

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**TÜRKİYE'DE YAPILMASI PLANLANAN SUALTI  
AKINTI ENERJİ TESİSİ KURULUMU İÇİN SWARA VE  
WASPAS YÖNTEMLERİ İLE YER SEÇİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan

**Ahmet İPEKÇİ**

İstanbul, 2019

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**TÜRKİYE'DE YAPILMASI PLANLANAN SUALTI  
AKINTI ENERJİ TESİSİ KURULUMU İÇİN SWARA VE  
WASPAS YÖNTEMLERİ İLE YER SEÇİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan

**Ahmet İPEKÇİ**

Öğrenci No:

160892007

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ganimet Nilay YÜCENUR

İstanbul, 2019

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Türkiye'de Yapılması Planlanan Sualtı Akıntı Enerji Tesisi Kurulumu için SWARA ve WASPAS Yöntemleri ile Yer Seçimi" adlı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde yazıldığını, yararlanılan eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve bu eserlerin çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde kendilerine atıf yapıldığını belirtir ve onurumla bunları doğrularım. 11.06.2019

**Ahmet İPEKÇİ**



T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

Beykent Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 160892007 no'lu Ahmet İREKÇİ'nin 11.06.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavı<sup>1</sup> sonucunda...60 dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında<sup>2</sup> oybirliğiyle, ..Kabul.. kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

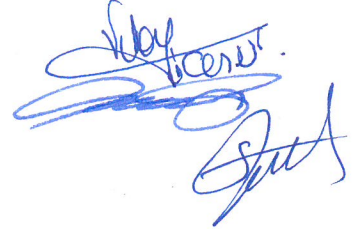
Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
Tez Başlığı<sup>3</sup> : TÜRKİYE'DE YAPILMASI PLANLANAN SUALTI AKINTI ENERJİ TESTİ KURULANLARI İÇİN SUYU VE YAPISAL YÖNTEMLERİ İLE YER SEÇİMİ

**Tez Sınav Jürisi**

**Öğretim Üyesi**

**İmza**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi G. Nilay YİĞİTÇİ  
Üye : Doç. Dr. ULDAN ÖZKUR  
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sait ÖZ



<sup>1</sup> Jüri üyeleri, söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45, en çok 90 dakikadır. Jüri üyeleri, sınav öncesi yapılacak toplantıda, kendi aralarından danışman dışında bir üyeyi başkan seçer. Tez sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-cevap bölümünden oluşur. Tez sınavı, öğretim elemanları, lisansüstü öğrenciler ve alanın uzmanlarından oluşan dinleyicilerin katılımına açık ortamlarda gerçekleştirilir. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda, jüri en geç on beş gün içinde toplanarak adayı tez savunma sınavına alır. (05 Ağustos 2017 tarihli 30145 sayılı Resmi Gazetede Yayınlanan Değişiklik-Madde 29-3)

<sup>2</sup> Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında salt çoğunlukla “kabul”, “düzeltme” veya “ret” kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış karar tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve birinci fıkradaki usule göre tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Süresi içerisinde “düzeltme” savunmasına girmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. ( Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde 29-4)

<sup>3</sup> İleride doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

**Adı ve Soyadı** : Ahmet İPEKÇİ  
**Danışmanı** : Dr. Öğr. Üyesi Ganimet Nilay YÜCENUR  
**Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans, 2019  
**Alanı** : Endüstri Mühendisliği  
**Anahtar kelimeler** : Çok Kriterli Karar Verme, SWARA,  
WASPAS, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Sualtı  
Akıntı Enerjisi, Endüstri Mühendisliği

## ÖZ

### **TÜRKİYE’DE YAPILMASI PLANLANAN SUALTI AKINTI ENERJİ TESİSİ KURULUMU İÇİN SWARA VE WASPAS YÖNTEMLERİ İLE YER SEÇİMİ**

Türkiye başta olmak üzere tüm Dünya’da artan enerji talebinden dolayı temeli, rüzgâr, güneş, hidrojen ve su gibi formlarda olan doğanın yapı taşlarının kinetik enerji dönüşümlerinden elde edilen yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim artmıştır. Bu yönelim kendiyile beraber teknolojinin, yaratıcılığın, araştırma ve geliştirmenin uygulanabilirliğinin artmasına da sebep olmuştur. Bu yenilikçi yaklaşım aynı zamanda insanlığın doğaya karşı acımasız tutumlarının sonucu olan küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi konularda farkındalığın artmasına yol açmıştır. Her geçen gün artan yenilenebilir enerji üretim metotlarıyla beraber bunların tüketiminde de doğaya karşı zararlı etkileri en aza indirgenmiş yöntemler geliştirilmeye devam etmektedir.

Bu tez kapsamında son yıllarda araştırmalara sıklıkla konu olan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan sualtı akıntısından enerji elde edebilecek bir tesisin olası kurulum yerleri incelenmiş ve konuyla ilgili çok kriterli bir model önerilmiştir. Önerilen bu modeldeki kriterler SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve ağırlıkları bulunan kriterlere göre modelde belirlenen alternatifleri WASPAS metodu ile sıralanmıştır. Çalışmada araştırması yapılan sualtı akıntısından yenilenebilir enerji elde edilebilmesi konusu Türkiye’de uygulanabilirliği birçok kez dile getirilmiş fakat

konuyla ilgili günümüze kadar fiili bir gelişme gösterilememiştir. Bu nedenle “Sualtı Akıntı Enerji Tesisi için Yer Seçimi” konusu uygulama yöntemi ile birlikte literatüre kazandırılacak ilk çalışma olma özelliğindedir. Konuyla alakalı olarak yapılan önceki çalışmalar genellikle kullanılabilir ekipmanların teknik analizi veya enerji sektörünün literatürü ve analizi üzerinedir. Bu konuyla ilgili Endüstri Mühendisliği bakış açısıyla ortaya konan araştırma modelinin amacı diğer çalışmalara ışık tutmak ve modelin geliştirilerek tatbik edilmesini sağlamaktır.



**Name and Surname** : Ahmet İPEKÇİ  
**Supervisor** : Assist. Prof. Dr. Ganimet Nilay YÜCENUR  
**Degree and Date** : Master, 2019  
**Major** : Industrial Engineering  
**Key Words** : Multi-Criteria Decision Making, SWARA, WASPAS,  
Renewable Energy Sources, Industrial Engineering

## **ABSTRACT**

### **THE SELECTION OF THE LOCATION FOR A PLANNING CURRENT ENERGY PLANT IN TURKEY WITH SWARA AND WASPAS METHODS**

Basically due to the rising demand for energy in all the world, especially Turkey, wind, solar, with the building blocks of nature in forms such as hydrogen and water obtained from the conversion of kinetic energy has increased the emphasis on renewable energy sources. This orientation has led to an increase in the applicability of technology, creativity, research and development. This innovative approach has also led to increased awareness of such issues as global warming and environmental pollution, which are the result of humanity's brutal attitude towards nature. The methods of renewable energy generation, which are increasing day by day, together with the minimization of harmful effects against the nature, continue to be developed.

