



**T.C. İSTANBUL T CARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE
TÜRKİYE'DE HES KURULUŞ YERİ SEÇİMİ**

Semra ALBAYRAK

Danışman

Prof. Dr. Münevver TURANLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK ANABİLİM DALI
İSTANBUL-2022**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Semra ALBAYRAK tarafından hazırlanan “Çok Kriterli Karar Yöntemlerine Göre HES (Hidroelektrik Santral) Seçimi” adlı tez çalışması 05/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İstatistik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **Prof. Dr. Münevver TURANLI**
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Ünal Halit ÖZDEN**
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Ahmet ÇİLİNGİRTÜRK**
Marmara Üniversitesi

Onay Tarihi : 08.07.2022

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 08.07.2022 tarih ve 2022/351 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 2.maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen “Semra ALBAYRAK” adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08.07.2022
Semra ALBAYRAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER	vi
ÇİZELGELER	vii
SİMGE VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	4
3.1.Hidroelektrik Enerji	5
3.1.1. Dünya’da hidroelektrik enerji	6
3.1.2. Türkiye’nin hidroelektrik enerji potansiyeli	9
3.2.Türkiye’de Hidroelektrik Enerji Santrali (HES)	11
3.3.Türkiye’de Hidroelektrik Enerji Santrali Kurulum Kriterleri	15
3.3.1.Teknik kriterler	17
3.3.2.Ekonomik kriterler	17
3.3.3.Sosyal kriterler	18
3.3.4.Çevresel kriterler	19
3.4. Türkiye’de Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması	20
3.4.1.Büyük ölçekli HES	21
3.4.2.Orta ölçekli HES	21
3.4.3.Küçük ölçekli HES	22
3.4.4.Mikro ölçekli HES	23
4. KARAR VERME	24
4.1.Karar Verme Süreci	24
4.1.1. Karar verme sürecinin aşamaları	27
4.1.2. Karar verme sürecinin öğeleri	29
4.1.3.Karar verme sürecinde etkili olan faktörler	30
4.2.Tek Kriterli Karar Verme Yöntemleri	31
4.2.1.Belirlilik Durumunda Karar Verme	32
4.2.2.Belirsizlik durumunda karar verme	33
4.2.3.Risk altında karar verme	34
4.2.4.Kısmi bilgi altında karar verme	34
4.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	34
4.3.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)	35
4.3.2. Multimoora yöntemi	36
4.3.3. Vikor yöntemi	36
4.3.4. Swara yöntemi	37
4.3.5. Electre yöntemi	37
4.3.6. Topsis yöntemi	38
4.3.6.1. Topsis yönteminin aşamaları	39
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	41
5.1. Çalışma Kapsamında İncelenen HES’ler	41
5.2.Topsis Yönteminin Uygulanması	42
5.2.1. Problemin tanımlanması	42
5.2.2. Kriterlerin belirlenmesi	42

5.2.3. Alternatiflerin belirlenmesi	42
5.2.4. Karar matrisinin oluşturulması	43
5.2.5. Karar matrisinin normalleştirilmesi	44
5.2.6. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi	45
5.2.7. Normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması.....	46
5.2.8. İdeal ve negatif ideal çözümler belirlenmesi.....	47
5.2.9. Ayırma ölçümünün hesaplanması	48
5.2.10. İdeal çözüme görece yakınlığın hesaplanması	48
5.2.11. Alternatiflerin sıralanması	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	51
EKLER	57
EK A.İncelenen HES Listesi	57
ÖZGEÇMİş	58



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE GÖRE HES (HİDROELEKTRİK SANTRAL) SEÇİMİ

Semra ALBAYRAK

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Münevver TURANLI
2022, 58 sayfa

Enerji kaynakları insan topluluklarının sanayi devriminden sonraki yüzyıllarda ortaya çıkan endüstriyel, üretim ve insanlığın gelişmesi için en büyük rollere sahip ve gerekli olan en önemli alanlardan birisidir. Sanayi devrimiyle ortaya çıkan teknolojik gelişmelerin artması enerji kaynaklarına bağlıdır. Son iki yüzyıl boyunca kullanılmakta olan fosil enerji yakıtlarının çevresel zararının günümüzde artması, insanoğlunun enerji ihtiyaçları için alternatif kaynaklar aramasına neden olmuştur. Ülkemiz dahil olmak üzere dünya ekonomisindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artarak devam etmektedir. Hidroelektrik enerji santralleri (HES) ülkemizde de yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. HES kurulumu, diğer enerji kaynaklarından farklı şekilde kurulmaktadır. Kurulum sırasında gerekli kriterlerin belirlenerek nehir veya bölgelerin bu kriterlere göre seçilmesi gerekir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ülkemizde kurulu olan aktif HES grubu seçilmiş ve TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatiflerin, belirlenen kriterler doğrultusunda bu kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal olma durumu belirlenmiştir (Yurdakul ve İç, 2003: 11).

Elde edilen bulguların ileriki yıllarda yapılması planlanan HES'lerin kurulum aşamasında, doğru karar verilmesine yönelik katkıları olacaktır. Bu çalışmada onyedici adet HES seçilmiştir. Seçilen HES'lerin çoğunluğu Doğu Anadolu Bölgesinde bir kısmı Karadeniz Bölgesinde, Güneydoğu ve Akdeniz Bölgesinde bulunmaktadır. TOPSIS analizi için seçilen HES alternatifleri sahip oldukları bazı özellikler bağlamında incelenmiştir. Bu özellikler barajın yıllık üretim kapasitesi, toplam kapasitesi, türbinlerinin sayısı, kapladığı alan ve su düşürme seviyesi gibi farklı faktörleri içermektedir. TOPSIS analizi sonucunda Doğanlı, Çukurca, Yusufeli ve Beyhan'ın ideal HES değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hidroelektrik santral, TOPSIS, yenilenebilir enerji kaynakları.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SELECTION OF HEPP (HYDROELECTRIC POWER PLANT) ACCORDING TO MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS

Semra ALBAYRAK

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Statistics**

**Supervisor: Prof. Dr. Münevver TURANLI
2022, 58 pages**

Energy resources are one of the most important areas that have the greatest roles and necessary for the development of humanity, industrial, production and humanity that emerged in the centuries after the industrial revolution, which has been continuing rapidly today. The increase in the environmental damage of fossil energy fuels, which have been used for the last two centuries, The importance of renewable energy sources in the world economy, including our country, continues to increase. HEPP installation is different from other energy sources. In this master's thesis, the active HES group established in our country was selected and the ideal level of their installation with TOPSIS method was examined.

The findings obtained will contribute to making the right decision during the installation phase of HEPPs planned to be built in the future.

A total of seventeen HEPPs were selected to be examined in the thesis study. The majority of HEPPs are located in the eastern Anatolia region. Others are composed of HEPPs located in the Southeast and Mediterranean regions. HEPP alternatives selected for TOPSIS analysis were examined in terms of some features they have. These features included different factors such as the annual production capacity of the dam, its total capacity, the number of turbines, the footprint and the level of water reduction. The results obtained as a result of TOPSIS analysis showed that Doğanlı, Çukurca, Yusufeli, and Beyhan HEPP have the most ideal HEPP values.

Keywords: Hydroelectric power plant, renewable energy sources, TOPSIS.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında desteğini esirgemeyen çok kıymetli danışmanım Prof. Dr. Münevver TURANLI hocama, TOPSİS yöntemi ile karar verme konusunda çok başarılı çalışmalarda emeği olan Prof. Dr. Ünal Halit ÖZDEN hocama, katkı ve değerlendirmelerinden dolayı Prof. Dr. Ahmet ÇİLİNGİRTÜRK hocama, tez yazım aşamasında fikirleriyle destek olan Dr. Muhammet CEYLAN hocama, her türlü desteklerini esirgemeyen aileme, çalışmam esnasında fikir alış verişini yaptığım tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Semra ALBAYRAK
İSTANBUL, 2022



ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 3.1. Dünyada 2018 yılı itibari ile hidroelektrik enerji kurulu gücü potansiyeli.....	6
Şekil 3.2. Dünyanın en büyük barajı olan üç boğaz barajı.....	7
Şekil 3.3 Dünyada Hes ile ilgili en önemli bölgeler	8
Şekil 3.4. Türkiye’deki 25 drenaj havzasının haritası.....	9
Şekil 3.5. Hes genel yapısı	12
Şekil 3.6. Ahp yöntemi basamakları	13
Şekil 4.1. Geleneksel karar vermenin oluşumu.....	25
Şekil 4.2. Yeni karar verme yaklaşımının oluşumu... ..	26
Şekil 4.3. Karar verme sürecine yön veren aşamalar	28
Şekil 4.4. Ahp hiyerarşik yapı.....	35

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 3.1. Türkiye’de aktif olan 200 MW ve üzeri kurulu güce sahip Hes’ler.	10
Çizelge 3.2. Hes seçiminde karar verici kriterler ve önem sıraları	16
Çizelge 3.3. Hes sınıflandırma parametreleri.....	20
Çizelge 5.1. Çalışma için seçilen Hes’ler.....	41
Çizelge 5.2. Karar matrisi	43
Çizelge 5.3. Normalleştirilmiş karar matrisi	44
Çizelge 5.4. Hes seçim kriterleri	45
Çizelge 5.5. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi	46
Çizelge 5.6. Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri... ..	48
Çizelge 5.7. İdeal çözüme göre yakınlık ve uzaklık değerleri... ..	49



SİMGE VE KISALTMALAR

AHP	Analitik Hiyerarşı Süreci
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
HES	Hidroelektrik Santral Sistemi



1. GİRİŞ

Dünya üzerinde kullanılan enerji beş temel kaynaktan elde edilmektedir: Bu kaynaklar “Güneş, güneş ay dünya hareketi ve çekim potansiyeli, soğutma, kimyasal reaksiyonlar ve doğal radyoaktif bozulma, nükleer reaksiyonlar, mineral kaynaklardan oluşan kimyasal reaksiyonlardır” (Twidell ve Weir, 2015). Enerji Kaynakları yenilenebilir (yeşil) ve geleneksel (kahverengi) enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Buna göre yenilenebilir(yeşil) enerji kaynağı; Rüzgar, Güneş, Jeotermal, Biyokütle ve Hidroelektrik enerjisi, Geleneksel (kahverengi) enerji kaynağı; Kömür, Petrol, Doğal gaz, Radyoaktif kor enerjisi olarak bilinmektedir (Twidell ve Weir, 2015). Yenilenebilir enerji kaynakları doğal yerel ortamlarda kendiliğinden elde edilen ve kendini yenileyen bir özellik ile sonsuz bir döngüye sahiptir. (Külekçi, 2009). Diğer taraftan geleneksel veya diğer ismi ile fosil enerji kaynakları, statik enerji depoları gibidir. Ve yenilenemez oldukları için sonludur bu nedenle işletim maliyetleri yüksektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği, çevresel zararlarının geleneksel enerji kaynaklarına göre çok daha düşük olmasıdır.

Hidroelektrik enerji santrali kurulum açısından uzun zaman alır ve ekonomik olarak da yüksek maliyet gerektirir. Bu sebepten dolayı HES kurulumu için gerekli kriterlerin ve HES çeşidinin iyi ve uygun şekilde belirlenmesi gerekir. Daha sonra HES kurulum kriterlerinin teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlere göre incelenerek karar verilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan nehir üzerindeki hidroelektrik enerji potansiyelinin bölgesel olarak incelenmesi, değerlendirilmesi ve çevreye en az zarar verecek şekilde planlanması diğer önemli konulardandır (Kaya, 2007).

Barajlarda su biriktirildiğinde suya potansiyel enerji kazandırılır. Potansiyel enerji kazanan su yüksekten bırakılınca suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşür ve hızla akan su türbinleri döndürür. (türbinlerin pervanelerine çarparak türbinleri döndürür). Türbinler dönünce türbinlere bağlı olan jeneratörler döner ve elektrik enerjisi (alternatif akım) üretilir. Hidroelektrik santrallerde, suyun potansiyel enerjisi önce kinetik enerjiye sonra da elektrik enerjisine çevrilir. (Çevresel kirlenme açısından en zararsız santrallerdir).

Ülkemizde HES ile yapılan çalışmalarda yukarıda belirtilen kriterlere göre enerji santrallerinin seçiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır (Erdem vd., 2013).

Bu konuda en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olarak bilinmektedir. Bu çalışmada kurulu güç kapasitesine göre küçük ve orta büyüklükte 17 tane hidroelektrik santral üzerinde çalışılmış, ÇÇKV yöntemlerinden biri olan Topsis yöntemine göre HES sıralaması yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tezin bu bölümünde tezin amaçları ve hedefleri doğrultusunda ilk olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının detaylı incelendiği araştırmalara değinilecektir. Daha sonra Topsis yöntemi ile uygulamalar sunulacaktır.

Yenilenebilir enerji konusunda ülkemizin kaynakları, potansiyeli ve kullanım şekilleri ve miktarları ile ilgili son yıllarda fazla sayıda çalışma yapılmaktadır (Bekar, 2020; Karaaslan ve Aydın, 2020; Akusta, ve Cergibozan, 2020).

Bekar ve arkadaşları (2020) yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili Türkiye'nin jeopolitik durumunu incelemiştir. Ülkenin enerji kaynakları açısından mevcut durumu jeopolitik konumu bağlamında değerlendirilmiştir. Bu çerçevede Türkiye'nin mevcut enerji ihtiyacı, enerji üretimi, enerji transferi açısından ilişkiler değerlendirilmiş ve bu durumda yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki oranlarının artırılması ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

Bankaların sermaye yönetimi (Cheng-Ru Wu,2008;255-263), sigorta işletmelerinin (Hui Yin Tasai,2008;56-61), otobüs işletmelerinin finansal verimlilikleri(Cheng-Min Feng,2001;449.467risk değerlendirmesi (Wang,Elhag,2006;309.319:Amiri,2010;509-516), otel işletmelerinin değerlendirilmesi (Benitez,2007;544-555), veri madenciliğinde (Dashti,2010;611-614), tesis yeri seçimi probleminde (Chu,2002;687-701), fabrikaları (Ertuğrul,2009;702-715),teknoloji firmaları (Dumanoglu,2010;101-110),otomotivde (Yurdakul,2003;1-18), havayolları işletmelerinde (Akkaya,2004;15-29), kamu bankaları (Demireli,2010;101-112),gıda şirketlerinin finansal performanslarının değerlendirilmesi (Bülbül,2009;1-23), gibi çeşitli sektörlerde çalışmaları saymak mümkündür. Gökdalay (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, havaalanlarının performans analizinde Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır (Gökdalay, 2009: 157-168).

Albayrak ve Alkan (2020), ofis mobilyası üreten bir firmanın hammadde tedarikçisi olan altı tedarikçisini değerlendirmiştir. Çalışmada on iki kriter ele alınmış ve yöntem olarak sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkeler enerji kaynaklarına bağımlıdır. Enerji kaynaklarına özellikle endüstri devriminin ortaya çıktığı 18.yy ortalarında ihtiyaç duyulmaya başlanmış, modern sanayi ve teknolojinin ortaya çıkmasında en önemli etken olmuştur (Koç ve Kaya, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli yeniden ortaya çıkan ve sonsuz döngüye sahip kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, gelgit(okyanus), jeotermal, biyoenerji, ve hidroelektrik olarak sıralanabilir. Doğal çevreye uyumlu olan yenilenebilir enerji kaynakları organik özellikler taşımaktadır (Twidell ve Weir, 2015). Özellikle son 40 yıldır fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan çevresel ve küresel zararlar, fosil yakıtların kullanımının azaltılması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla araştırılmasına neden olmuştur. (Koç ve Şenel, 2013). Bunun sonucunda enerji santrallerinin sayısı artmakta, devletler enerji ihtiyaçlarının karşılanmasını, yenilenebilir enerjiden sağlanmasını teşvik etmektedir.

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve elektrik enerjisi üretimi her yıl artarak devam etmektedir. 2017 yılı itibari ile yapılan istatistiki çalışmalara göre 2000 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki yüzdesi yaklaşık %20'dir.Bu seviye yeterli olmadığından son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi için yapılan yatırımların arttığı görülmektedir.

Öte yandan, 2019 yılı sonunda ortaya çıkan küresel pandemi yenilenebilir enerji kullanımı ve elektrik üretimi açısından bütün dünya olumsuz etkilenmiştir. Küresel pandeminin etkisinin azalması ile beraber elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kullanımının artarak 2020 yılı itibariyle 70bin GW'a ulaşmıştır. Bu miktar ise ülkemizin enerji ihtiyacının yaklaşık %25'ine karşılık gelmektedir.