Within the scope of this thesis, the possible installation sites of a facility which can obtain energy from the underwater stream, which is one of the renewable energy sources which is frequently mentioned in the recent years, has been examined and a multi-criteria model has been proposed. The criteria in this model are weighted by the SWARA method and the alternatives determined in the model according to the criteria with weights are listed by WASPAS method. Working in research to obtain renewable energy from underwater currents made subject applicability in Turkey have expressed many times, but an actual developments on the issue until

today has not been shown. For this reason, at Site Selection for Underwater Current Energy Facility is the first study to be introduced to the literature along with the application method. Previous studies on the subject are generally related to the technical analysis of the equipment that can be used or the literature and analysis of the energy sector. The aim of this research model is to shed light on the other studies and to implement the model.





## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTIMA LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGE LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>

### BİRİNCİ BÖLÜM

<b>1. ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI</b> .....	<b>6</b>
1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları .....	8
1.1.1. Kömür Türevli Enerji .....	8
1.1.2. Petrol Türevli Enerji .....	10
1.1.3. Doğal Gaz Türevli Enerji.....	12
1.1.4. Nükleer Türevli Enerji.....	13
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	15
1.2.1. Güneş Türevli Enerji.....	16
1.2.2. Rüzgâr Türevli Enerji .....	16
1.2.3. Hidrolik Türevli Enerji .....	17
1.2.4. Jeotermal Türevli Enerji .....	18
1.2.5. Biyokütle Türevli Enerji .....	19
1.2.6. Hidrojen Türevli Enerji.....	21
1.2.7. Dalga ve Gel-Git Enerjisi .....	22
1.2.8. Sualtı Akıntı Enerjisi .....	23

## İKİNCİ BÖLÜM

<b>2. TÜRKİYE’DE YAPILMASI PLANLANAN SUALTI AKINTI ENERJİ TESİSİ KURULUMU İÇİN SWARA VE WASPAS YÖNTEMLERİ İLE YER SEÇİMİ.....</b>	<b>26</b>
2.1. Problemin Tanımı.....	26
2.2. Önerilen Araştırma Modeli .....	28
2.2.1. Kriterlerin Belirlenmesi .....	29
2.2.2 Alternatiflerin Belirlenmesi .....	33
2.3 Önerilen Araştırma Modeli için Varsayımlar.....	39
2.4 Modelin Çözüm Yöntemleri (SWARA VE WASPAS).....	40
2.4.1. SWARA Yöntemi.....	40
2.4.2. WASPAS Yöntemi .....	41
2.5. Modelin Çözümü.....	43
2.6. Bulgular .....	51
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>58</b>

## TABLolar LİSTESİ

	Sayfa No.
<b>Tablo 1.</b> Önerilen Model Alt Kriterlerinin Önem Derecelerine Göre Karar Vericiler Tarafından Sıralanması.....	44
<b>Tablo 2.</b> Önerilen Model Kriterlerinin Puanlandırılması (Önem Derecelerine Göre).....	45
<b>Tablo 3.</b> Önerilen Model Kriterlerinin Önem Puanları (Ortalama) .....	45
<b>Tablo 4.</b> Önerilen Model Kriterlerinin Ortalama Önem Puanlarına Göre Karşılaştırılması.....	46
<b>Tablo 5.</b> Önerilen Model Kriterlerinin Katsayı Değerleri.....	46
<b>Tablo 6.</b> Önerilen Model Kriterlerinin Ağırlık Değerleri (Düzeltilmiş) .....	47
<b>Tablo 7.</b> Önerilen Model Kriterlerinin Elde Edilen Nihai Ağırlık Değerleri.....	47
<b>Tablo 8.</b> WASPAS Yöntemi İçin Başlangıç Değerlendirme Matrisi.....	48
<b>Tablo 9.</b> Başlangıç Değerlendirme Matrisinin Normalize Edilmesi .....	49
<b>Tablo 10.</b> Alternatif Alanlar İçin Önem Değerleri (Birinci Toplam Göreceli).....	49
<b>Tablo 11.</b> Alternatif Alanlar İçin Önem Değerleri (İkinci Toplam Göreceli).....	50
<b>Tablo 12.</b> Önerilen Model Alternatifleri İçin Nihai Değerler .....	50

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1. Birincil Enerji (1850-2100 Yılları Arasında) .....	9
Şekil 2. Türkiye’de Bulunan Petrol Hatları Haritası .....	11
Şekil 3. Türkiye’de Mevcut Doğal Gaz Hatları Ve Olası Projeler Haritası .....	13
Şekil 4. Nükleer Enerji Üreten Reaktörün Çalışma Prensibi.....	14
Şekil 5. Türkiye’deki Jeotermal Kaynaklar Ve Bu Kaynakların Uygulama Haritası .....	19
Şekil 6. Biyokimyasal Ve Termokimyasal Çevrimler.....	21
Şekil 7. Dalga Enerjisi Konusunda Yapılmış İstasyon Örnekleri .....	23
Şekil 8. 1.2 MW Çift Kanatlı Yatay Eksen Kurulu Akıntı Türbini.....	24
Şekil 9. 16 Metre Çapında Nozullu Sualtı Akıntı Türbini.....	24
Şekil 10. Çapraz Akımlı Sualtı Akıntı Türbin Projesi.....	25
Şekil 11. Önerilen Araştırma Modeli .....	28
Şekil 12. Çanakkale Boğazı İçin Sualtı Akıntı Oranları) .....	34
Şekil 13. Çanakkale Boğazı İçin Sualtı Akıntı Oranları.....	35
Şekil 14. İstanbul Boğazı İçin Sualtı Akıntı Oranları.....	36
Şekil 15. İstanbul Boğazı İçin Sualtı Akıntı Oranları .....	38

## KISALTIMA LİSTESİ

<b>BEPA</b>	: Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>ÇED</b>	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
<b>ITER</b>	: International Thermonuclear Experimental Reactor
<b>KWh</b>	: Kilowatt Saat
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>REPA</b>	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>TUDAV</b>	: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı
<b>TUBAV</b>	: Türk Bilim Araştırma Vakfı
<b>SWARA</b>	: Türk Bilim Araştırma Vakfı
<b>WASPAS</b>	: Weighted Aggregates Sum Product Assessment

## SİMGE LİSTESİ

- $\lambda$  : Birleşik optimallik katsayısı  
 $\Sigma$  : Toplam Simgesi  
 $\Pi$  : Çarpım Simgesi  
 $Q_i$  : Toplam Göreceli Önem Değeri  
 $C_j$  : Kriterler İçin Katsayı Değeri  
 $S_j$  : Kriterlerin Düzeltişmiş Ağırlık  
 $l$  : Karar Verici Sayısı  
 $w_j$  : Kriterlere Ait Nihai Ağırlıkları

## GİRİŞ

Dünya’da artış gösteren nüfus ve arz-talep dengesi ile beraber insanoğlunun enerjiye ihtiyacı git gide artış göstermiştir. Enerji bir iş yapabilme kapasitesi olarak, ilk insan gücünün kendi sınırları içinde ihtiyaçlarını gidermesinden daha sonra kullanılan binek hayvanlarını takiben enerjinin belki de ilk yenilenebilir enerji kullanım örneği olan yel ve su değirmenlerine ulaşmıştır. Üretimde insan kapasitesinin limitlerine ulaşılnca buhar makinelerinin de keşfi ile 1.Sanayi Devrimi ile Dünya’da siyaset ve ekonomik gelişmelerle ülkelerin yıkılışına bile neden olmuştur. Buna müteakip gelişmeler enerjinin üretimin ve kullanımın önemini göstermiştir. Buradaki diğer bir temel gösterge ise artık enerji üretiminin, endüstrinin ayrılmaz bir parçası olmasıdır. Artan üretim miktarları ve çeşitliliği; talepten dolayı arz ihtiyacına, arzdan dolayı da talep lüksüne dönüştürmüştür. Seri üretim kabiliyetinin yüksek bir noktaya gelmesiyle enerji kaynakları daha çok önem kazanmıştır. Fosil enerji kaynaklarının üretimi, elde edim metotları, çeşitliliği üzerine araştırma ve geliştirme süreçleri yeni endüstriyel alanların doğmasına neden olmuştur. Buhar makinelerinin sanayi de kullanımının artmasıyla beraber elektrik enerjisinin keşfiyle artık elektriği elde etmek için fosil enerji kaynaklarının kullanımına başlanmıştır.

19. Yüzyılın sonlarına doğru ilk elektrikli arabanın icat edilmesi bile bugün bizim için yeni olduğunu düşünülen teknolojinin aslında insanoğlunun her zaman en iyiye ulaşma çabasının geçmişteki örneklerinden biri olduğunun kanıtıdır. O günlerde elektrikli araçların fosil yakıtlı araçlar kadar kullanışlı olmaması bu teknolojinin ilk petrol krizine kadar unutulmasına neden olmuştur. Enerjinin depolanmasını sağlayan batarya teknolojilerinin gelişmesiyle tekrar tarihin tozlu sayfalarından çıkıp gerçeğimiz ve geleceğimiz haline gelen elektrikli araçlar gibi yenilenebilir enerjiyi, anlık veya depolayıp kullanabilme kabiliyeti, fosil türevli enerji yerine direk olarak enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden sağlanmasına yol açmıştır. Bu gelişmeler yalnız ulaşım alanında değil aynı zamanda günlük ev ve sanayi enerji ihtiyacının da giderilmesinde yenilenebilir enerjiyi tekrar Dünya’da gözde hale getirmiştir.

Günümüzde arz-talep dengesizliği, jeopolitik sorunlar, ticaret savaşları gibi etmenler fosil enerji kaynaklarına erişimi olmayan ülkeleri enerji üretimi konusunda bağımsız olma azmine itmiş ve ülkeler enerji ihtiyaçlarını giderme adına daha farklı yenilenebilir enerji üretimi gibi inovatif yollara yönelmiştir. Bu tür enerjilerin temel özelliği kaynağını direk veya az bir işleme doğadan sağlaması ve doğaya karşı zararlı etkilerinin minimum olmasıdır. Hidrojen türevli enerji, maddelerin kinetik enerjilerinin elektrik enerjisine dönüşümünü temel alan enerji türlerinden olan güneş türevli enerji, rüzgâr türevli enerji, gel-git enerjisi, sualtı akıntı enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji türlerinin doğuşuna ve kullanım alanlarının artmana sebep olmuştur.

Sualtı akıntı enerji üretim teknolojisi yenilenebilir enerji açısından çok önemli bir yere sahiptir. Gerek işletme maliyeti gerekse ekonomik ömür olarak diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında nispeten daha sürdürülebilir bir teknoloji olduğu açıktır. Bu yenilenebilir enerji türü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş ve rüzgâra göre daha öngörülebilir ve tutarlı bir güç kapasitesine sahiptir [1]. Günümüzde ilk kurulum maliyeti nispeten yeni bir teknoloji alanı olduğu için biraz maliyetli olsa da 2010 yılında Siemens Türkiye Yönetim Kurulu Başkanı tarafından İstanbul Boğazı'nda 5 Megawatt kapasiteye sahip rüzgâr türevli santralle aynı maliyetle yapılabileceği bildirilmiştir. İşletim maliyetleri ise oldukça avantaj sağlayabilecek niteliktedir.

Endüstriyel olarak bakıldığında “Su Türevli Enerji Üretim İmkânları” gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının tesis kurulumu konusunda bu teknolojilerin araştırma ve geliştirme süreçlerine daha çok önem verilmesi gerekmektedir. Sistemlerin üretim miktarı ve kullanım miktarı arttıkça birim bazında maliyette düşme ve bununla beraber daha ucuz kurulum maliyetiyle yaygınlaşan kullanım miktarı yenilenebilir enerjinin dolayısıyla Dünya'nın yararına olacaktır.

Yenilenebilir enerji sektöründe sualtı akıntı enerjisi hakkında yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir. Mahmutoğlu (2013) “Türkiye elektrik sektöründe yenilenebilir enerjinin rolü” adlı iktisadi çalışması, Demirören (2018) “İstanbul Boğazındaki Akıntı Enerjisi Yardımıyla Elektrik Eldesi” adlı teknik çalışması ve



Uşar (2015)'in "Sualtı Akıntı Türbinlerinin Hidrodinamik Analizi" adlı sualtı türbinin yapısı üzerine teknik çalışması bulunmaktadır.

Bu tez kapsamında kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan SWARA ve WASPAS yöntemleri günümüzde kullanım alanını genişletmeye çalışmakta, uzman görüşlerindeki sübjektifliği minimize etmeye çalışan yapısı ile farklı sektörlerdeki uygulama alanlarını genişletmektedir.

SWARA yöntemi ile ilgili son yıllardaki literatür incelendiğinde Popovic ve diğerlerinin (2019) otel yeri seçiminde, Mavi ve diğerlerinin (2019) ise otobüs taşımacılığı için simülasyon uygulamasında bu yöntemi kullandıkları görülmektedir.

WASPAS yöntemi ile ilgili son yıllardaki literatür incelendiğinde Zavadskas ve diğerlerinin (2019) optimal içyapı ortamı seçiminde inşaat sektörüne çözüm aramak için yöntemi kullandıkları görülmektedir.

Kriterlerin ağırlıklarının belirlendiği SWARA yöntemi ile bu ağırlıklara göre alternatiflerin değerlendirildiği WASPAS yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalara bakıldığında Toklu ve diğerlerinin (2018) Türkiye'de demir-çelik endüstrisinde tedarikçi seçiminde kullanılmıştır. Can ve diğerlerinin (2017) ergonomik açıdan uygun bir oturma düzeneği seçiminde ve Yurdođlu ve diğerlerinin (2017) ise tekstil sektörü için sunucu seçiminde de bu yöntemlerin beraber kullanımlarından faydalanıldığı görülmektedir.

İran'da Alireza Dehnavi vd. tarafından yapılan bu birleşik çalışmada "A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran" SWARA VE ANFIS yöntemleri ile bölgesel toprak kaymalarının değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Mardani vd. tarafından en son bulanık gelişmeler teori ve uygulamalar incelenmesi temeline dayalı bir çalışma olan. "A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments" ile SWARA ve WASPAS üzerine analiz uygulaması yapılmıştır.

Zolfani ve Zavadskas tarafından yapılan ‘ Sustainable Development of Rural Areas’ Building Structures Based on Local Climate’ adlı araştırma makalesinde kırsal bölgelerde mahallî iklime dayalı inşa yapısının seçim aşamasında SWARA metodu kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme süreçlerine yeni bir soluk getiren SWARA ve WASPAS metotları karar vermede karar vericilere büyük bir destek sağlamıştır.