Genel olarak bakıldığında Türkiye'nin enerji açısından dışa bağımlı olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi özellikle geleneksel enerji kaynaklarının ülkemizde yeterli miktarda bulunmaması ve ülkenin son 40 yılda gösterdiği hızlı

sanayi gelişimi neticesinde artan enerji talebidir (Cergiboza, 2020). Özellikle petrol ve doğalgaz kaynaklarındaki sınırlılık, enerji ihtiyacının büyük bir kısmının ithalat ile karşılanmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye'nin enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı ortadan kaldıracak ve ülke içindeki enerji kaynaklarının daha verimli kullanımına vesile olacaktır. Buna ilaveten fosil veya geleneksel enerji kaynaklarının çevresel zararlı etkileri göz önüne alındığında bu durumun önemi ve gerekliliği ortadadır.

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları Güney Anadolu Projesi (GAP) üzerinde yüksek elektrik üretimi sağlayan su kaynaklarının kullanıldığı yenilenebilir enerji projeleri bulunmaktadır (Sepetçioğlu, 2020). GAP; Fırat ve Dicle gibi iki önemli ve büyük nehrin üzerine kurulu ve toplam gücünün 7363 MW olduğu 18 HES ile yılda 27 milyar KWh elektrik üretimi sağlanması planlanan devasa bir projedir. 2020 yılı itibari ile fiziksel olarak %92 oranında yapımı tamamlanmış ve toplam 12 adet HES yapılmıştır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji içinde önemli bir yeri olan hidroelektrik enerji hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Bu nedenle çalışmamızın ilerleyen bölümlerinde hidroelektrik santrallerin kurulum kriterleri, sınıflandırılmaları, TOPSIS yöntemi ile hidroelektrik santral kurulumu için yer seçimine değinilmiştir.

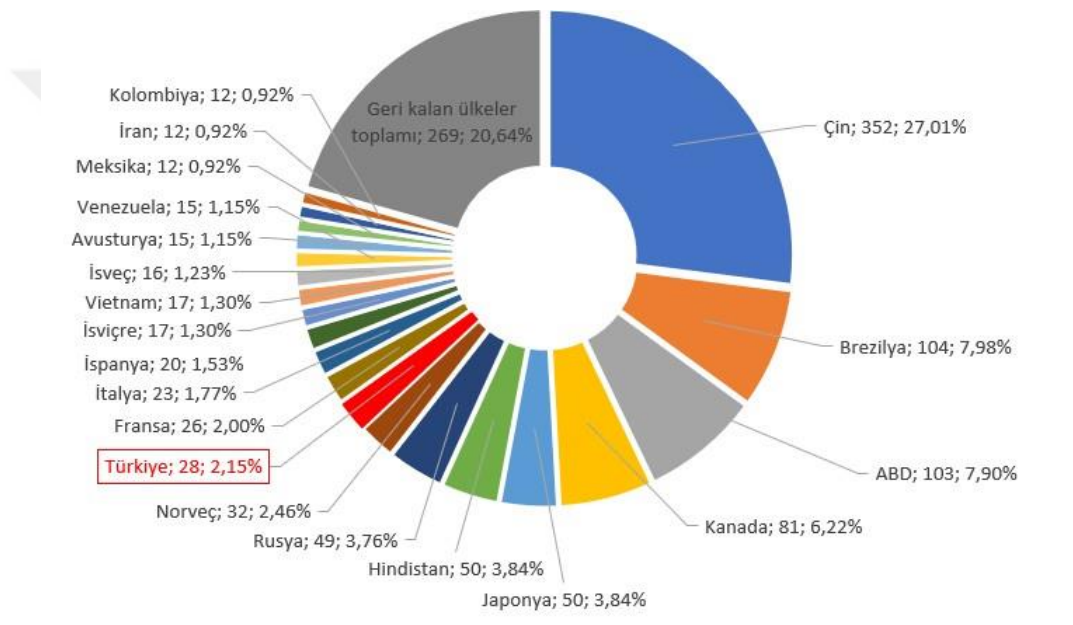
3.1. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji, hareket eden suyun yerçekimi gücünü kullanarak elde edilen yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji çeşididir. Barajlarda akan suyun aşağıda bulunan türbinlere düşürülmesi ile oluşturulan sistemden, elektrik enerjisi üretilmektedir (Bayazıt, 2013).

Hidroelektrik, güneş ışınlarının dünya yüzeyine erişmesi ile oluşan su döngüsünün sonucunda ortaya çıkan ve hareket eden su kütlelerinin kullanılması ile elde edilir. Elektrik enerjisi üretebilmek için nehirlerdeki su kütlelerinin yerçekimi ile aşağıya doğru düşürülmesi gerekmektedir. (Bozkurt ve Tür, 2015). Böylece türbinler vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanmaktadır.

3.1.1. Dünya’da hidroelektrik enerji

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan hidroelektrik enerjinin kurulum gücü her yıl giderek artmaktadır. 2018 yılı itibari ile hidroelektrik enerji potansiyelinden yararlanılarak yapılan elektrik üretimi miktarı yaklaşık 4200 TWh seviyesine hidroelektrik enerjisi güç kapasitesi açısından ise 1292 GW seviyesine ulaşmıştır. Bu seviye tarihte hidroelektrik enerjisi kullanımı ve üretimi açısından en yüksek seviyedir. Ayrıca bu seviye, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimi içindeki en yüksek seviyesidir.



Şekil 3.1. Dünyada 2018 yılı itibari ile hidroelektrik enerji kurulu gücü potansiyeli (Sepetçioğlu, 2020)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi dünyada en yüksek hidroelektrik potansiyeline sahip ülke 352 GW ile Çindir. Sonrasında sırasıyla 104 GW ile Brezilya, 103 GW ile ABD ve 81 GW ile Kanadadır. Bu dört ülke dünyadaki HES kurulu gücünün yaklaşık %50’sini oluşturmaktadır. Türkiye ise yaklaşık 28 GW üretim gücü ile beraber dünya kurulu gücünün yaklaşık %2,15’ine sahiptir. Bütün dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması amacıyla tasarlanan HES’lerin gelecek yıllarda hidroelektrikten elde edilen elektrik enerjisinde artış meydana getirmesi beklenmektedir (Gülay, 2008).

Dünya üzerinde kurulan hidroelektrik enerji santralleri bir ülkenin sınırları içerisinde olan tabii akarsuların akışlarının %100 potansiyel ile değerlendirilmesi amacı ile kurulmaktadır. Bu amaca göre ülkenin sahip olduğu potansiyel enerji, hidroelektrik enerji santrali potansiyelidir (Şekkeli ve Keçecioğlu, 2011). Ancak günümüz teknolojisi ile bir ülke içindeki su kaynaklarının hepsi değerlendirilememektedir.



Şekil 3.2. Dünyanın en büyük barajı olan Üç Boğaz Barajı (USGS, 2019)

Dünya üzerindeki en büyük HES 2012 yılında Çin'de yapılan Üç Boğaz Barajıdır (Şekil 3.2). Bu baraj daha önce dünyanın en büyük barajları olan Brezilya ve Paraguay'da kurulu Itaipu barajından daha büyüktür (USGS, 2019). Üç Boğaz Barajı üretim kapasitesi yaklaşık 22500 MW olarak ölçülmüştür. Itaipu barajının üretim gücü ise yaklaşık 14000 MW'tir. Barajın yüksekliği yaklaşık 181 metredir ve uzunluğu 1335 metredir. Baraj yaklaşık 1000 kilometre kare yüzey alanına sahip ve yaklaşık 600 kilometre uzunluğundadır.

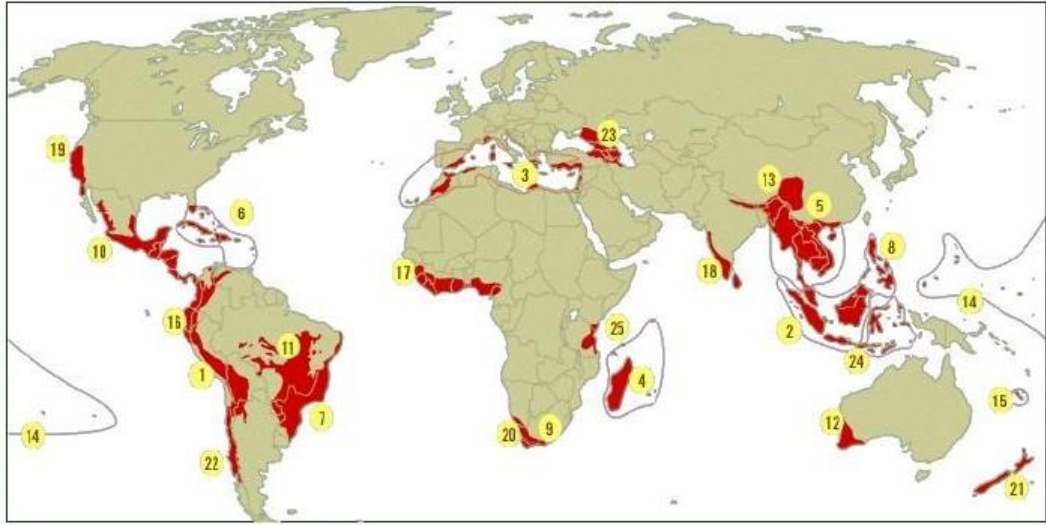
Uluslararası literatürde HES kurulumu, uygulaması ve üretimi ile ilgili son yıllarda birçok araştırma yapılmıştır (Shahgholian, 2020; Rosa-Clot ve Tina, 2020; Abreu vd., 2020; Altınöz, Kosalay, ve Gezer, 2020; Muhammadiev vd., 2020).

Muhammadiev ve arkadaşları (2020) yenilenebilir enerji kaynağından yararlanılarak işletilen HES'lerin işletimi, modellenmesi ve kontrolü ile ilgili yaptıkları çalışmada

yenilenebilir enerjinin dünyadaki toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %20'sini karşıladığını belirtmişlerdir. HES'lerin günümüzde en ucuz enerji üretim yöntemi olduğunu bildirmişlerdir. Dünya elektriğinin yaklaşık %20'si ve toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %8'i HES'ler tarafından karşılanmaktadır.

Sonuç olarak HES dünyanın dört bir tarafında mevcut olup yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Hidroelektrik santraller sürdürülebilirlik ve uzun ömürlü bir enerji kaynağıdır.

Gelişmekte olan ülkelerden birisi olan Türkiye hidroelektrik enerji kaynakları bakımından zengin bir konumdadır (Bozkurt ve Tür, 2015). Hidroelektrik enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olmasından dolayı günümüzde hidroelektrik enerjiden elektrik üretimi, gezegenimizin geleceği için çok önemlidir. Dünya üzerinde en büyük HES'ler Çin, Brezilya, Paraguay, Kanada, Mısır ve ABD'de bulunmaktadır (Şekeli ve Keçecioğlu, 2011).



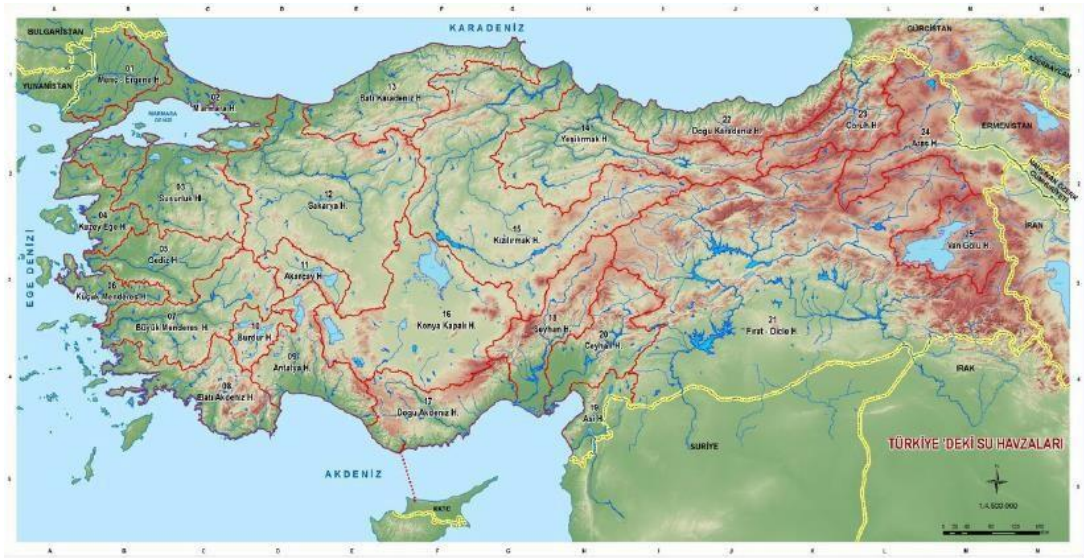
Şekil 3.3. Dünyada HES ile ilgili en önemli bölgeler (Myers vd., 2000)

Dünyada HES ile ilgili en önemli bölgeler Kuzey ve Güney Amerika, Avustralya, Afrika, Asya, Avrupa ve Türkiye'dir.

3.1.2. Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli

Türkiye’de Kasım 2020 itibari ile hidroelektrik enerjisi kurulum gücü yaklaşık 30534 MW olarak ölçülmüştür (TKSB, 2020). HES kurulu gücü ile ülkemiz dünyada en fazla kurulu güce sahip dokuzuncu ülkedir. 2019 yılında HES’lerden elde edilen elektrik enerjisi miktarı ise 89 TWh olarak belirlenmiştir. Ülkemizdeki bol kaynaklar sebebiyle ve devletin verdiği desteklerden dolayı gelecek yıllarda hidroelektrik gelişimi için Avrupa'nın önde gelen pazarlarından biri olmaya adaydır (IHA, 2020). Asya ve Avrupa'nın kesişme noktasında yer alan ülkemiz Dicle ve Fırat nehirleri de dahil olmak üzere 25'in üzerinde nehir havzasına sahip yüksek rakımlı bir ülkedir. Ayrıca, AB ile aday ülke konumunda olmasından dolayı elektrik altyapısını Avrupa ile entegre ederken, aynı zamanda her türlü yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi de dahil olmak üzere genel enerji çeşitlendirmesi stratejisi benimsenmektedir.

Türkiye'nin hidroelektrik enerji konusunda gelecek yıllar için çok iddialı planları bulunmaktadır. 2023 yılında cumhuriyet olarak 100. yılını 100 GW toplam kurulu elektrik gücü kapasitesi ile toplam elektrik üretiminin yüzde 30'u yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi planlanmaktadır (Ertürk, 2020).



Şekil 3.4. Türkiye’deki 25 drenaj havzasının haritası (DSİ, 2020)

Yukarıdaki şekilde ülkemizde bulunan en önemli 25 drenaj havzasına ait harita yer almaktadır. Buna göre faaliyette olan en büyük hidroelektrik santralleri Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. Ülkemizdeki net yer altı ve yer üstü su miktarı

yaklaşık 112 milyar m³ olup bunun 54 milyar m³ ü kullanılmakta, bu miktarın çoğunluğu sulama geri kalanı ise içme ve sanayide tüketilmektedir(Serdar, 2020).

Aşağıdaki tabloda ülkemizde kurulu olan ve halen faaliyette bulunan ve en az 200 MW üretim gücüne sahip hidroelektrik santrallerin listesi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Türkiye’de aktif olan 200 MW ve üzeri kurulu güce sahip HES’ler (Serdar)

Santral Adı	Bulunduğu İl	Sahibi	Kurulu Güç (MW)
Atatürk Barajı ve HES	Şanlıurfa	EÜAŞ	2.405
Karakaya Barajı ve HES	Diyarbakır	EÜAŞ	1.800
Keban Barajı ve HES	Elazığ	EÜAŞ	1.330
Altınkaya Barajı ve HES	Samsun	EÜAŞ	703
Birecik Barajı ve HES	Şanlıurfa	EÜAŞ	672
Deriner Barajı ve HES	Artvin	EÜAŞ	670
Yukarı Kaleköy Barajı ve HES	Bingöl	Cengiz Enerji	627
Beyhan Barajı ve HES	Elazığ	Cengiz Enerji	582
Oymapınar Barajı ve HES	Antalya	Cengiz Enerji	540
Boyabat Barajı ve HES	Sinop	Boyabat Elektrik	513
Berke Barajı ve HES	Osmaniye	EÜAŞ	510
Hasan Uğurlu Barajı ve HES	Samsun	EÜAŞ	500
Artvin Barajı ve HES	Artvin	Doğuş Enerji	332
Yedigöze Sanibey Barajı	Adana	Sanko Enerji	311
Ermenek Barajı ve HES	Karaman	EÜAŞ	302
Borçka Barajı ve HES	Artvin	EÜAŞ	301
Sır Barajı ve HES	Kahramanmaraş	EÜAŞ	284
Gökçekaya Barajı ve HES	Eskişehir	EÜAŞ	278
Göktaş Barajı ve HES	Adana	Bereket Enerji	276
Alkumru Barajı ve HES	Siirt	Limak Enerji	276
Arkun Barajı ve HES	Erzurum	Enerjisa Elektrik	245
Akköy 2 Barajı ve HES	Gümüşhane	Kolin Enerji	230
Obruk Barajı ve HES	Çorum	EÜAŞ	211
Kandil Barajı ve HES	Kahramanmaraş	Enerjisa Elektrik	208

Ülkemizde su kaynakları kullanılarak yapılan ilk elektrik üretimi Tarsus’ta 1902 yılında küçük ölçekli hidroelektrik santralinde yapılmıştır (Sümek ve Fırat, 2020). Sonrasında 1913 yılında ilk büyük ölçekli santral inşa edilmiştir. Cumhuriyetin ilanı ile beraber İzmir Ödemiş’te hidroelektrik enerji santrali kurulmuş ve sonrasında

devletin HES yatırımları 1935 yılında başlayarak günümüze kadar devam etmiştir. Cumhuriyetin ilk yıllarında kişi başına elektrik ihtiyacı yaklaşık 7 KW olarak bilinirken 2000 yılında ise 1805 kW'a ulaşmıştır. Ülkemizde 17372 MW kurulu güce sahip 303 adet HES halihazırda işletmededir. İnşaat halinde ve inşaatına henüz başlanmamış toplam 1340 HES projesinin ise toplam kurulu gücü 30125 MW'dır. Buna göre ülkemizin kurulu güç olarak en büyük HES'i Atatürk barajında kuruludur ve toplam kurulu gücü 1.405 MW'tir. İkinci büyük HES ise Diyarbakır'da kurulu olan Karakaya barajında yer alan ve 1800 MW kurucu güce sahip olan hidroelektrik santralidir. 3. büyük HES ise Elâzığ ili sınırları içerisinde bulunan ve 1330 MW kurulu güce sahip Keban barajında kurulu HES'tir (Tablo 3.2).