Zolfani ve Varzandeh vd. tarafından yapılan ‘ Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating ’ adlı araştırma makalesinde çok kriterli karar verme metotlarının en yeni hibrit modeli olan SWARA ve WASPAS metotları kullanılmıştır. Tahran’da açılması planlanan yeni bir alışveriş merkezinin ileri görüşlülük perspektifi ile meydana gelebilecek ticari problemlerin azaltılması ve belirlenmesi üzerine yapılmış uygulamadır. Bu hibrit metodun karar verme konusunda yetkinliği üzerine bir çalışmadır.

Sumanta Bid ve Giyasuddin Siddique’nin yaptığı ‘Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods’ adlı çalışmada TOPSIS ve WASPAS metotlarının hibrit olarak uygulandığı bir çalışmadır. Hindistan’daki nehirlerin ve akarsuların enerji üretimiyle beraber akış kontrolü, su tutma kapasitesi gibi çevresel etkilerini düzenleyen bir barajın ve günümüzde azalan su debisi vs. değerlendirmek üzere yapılmış insani risk değerlendirmesidir.

Mehdi Keshavarz Ghorabae vd. tarafından yapılan ‘‘A new hybrid simulation-based assignment approach for evaluating airlines with multiple service quality criteria’’ adlı çalışma havacılık sektöründe servis kalitesini artırma ve müşteri memnuniyetini arttırmaya dönük SWARA ve WASPAS başta olmak üzere TOPSIS, COPRAS, EDAS gibi yöntemler kullanılmıştır.

Yapılan literatür çalışmaları ile bu tez kapsamında kurulan ÇKKV modeli hem bünyesinde bulundurduğu kriterleri, alt kriterleri hem de alternatifleri ile benzersizdir. Ayrıca kurulan modelin SWARA ve WASPAS yöntemleri ile çözümlüyor olması da çalışmayı literatürdeki mevcut çalışmalardan ayırmaktadır.

Sualtı enerji üretimi ile ilgili önceki çalışmalar, yenilenebilir enerji ve alt yapılarına dair iktisadi ve teknik yönlerde dönük çalışmalar olmakla birlikte, bu tez kapsamında yapılan uygulama çalışması endüstri mühendisliği bilim dalının karar verme metotlarını uygulamaya dönüktür.



## BİRİNCİ BÖLÜM

### 1. ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji maddenin sahip olduğu iş yapabilme gücü ya da kapasitesidir. Her hangi bir maddenin taneciklerinin kinetik hareketi, fiziksel ya da kimyasal olarak form dönüşümü bir iştir ve bu iş belli bir enerji gerektirir. Sanayi üretiminin hammadde kadar önemli bir yapıtaşı olan enerji ülkelerin kalkınmışlık düzeylerini gösteren temel niteliklerden biridir. Günlük temel ihtiyaçların giderilmesinde ve hizmetlerin sunumunda, endüstri hizmetleri ve işlem görmüş tarım ve hayvancılık tabanlı mamul üretiminde olduğu kadar iktisadi olarak daha efektif bir konuma gelinmesinde de enerji çok büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde ısıtma sistemleri, yerleşim ve besin hazırlama sürecindeki etkisi de enerjinin yaşamımızda yadsınamaz bir noktaya geldiğinin kanıtıdır. Teknolojinin ihtiyaçlar bağlamında hızla gelişimi, sosyal çevrelerimizde ısıtma, soğutma, aydınlanma, besinlerin hazırlanması, ulaşım, lojistik sektörü ve sanayi sektöründe de enerji sosyal hayatımızda vazgeçilmez bir yere sahiptir (Mahmutoğlu, 2013).

İnsanlığın varoluşundan itibaren enerji ile insanların günlük ihtiyaçlarını gidermek her zaman çok büyük bir gereksinim olmuştur. Uygarlıkların gelişimleri göz önüne alındığında tarihin tüm safhalarında keşfettikleri veya geliştirdikleri dönemin teknolojik ekipmanları, kullandıkları enerji kaynaklarına bağlı olmuştur. 1. Sanayi devrimiyle beraber kendi sanayisini güçlendiren devletlerin buhar enerjisini farklı makinaların üzerinde kullanması ile enerji üretiminin gelişimi durdurulamaz bir noktaya taşınmıştır. Zamanında büyük bir coğrafyayı kontrol eden Osmanlı İmparatorluğu'nun bu bağlamda geri kalmasından dolayı hızla zayıflamasına neden olmuş ve Ortadoğu, Afrika ve Avrupa'da nüfuzunu kaybetmesine neden olmuştur. Sadece bu örnekten bile enerjinin teknoloji üzerindeki yadsınamaz etkisi açıkça görülmektedir.

Enerji kavramı elde edildiği kaynak türüne göre, yenilenebilir türevli enerjiler, nükleer türevli enerji ve fosil türevli enerjiler olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir. Doğalgaz, petrol ve kömür fosil türevli enerji üretim kaynaklarıdır. Nükleer enerji de bir nevi yenilenemez enerjidir bunun nedeni ise enerjinin

karşılanması için işlem görmüş radyoaktif maddelere olan ihtiyaçtır. Rüzgâr türevli, hidrolik türevli, biokütle türevli, güneş türevli enerji, okyanus ve denizlerde yaygın olan dalga ve gel-git ve sualtı akıntı türbini enerjileri ise yenilenebilir enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir (Mahmutoğlu,2013).

**Yenilenemez Enerji Kaynakları:** Yenilenemez enerji kaynakları ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, petrol türevli enerji, doğal gaz türevli enerji ve kömür türevli enerji ve nükleer türevli enerjidir. Bu enerji kaynakları doğada belli bir miktarda olup yenilenemez kaynaklar olarak adlandırılmaktadır. Bu kaynakların meydana gelişi milyonlarca yıl sürse de limitli bir zamanda ve hızlı bir şekilde tükenen enerji kaynaklarıdır (Çolak,2015).

**Yenilenebilir Enerji Kaynakları:** Temel olarak doğada bulunan ve doğal prosesler sonucu elde edilmekte olan enerji türüdür. Bu kaynaklar rüzgâr, hidrojen, biyolojik etkileşimler, güneş ışığı, okyanus kökenli süreçler ve jeotermal ısı olarak sıralanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim felsefesi doğada var olan maddelerin rutin hareketlerinden yani kinetik enerjilerinden pozitif fayda sağlanması prensibi üzerine kuruludur.

Bu tür enerjiler doğal süreçler sonucu meydana gelmelerinden ötürü kısa süre içinde yenilenme özelliğine sahiptirler. Bu özellikleri ile hammadde maliyeti olarak üreticisine bağımsızlık şansı veren yenilenebilir türevli enerji kaynakları artmakta ve bu konudaki teknolojik gelişmelerde hızla ortaya çıkmaktadır.

Enerjinin diğer bir sınıflandırma şekli ise birincil ve ikincil yani türetilmiş enerjidir. Birincil enerjiler, fosil türevli enerji kaynakları, radyoaktif maddeler, rüzgâr, hayvansal ve bitkisel atıklar, güneş ve hidrolik kaynaklı enerjiler gibi doğadan direkt olarak kullanılabilen enerji türleridir. İkincil enerjiler ise; buhar enerjisi, elektrik enerjisi, hava gazıdır ve bu tür ikincil enerji kaynakları birincil enerji kaynaklarından türetilir (Mahmutoğlu, 2013; Adıyaman, 2013)

**Birincil Enerji Kaynakları:** Hammadde olarak petrol, kömür, rüzgâr ve güneş gibi enerji kaynakları doğadan direkt olarak temin edilebiliyor olmaları

nedeniyle birincil enerji kaynakları olarak kabul edilir. Bu enerji kaynakları aynı zamanda ikincil enerji kaynaklarına dönüştürülüp kullanılabilirler.

**İkincil Enerji Kaynakları:** Bu tür enerji kaynakları belli bir işlem sonucu kullanıma hazır hale gelen enerji türleridir. Örnek olarak; nükleer türevli enerji, elektrik enerjisi ve hidrojen türevli enerjiler ikincil enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji kaynaklarını kullanabilmek için birincil enerji kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır. Nükleer türevli enerji, hidrojen türevli enerji ve elektrik enerjisi gibi birincil enerji kaynaklarından, ikincil enerji kaynaklarını elde edebilmek için nükleer santraller, petrol rafinerileri ve kömür tüketimi üzerine kurulu termik santraller gibi ileri teknoloji dönüşüm istasyonları gerekmektedir (Çolak, 2015).

### **1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları**

Yenilenemez enerji kaynakları tabii bir kaynak olma sebebiyle doğada belli bir rezervi olup kullandıkça tükenmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarına kömür, petrol, doğal gaz ve nükleer enerjiyi örnek verilebilmektedir.

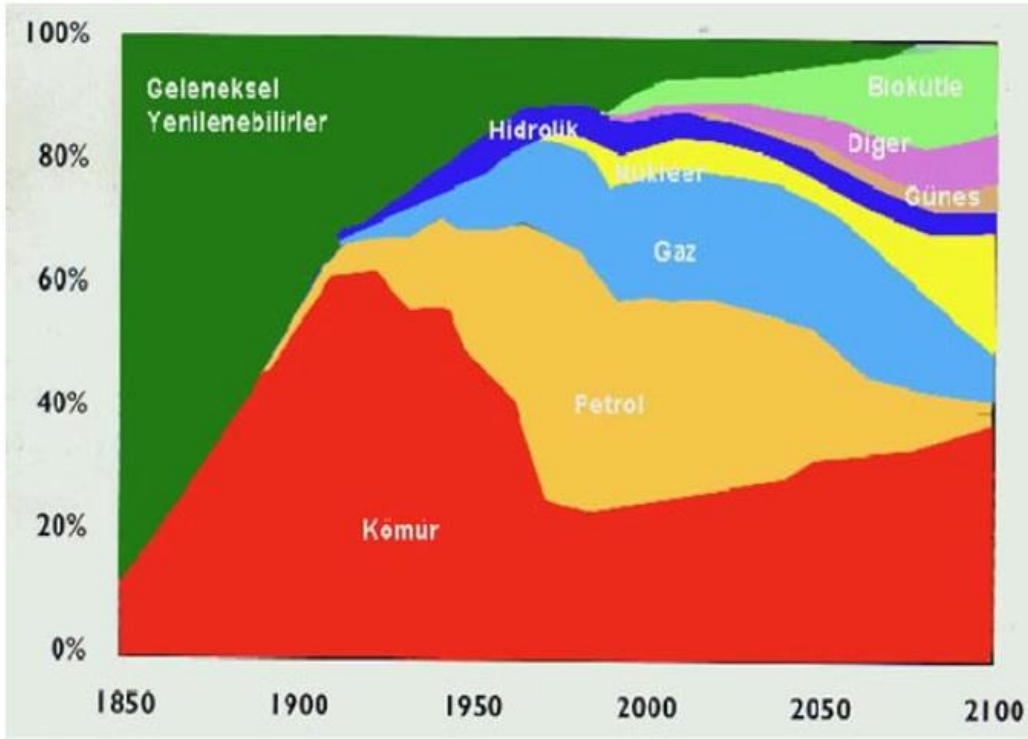
#### **1.1.1. Kömür Türevli Enerji**

Kömür, yanabilme kapasitesine sahip organik bir kayadır. Hidrojen, karbon ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuştur. Kömür, kalori miktarına göre taş kömürü (bitümlü kömürler ve antrasit) ve düşük kalorili kömürler (alt bitümlü kömürler ve linyit) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Linyit kömürünün sahip olduğu ısı değeri düşüktür, kül ve nem miktarı fazla olduğundan dolayı genellikle termik santrallerde enerjiye dönüşen bir kömür çeşididir. Taş kömürü ise yüksek kalori seviyesine sahip kömürler grubundadır (TKİ, 2019).

Kömür; fosil türevli bir enerji olarak dünyada elektrik üretiminde çok önemli ve büyük bir paya sahiptir. Buhar makinelerinin keşfi ile ilk ve en çok kullanılan hammadde olmuştur. Elektrik üretiminin yanında demir ve çelik endüstrisinde, çimento üretim süreçlerinde ve endüstri sektöründe buhar üretmek ve günlük yaşamda ısınma amacı ile kullanılmaktadır. Dünyada tüm ülkeler toplam elektrik üretiminin %40'ını kömür enerjisinden sağlamaktadır.

Bazı ülkelerdeki enerji üretimi için kömür kullanım oranları incelendiğinde; Polonya'da %95, Güney Afrika'da %93, Avustralya'da %83, Danimarka'da %77, Çin'de %75, Yunanistan'da %69, Amerika %53 ve Almanya'da %53 ise seviyesinde olduğu görülmektedir. Türkiye'de ise elektrik enerjisinin %32'lik bir kısmı kömürden elde edilmektedir. Kömür; madencilik yoluyla üretim, kalite olarak zenginleştirme, lojistik ve amacına uygun tüketim aşamalarını takiben enerjiye dönüşmektedir (TKİ, 2019).

Küresel ısınmayla artan toplumsal farkındalıkla beraber Dünya genelinde çoğu ülke doğa dostu enerjiye yönelim göstermekte, kömürden enerji üretiminden ise özellikle yarattığı hava kirliliği ve bu kirliliğin beraberinde getirdiği çok ciddi sağlık sorunları nedeniyle uzaklaşmaktadır.



Şekil 1. Birincil Enerji (1850-2100 yılları arasında) (TKİ, 2019)

### 1.1.2. Petrol Türevli Enerji

Petrol bileşim olarak; genelde hidrojen ve karbondan oluşan ve içerisinde az oranda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunduran karmaşık bir maddedir. Normal şartlar altında katı, sıvı ve gaz formunda bulunmaktadır ve petrolün gaz halini, işlem görmüş gazdan ayırt etmek için doğal gaz adı kullanılmaktadır. Ham formdaki petrolün ve doğal gazın temel bileşenleri hidrojen ve karbondan oluştuğu için bu yapı "Hidrokarbon" olarak da adlandırılmaktadır [6].