Ülkemizde en büyük hidroelektrik enerji potansiyeline sahip bölgelerin başında Karadeniz bölgesi gelmektedir (Süme ve Fırat, 2020). Bölgenin yağış potansiyeli de değerlendirildiğinde HES bakımından zengin olması beklenen bir durumdur. Bu sebepten dolayı özellikle Artvin, Rize ve Trabzon illerinde fazla sayıda HES bulunmaktadır.

Türkiye'de Kasım 2020 yılı itibari ile kurulu HES'lerden elde edilen elektrik enerjisi miktarı toplam ihtiyacın yaklaşık %42,7'sini karşılamaktadır (TEİAŞ, 2020).

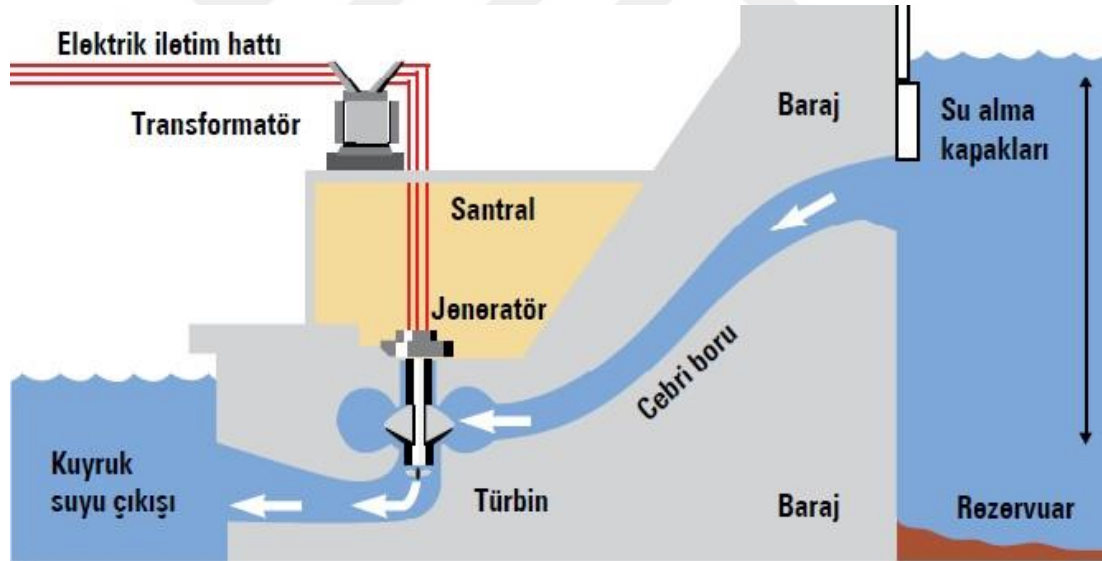
Her geçen gün tüketilen enerji ihtiyacını karşılamak için hidroelektrik santrallere daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Hidroelektrik santraller enerjinin üretilmesi için sürekli çalışmaları gerekmektedir (Yazıcı vd., 2021). Ülkemiz nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 100 milyon olarak tahmin edildiğinde ise 2005 yılında 1370 m³ olan kişi başına su ihtiyacı yaklaşık 2000 m³'e çıkacağı tahmin edilmektedir (Keloğlu, 2006). Toplam su ihtiyacının ise 7.6 milyar m³'ten 15 milyar m³'e ulaşması beklenmektedir.

3.2. Türkiye'de Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES)

HES çok eski zamanlarda tarım için ihtiyaç duyulan suyun karşılanması için kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise yenilenebilir enerji olmasından dolayı genellikle elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır (Kaygusuz, 2020). Bir hidroelektrik enerji santrali, coğrafi yapı ve çeşitlerine göre farklı amaç ve şekillerle kurulup işletilirler.

Her ne kadar farklı amaç ve şekillerde kurulsun da hidroelektrik enerji santralinin yapısı elektrik üretimi amacına göre birbirine benzemektedir (Şekil 3.4). Buna göre aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bir tarafta rezervuarın bulunduğu bölge vardır. Su rezervuarında genellikle nehir veya göl suları yer almaktadır. Rezervuara eklenmiş su alma kapakları ihtiyaç halinde rezervuardan su almak için kullanılır.

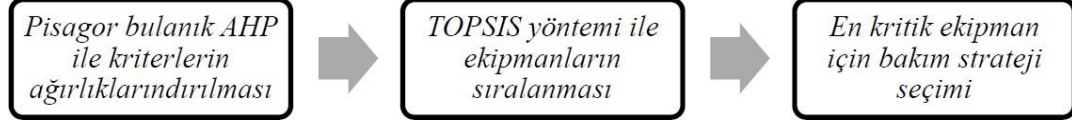
Su kapakları belirlenen yükseklikte bulunmaktadır. Daha sonrasında baraj içerisinde daha düşük seviyede yer alan türbinlere düşürülen su, böylece türbinleri döndürerek jeneratörde elektrik üretimi sağlar. Türbinlerden geçen su, sonrasında kuyruk suyu çıkışı olarak bilinen bölgeden barajın dışına bırakılır. HES'lerden kullanılan su geceleri tekrar yukarıya doğru pompalanır ve sonraki gün elektrik üretimi için gerekli su rezervuarının elde edilmesi için kullanılır (USGS, 2020). Santralde bulunan jeneratörde üretilen elektrik enerjisi sonrasında transformatörler tarafından gerekli şekilde ayarlandıktan sonra elektrik üretim hattına iletilir.



Şekil 3.5. HES genel yapısı (Şekkeli ve Keçecioğlu, 2011)

Ülkemizde HES ile ilgili bölgesel ve ulusal kapsamda bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında HES kurulum, üretim ve geliştirme açısından incelemelerde bulunulmuştur. Yazıcı ve arkadaşları (2021) güncel bir çalışmada HES bakım stratejisi seçiminde kullanılabilecek karar modeli önerisi yapmışlardır. HES bakım stratejisi ile ilgili ağırlıklı Pisagor bulanık hiyerarşi yöntemi kullanılmıştır. Ekipmanların karar

verilmesi işleminde ise TOPSIS yöntemi kullanılmış ve böylece kritik ekip bakım sistemi oluşturulmuştur. Çalışmanın stratejisi aşağıdaki şekilde belirtildiği gibidir.



Şekil 3.6. AHP yöntemi basamakları

Bu çalışmada amaç; HES’lerde bulunan kritik durumdaki ekipmanlar için en uygun bakım stratejisinin seçilmesidir. Çalışmanın sonucunda kritik ekipmanların bakımları için en etkili ve verimli stratejinin revizyon bakım stratejisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca santral bakım stratejisi ve işletme ile ilgili kurallar açısından tutarlı bir sonuç elde edilmiştir.

Hidroelektrik enerji santralinde su, tüketiciler için önemli bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisi üretiminde kullanılır. Bir hidroelektrik enerji santralindeki en önemli parçalardan birisi ‘hidrolik türbin’dir. Hidrolik türbin hidroelektrik enerji santralinin ana tasfiyecisidir. Suyun potansiyel enerjisini rotasyonel mekanik enerjiye dönüştüren mekanik bir cihazdır. Hidro türbin tesisleri çalışma koşulları değişen parametrelere sahip dinamik ve karmaşıktır. HES’lerde kullanılan türbinler iki ana çeşitte kullanılır: Etki tipi, reaksiyon tipi türbinler. Etki tipi türbinler basınçlı türbinlerdir ve Pelton, Turgu, ve Banki çeşitleri bulunur. Reaksiyon tipi türbinler ise basınç ve hareketli suyun etkisiyle elde edilen güçle çalışır ve Francis ile Kaplan türleri bulunmaktadır. HES’lerde bulunan bir diğer önemli parça dengeleme veya boşaltma tankıdır. Dengeleme tankı, ani basınç artışlarını absorbe etmek ve kısa basınç düşüşü sırasında hızlı bir şekilde ekstra su sağlamak için barajdaki depolama rezervuarıdır. Boşaltma tankı veya deposu su hızındaki değişiklikler nedeniyle azalan basıncı sabit tutmak için kullanılır. Dengeleme tankının temel işlevlerinden bazıları şunlardır:

- Gelen basınç dalgalarını yansıtarak basınç dalgalanmalarını azaltmak.
- Bir hidrolik türbinin düzenleme özelliğini desteklemek.

Takılması mümkün olan en yaygın farklı tipteki dengeleme tankları; basit dengeleme tankı, sınırlı delikli genişleme tankı ve diferansiyel dengeleme tankıdır. Hidroelektrik

santrallerinin en kritik parçası hidroelektrik türbin yönetim sistemidir. Bu yönetim sistemi hidroelektrik üretim birimlerinin güvenliği, sürdürülebilirliği ve ekonomik çalışmasının sürmesi için gereklidir. Bu sistem hidrolik sistem, mekanik sistem ve elektrik sistemi arasındaki etkileşimi düzenlemektedir.

Bir hidroelektrik santrali, elektrik üretmek ve bir türbini döndürmek için barajdan suyun yerçekimi akışına dayanan türbinlerden oluşmaktadır(Nilson, 2013). Su, barajın mansabındaki nehre bırakılabilir veya rezervuara geri pompalanarak yeniden kullanılabilir. Genel olarak hidroelektrik barajlar, elektrik üretimi için özel olarak inşa edilir ve içme veya sulama suyu için kullanılmaya uygundur.

Hidroelektrik enerji santralleri suyu veya havayı kirletmez, ancak hidroelektrik enerji tesisleri çevreyi değiştirerek ve baraj alanındaki arazi kullanımları, yerleşim yerlerini ve doğal yaşam alanlarını etkileyerek büyük çevresel etkilere sahip olmaktadır (USGS, 2012). Hidroelektrik enerji santrallerinin baraj gibi rezervuar alanları vardır ve bu alanlar balıkların göçünü ve popülasyonlarını etkilemekte ve ayrıca, nehir suyunun sıcaklığını ve nehrin akışını değiştirmektedir. Diğer taraftan hidroelektrik santralleri bölgedeki endemik bitkilere ve hayvanlara zarar verebilmektedir.

Hidroelektrik enerji santrallerinin bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

HES'in avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Elektrik üretiminde herhangi bir yakıt yanmadığından kirlilik minimum olmaktadır.
- Santralin çalıştırılması için su doğal olarak karşılabilir maliyeti yoktur.
- Hidroelektrik, fosil yakıtların atmosfere bıraktığı sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynar.
- HES'ler diğer enerji kaynaklarına göre düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahiptir.
- Teknoloji güvenilir ve zaman içinde kanıtlanmıştır.
- Yenilenebilir enerji kaynağıdır. Yağışlar rezervuardaki suyu yeniler, bu nedenle enerji kaynağı her zaman bulunmaktadır.

Hidroelektrik enerji kaynağı her ne kadar yukarıdaki gibi avantajları bulursa da öte yandan bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan bazıları şunlardır;

- Yüksek yatırım maliyeti.
- Hidrolojiye bağılı olarak zeminde ve bölgede ortaya çıkan çökme.

Hidroelektrik santralleri yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olduğu için çevresel olarak diğer enerji kaynaklarına göre daha az zararlıdır. Bu konuda özellikle yeni neslin bilinçlenmesi ve çevresel duyarlılığının artırılması gerekmektedir. Bunlarla ilgili olarak, Bodur ve Şenyuva (2013) yaptıkları çalışmada, üniversite öğrencilerinin HES ile ilgili görüşleri ve çevreye yönelik tutumları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. İstanbul’da mühendislik eğitimi gören toplam 972 üniversite öğrencisinden toplanan veriler analiz edilmiştir. Katılımcılara bilgi formu ve çevresel tutum ölçeği olarak iki veri toplama aracı verilmiş ve soruların cevaplandırılması istenmiştir. Buna göre öğrencilerin çoğunun çevresel olarak HES’lerin yararlı olduğunu belirtmesine rağmen yaklaşık %45 oranında HES yapımlarını desteklemediklerini söylemişlerdir.

3.3. Türkiye’de Hidroelektrik Santralleri Kurulum Kriterleri

Hidroelektrik santrali kurulumu, diğer yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumuna benzer şekilde fosil yakıtlı veya yenilenemez enerji kaynakları ile çalışan santrallerin kurulumundan daha yüksek maliyetlidir. Ancak, kurulum her ne kadar daha maliyetli olsa da sonrasındaki bakım maliyeti diğer santrallere göre daha düşüktür.

HES kurulumunda çok sayıda birbirini içeren benzer kriterler dikkate alınmaktadır (Derse ve Yontar, 2020). Kriterlerin belirlenmesinde öncelikle bölgesel koşullar, istenilen HES özellikleri ve hali hazırdaki mevcut bilgi ve araçlar kullanılır. Bu kriterlere karar vermek için öncelikle alternatiflerin belirlenmesi gerekmektedir. Alternatiflerin belirlenmesinden sonra mevcut seçenekler arasından sınıflandırma veya sıralama ile kurulacak HES’in özellikleri belirlenmektedir.

HES kurulumu için genellikle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Böylece karşılaşılabilecek problemlerin çözümünün ve alınacak kararların daha verimli ve etkili olması sağlanır.

Bu yöntemlerden bazıları TOPSIS, ELECTRE, AHS, VIKOR, MULTIMOORA, SWARA olarak bilinmektedir (Özden,2009). Kriterleri belirleme ile ilgili Derse ve

Yontar (2020) tarafından yapılan güncel bir çalışmada aşağıdaki tabloda yer alan kriterler HES seçimi için belirlenmiştir.

Tablo 2.3'te belirtilen karar kriterlerine göre en önemli kriterler arasında maliyet, verimlilik, iş imkanı, devlet teşvikleri, elde edilebilirlik miktarı, hizmet ömrü, teslim süresi ve arıza/kazariskinin düşüklüğü bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. HES seçiminde karar kriterleri ve önem sıraları (Derse ve Yontar, 2020)

Sıra No	Kriterler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
1	Maliyet (Y1)	1	2	2	1	2
2	Elde edilebilirlik miktarı (Y2)	3	5	5	6	1
3	Gürültü (Y3)	20	16	20	14	16
4	Arazi ihtiyacı (Y4)	13	7	11	16	7
5	İş imkanı (Y5)	4	3	4	2	4
6	Güvenilirlik (Y6)	14	15	7	15	8
7	Sera emisyonları (Y7)	19	14	19	17	17
8	Arıza / Kaza Riskinin Düşüklüğü (Y8)	12	17	8	7	9
9	Sosyal kabul edilebilirlik (Y9)	6	4	6	5	6
10	Teknolojik olgunluk (Y10)	11	8	10	8	10
11	Ekolojik etki (Y11)	10	18	12	18	18
12	Hizmet ömrü (Y12)	7	9	13	9	11
13	Verimlilik (Y13)	2	1	1	3	3
14	Su tüketimi (Y14)	15	13	18	10	20
15	Teslim süresi (Y15)	8	10	14	13	12
16	Atık üretim miktarı (Y16)	17	19	17	19	19
17	Kaynakların sürdürülebilirliği ve öngörülebilirliği (Y17)	16	11	9	11	14
18	Dış çevre ile koordinasyon (Y18)	18	20	16	20	15
19	Devlet teşvikleri (Y19)	5	6	3	4	5
20	Üretim ve kurulumda modülerlik (Y20)	9	12	15	12	13

Yukarıdaki tabloda verilen özel kriterlere ek olarak hidroelektrik santrallerinin kurulumunda kullanılan bazı genel kriterler vardır. Bunlar ‘teknik kriterler, ekonomik kriterler, sosyal kriterler ve çevresel kriterlerdir.