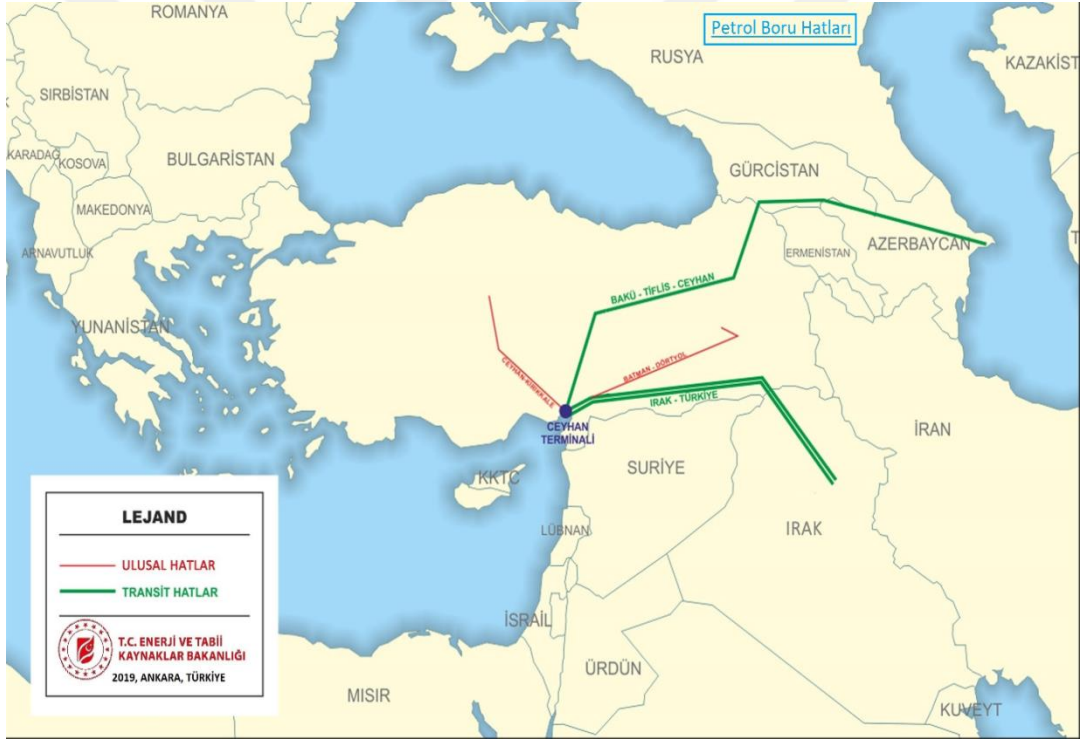
2017 yılında dünya kesinleşmiş petrol rezervi 1.696,6 milyar varil olarak hesaplanmış olup petrol havzalarının büyük bir kısmı 807,7 milyar varil (%47,6) ile Orta Doğu bölgesindeki ülkelerde bulunmaktadır. Güney ve Orta Amerika ülkeleri ise 330,1 milyar varil (%19,5) ile ikinci en büyük rezerve sahiptirler. Kuzey Amerika ülkeleri de 226,1 milyar varil (%13,3) ile üçüncü büyük petrol havzasına sahiptirler. Dünya'da genel petrol üretimi 2017 yılında 97,4 milyon varil/gün'e ulaşmış ve ham petrol ile 2017 yılı itibarıyla dünya enerji gereksiniminin %33,7'sini karşılanmıştır [6].

Global birincil enerji ihtiyacının %40'lık önemli bir kısmının 2030 yılına kadar Türkiye'nin bulunduğu bölge ülkeler tarafından karşılanacağı ön görülmektedir. Dünya'da üretilebilir petrol rezervlerinin %70'e yakın bölümü, Türkiye'nin bulunduğu coğrafyada yer almakta olup Türkiye coğrafik konumu itibarıyla büyük miktarda petrol ve doğalgaz havzası sahibi ülkelerle ortak sınırlara sahip bulunmaktadır. Ayrıca Hazar havzası, Doğu Avrupa (Rusya) petrol ve doğalgaz havzaları, Orta Asya ve Orta doğu petrol ve doğalgaz havzaları ile sanayileşmede çok büyük bir güce sahip Avrupa havzası arasında 'Enerji Hattı' olma vasfına sahiptir [6].

2017 yılı itibarıyla Türkiye'de 25,8 milyon ton ham petrol ithali gerçekleştirilmiş olup 16,8 milyon ton petrol türevli ürün ise ithal edilmiştir. Bunun yanında 10,1 milyon ton petrol türevli ürün de ihraç edilmiştir [6].



Türkiye’de artan petrol ihtiyaçlarını öz rezervler yoluyla karşılanması için birçok araştırma ve geliştirme çabaları var olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak ülkenin en eski petrol boru hattı Irak-Türkiye arasındaki ham petrol hattı gösterilebilmektedir. Ham petrol santrallerinin kurulma sebebi ülkenin ham petrolü işleme maliyetini düşürmek ayrıca gerekli bilgi ve birikime sahip olma isteğidir. Ayrıca üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye’nin denizlerdeki sınırları olan kıta sahanlığında da petrol ve doğalgaz arama amacıyla araştırma gemileri temin edilmiştir. Ülkedeki petrol ihtiyacının karşılanması için ayrıca 2006 yılında Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) ham petrol hattı hizmete alınmıştır. Tüm bu çalışmalarla birlikte, Türkiye gerek kendi ihtiyaçlarını karşılama gerekse de diğer ülkelerin enerji ihtiyacını giderme adına enerji arteri olma vasfını karşılamaktadır.



Şekil 2. Türkiye’de bulunan petrol hatları haritası (ETKB, 2019)

### 1.1.3. Doğal Gaz Türevli Enerji

Ham petrol türevi olan doğal gaz; yanıcı, havadan hafif olup rengi ve kokusu olmayan bir gazdır. Metan gazı (CH<sub>4</sub>) ve Etan gazı (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşmakta olup buldukları petrol yataklarında genellikle sıvı haldeki petrol ile beraber veya gaz rezervuarlarında bulunmaktadır. İlk çıkarıldığı halinde bile proses görmeden kullanılabilen doğal gaz, boru hatları ile veya sıvı formda depolanıp kullanılabilir [7].

Yıllık doğal gaz arz ve talepleri göz önüne alındığında gereksinimlerin karşılanmasında Türkiye'nin bu enerji çeşidini depolama kabiliyetinde sorun olmadığı varsayılmaktadır. Ancak kış aylarında ve yoğun sanayi dönemlerinde ihtiyaçlar maksimum olduğunda, kaynak ülkelerdeki veya güzergâhta bulunan ülkelerdeki aksaklıkların neden olabileceği dönemsel arz ve talep dengesizliklerini ortadan kaldırmak için ülkenin depolama kabiliyeti arttırılmaya çalışılmaktadır [7].

Bu amaçla, Türkiye'de Tuz Gölü'nde doğal gaz yer projesi için yer altı doğal depolama çalışmaları başlamış olup 2023 yılında ülke olarak yer altı depolama kapasitesinin 5,4 milyar Sm<sup>3</sup>'e çıkarılması planlanmaktadır. Geri üretim yeteneğinin 80 milyon Sm<sup>3</sup>'e yükseltilmesi de planlamaların dâhilindedir. Ülkenin doğal gaz ihtiyacının olduğu bölgelere depolama istasyonları kurulmuş olup Türkiye'de yüzer LNG depolama sistemleri İzmir/Aliağa ve Dörtyol/Hatay'da işleme alınmıştır. Aynı zamanda Saroz Körfezi'ne deniz üzerine yüzer LNG depolama ve gazlaştırma ünitesi (FSRU)'nin enerji iletim şebekelerine bağlantı sistemine yönelik planlamalar da halen sürdürülmektedir [7].