3.3.1. Teknik kriterler

Hidroelektrik santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve yatırımlarının kurulması ile ilgili ilk kriter teknik kriterlerdir. Bu kriterler yapılacak yatırım ve kurulacak HES'in kurulu güç kapasitesi, verimliliği ve potansiyeli gibi alt teknik kriterlere göre değerlendirilmektedir.

Bu konuda yapılan çalışmalardan birisinde Karaca, Ulutaş ve Esgünoğlu (2017) yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanılabilecek bazı teknik kriterleri incelemiştir. Bu kriterler;

- Enerji verimliliği
- Ekonomik potansiyel (GW/yıl)
- İşletme ömrü
- Küresel kurulu güç kapasitesi
- Toplam kapasitedir.

Teknik kriterlerin en önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarından olan HES'ten elde edilen enerjinin verimliliğidir. Enerji verimliliği elde edilen enerjinin harcanan enerjiye oranıdır. Ayrıca elde edilen enerjinin potansiyeli ikinci alt teknik kriter olarak belirlenebilir. İşletme ömrü, küresel olarak kurulu güç kapasiteleri ile toplam kapasitesi ise diğer alt teknik faktörlerdir.

3.3.2. Ekonomik kriterler

Ekonomik kriterler kurulacak HES ile ilgili bir diğer kriter olarak kabul edilmektedir. Kurulacak hidroelektrik santralinin maliyeti kurulumdan işletmenin sona ermesine kadar devam eden bir süreç için hesaplanmaktadır. Enerji yatırım maliyetleri diğer yatırımlara göre daha yüksek maliyetli olmasından dolayı ekonomik kriter çok önemlidir (Özcan vd., 2017).

Yapılan hidroelektrik santrali yatırımının maliyet açısından etkinliğinin ölçülmesi için ekonomik kriterlerin belirlenmesi ve hesaplanması gerekmektedir (Karaca vd., 2017). Enerji; yatırım ve üretim açısından en önemli girdilerden birisi olduğu için ekonomik

kriterler ayrıntılı bir şekilde irdelenmelidir. Küresel rekabet edebilmek için yatırım ve işletme maliyeti daha düşük ülkelerin ve bölgelerin seçilmesi bu bakımdan önemlidir.

Ekonomik kriterlerin belirlenmesinden bazı alt faktör ve kriterler bulunmaktadır. Bunlar (Karaca vd., 2017):

- Yatırım maliyeti
- Değişken işletme ve bakım maliyeti
- Sabit işletme ve bakım maliyeti
- Elektrik üretim maliyeti
- LCOE elektrik üretim maliyeti
- Geri ödeme periyodudur.

3.3.3. Sosyal kriterler

Yapılacak enerji yatırımlarının çok büyük ekonomik maliyeti olması ve kurulu alanların çok fazla büyük bölgeleri kapsamasından dolayı toplumsal olarak bazı etkileri bulunmaktadır (Karaca ve Ulutaş, 2018). Toplumsal etkiler ile ilgili sosyal kriterler yatırımın yapılmasından önce karar verme aşamasında değerlendirilmelidir. Enerji yatırımlarının yüksek maliyetinden dolayı hükümetler enerji yatırımlarından önce yatırımların toplumsal etkilerini incelemeleri ve buna göre yatırımı şekillendirmeleri gerekmektedir. Yapılacak enerji yatırımında dikkat edilmesi gereken bazı sosyal kriterler şunlardır:

- Dışsal maliyetler
- İmalat-inşaat-kurulum maliyetleri
- İşletme-bakım-istihdam maliyetleri

Yukarıdaki görüldüğü gibi enerji yatırımı sosyal kriterleri ile ilgili ilk önemli faktör dışsal maliyettir. Bu bakımdan bazı alt sosyal maliyetler finansal faktörler ile beraber değerlendirilebilir. Bununla beraber yatırımın imalat, inşaat ve kurulum maliyetleri de benzer şekilde sosyal kriterler ve finansal kriterler ile beraber değerlendirilen bir diğer önemli faktördür.

Enerji yatırımları ile ilgili bir diğer önemli alt sosyal kriter, işletmenin bakımı ve işletmenin bölge halkına sağladığı istihdam maliyetleridir. Neticede istihdam sosyal kriterler ile ilişkili bir faktördür. Sosyal olarak istihdam sağlayan ve istihdam maliyeti düşük olan enerji yatırımları bölge halkı tarafından desteklenmektedir.

3.3.4. Çevresel kriterler

Enerji yatırımları ile ilgili en hassas ve önemli konulardan birisi elbette çevresel etkileridir (Tayşı, 2012). Yapılan yatırım bölgesel olarak büyük olması veya kullanılacak makine, araç ve aletlerin doğal çevreye etkilemesi her zaman mümkündür ve bu sebepten dolayı enerji yatırımlarına karar verilirken kurulacak santralin çevresel etkileri değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji olan HES'ler her ne kadar karbon bazlı enerji kaynaklarına göre çevresel ve insanlara sağlık açısından etkisi düşük olsa da belirli seviyede çevreyi etkilemektedir (Özcan vd., 2017). Örneğin santrallerin kurulduğu alanlarda ekolojik durum ve canlıların habitatı etkilenmektedir. Santrallerin kurulumunda bölgedeki bitki örtüsü ve canlı yaşamının dikkate alınması gerekmektedir. Santrallerin kurulum aşamasında ortaya çıkan alt çevresel faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Karaca vd., 2017):

- NO₂ emisyonu
- CO emisyonu
- CO₂ emisyonu
- SO₂ emisyonu
- Sera gazı emisyonu
- Partiküllerin emisyonu
- Ortaya çıkan kurşun vb. element atıkları
- Amonyak emisyonu
- Metan dışında kalan gazların emisyonu
- Bölgesel alan gereksinimi

3.4. Türkiye’de Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik santralleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. HES’lerin sınıflandırılmasında kullanılan parametreler “düşülerine göre, kurulu güçlerine göre, depolama durumlarına göre ve baraj-gövde tiplerine göre” olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılabilir (Şekkeli ve Keçecioglu, 2011). Sınıflandırma parametreleri aşağıdaki tabloda belirtildiği gibidir.

Çizelge 3.3. HES Sınıflandırma Parametreleri

Parametre	Çeşit	Özellik
<i>Düşüşlerine göre</i>	Alçak düşülü Orta düşülü Yüksek düşülü	$h < 10$ m $h = 10 - 50$ m $h > 50$ m
<i>Kurulu güçlerine göre</i>	Küçük kapasiteli Orta kapasiteli Büyük kapasiteli	100 – 1000 kW 1000 – 10000 kW >10000 kW
<i>Depolama durumlarına göre</i>	Depolamalı Depolamasız	Baraj gölü – Tabii göl Kanal tipi – Nehir tipi
<i>Baraj gövde tiplerine göre</i>	Ağırlıklı beton gövdeli Beton kemer gövdeli Kaya ve toprak dolgu gövdeli	

Yukarıdaki tabloda belirtildiği gibi barajlar düşülerine göre 3 farklı sınıfta tanımlanır. 10 m’den daha düşük seviyede ise alçak düşülü; 10 ile 50 metre arasındaki yüksekliğe sahip ise orta düşülü; 50 metre ve üzeri ise yüksek düşülüdür.

İkinci sınıflandırma parametresi ise, kurulu güçlerine göre üç farklı şekildedir. Eğer kurulu gücü 100 ile 1000 kW arasında ise küçük kapasiteli; 1000 ile 10000 kW arasında ise orta kapasiteli; 10000 kW’tan daha yüksek ise büyük kapasiteli olarak sınıflandırılır.

Depolama durumlarına göre, baraj gölü veya tabii göl özelliklerine sahip ise depolamalı HES; eğer kanal tipi veya nehir tipi ise depolamasız HES olarak sınıflandırılır. Son parametre ise baraj gövde tiplerine göre ağırlıklı beton, beton kemer ve kaya/toprak dolgu gövdeli HES olarak sınıflandırılır. Son sınıflandırma için belirli bir özellik bulunmamaktadır.

3.4.1. Büyük ölçekli HES

Büyük ölçekli HES'ler kurulu güçlerine göre 30 MW ve üstünde kapasiteye sahip olan hidroelektrik santrallerdir (Energy, 2020). Büyük ölçekli hidroelektrik santralleri dünyada enerji ihtiyacının arttığı 1930'lu yıllardan itibaren kurulmaya başlanmıştır.

Dünyada birçok büyük ölçekli hidroelektrik enerji santralleri bulunmaktadır. Ülkemizde kurulu olan en büyük hidroelektrik enerji santrali olan Atatürk Barajı dünya üzerindeki en önemli büyük ölçekli enerji santrallerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Fırat nehri üzerinde bulunan Atatürk Barajı 170 metre yüksekliğe ve yaklaşık 1800 metre uzunluğa sahiptir. İnşaat maliyeti yaklaşık 1,2 milyar dolar olan santralde bulunan 8 adet türbinden toplamda 3000 ile 9000 GW enerji üretilmektedir. Türkiye'de kurulu olan ve işletilen diğer büyük hidroelektrik santralleri arasında Ermenek, Karakaya, Keban ve Daran HES'ler bulunmaktadır (Çırak,2019). Büyük ölçekli hidroelektrik enerji sistemleri 30 MW ve üzeri kurulu güce sahiptir. Bu sayede ortalama 100W elektrik tüketen bir ampulden yaklaşık 300.000 adetine yetecek kadar elektrik üretmektedir. Bir diğer ifade ile bir evin elektrik ihtiyacı ortalama 5 kW olarak belirlenirse yaklaşık 6.000 evin elektrik ihtiyacını karşılayabilir. Bu durum yaklaşık 50.000 nüfuslu bir kasabanın ihtiyacının karşılanmasıdır. Büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinin en büyük dezavantajı, çok yüksek seviyede elektrik enerjisi üretimi sağladıkları için, kömür ve doğalgaza dayalı çalışan termik santraller gibi konvansiyonel santraller kategorisinde yer almasıdır. Büyük ölçekli hidroelektrik enerjisinden elde edilen elektrik çok büyük bir bölgeye enerji nakil hatları ile iletilir.

3.4.2. Orta ölçekli HES

Orta ölçekli hidroelektrik santralleri ile ilgili farklı tanımlar ortaya atılsa da genellikle 10 MW ile 30 MW arası güçte olan hidroelektrik santralleri bu grupta yer almaktadır

(Energy, 2020). Türkiye orta ölçekli hidroelektrik santral kapasitesi açısından dünya ortalamasının altında olduğundan orta ölçekte HES yatırımını artırmaktadır (Mercan, 2014).

Bazı durumlarda orta ölçekli hidroelektrik santralleri küçük ve büyük hidroelektrik santralleri arasında ara kategori olarak kabul edilirler (Breeze, 2019). Küresel bir perspektiften bakıldığında, orta hidroelektrik en önemli kategoridir ve bugün dünyadaki hidroelektrik santralleri incelendiğinde orta kapasitedeki hidroelektrik santrallerinin en yüksek sayıda olduğu görülmektedir.

3.4.3. Küçük ölçekli HES

Küçük ölçekli hidroelektrik santraller büyük ve orta ölçekli hidroelektrik santrallere göre daha düşük kurulu güçlere sahip santrallerdir. Kurulu güçleri genellikle 10 KW ile 10 MW arasında değişmektedir (Energy, 2020).

Küçük ölçekli HES'ler genellikle bir veya daha fazla türbini bulunan küçük santrallerdir. Bu santraller, ülkelerin sahip olduğu hidrolik potansiyel ve ekonomilerine göre yaygın olarak kurulan santraller arasındadır. Kurulum maliyetinin diğer hidroelektrik santrallere göre daha düşük olması sayılarının daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Küçük kapasiteleri ile kurulum maliyeti ve kurulum bölgelerinin küçüklüğü, onları daha cazip hale getirmektedir.

Ülkemiz için özellikle döviz olmadan yerli kaynaklar ile yapılabilmesi tercih edilmesi bakımından bir diğer sebeptir.

Türkiye'de küçük ölçekli hidroelektrik santrali kurulumu 1902'li yıllarda başlamıştır. Günümüzde toplam 1600 küçük ölçekli hidroelektrik enerji santrali bulunmaktadır (Gökdemir vd., 2012). Bu santrallerin sahip olduğu kurulu güç ise yaklaşık 22.000 MW olarak hesaplanmıştır. Türkiye'deki küçük ölçekli HES'lerin büyük çoğunluğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır.

3.4.4. Mikro ölçekli HES

En düşük kurulu güce sahip hidroelektrik santrali mikro ölçekli hidroelektrik santrali olarak bilinmektedir (Energy, 2020). Kurulu kapasitesi 10KW ve daha düşük hidroelektrik santraller bu grupta değerlendirilir. Mikro ölçekli hidroelektrik santraller genellikle çiftlik, köyler ve tek bir evin enerji ihtiyacını karşılamak için tasarlanır ve kurulurlar.

Mikro hidroelektrik enerji santralleri HES'lerin çevresel etkileri değerlendirildiğinde sera gazı emisyonunu azalttığından dolayı tercih edilmektedir. Günümüzde çoğu HES, enerji kayıpları, işletme maliyetlerinin yüksekliği ve yüksek bakım ücretlerinden dolayı mikro enerji üretimine yönelmeye başlamıştır.

Hidroelektrik santrali akan sulardan gelen kinetik enerjiyi önce potansiyel ve sonrasında da elektrik enerjisine çevirerek çalışmaktadır. Santralin kurulu kapasitesi çok düşük olduğu için hidroelektrik sistemlerden çok azı mikro hidroelektrik santrali olarak sınıflandırılır (Nasir, 2014). Bunlar çoğunlukla elektrik tedarik şebekesinden bağımsız olarak küçük bir topluluk veya gruba güç sağlamak için kullanılabilir. nispeten küçük enerji kaynaklarıdır.

10 kW büyüklüğündeki bir mikro ölçekli HES yaklaşık 2 veya 3 evin elektrik enerjisini karşılayabilir.

Küçük ölçekli hidroelektrik enerjisi 19. yüzyılın sonundan itibaren yerleşim yerlerine uzak bölgelerde elektrik üretmenin yaygın bir yolu olarak kullanılmaktadır. Küçük ölçekli hidroelektrik sistemleri, küçük nehirlerle, akarsulara veya içme suyu ve atık su şebekeleri gibi mevcut su tedarik şebekelerine kurulabilir.

Küçük ölçekli hidroelektrik santraller, yaban hayatı veya ekosistemler üzerinde çok az olumsuz etkiye sahiptir. Bu sınıftaki santrallerin çoğunluğu nehir veya mevcut su altyapısında uygulanmaktadır. Çok yönlülüğü, düşük yatırım maliyetleri ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak küçük ölçekli hidroelektrik santralleri, kırsal veya gelişmekte olan alanlarda sürdürülebilir, ucuz enerji üretmek için umut verici bir seçenektir.

4. KARAR VERME

4.1. Karar Verme Süreci

Karar verme; karar birimlerinin belirlenmiş bir ya da daha fazla amaca ulaşmak için var olan çeşitli alternatifler arasından seçim yapmalarına yönelik davranış biçimidir. Bireyler günlük yaşamlarında çeşitli konularda karar vermek durumuyla karşılaşır. Verdikleri kararların bir bölümü isabetli olabildiği gibi bir bölümünde de uygun düşmeyen sonuçlarla karşılaşmaktadır. Bu durum karar vermedeki risk olgusunu gündeme getirmektedir. Karar verici olarak bireyler veya işletmeler her karar verme durumunda olumsuz sonuca ulaşmak riskiyle karşı karşıya kalmaktadırlar (Turanlı, 1988).

Bir eylem olarak karar verme; belirlenmiş olan bir amaç doğrultusunda kişilere ya da kurumlara ait olan alternatiflerden bir tanesine ya da birkaçına seçim yapma fırsatı tanıma süreci olarak ifade edilmektedir (Turanlı, 1988). Bahsi geçmekte olan bu süreç genel itibariyle herhangi bir sorunun çözüm adımları olarak değerlendirilmektedir. Karar verme; sahip olunan bütün öncülleri negatif ve pozitif tarafları ile değerlendirmeyi içerisinde barındırmaktadır. Nitekim bir eylem olarak karar verme faaliyeti en optimum alternatifi işler hale getirme hedefine ulaşmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Böylesi bir öneme sahip olması karar vermenin sistematikliğini olmazsa olmaz bir unsur haline getirmektedir. Yaşamın hemen her alanındaki bütün adımlarda en minimum olanından en maksimum olanına kadar tüm hususlarda karar verme etkin bir rol üstlenmektedir.

Kişiler güncel hayatlarında hemen hemen her hususta bilinçli ya da bilinçsiz bir şekilde karar vermekte; bu kararlar kimi zaman doğru kimi zaman ise yanlış olabilmektedir. Hayatın işleyişi içerisinde verilen kararların birçoğu sıradanlaşmış olan rutin düzendeki anlık karar verme özelliği göstermektedir. Bu tip kararlar üzerinde analitik yorumlamaya gitmenin önemi yok denecek kadar azdır. Ancak ekonomi, sağlık, eğitim ve güvenlik gibi oldukça önemli çıktıları olan hususlarda karar vermek bilimsel bir analiz sürecini gerekli kılmaktadır (Aytaç ve Gürsakal, 2015).

Böylesi bir durumda analitik bir değerlendirme yapma süreci Karar Verme Teorisini ortaya çıkarmıştır.

Karar vermenin gerçekleştirilmesi süreci ve bu süreçte uygulanmakta olan yöntemler; bireysel ya da minimal çevredeki yaşam koşullarından, küresel çaptaki organizasyonlara kadar gerek kişisel gerekse toplumsal olarak oldukça geniş bir alanı ilgilendirmektedir. Diğer bir açıdan karar verme davranışı fayda birimi ile de ifade edilebilir. Bu durumda karar verme davranışı karar vermekte olanın birbirinden farklılık gösteren faaliyetlerine, amaçlarına ve kriterlerine göre en optimum fayda alınacak şekilde seçim yapılması anlamına gelmektedir (Kul, 2012).

Karar verme davranışında sürekli olarak en yüksek fayda gözetilmektedir. Karar ile karar verme arasında birtakım farklar vardır. Öyle ki karar verme analitik bir süreç gerektirmektedir. Karar ise anlık bir çıktıyı ifade etmektedir. Bahsi geçmekte olan süreç içerisinde en iyiyi ararken birtakım dinamiklere özen göstermek gerekmektedir. Bu nedenledir ki analitik verilere sıkça ihtiyaç duyulmaktadır. Hiçbir kararın tek bir seçeneği yoktur. Her karar süreci birçok alternatifiyle bir arada bulunmaktadır. Eğer süreç tek bir yola doğru evriliyor ise bu alternatifsizlikten kaynaklanmamaktadır. Bu durum süreç içerisinde alternatiflere yönelik yapılan çalışmaların eksik kaldığının bir göstergesidir (Kuru, 2011).

Karar vermede geleneksel yaklaşım ve yeni karar verme yaklaşımı olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. Kararın geleneksel yöntemlerle verilmesi aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 4. 1. Geleneksel yaklaşıma göre karar verme (Küçüköğlu, 2020)

Geleneksel yaklaşıma göre yani sezgi, kısmi veri, tecrübe ve temel girdi analizleri ile karar vermek artık günümüz koşullarında yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bilimselliğe ve de buna bağlı olarak analitik verilere çok daha fazla ihtiyaç duyulmakta ve bu verilerin karar aşamasında kullanılması uygun görülmektedir. (Aktaş vd. 2015).

Yeni karar verme yaklaşımında ise karar verme süreci şekil 4.2.de görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 2. Yeni karar verme yaklaşımının oluşumu (Küçükoğlu, 2020)

Karar vermedeki en temel amaç; karar veren kişi ya da kişilerin amaçladıkları hedefe erişimlerinin sağlanmasıdır. Daha önceden de sıkça vurgulandığı üzere karar vermek bir süreçtir. Bireylerin ya da toplumların neredeyse bütün davranış ve tutumlarında karar verme faaliyeti söz konusu olmaktadır. Bu nedenle karar verme teorisi, insanla ve de topluluk halindeki insanlarla doğrudan ilgilenmektedir. Karar verme teorisi karar vericilere maksimum gelir veya maksimum fayda sağlamak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Bu perspektiften bakıldığında karar verme teorisi biçimsel olarak ulaşılması arzu edilen duruma göre yönlendirme ve problem çözme tekniklerini ortaya koymakta olan bir faaliyet alanı oluşturmaktadır (Ünal, 2014).

Karar verme teorisinde yer almakta olan tekniklerin hepsinde birtakım aşamalar mevcuttur. Öyle ki karar verme aşaması öncelikle karşı karşıya kalınan problemin belirlenmesi ile başlamaktadır. Daha sonra bu probleme dair üretilebilecek öncül alternatiflerin listelenmesi söz konusu olmaktadır. Karar vericilerin kontrolü ve gözlem alanı dışında kalan bütün olasılıklar alternatiflerle bağdaştırılıp karar matrisleri oluşturulmaktadır. Bu karar matrislerinin anlaşılabilir olabilmesi için tablolar ve modeller üzerine indirgeme yapılmaktadır. Tüm bu aşamalar sonucunda alternatifler arasından optimum sonucu veren alternatif seçilerek karar verilir. Verilen kararın uygulanması ve uygulama sonucu veya sonuçlarının değerlendirilmesi ile karar verme süreci tamamlanmış olur.

Karar aşamasının başlangıcı ile bir karara ulaşma arasında, verilen kararın niteliğine göre bir zaman aralığı vardır. Bu zaman aralığının uzunluğu verilen kararı etkiler. Karar verici bu zaman aralığında meydana gelen, karar sonucunu etkileyebilecek değişiklikleri göz önünde bulundurmalıdır. Aksi takdirde karar verici amaçladığı sonuca ulaşamayabilir.

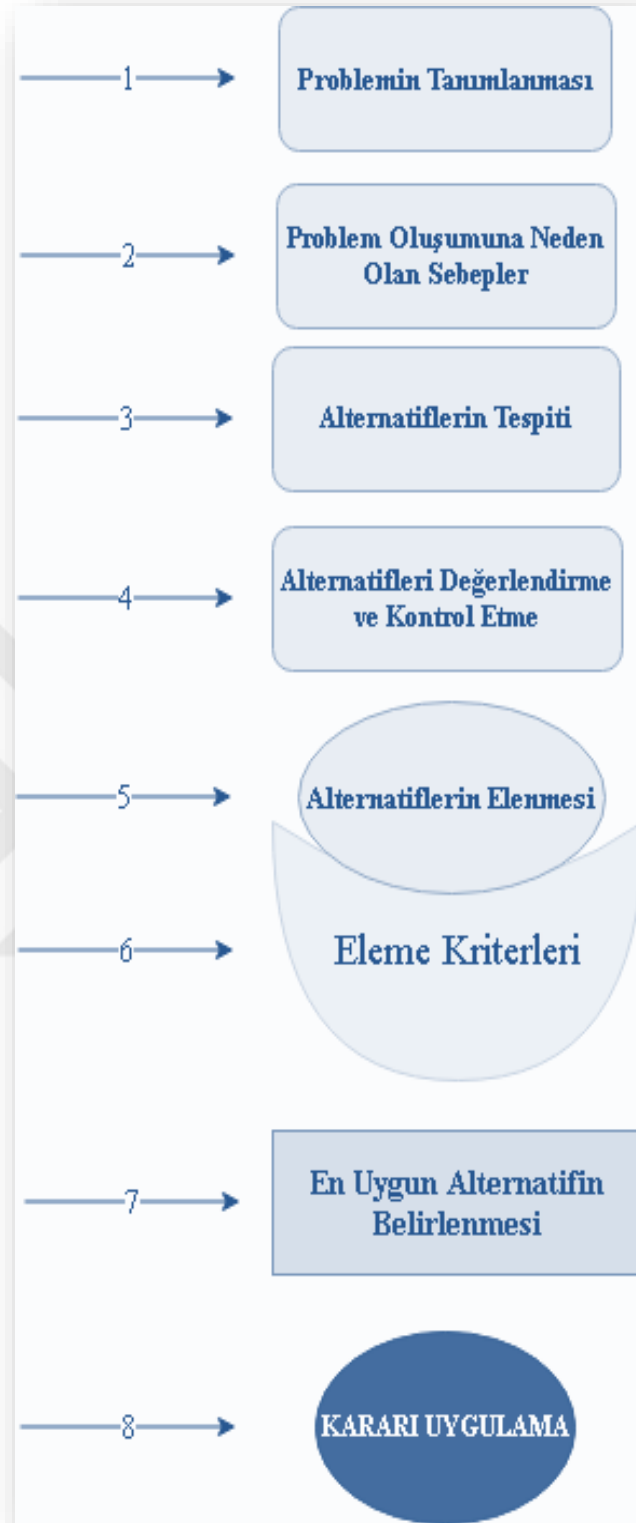
Karar vermede önemli olan nokta iyi bir kararın verilebilmesidir. İyi bir kararın özellikleri aşağıda görüldüğü gibidir.

Bu özellikler şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Verilmiş olan kararın ortaya çıkmış olan problemin çözülmesinde etken olması gerekmektedir.
- Süreç esnasında meydana gelebilecek bütün maliyetler hesaplanmış olan ve tahmin edilen düzeyde tutulmalıdır.
- Verilen kararın mantıklı olması, içinde bulunulan şartlara uygun olması ve uygulanabilirliği son derece mühimdir.
- Verilmekte olan karar planlanmış zaman çerçevesinde olmak durumundadır. Olağandışı bir durum olmaması halinde kararı geciktirmek maksimum gelir veya maksimum faydadan fedakarlık etmeye sebep olacaktır (İmrek, 2003).

4.1.1. Karar verme sürecinin aşamaları

Karar verme süreci birçok aşamadan oluşur. İlk aşama karar verme probleminin belirlenmesidir. Süreç olarak karar verme eylemi belirlenmiş olan bir sistem dahilinde sorunların tanımlanma aşamasından ulaşılması tasarlanan amaçlara kadar planlı bir şekilde uygulanması durumudur. Önceden belirlenmiş olan amaçlara erişebilmek için arzulanan en optimal aksiyomları sıralama, tasnifleme ve sonuç olarak seçebilme eylemlerini içerisinde barındırmaktadır. Bu sürece birçok yöntem, model ve analiz dahil edilebilmektedir. Karar Verme Sürecinin Aşamaları:



Şekil 4.3. Karar verme sürecine yön veren aşamalar (Küçükoğlu, 2020)

✓ Problemin Belirlenmesi (Birinci Aşama): Öncelikle karar vericiler ve karar verilmesi planlanan sorunlar bir tanımlama yapılarak spesifik hale getirilmelidir.

√Problem Oluşumuna Sebep Olan Nedenler (İkinci Aşama): Ortaya çıkmış olan sorun ya da sorunların nedenlerinin araştırıldığı aşamadır. Görünürdeki problemin temel sebeplerinin analizi gerçekleştirilmeye çalışılır.

√Alternatiflerin Tespit Edilmesi (Üçüncü Aşama): Problemin çözümlenmesine yönelik olan olası bütün alternatiflerin tanımlanarak değerlendirilmeye tabi tutulması noktasında çaba sarf edilen aşamadır. Nitekim her bir alternatif türü potansiyel bir optimal karar olma özelliği göstermektedir.

√ Alternatifleri Değerlendirme ve Kontrol Etme (Dördüncü Aşama): Belirlenmiş durumdaki bütün alternatiflerin tespit edilmiş veriler çerçevesinde değerlendirmesinin yapıldığı aşamadır. Bu değerlendirme sonucunda kazanımlar ve sağlanan fayda belirlenmektedir.

√Alternatiflerin Elenmesi (Beşinci Aşama): Alternatif hareket biçimlerinin olası kazanımları değerlendirilerek, yararlı olmayacak ve gerçekleşme şansı olamayan alternatifler elenir. Buna “üstünlük ilkesi” denir.

√En Uygun Alternatifin Belirlenmesi (Altıncı Aşama): Belirli aşamalardan geçerek elde edilen alternatifler içerisinde maksimum gelir ve maksimum faydanın sağladığı alternatifin belirlendiği aşamadır.

√Kararı Uygulama (Yedinci Aşama): Son olarak mevcut olan teknik, kaynak ve zamana uygun şekilde seçilen alternatif hareket biçimi uygulanır (Aytaç ve Gürsakal, 2015).

4.1.2. Karar verme sürecinin öğeleri

Bir eylem olarak karar verme süreci en az iki adet alternatif üzerinden hareket edilerek birini tercih etme üzerine yoğunlaşmaktadır. Nitekim bu sürecin faydalı olabilmesi adına birtakım öğelerin varlığından bahsetmek mümkündür. Bu öğeler (Yüce, 2018);

Karar Verici: Alternatif hareketler içinden en iyisini seçen, alternatifleri etkisi altına alıp onları değiştirebilen ve bir sorun ortaya çıktığında sorumlu olan kişi ya da kurumlardır.

Amaç: Karar vericiler tarafından tanımlanmış olan alternatif hareketlerden bir tanesinin tercih edilerek ulaşılması arzulanan durumdur.

Karar Kriteri (Nitelik, Ölçüt): Karar verici kimselerin alternatif hareket tarzlarının tanımlanması hususunda kendilerine referans aldıkları değer yargılarıdır. Karar verme eyleminin sebebini oluşturmaktadır.

Alternatif (Seçenekler): Karar vericilerin bir sorunu çözümlemede kullandıkları alternatif aksiyonlardır. Bunlar; karar vericiler aracılığıyla kontrol edilebilir ve değiştirilebilir.

Olaylar: Karar vericinin kontrol altında tutamadığı ancak karar verme faaliyetine etkisi kaçınılmaz olan dışsal çevre etmenleridir.

Kriter Ağırlığı: Karar vericinin sahip olduğu birtakım değerlere ve özelliklere göre problemin çözülmesinde kullanılan her bir kriterin taşıdığı önemi ifade etmek amacıyla kullanılan değerlerdir.

Karar Matrisi: Karara ilişkin problemlerin çözüme kavuşturulmasında kullanılan alternatif hareket biçimleriyle kriterlerin birlikte değerlendirildiği bir tablodur.

Sonuç: Karar verme sürecinin en sonunda ulaşılan kesin yargıdır (Yüce,2018).

4.1.3. Karar verme sürecinde etkili olan faktörler

Karar verme aşamalarında etkisi olan birden çok faktör mevcuttur. Bunlar objektif faktörler olabileceği gibi subjektif özellikler taşıyan faktörler de olabilmektedir. Sezgisel yeti, bilimsel yetkinlik ve tecrübe subjektif faktörleri oluşturmaktadır. Objektif olan faktörler ise karar vericilerin bireysel özellikleri dışında tutulmakta olan salgın, afet, savaş vb. gibi faktörlerdir (Kurt, 2003).

Karar verilme sürecinde etkili olan faktörler aşağıda görüldüğü gibidir (Bakan ve Büyükbeşe, 2008);

İyi Kararlar Verebilme Kaygısı: Mevcutta yer alan şartlar içerisinde karar vericiler en verimli kararı almak çabası içindedirler. Dolayısıyla bu husustan kaynaklı olarak kararın doğruluğuna ya da yeterince iyi olup olmadığına yönelik net olamama sorunu yaşamaktadırlar. Yaşanması muhtemel olan bu düşünce anksiyete bozukluğuna kadar gidebilmektedir. Bu nedenle de karar vericilerin kendilerine kurdukları baskı, kararın niteliğini ve niceliğini etkisi altına almaktadır.

Kararların Çevresi: Kararın verilmesi sürecine etki eden birtakım fiziksel çevre unsurları olabilmektedir. Kişiler ya da kurumlar bu çevre dinamikleriyle dengeli ve uyumlu hareket ederek karar vermek durumundadırlar.

Kararlarda Zaman Faktörü: Karar verildikten ve belirli altyapı oluşturulduktan sonra açıklanması için en uygun zamanın belirlenmesi gerekmektedir. Bu açıklama esnasında kararın gerekçelerini sunmak da önem arz etmektedir.

Kararların İletilmesi: Kararın uygulanmasıyla sorumlu olan birey ya da kuruluşlar bağlı oldukları sosyal çevreye en uygun biçimde verilen kararı iletmekle yükümlüdür. Kararın uygulamasında iletişim son derece önemli bir rol üstlenmektedir.

Karar Vermede Psikolojik Sorunlar: Kararı verenlerin o an içerisindeki psikolojik durumları verilmekte olan kararları etkilemektedir.

Karar Verme ve Sezgisel Yöntem: Kararı vermekte olan karar vericilerin belirli durumlarda zor durumlarla karşı karşıya kalması söz konusu olabilmektedir. Böylesi durumlarda sürecin tıkanmaması adına sezgisel olan ancak akla uygun kolaylaştırıcı yöntemlerin kullanımı gerekli görülmektedir (Bakan ve Büyükbeşe 2008).