Türkiye'nin Akdeniz'de de kaynak arayışı ve sondaj çalışmaları devam etmektedir. Bu işlemler için 2 tane hidrokarbon araştırma gemisi alınmış olup derin denizlerde etkin araştırmalar yapılmaktadır. Orta Doğu doğal gaz havzası 79,1 trilyon m<sup>3</sup> (%40,9) oranıyla en büyük havzadır. Daha sonra Avrupa ve Avrasya doğal gaz havzasındaki ülkelerde 62,2 trilyon m<sup>3</sup> (%32,1) ile ikinci en büyük rezerv kapasitesi bulunmaktadır. Afrika ve Asya Pasifik havzalarındaki ülkelerde 33,1 trilyon m<sup>3</sup> (%17,1) bulunmaktadır. Türkiye'de 2017 yılında 53,5 milyar m<sup>3</sup> gaz tüketimi gerçekleşmiştir [7].



**Şekil 3.** Türkiye’de mevcut doğal gaz hatları ve olası projeler haritası (ETKB, 2019)

#### 1.1.4. Nükleer Türevli Enerji

Nükleer enerji eldesinde; atom çekirdeklerinin parçalanması sonucu füzyon tepkimeleriyle beraber çok yüksek bir miktarda enerji salınımı meydana gelmektedir. Tepkimelere müteakip nükleer reaktörlerin yardımıyla da bu enerji sanayi ve sosyal hayatın en temel ihtiyacı olan elektrik enerjisini temin etmektedir.

1789 yılında Uranyum atomunun bulunması ile başlayan araştırma süreci ve 1934 yılında atomun parçalarına ayrılması ile devam eden teknolojik gelişmeler, Amerika ve Sovyetler Birliği başta olmak üzere birçok süper gücün nükleer güç elde etme adına yaptığı önemli çalışmalarla devam etmiştir. Bu çalışmaların ışığında atomların parçalanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek teknolojik sistemler geliştirilmiş olup nükleer enerji santralleri, nükleer enerjinin güvenli, kontrollü ve sürdürülebilir bir enerji elde edilmesini sağlamışlardır.

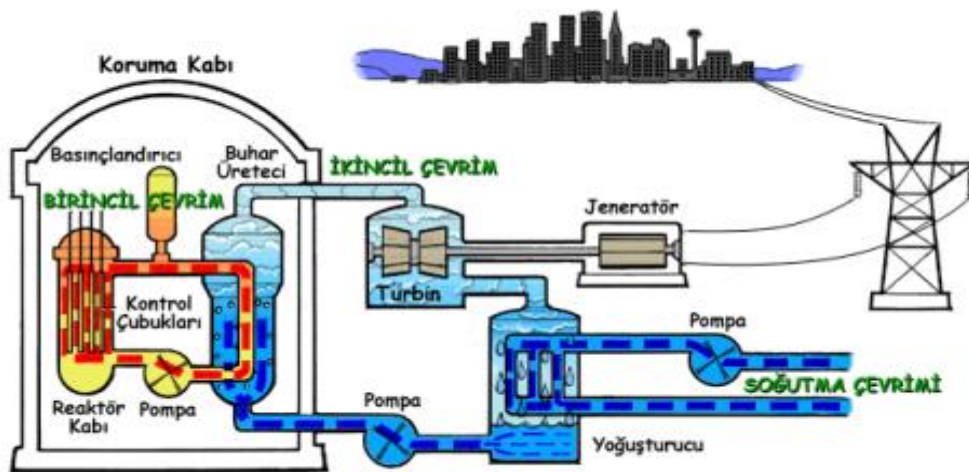
1973 yılındaki petrol kriziyle beraber enerji ihtiyacının giderilmesi için nükleer enerjiye ihtiyaç duyulmuş, petrol ve hidrokarbon enerji rezervlerine sahip

olmayan ülkeler, nükleer enerjilerin yardımı ile bu ihtiyaçlarının giderilmesini sağlamışlardır.

1979 yılında Amerika’da yaşanan Three Mile Island (TMI) nükleer reaktör patlamasına ve 1986 yılında Sovyetler Birliği’ndeki Çernobil nükleer reaktör patlamasına rağmen dünyada nükleer enerjiye olan ilgi artarak devam etmiş, en son yaşanan vahim olay ise Japonya’da Fukushima’da meydana gelmiştir [9].

Fukushima’daki nükleer santral patlamasından sonra nükleer enerji karşıtı çevrelerin güçlü olduğu bazı gelişmiş ülkelere olan Almanya 10 kadar nükleer enerji santralini kapatmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üzerine eğilmiştir. Ayrıca enerji nakil hatlarının dönüşümünü başlatan Almanya yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkili kullanabilmek adına yatırımlarına devam etmektedir. Japonya hükümeti ise kapatılma sürecindedir ve bu süreçteki 7 reaktörün 2021 yılına kadar kapatılması öngörülmektedir.

Dünya’nın genel elektrik üretiminin %11 kadarını nükleer enerji yoluyla karşılanmaktadır. Günümüzde tüm dünyada toplam 453 nükleer enerji santrali olup bu santraller 31 ülkede faal haldedir ve 57 tanesi de hala inşa edilmektedir. Türkiye’de elektrik ve nükleer araştırma kabiliyetine sahip olup nükleer enerji inşa eden ülkeler arasındadır.



Şekil 4. Nükleer enerji üreten reaktörün çalışma prensibi (ETKB, 2019)

## 1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğada sürekli olarak yenilene ve doğal süreçlerden elde edilen enerji kaynakları olup bu kaynaklar doğada çok farklı şekillerde bulunabilmektedirler. Güneş, rüzgâr, biokütle, su gücü (hidrolik güç), dalga gücü ve jeotermal kaynaklar temel yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanabilir. (Mahmutoğlu, 2013).

Günümüzde fosil enerji kaynaklarından olan kömür, doğalgaz ve petrol rezervlerinin sınırlı olması, yüksek düzeyde sera gazı salınımı yapmaları sonucu oluşan çevre kirliliği, küresel piyasada hammadde fiyatlarının değişken yapısı ve ülkeler bağlamında dışa bağımlılıktan dolayı milli güvenlik riski ülkeleri yenilenebilir enerji teknolojileri geliştirme fikrine itmektedir. Türkiye Cumhuriyeti de bu bağlamda değerlendirilmesi gereken ülkelerdendir.

Nükleer santrallerin; yüksek sabit kurulum maliyeti vardır. Doğal felaketlerden kaynaklı nükleer salınım riski, nükleer santrallere dönük güvenlik sorunları ve atık problemleri göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanımının yeri ve önemi her geçen zaman biraz daha artmakta olup her geçen gün teknoloji imkânları ve kabiliyeti geliştikçe de daha farklı yenilenebilir enerji üretim tarzları gelişmektedir.

Ülkelerin dışa bağımlılığını azaltan enerji politikaları geliştirmelerinde sahip oldukları yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretim tesisleri, dışa bağımlılığı azaltan, diğer enerji kaynaklarına göre çevreye daha az zarar veren sürdürülebilir tesislerdir. Özellikle günümüzde ülkeler arasında yaşanan enerji savaşlarına karşı alınacak en etkili önem yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak olan yatırım ve araştırma-geliştirme çalışmalarıdır.

### **1.2.1. Güneş Türevli Enerji**

Güneş enerjisi, gerekli ekipman ve sistemler aracılığıyla güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı doğa dostu bir teknolojidir. Güneşin yaydığı ve dünyaya ulaşan enerji, güneşte meydana gelen füzyon sürecinin bir sonucudur. (Demirtürk, 2013).