4.2. Tek Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Bir işletmenin yönetilmesi hususundaki verilen kararlarını niteliksel olarak birçok sınıfa ayırabilmek mümkündür. Bu birbirinden farklı ve çok sayıdaki karar tiplerinin

en çok tercih edilenleri şu şekilde sıralanabilmektedir (Koçel, 2001);

- Programlanabilme özelliğine sahip olan ya da olmayan kararlar,
- Operasyonel odaklı veya strateji odaklı kararlar,
- Bireysel ya da grup içerikli kararlar,
- Alt ve üst düzey kararlar,
- Karar verme şartlarına göre değişmekte olan belirlilik ve belirsizlik durumunda verilmekte olan kararlar.

Yukarıda belirtilen tasniflere göre verilmiş olan bir kararın tek bir tasnif içerisinde değerlendirilmek durumunda olmadığı görülmektedir. Örneğin bir karar hem operasyonel hem de grup odaklı olabilmektedir (Koçel, 2001). Bir süreç olarak karar verme durumu, karara etki eden etmenlerin gerçekleşme olasılıklarından, alternatiflerinin vereceği neticelerin kesin bir biçimde bilinmemesinden ve hangi seçeneğin en optimal sonucu vereceğinin bilinmemesinden son derece etkilenebilmektedir. Aynı zamanda karar için gerekli olan verilere yeterince sahip olunup olunmadığı da son derece büyük bir etkiye sahiptir. Bu sebeple karar verme hareketi, meydana gelebilmesi muhtemel olan olaylara göre şu şekilde tasnif edilebilmektedir (Sezen, 2004);

- Belirlilik durumunda karar verme
- Belirsizlik durumunda karar verme eylemi,
- Riskli durumda karar verme eylemi,
- Kısmi bilgi altında karar verme eylemi,

4.2.1. Belirlilik Durumunda Karar Verme

Karar matrisinde; karar problemleri, yalnızca bir olayın alternatif hareket türlerinin olduğu ve ne gibi sonuçları doğuracağı kesin ve değişmez bir biçimde ele alınmaktadır. Öyle ki kısaca alternatiflerle alakalı faktörlerin oluşma ihtimali 1'dir (Aktaş vd., 2015). Bir diğer açıklamaya göre belirlilik durumunun mevcut olduğu şartlarda karar verme faaliyetinin esas amacı oluşacak olan değeri en üst seviyede tutmaksa; karar problemleri içerisinde en fazla getiri sağlayan seçilmektedir. Tam tersi olarak ise ilgili husus en düşük seviyede tutulmak isteniyorsa seçenekler içerisinde götürüsü en düşük olanı seçmek gerekmektedir (Yıldırım ve Önder, 2015).

Kararı veren kişi ya da kişilerin devlet tahvillerine yönelik bir yatırım gerçekleştirmeye karar vermesi durumu bu hususa oldukça uygun bir örnek olma özelliği gösterir. Bahsi geçen devlet tahvili yatırımı neticesinde devletin uygulamakta olduğu faiz oranı kesin bir biçimde bilinir olduğu için kazanılması muhtemel olan rakam önceden belirlidir. Nitekim genel itibariyle kurumsal içerikli birçok karar belirlilik koşulları çerçevesinde verilememektedir (Sağır, 2006). Bu durum; güncel yaşamda karar vericilerin kontrol alanı dışındaki karar verme sürecine etkisi bulunan birçok etmenin mevcut olmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Belirli bir çerçevede karar verme eylemini gerçekleştirme tüm etmenler üzerinde kontrol sahibi olmayı gerektirir.

4.2.2. Belirsizlik Durumunda Karar Verme

Karara dair problemlerin, her zaman belirli bir durumda olmasını beklemek çok doğru bir hareket değildir. Öyle ki bazen belirsizlik durumunda karar verme eylemini gerçekleştirmek durumunda kalınmaktadır. Belirsizlik durumunun hkim olduğu durumlarda karar verenlerin geleceğe dair öngörülerini kullanması gerekmektedir. Bu nedenle sezilere dair tüm ihtimallerin değerlendirilmesi kararı güçlü kılmak adına büyük önem arz etmektedir (Akar, 2018). Karar problemlerinde yalnızca bilinmezlik söz konusu olmaz az bilinirlik de mevzu bahis olmaktadır. Öyle ki eldeki verilerin yetersiz olması durumunda da belirsizlik ortaya çıkmış olacaktır. Bu durumda da çok fazla analiz yapmak ve birçok ihtimali göz önünde bulundurmak karar vericiler için oldukça güç bir süreci başlatmaktadır. Bu nedenledir ki en zor ve de en yaygın karar verme eylem çeşidi belirsizlik ortamında karar verme eylemidir.

Belirsizlik halinde karar vericilere destek olan en kritik kriterler aşağıda sıralanmıştır (Can,2015);

- Laplace: Eşit Olasılık
- Maksimin: Kötümserlik
- Maksimaks: İyimserlik
- Minimaks: Pişmanlık
- Hurwicz: Gerçekçilik

4.2.3. Risk Altında Karar Verme

Riskli durumlarda karar vermek, her bir seçeneğin birbirinden farklı ve değişken her koşul için gerçekleşme ihtimalini düşünme durumunu ortaya çıkarmaktadır. Belirli olasılıklara dikkat edilmesi gerekmekte ve kararın öncesi ve sonrasına dair risklerin olması söz konusudur. (Öztürk, 2012).

Karar veren konumunda bulunan kişiler, risk taşıyan şartlar altında karar verme eyleminin gerçekleşmesi için beklenti içerisinde olunan olayların neler olduklarına ve gerçekleşme olasılıklarını bilirler. Tam da bu hususta belirsizlik durumunda karar vermekten farklılık göstermektedir (Akar, 2018).

4.2.4. Kısmi Bilgi Halinde Karar Verme

Hayatın standart akışında karar verenler, karşı karşıya kalmış oldukları karar ile alakalı sorunlarının çözümünden beledikleri olayların başlarına gelme olasılıklarını kesin bir biçimde bilememektedirler. Buna rağmen; anket faaliyetleri, Pazar analizleri, simülasyonlar, bilirkişi ve uzman desteği, ürünlerin test çalışmaları, bilgi havuzu, saha tecrübesi gibi faaliyetlerden faydalanarak yüksek düzeyde bir doğru karar oranı yakalayabilmektedirler.

Ancak bu yapılan tüm işlemlerin bir maliyeti olduğu unutulmamalıdır. Karar verici bu maliyet ile elde edeceği bilgiyi değerlendirerek bu işlemleri yapıp yapmamaya karar vermektedir.

4.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Günlük hayatta karar verme problemleri genellikle birden çok kritere sahiptir. Birden fazla kriterin değerlendirmeye alınarak alternatif seçenekler arasından, en optimal olanın seçilmesi, sıralanması ya da sınıflandırılması, çok kriterli karar verme olarak tanımlanır (Özden, 2009).

Çok kriterli karar verme yöntemleri karar biliminde yer alan ve farklı yaklaşımları içeren karar verme yöntemleridir (Uludağ ve Doğan, 2016). Bu yöntemlere karar

verme süreçlerini etkileyen değişkenler ve kriterlere göre çözüme ve faydaya yönelik en yüksek verimi elde etme prensibine dayanmaktadır.

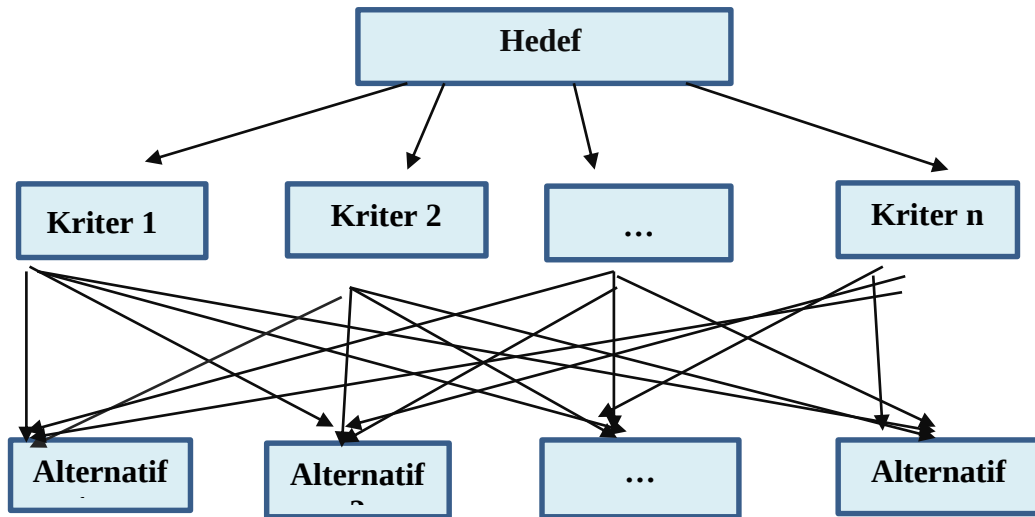
Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), MULTIMOORA, VIKOR, SWARA, ELECTRE, TOPSIS çok kriterli karar verme tekniklerinden bazılarıdır.

Burada bulunan tekniklerden birkaç tanesini açıklayıp TOPSIS yöntemi ile çalışmamıza devam edeceğiz.

4.3.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) Yöntemi

AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en önemli yöntemlerden birisidir. Yöntemin en önemli avantajları arasında alt ve ana kriterleri ağırlıklarının hesaplanması yaklaşımının kullanılmasıdır (Uludağ ve Doğan, 2016). Temel olarak üç düzeyden oluşmaktadır. Bunlar: birinci düzey; Hedef, ikinci düzey Kriterler, son olarak üçüncü düzey; Alternatiflerdir.

AHP yöntemi, kriterleri ve alternatifleri sayısal hale getirerek ve bunları genel hedefle ilişkilendirerek, ihtiyaç duyulan bir karar için rasyonel bir çerçeveyi sağlamayı hedeflemektedir.



Şekil 4.4. AHP hiyerarşik yapı (Ömürbek ve Şimşek, 2014)

Yukarıdaki şekilde AHP süreçleri ile ilgili bir hiyerarşik yapı örneği sunulmuştur.

Buna göre farklı kriterler ve alternatifler belirlemek çözüm sürecinin en önemli adımlarındandır (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

Modelin en üstünde hedef belirlenir ve yazılır. Sonrasında ise kriterler ve alternatifler belirlenir. Modelleme sonucunda oluşturulan alternatifler içinden en faydalısı seçilerek uygulanır. Analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak yapılan çok kriterli programlama, alternatiflerin önceliklendirilmesinde ve seçiminde birçok değişkenin veya kriterin dikkate alındığı karmaşık ortamlarda karar verme tekniği olarak kullanılmaktadır (Vargas, 2010).

Tüm karşılaştırmalar yapıldıktan ve değerlendirilecek her bir kriter arasındaki bağıl ağırlıklar belirlendikten sonra, her bir alternatifin sayısal olasılığı hesaplanır (Vargas, 2021). Bu olasılık, alternatifin beklenen amacı yerine getirme olasılığını belirler. Olasılık ne kadar yüksekse, alternatifin portföyün nihai hedefini karşılama olasılığı da o kadar yüksektir.

4.3.2. MULTIMOORA Yöntemi

AHP ve TOPSIS karar verme tekniklerine alternatif olarak geliştirilen MULTIMOORA çok kullanışlı bir çok kriterli karar verme yöntemidir (Hafezalkotob vd., 2019).

MULTIMOORA, karşılaştırılabilir derecelendirmeler oluşturmak için vektör normalleştirme tekniğini ve Oran Sistemi, Referans Noktası Yaklaşımı ve Tam Çarpımsal Form başlıklı üç alt sıralama yöntemini kullanır (Hafezalkotob vd., 2019). Üç sıralama yönteminin her birinin bazı ayrıcalıkları ve eksiklikleri vardır; bu nedenle, MULTIMOORA yönteminde birden fazla yaklaşım kullanır.

4.3.3. VIKOR Yöntemi

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija IKompromisno Resenje) yöntemi farklı birimle ölçülen, birbiriyle çelişebilen kriterlerden oluşan problemlerin çözümü için kullanılan bir yöntemdir. VIKOR yöntemi Opricovicve Tzeng (2004) tarafından önerilmiştir. Buna göre kriterlerin hepsi göz önüne alınıp bunlardan ideal çözüme en

yakın olan çözümler üretilir ve alternatifler arasından en iyi olanın seçilmesi veya bu alternatiflerin performanslarına göre sıralanması için de kullanılır.

4.3.4. SWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi), karar verme probleminde kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılır. Bu yöntem Keršulienė vd.(2010) tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin temel özelliği, kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında kriterlerin önem oranlarına ilişkin uzman görüşlerini tahmin edebilme yeteneği olmasıdır. Bu yüzden literatürde uzman odaklı yöntem olarak bilinir. Ayrıca yöntem, uzmanlardan bilgi toplanması ve bunların bir araya getirilmesi bakımından önemlidir (Aghdaie vd., 2013a). Yöntem, doğrudan kriterler ve öncelikleri hakkında karar verebilmekte bu nedenle kriter ağırlıklarının önceden bilindiği durumlar için de uygun olmaktadır (Zolfani vd., 2015; Tuş Işık ve Aytaç Adalı, 2016).

4.3.5. ELECTRE Yöntemi

Alternatiflerin performanslarına göre birbirleriyle kıyaslanarak seçim yapılması temeline dayanan ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) yöntemi ilk olarak Benayoun, Roy ve arkadaşları tarafından 1966 yılında önerilmiş ve araştırmacılar tarafından çok tartışılan bir yöntem olmuştur. Daha sonra Nijkamp Van Delft (1977) ve Voogd (1983) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem farklı alternatiflerin bütün mümkün çiftlerin kriterlerinin karşılaştırılarak ve alternatiflerin kriterler bazında skorlarını ortaya koyan bir analizdir. Bu yöntemde de diğer yöntemlerde olduğu gibi; karar matrisinde bulunan tüm bilgiler kullanılarak, her bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırmaları yapılmaktadır. A_k ve A_l gibi iki alternatifin kriter bazında tercih edilebilirliğindeki üstünlük ilişkisi $A_k \rightarrow A_l$ şeklinde gösterilmektedir ve A_k , A_l 'ye göre daha üstündür veya tercih edilir diye ifade edilmektedir. (Özden, 2009).

Bu yöntem temel olarak; daha az üstün olan alternatifleri eleyerek çözüm sağladığından, kriter sayısının az, alternatif sayısının çok olduğu karar problemleri için uygundur.

4.3.6. TOPSIS yöntemi

TOPSIS yöntemi, çeşitli sektörlerdeki işletmelerde, toplanan verilere dayalı olarak analitik karar verme amacıyla kullanılmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde karar vericiler farklı özelliklere sahip olan alternatifleri birden çok kritere göre değerlendirerek sıralamaktadır (Türkmen ve Çığıl, 2012:63).

Bu yöntem ekonomide yönetim problemleri, veri tabanı seçimi, muhasebe-finansta sermaye yatırımı, karar destek, üretim, makro ekonomik planlama, pazarlama, ürün tasarımı, pazarlama stratejisi planlama, portföy seçimi, risk analizi, başvuru değerlendirmeleri, grup karar verme, tesis yeri seçimi, kaynak tahsisi, politika-strateji, ulaştırma, silah kontrolü, eğitim, çevresel kararlar, sağlık, kamu sektörü, pazar seçimi, portföy seçimi, bilgisayar ve bilgi seçimi gibi alanlarda kullanılabilmektedir (Özkan, 2007:124).

TOPSIS yöntemi, ELECTRE yöntemine alternatif olarak geliştirilmiş ve çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur.

TOPSIS yöntemi ile tüm alternatiflerin pozitif ve negatif-ideal çözümünden olan uzaklıkları Euclid uzaklığı yardımıyla hesaplanır ve her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğu varsayılır. Pozitif-ideal çözüme en yakın, negatif-ideal çözüme en uzak mesafede olan alternatif en iyi alternatif olarak kabul edilir. Tüm alternatifler buna göre sıralanarak probleme çözüm getirmektedir (Özden,2009).

İdeal çözüm, tüm kriterler göz önüne alındığında seçilen alternatifin bu kriterleri ideal seviyelerde yerine getirmesidir.

Pozitif-İdeal Çözüm:

$$A^* = (x_1^*, x_j^*, \dots, x_n^*)$$

x_j^* değeri, j'inci kriterin tüm alternatifler için en iyi değeridir.

Negatif-İdeal Çözüm:

$$A^- = (x_1^-, \dots, x_j^-, \dots, x_n^-)$$

x_j^- değeri, j'inci kriterin tüm alternatifler için en kötü değeridir.

4.3.6.1. Topsis yönteminin aşamaları

- Yöntemin ilk aşamasında; problemler tanımlanarak, karar verme problemindeki ulaşılmak istenilen amaç belirlenir.
- Yöntemin ikinci aşamasında; karar verme problemindeki alternatiflerin sahip olduğu kriterler belirlenir.
- Yöntemin üçüncü aşaması; alternatifler belirlenmesidir.
- Yöntemin dördüncü aşaması; karar kriterleri ve alternatiflerden oluşan karar matrisinin oluşturulmasıdır.
- Yöntemin beşinci aşaması; karar matrisi değerlerinin ölçü birimlerinden bağımsızlaştırılıp karşılaştırma yapılabilmesi için normleştirme işleminin yapılması gerekir.
- Yöntemin altıncı aşamasında; uzman görüşü alınarak kriterlerin önem derecesine göre ağırlıkları belirlenir. Bu kriter ağırlıklarının toplamı 1'e eşit olmalıdır.
- Yöntemin yedinci aşamasında; normleştirilmiş karar matrisindeki her bir değer kriter ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklı normleştirilmiş karar matrisi elde edilmiş olur.(V)
- Yöntemin sekizinci aşamasında; her bir kritere ait maksimum ve minimum değerler belirlenir. Alternatiflerin içinde maksimum değere sahip olanlar pozitif ideal çözüm olarak(A^*), minimum değerlere sahip olanlar negatif ideal çözüm olarak (A^-) çözüme alınır.
- Yöntemin dokuzuncu aşamasında; S_i^* ile gösterilen her bir alternatifin ideal çözümden euclid (öklid) anlayışına göre uzaklığı ve S_i^- ile gösterilen her bir alternatifin negatif ideal çözümden euclid (öklid) anlayışına göre uzaklığı hesaplanır.

- Yöntemin onuncu aşamasında; C_i^* ile gösterilen her bir alternatifin ideal çözüme görece yakınlıkları hesaplanır.
- Yöntemin on birinci aşamasında; alternatifler yukarıda hesaplanan C_i^* değerlerine göre sıralanırlar.



5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu kısmında hedeflenen amaçlara ulaşmak için TOPSIS yöntemi uygulanarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. TOPSIS yöntemi ile incelenen HES'lerden kurulum süreçlerinde ve çalışmaya başlamalarından sonraki teknik veriler kullanılarak en önemli alternatifler belirlenmiştir. En optimum HES'lerin seçiminde yapılan hesaplamalar kısaca açıklanmaktadır.

5.1. Çalışma Kapsamında İncelenen HES' ler

Bu tez çalışması kapsamında aktif halde olan ve kurulu güçleri 28.713,5MW olan toplam 685 tane HES arasından, kurulu güçleri 130 MW ile 771 MW arasında değişen 17 tane küçük ve orta ölçekli HES seçilmiş, incelenen HES listesi tablo 5.1'de sunulmuştur. Seçilen HES'lerin çoğunluğu Doğu Anadolu bölgesinde olmak üzere bazıları Karadeniz, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz bölgesinde bulunmaktadır. HES yapımını gerçekleştiren firmalar arasında ise kamu ve özel şirketler vardır. Bunlardan bazıları Batman Enerji, Akenerji, Cengiz Enerji, Palmet Enerji, Borusan Enerji'dir.

Çizelge 5.1. Çalışma için seçilen HES'ler

Alternatif (Santral Adı)	Bulunduğu il
1. Aksu	Erzurum
2. Berta	Artvin
3. Beyhan	Elâzığ
4. Cizre	Diyarbakır
5. Çukurca	Hakkari
6. Dilektaş	Hakkari
7. Doğanlı	Hakkari
8. Eriç	Erzincan
9. İvme	Batman
10. Kayraktepe	Mersin
11. Kemah	Erzincan
12. Keskin	Siirt
13. Konaktepe	Tunceli
14. Pervari	Siirt
15. Silopi	Şırnak
16. Silvan	Diyarbakır
17. Yusufeli	Artvin

5.2. Topsis Yönteminin Uygulanması

TOPSIS yöntemi ile karar verme aşağıda görüldüğü gibi 11 aşamada açıklanabilir:

5.2.1. Problemin tanımlanması

Bu aşamada karar verme problemi ve karar verme probleminin amacı belirlenir. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden TOPSIS yöntemi ile Türkiye’de küçük ve orta ölçekli HES’ler içinden en ideal olanı belirlemek istiyoruz.

5.2.2. Kriterlerin belirlenmesi

Bu tez çalışmasında incelenen HES’ler ile ilgili toplam 6 kriter belirlenmiştir. Her bir kriterin hidroelektrik santrallerin en önemli teknik özellikleri olmasına dikkat edilmiştir. Kriterler ülkemizde kurulu olan küçük ve orta ölçekli HES’lerin teknik özellikleri belirlenerek seçilmiştir.

Kriterler, birimleri ve temsil ettiği kodlar aşağıdaki gibidir:

1. Kurulu Gücü (MW; C1),
2. Yıllık Enerji Üretimi Kapasitesi (GWh; C2),
3. Net Hidrolik Düşü (C3; Temelden yükseklik m),
4. Depolama Kapasitesi Alanı (Yüzey Göl Alanı) (C4; hm^2 veya km^2),
5. Türbin (Ünite) Sayısı (C5; adet),
6. Su Seviyesi (C6; m)

5.2.3. Alternatiflerin belirlenmesi

Çalışmada seçilen HES’lerin küçük ve orta büyüklükte olması, 2000 yılından sonra yapılmış ve teknik analiz sonuçlarından elde edilen özelliklerin birbirine benzer olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen HES’ler aşağıdaki gibidir:

Aksu (Erzurum), Berta (Artvin), Beyhan (Elâzığ), Cizre (Diyarbakır), Çukurca (Hakkari), Dilektaş (Hakkari), Doğanlı (Hakkari), Eriç (Erzincan), İvme (Batman), Kayraktepe (Mersin), Kemah (Erzincan), Keskin (Siirt), Konaktepe (Tunceli), Pervari (Siirt), Silopi (Mardin), Silvan (Diyarbakır), Yusufeli (Artvin)

Ülkemizde halen faaliyet gösteren HES'ler bulundukları bölgelerde en önemli su ve elektrik enerjisi kaynağı olarak kabul edilmektedir. İncelenen HES'lerin dokuz tanesi Doğu Anadolu bölgesinde, bir tanesi Akdeniz bölgesinde, beş tanesi Güneydoğu Anadolu, iki tanesi Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır.

5.2.4. Karar matrisinin oluşturulması

Her bir satırda alternatifler, sütunlarda ise kriterler olacak şekilde karar matrisi oluşturulur. Belirlenen kriterlerin önem derecesine göre ağırlıkları farklıdır. Başlangıç matrisi olarak oluşturduğumuz bu matris A matrisidir.

Çizelge 5.2. Karar matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1. Aksu	160	136	147	1,8	1	1234
2. Berta	147	265	138	7,3	2	1059
3. Beyhan	582	1294	97	1,3	4	982
4. Cizre	331	1200	135	3,3	6	135
5. Çukurca	771	2164	122	4,3	3	122
6. Dilektaş	130	316	328	3,2	2	1710
7. Doğanlı	770	2165	375	4,3	2	365
8. Eriç	283	0,8	97	5,7	3	564
9. İvme	152	444	187	3,5	8	102
10. Kayraktepe	282	689	90	59	2	124
11. Kemah	198	0,57	156	8,3	2	650
12. Keskin	318	0,9	243	4,3	2	189
13. Konaktepe	201	0,58	116	14,2	1	352
14. Pervani	409	231	154	3	3	254
15. Silopi	240	1,78	79,5	2	1	93
16. Silvan	160	0,68	162	1,8	4	235
17. Yusufeli	540	1705	196	2,1	3	1430

Tabloda verilen alternatifler literatür ve kamu verileri kullanılarak elde edilmiştir. Alternatif seçenekler maksimum ve minimum değerler arasında ve ideal olma durumları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

5.2.5. Karar matrisinin normalleştirilmesi

Tablo 5.2 de gösterilen satırlar, HES seçiminde karar alınacak alternatifleri sütunlar ise analizde değerlendirilen parametreleri göstermektedir.

Karar matrisinde elde edilen alternatifler ve kriterler normalleştirilmelidir. Bunun sebebi; kriterlerin her biri farklı birimlidir kıyaslayabilmek için kriterlerin birimden bağımsız olması gerekir. Bu sebepten dolayı kriterlerin sahip olduğu değerlerin kareleri toplanmış ve toplam değerlerin karekökü alınarak bütün değerlerin 0 ile +1 arasında olması sağlanmıştır.

Karar matrisinin normalleştirilmesi aşamasında, alternatif sayısı(m), kriter sayısı(n) kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi (R) oluşturulur. ve i'inci alternatifin j'inci kriter için normalleştirilmiş değeri r_{ij} ile gösterilir.

R matrisinin r_{ij} değerleri;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \quad (j=1,2,\dots,n, \quad i = 1,2,\dots,m) \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Bu formüle göre hesaplanan değerler sonucunda Tablo 5.3. te görülen Normalleştirilmiş Karar Matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 5.3. Normalleştirilmiş karar matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1. Aksu	0,09210	0,03368	0,19379	0,02863	0,07161	0,39422
2. Berta	0,09110	0,16603	0,08646	0,00457	0,00125	0,66347
3. Beyhan	0,36463	0,81070	0,06077	0,00081	0,00251	0,61523
4. Cizre	0,20738	0,75181	0,08458	0,00207	0,00376	0,08458
5. Çukurca	0,48304	1,35577	0,07643	0,00269	0,00188	0,07643
6. Dilektaş	0,08145	0,19798	0,20550	0,00200	0,00125	1,07133
7. Doğanlı	0,48241	1,35640	0,23494	0,00269	0,00125	0,22868
8. Eriç	0,17730	0,00050	0,06077	0,00357	0,00188	0,35335
9. İvme	0,09523	0,27817	0,11716	0,00219	0,00501	0,06390

10. Kayraktepe	0,17668	0,43167	0,05639	0,03696	0,00125	0,07769
11. Kemah	0,12405	0,00036	0,09774	0,00520	0,00125	0,40723
12. Keskin	0,19923	0,00056	0,15224	0,00269	0,00125	0,11841
13. Konaktepe	0,12593	0,00036	0,07268	0,00890	0,00063	0,22053
14. Pervani	0,25624	0,14472	0,09648	0,00188	0,00188	0,15913
15. Silopi	0,00150	0,00112	0,04981	0,00125	0,00063	0,05827
16. Silvan	0,10024	0,00043	0,10149	0,00113	0,00251	0,14723
17. Yusufeli	0,33832	1,06820	0,12280	0,00132	0,00188	0,89591

5.2.6. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Bu adımda, karar verme probleminde alternatiflerin, uzman görüşü alınarak belirlenen kriterler doğrultusunda sıralanabilmesi işlemi bu kriterlerin ağırlıkları dikkate alınarak yapılmalıdır. Kurulu güç, yıllık enerji üretim kapasitesi, net hidrolik düşü HES kurulumunda en önemli kriterlerdir. Bu yüzden TOPSIS ideal çözüm hedefi maksimum diğer kriterlerin minimum ağırlıkları alınarak işlemlere devam edilmiştir. HES seçim kriterleri olan 6 kriter kurumsal ve kamu raporları doğrultusunda yapılan çalışmalar sonucunda seçim kriterleri aşağıda Tablo 5.4. te belirtilmiştir. Her bir kriter için belirlenen ağırlıklar TOPSIS hesaplamasında kullanılacaktır (Aslay, 2021).

Çizelge 5.4. HES seçim kriterleri

Kriter	Kriter İsmi	Karar Parametresi	TOPSIS İdeal Çözüm Hedefi	Ağırlığı
C1	Kurulu Gücü	Üretim Gücü	Maksimum	0.30
C2	Yıllık Enerji Üretimi Kapasitesi	Kapasite	Maksimum	0.30
C3	Net Hidrolik Düşü	Hidrolik Değer	Maksimum	0.10
C4	Depolama Kapasitesi	Depolama	Minimum	0.10
C5	Türbin Sayısı	Teknik Üretim Kapasitesi	Minimum	0.10
C6	Su Seviyesi	Su Kapasitesi	Minimum	0.10

Belirlenen ağırlıklara göre V matrisi $V = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ şeklinde ifade edilir.

$w_1, w_2, \dots, w_n$ kriter ağırlıklarının toplamı 1 olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1$$

Yukarıdaki tabloda yer alan bilgilere göre kurulu güçleri, yıllık üretim kapasitesi 0.30; net hidrolik düşüleri, depolama kapasitesi, türbinlerin sayısı ve su seviyeleri ise 0,10 önem derecesi katsayıları ile belirlenmiştir. Normalleştirilmiş matris ile oluşturulan r değerleri w_{ij} ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalleştirilmiş matris (V) elde edilmektedir. Başka bir ifade ile R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur.

$$V_{ij} = \begin{vmatrix} W_1 r_{11} & W_2 r_{12} & \dots & W_n r_{1n} \\ W_1 r_{21} & W_2 r_{22} & \dots & W_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_1 r_{m1} & W_2 r_{m2} & \dots & W_n r_{mn} \end{vmatrix}$$

5.2.7. Normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması

Kriterlerin uzman görüşü alınarak belirlenen ağırlıkları ile normalleştirilmiş karar matrisinin her bir elemanı çarpılarak Tablo 5.5'te görülen ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi elde edilir.

Çizelge 5.5. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1. Aksu	0,0276	0,0101	0,0388	0,0029	0,0072	0,0394
2. Berta	0,0276	0,0498	0,0173	0,0005	0,0001	0,0663
3. Beyhan	0,1094	0,2432	0,0122	0,0001	0,0003	0,0615
4. Cizre	0,0622	0,2255	0,0169	0,0002	0,0004	0,0085
5. Çukurca	0,1449	0,4067	0,0153	0,0003	0,0002	0,0076
6. Dilektaşlı	0,0244	0,0594	0,0411	0,0002	0,0001	0,1071
7. Doğanlı	0,1447	0,4069	0,0470	0,0003	0,0001	0,0229
8. Eriç	0,0532	0,0002	0,0122	0,0004	0,0002	0,0353

9. İvme	0,0286	0,0835	0,0234	0,0002	0,0005	0,0064
10. Kayraktepe	0,0530	0,1295	0,0113	0,0037	0,0001	0,0078
11. Kemah	0,0372	0,0001	0,0195	0,0005	0,0001	0,0407
12. Keskin	0,0598	0,0002	0,0304	0,0003	0,0001	0,0118
13. Konaktepe	0,0378	0,0001	0,0145	0,0009	0,0001	0,0221
14. Pervani	0,0769	0,0434	0,0193	0,0002	0,0002	0,0159
15. Silopi	0,0005	0,0003	0,0100	0,0001	0,0001	0,0058
16. Silvan	0,0301	0,0001	0,0203	0,0001	0,0003	0,0147
17. Yusufeli	0,1015	0,3205	0,0246	0,0001	0,0002	0,0896

5.2.8. İdeal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin belirlenmesi

Bu aşamada her bir sütundaki maksimum V_j, j' inci kriter değerinin en yüksek olduğu alternatifin tercih edilmesi A^* ideal çözümü verir. Bu çözüme fayda sağlayan A^* ideal çözümü, A^- negatif ideal çözümü göstermektedir.

Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra ise pozitif ideal çözüm (A^*) ve negatif ideal çözüm (A^-) noktaları ağırlıklandırılmış karar matrisinde yer alan maksimum ve minimum değerler alınarak hesaplanır.

$A^* = \{V_1^*, \dots, V_k^*\}$: maksimum değerler

$A^- = \{V_1^-, \dots, V_k^-\}$: minimum değerler

Yukarıdaki hesaplamalar ve formüller kullanılarak hesaplanan pozitif ideal çözüm değerleri ve negatif ideal çözüm değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pozitif ideal çözüm (A ⁺)	0,145	0,407	0,047	0,004	0,007	0,107
Negatif ideal çözüm (A ⁻)	0,0005	0,0001	0,0100	0,0001	0,0001	0,0058

5.2.9. Ayırma ölçümünün hesaplanması

Bu aşamada, alternatiflerin her birinin ideal çözümden Euclid (öklid) uzaklığı S_i^* ile negatif-ideal çözümden uzaklığı S_i^- ile gösterildiği, aşağıdaki formüllerden yararlanılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (i=1,2,3,\dots,m)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (i=1,2,3,\dots,m)$$

5.2.10. İdeal çözüme görece yakınlığın hesaplanması

i alternatifinin ideal çözüme yakınlığı, C_i^* ile gösterilir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (i=1,2,3,\dots,m)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^*=0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir.

İdeal çözüme yakınlık değeri (C_i^*) çalışma içerisinde IBM Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değer ne kadar büyükse o değere sahip HES alternatifi daha iyi alternatif olarak sunulmuştur.

Elde edilen değerler hesaplanan pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri arasındaki uzaklık dereceleri (S_i^*) ve (S_i^-) hesaplanmıştır. Yakınlık dereceleri ise 0 ile +1 arasında hesaplanmış ve en ideal çözüme ve alternatife ulaşılmıştır. Yukarıdaki formüller ile hesaplanan değerlere göre yakınlık dereceleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 5.7. İdeal çözüme göre yakınlık ve uzaklık değerleri

Alternatif	S_i^+	S_i^-	C_i^*	Rank
1. AKSU	0,41945	0,05340	0,11292	13
2. BERTA	0,37942	0,08322	0,17989	10
3. BEYHAN	0,17731	0,27216	0,60551	4
4. CİZRE	0,22462	0,23386	0,51007	5
5. ÇUKURCA	0,10458	0,43155	0,80493	2
6. DİLEKTAŞI	0,36805	0,12379	0,25169	7
7. DOĞANLI	0,08450	0,43355	0,83689	1
8. ERİÇ	0,42469	0,06044	0,12459	12
9. İVME	0,35913	0,08897	0,19856	8
10. KAYRAKTEPE	0,31087	0,13971	0,31007	6
11. KEMAH	0,42707	0,05156	0,10773	14
12. KESKİN	0,42681	0,06299	0,12860	11
13. KONAKTEPE	0,43056	0,04093	0,08680	15
14. PERVANİ	0,38205	0,08887	0,18872	9
15. SİLOPİ	0,44491	0,00025	0,00056	17
16. SİLVAN	0,43364	0,03256	0,06984	16
17. YUSUFELİ	0,10124	0,34650	0,77388	3

5.2.11. Alternatiflerin sıralanması

Tablo 5.7’de hesaplanan çözüm değerleri sonucunda en ideal çözümler sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar sonrasında ise sıralama yapılmış ve en ideal HES çözümleri belirlenmiştir.

Sonuçlara göre ise Doğanlı, Çukurca, Yusufeli ve Beyhan en ideal HES değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

Bu değerler HES’lerin sahip oldukları veriler neticesinde ve ağırlıklandırılmış en ideal çözüm değerlerine göre oluşturulmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında toplam 17 orta ve küçük boyutlu HES seçilmiştir. Seçilen HES'ler son 20 yılda inşaa edilmiştir. TOPSIS yönteminde seçilen toplam 6 kritere göre yapılan veri analizi incelenmiştir.

Seçilen HES'ler için belirlenen kriterler, kodlar ve temsil edilen faktörlerden en önemlileri kurulu güçleri, yıllık enerji üretim kapasiteleridir. Bu özellikler teknik olarak en fazla katsayılara sahip olarak belirlenmiştir. Bölüm 5.2.2'de incelenen HES'lerle ilgili kriterler sunulmuştur. Kurulum güçleri olarak incelendiğinde en yüksek seviyeye sahip olanlar Çukurca, Doğanlı ve Beyhan hidroelektrik santralleri olarak görülmektedir. Ayrıca yıllık üretim kapasiteleri incelendiğinde ise Çukurca, Doğanlı ve Beyhan olduğu, net hidrolik düşüşleri incelendiğinde en yüksek değerlere sahip olanlar Doğanlı, Dilektaş ve Keskin olduğu görülmüştür.

TOPSIS yöntemi ile analiz edilen veriler sonucunda incelenen HES'ler sıralanmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile beraber en verimli ve kurulumu en iyi şekilde yapılan HES'ler sırasıyla Doğanlı, Çukurca, Yusufeli, Beyhan ve Cizre olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, incelenen HES'lerin teknik özellikleri ile yıllık üretim kapasiteleri ve toplam kapasitelerinin yüksek olması santralin daha verimli olacağı ve daha fazla kazanç sağlayacağını söyleyebiliriz.

KAYNAKLAR

- Abreu, T. L., Berg, S. B., de Faria, I. P., Gomes, L. P., Marinho-Filho, J. S., Colli, R. 2020. River dams and the stability of bird communities: Ahierarchical Bayesian analysis in a tropical hydroelectric power plant. *Journal of Applied Ecology*, 57(6), 1124-1136.
- Aktaş, R., Doğanay, M. M., Gökmen, Y., Gazibey, Y., Türen, U. 2015. Sayısal Karar Verme Yöntemleri. İstanbul: Beta Yayınevi.
- Akusta, E., Cergibozan, R. 2020. Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyümenin çevre üzerinde etkisi: Türkiye örneği. *Öneri Dergisi*, 15(54), 431-462.
- Allerhand, A. 2020. Hydroelectric Power: The First 30 Years [History]. *IEEE Power and Energy Magazine*, 18(5), 76-87.
- Altınöz, O. T., Kosalay, I., Gezer, D. 2020. Optimal Controller Design for Speed Governors of Hydroelectric Power Plant. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 18(2), 72-84.
- Aslay, F. 2021. TOPSİS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panel Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 548- 551
- Aytaç, M., Gürsakal, N. 2015. Karar Verme. Bursa: Dora Basımevi.
- Bakan, İ., Büyükbeye, İ. 2008. Katılımcı Karar Verme: Kararlara Katılım Konusunda Çalışanların Düşüncelerine Yönelik Bir Alan Çalışması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:13, 29-56.
- Bayazıt, Y. 2013. Seydisuyu Havzasının hidroelektrik potansiyelinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Anadolu Üniversitesi.
- Bekar, N. 2020. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3(1), 37-54.
- Bodur, G., Şenyuva, E. 2013. Üniversite öğrencilerinin hidroelektrik enerji santrallerine (HES) ilişkin görüşleri ile çevreye yönelik tutumları arasındaki ilişki. *Cumhuriyet Uluslararası Eğitim Dergisi*, 2(4), 27-38.
- Bozkurt, S., Tür, R. 2015. Dünyada ve Türkiye'de Hidroelektrik Enerji, Gelişimi ve Genel Değerlendirme. *Su Yapıları Sempozyumu Kitabı*. Antalya, Türkiye. 322 – 33
- Breeze, P. 2019. *Power Generation Technologies*. Newnes.
- Bulut, M., Özcan, E. 2021. A new approach to determine maintenance periods of the most critical hydroelectric power plant equipment. *Reliability Engineering System Safety*, 205, 107238.
- Can, M. 2015. Karar Teorisi. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Dora Yayınevi.

- Cinemre, N. 2011. Yöneylem Araştırması. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Çırak, B. 2019. Karaman ilinde yenilenebilir enerji uygulamaları. KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1(1), 1-36.
- Demireli, E. 2010. TOPSIS çok kriterli karar verme sistemi: Türkiye'deki kamu bankaları üzerine bir uygulama. Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, 5(1).
- Derse, O., Yontar, E. 2020. SWARA-TOPSIS yöntemi ile en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 31(3), 389- 419.
- Doğan, M. 1985. İşletmelerde Karar Verme Teknikler. İzmir: Bilgehan Basımevi.
- DSİ. 2000. Devlet Su İşleri Su Kaynakları. Erişim adresi: <https://www.dsi.gov.tr/>
- EMO. 2020. Türkiye elektrik enerjisi istatistikleri. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369
- Energy 2020. Types of Hydropower Plants. Erişim adresi: <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>
- Erdem, S., Gencer, C., Atmaca, E., Karaca, T., Aydoğan, E. K. 2013. Türkiye'de Enerji Santrallerinin AHP Yöntemi İle Seçimi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 243-252.
- Ertürk, M. 2020. Türkiye'nin enerji stratejisi. TURAN-SAM, 12(46), 150-160.
- ETKB.ETKB (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) 2019 Faaliyet Raporu. Erişim Tarihi:20.05.2020
https://enerjiapi.etkb.gov.tr/Media/Dizin/SGB/Faaliyet_Raporlari/2019/ETKB%202019%20Y%C4%B1%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu.pdf
- Gökdemir, M., Kömürcü, M. İ., Evcimen, T. U. (2012). Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış. İMO Su Yapıları Kurulu Raporu. Erişim adresi: https://izmir.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/16298_09_57.pdf
- Guitouni, A., Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. European Journal of Operational Research 2, no.109, s. 501-521. Guo, Z., Xiao, X., Li, D. (2000). An assessment of ecosystem services: water flow regulation hydroelectric power production. Ecological Applications, 10(3), 925-936.
- Gülay, A. N. 2008. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin geleceği ve Avrupa Birliği ile karşılaştırılması (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Liao, H., Herrera, F. 2019. An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: Theory, developments, applications, and challenges. Information Fusion, 51, 145-177.

- IHA, Türkiye’’de hidroelektrik enerji santralleri. Erişim adresi:
<https://www.hydropower.org/country-profiles/turkey>
- İmrek, M. K. 2003. Yöneticiler İçin Karar Verme Teknikleri El Kitabı. İstanbul: Beta Basım, Yayım, Dağıtım.
- Jawahar, C. P., Michael, P. A. (2017). A review on turbines for micro hydro power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 882-887.
- Karaaslan, A., Aydın, S. 2020. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(4), 1351-1375.
- Karaca, C., Ulutaş, A. 2018. Entropi ve Waspas yöntemleri kullanılarak Türkiye için uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi. *Ege Academic Review*, 18(3), 483-494.
- Karaca, C., Ulutaş, A., Eşgünoğlu, M. 2017. Türkiye’de optimal yenilenebilir enerji kaynağının COPRAS yöntemiyle tespiti ve yenilenebilir enerji yatırımlarının istihdam artırıcı etkisi. *Maliye Dergisi*, 172, 111-132.
- Kaygusuz, K. 2002. Sustainable development of Hydroelectric power. *Energy sources*, 24(9), 803-815.
- Keloğlu, N. 2006. Türkiye su kaynaklarının gelecekteki kullanımı ve hidroelektrik enerji üretimi. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*.
- Koç, E. Kaya, K. 2015. Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Koç, E., şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
- Koçel, T. 2001. İşletme Yöneticiliği. İstanbul: Beta Yayınları.
- Kul, Y. 2012. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Metotlarının Kullanılması. Ankara: Gazi Üniversitesi, FenBilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kurt, Ü. 2003. Karar Verme Sürecinde Yöneticilerin Kişilik Yapılarının Etkileri. Ankara: Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Kuru, A. 2011. Entegre Yönetim Sistemlerinde Çok Kriterli Karar Verme. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Küçükoğlu S. 2020. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Türkiye’de Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 115s. İstanbul.

- Külekçi, Ö. C. 2009. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 1(2), 83-91.
- Mercan, B. 2014. Orta Ölçekli Hidroelektrik Enerji Tesislerinin İncelenmesi İçin Örnek Bir Çalışma-Bağışlı Regülatörü ve HES (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).
- Muhammadiyev, M., Glovatskiy, O., Nasyrova, N., Karimova, N., Uulu, A. A., Boliev, A. (2020, December). Assessment of investment technologies for use of hydro-accumulating stations on intermediate channels of irrigation systems and water reservoirs. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012088). IOP Publishing.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403(6772), 853-858.
- Nasir, B. A. 2014. Design considerations of micro-hydro-electric power plant. Energy Procedia, 50, 19-29.
- Nilsson, C. 2013. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
- Opricovic, S. ve G.H.Tzeng, (2007), Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods, European Journal of Operational Research, Vol: 178, s.514-529
- Ömürbek, N., Şimşek, A. 2014. Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 12(22), 306-327.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., Eren, T. 2017. ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (2), 204 - 219.
- Özden, Ü. H. 2009. Türkiye'de ki Mevduat Bankalarının Performansları: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analiz. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Öztürk, A. 2012. Yöneylem Araştırması. Bursa: Ekin Yayınevi.
- Pavić, Z., Novoselac, V. 2013. Notes on TOPSIS method. International Journal of Research in Engineering and Science, 1(2), 5-12.
- Rosa-Clot, M., Tina, G. M. 2020. Integration of PV Floating With Hydroelectric Power Plants (HPPs). In Floating PV Plants (pp. 89-100). Academic Press.
- Sağır, C. 2006. Karar Verme Sürecini Etkileyen Faktörler ve Karar Verme Sürecinde Eti'nin Önemi: Uygulamalı Bir Araştırma. Edirne: Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

- Sepetçioğlu, M. Y. 2020. GAP özelinde türkiye su kaynaklı yenilenebilir enerji projeleri görünümü. Türk Hidrolik Dergisi, 4(1), 1-10.
- Shahgholian, G. 2020. An Overview of Hydroelectric Power Plant: Operation, Modeling, and Control. Journal of Renewable Energy and Environment, 7(3), 14-28.
- Soares, S., Salmazo, C. T. 1997. Minimum loss predispach model for hydroelectric power systems. IEEE Transactions on Power Systems, 12(3), 1220-1228.
- Süme, V., Fırat, S. 2020. Hidroelektrik Santraller ve Rize İlinde Bulunan Hidroelektrik Santrallerin Şehir ve Doğu Karadeniz Havzası İçin Önemi. Türk Hidrolik Dergisi, 4(2), 8-23.
- Şekkeli, M., Keçecioğlu, Ö. 2011. Hidroelektrik santrallerin Türkiye'deki gelişimi ve Kahramanmaraş bölgesi örnek çalışması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(2), 19-26.
- Tayşı, Ş. 2012. Türkiye'de Elektrik Üretiminde Kullanılacak Yakıt Türlerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Karar Modeli (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tekeş, M. 2002. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetleri'nde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Karşılaştırılması. İstanbul: Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Timor, M. 2010. Yöneylem Araştırması. İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- Turanlı, M. 1988. Pazarlama Yönetiminde Karar alma. İstanbul: Beta Basım.
- Twidell, J. W. ve Weir, A. D. (1986) Renewable Energy Resources. E. F.N. Spon, London.
- Ulucan, A. 2007. Yöneylem Araştırması, İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme. Ankara: Siyasal Yayınevi.
- Uludağ, A. S., Doğan, H. 2016. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(2), 17-48.
- USGS. 2012. Hydroelectric power water use. Erişim adresi: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-water-use?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- USGS. 2019. Three Gorges Dam: The world's largest hydroelectric plant. Erişim tarihi: 05.05.2020 https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/three-gorges-dam-worlds-largest-hydroelectric-plant?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

- USGS.2020. Hydroelektrik power: how it works.Erişim tarihi:05.05.2020
https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-how-it-works?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Ünal, Ö. F. 2014. Analitik Hiyerarşı Prosesi ile Yetkinlik Bazlı İnsan Kaynakları Yöneticisi Seçimi. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 28 (4), s. 55-77.
- Ürker, O., Çobanoğlu, N. 2017. Türkiye’de hidroelektrik santrallerin durumu (HES’ler) ve çevre politikaları bağlamında değeriendirilmesi. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 3(2).
- Vaidya, O. S., Kumar, S. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. European Journal of operational research, 169(1), 1-29.
- Vargas, R. V. 2010. Using the analytic hierarchy process (AHP) to select and prioritize projects in a portfolio. In PMI global congress (Vol. 32,No. 3, pp. 1-22).
- Yazıcı, E., Özcan, E., Alakaş, H. M., Eren, T. (2021). Hidroelektrik Santrallarda Bakım Strateji Optimizasyonu için Hiyerarşık Bir Karar Modeli Önerisi. Politeknik Dergisi, 1-1.
- Yıldırım, B. F., Önder , E. 2015. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri,. Bursa: Dora Basımevi.
- Yılmaz, M. 2012. Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- Yüce, H. U. 2018. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Türkiye’ de Yaşanabilecek İller Sıralaması. İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Yücel, M., Ulutaş, A. 2009. Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden ELECTRE Yöntemiyle Malatya’ da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi C. 9, S. 17, s. 330.
- Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L. 2006. Decision analysis in energy and environmental modeling. An update Energy 31, no. 14, s. 2604-2622.

EKLER

Ek A. İncelenen HES listesi

Alternatif (Santral Adı)	Bulunduğu il
1. Aksu	Erzurum
2. Berta	Artvin
3. Beyhan	Elâzığ
4. Cizre	Diyarbakır
5. Çukurca	Hakkari
6. Dilektaş	Hakkari
7. Doğanlı	Hakkari
8. Eriç	Erzincan
9. İvme	Batman
10. Kayraktepe	Mersin
11. Kemah	Erzincan
12. Keskin	Siirt
13. Konaktepe	Tunceli
14. Pervani	Erzincan
15. Silopi	Mardin
16. Silvan	Diyarbakır
17. Yusufeli	Artvin

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Semra ALBAYRAK

Eğitim Durumu

Lise : Turhal Lisesi

Lisans : Erciyes Üniversitesi,
Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı

Yayınlar :

Albayrak, S., Turanlı, M., 2022. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Göre Türkiye’de HES Seçimi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 21(41), 68 – 79.