Güneş enerjisi, ev-işyeri ısıtması, sıcak su ihtiyacının karşılanması, elektrik üretimi, termal sistemler ve güneş pillerinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi ise uydularda, hesap makinelerinde, saatlerde, sokak lambalarında ve trafik sinyalizasyonu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, şebekeden uzak yerlerdeki, ev, iş yeri, köy, çiftlik, haberleşme tesislerinde de elektrik temini için güneş türevli enerji kullanılmaktadır. (TÜBAV, 2008).

Güneş enerjisi, kurulum ve kullanım kolaylığı olmasının yanı sıra çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık oluşturmaması gibi özelliklere de sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırladığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası raporlarına göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama olarak 7.5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m<sup>2</sup>.gün)' dir [9].

Günümüzde güneş enerjisinden elde edilen elektriğin kullanımı ulaşım ve günlük yaşam alanında da artmaya başlamış olup başlayan bu gelişmeler elde edilen güneş enerjisinin depolanması için pil teknolojileri araştırma ve geliştirilmeleri konusundaki çalışmalar ile devam etmektedir.

### **1.2.2. Rüzgâr Türevli Enerji**

Güneş enerjisinin ve radyasyonunun karaları, denizleri ve atmosferi özdeş ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgârı oluşturmaktadır. Diğer bir tabirle rüzgâr birbirine komşu bulunan iki bölge arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımıdır. Rüzgârlar dünyanın kendi ekseninde dönmesinden, yüzey sürtünmelerinden, yerel ısı dağılımından, arazinin

yapısından ve rüzgâr yönündeki farklı atmosferik olaylardan etkilenmekte olup rüzgâr, hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilmektedir. Rüzgâr kaynağı küresel ölçekte yarı sürekli bir yapıya sahip olup, mevsimlik, günlük ve saatlik değişiklikler göstermekte, ayrıca yüzey pürüzlülüğü ve atmosferik koşullara bağlı olarak da yükseklikle değişmektedir. Bazı bölgelerde mevsimlere göre de rüzgâr türevli enerji eldesinde önemli farklar görülebilmektedir. (Ural, Engin, vd. 2006).

Rüzgârın verimliliği, coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik göstermektedir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilmekte ve rüzgâr hızı yükseklikle artmakta, rüzgârın teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişmektedir. Verimliliğin yüksek olması için yüksek rakımlı yerlere yapılmaya çalışılan rüzgâr santralleri yüksek maliyeti ve inşaat sorunları nedeniyle ilk yatırım maliyeti yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajlar sahiptir. [10]

### **1.2.3. Hidrolik Türevli Enerji**

Hidroelektrik enerji, suyun var olan potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Hidroelektrik santrallerde su, belli bir yükseklikten bırakılarak suyun sahip olduğu potansiyel enerji, kinetik enerjiye çevrilmektedir. Elde edilen kinetik enerji ise su türbinleri ile mekanik enerjiye, mekanik enerji de jeneratör sistemi ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. (Mahmutoğlu, 2013).

Hidroelektrik santraller depolama kabiliyetli (barajlı) ve depolama kabiliyetsiz (nehir tipi) olarak ikiye ayrılmaktadır. Depolama kabiliyetsiz sistemde kaynaktan verilen su, basınçlı bir borudan geçirilerek türbine verilmekte ve burada hidrolik enerji mekanik enerjiye çevrilmektedir. Depolama kabiliyetli sistemde ise suyun önü bir baraj ile kapatılmaktadır. Depolamalı sistemin avantajı, yağışlı dönemde suyun barajda muhafaza edilmesidir. Böylece yağışsız ve kuru havalarda gerekli potansiyel enerji sağlanmaktadır ayrıca tarımsal ve içme suyu kaynağı havzası olarak da kullanılmaktadır. Depolama kabiliyeti olmayan santraller, barajlı

santrallere göre daha küçük kapasiteye sahiptirler. Yüksek kapasiteli hidroelektrik santrallerde suyun birikmesi amacıyla yapılan barajların yanı sıra, suyun ilgili santrale iletilmesini sağlayan iletim yapıları, suyun potansiyel enerjisini kinetik enerjiye dönüştürerek elektrik üreten türbinler, jeneratör ve transformatörlerden oluşan elektromanyetik sistemler de bulunmaktadır. (Mahmutoğlu, 2013).

#### **1.2.4. Jeotermal Türevli Enerji**

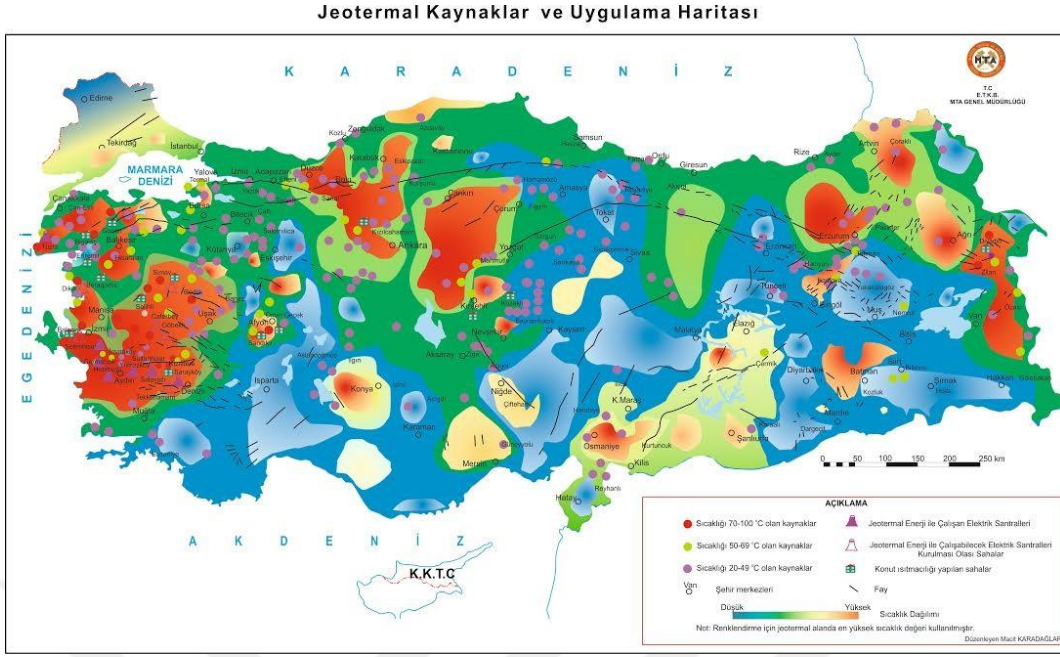
Yeraltı ısı olarak tanımlanan jeotermal kaynak, yer kabuğunun derinliklerinde oluşan ısı enerjisinden meydana gelen ve çeşitli kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardan meydana gelmektedir. Doğrudan veya dolaylı olarak bu kaynaklardan faydalanılması ise jeotermal enerji olarak tanımlanmaktadır. (Erdoğan, 2014).

Jeotermal türevli enerji kullanılan fosil kaynaklara göre çok daha az hava kirliliğine sebep olmakta ve doğaya zarar vermeyen yapısı nedeniyle çevre dostu enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal türevli enerji kaynakları elektrik üretiminde ve doğrudan doğal ısıtma uygulamalarında kullanımıyla enerji temini sağlamakta olup sosyal yaşam alanlarında ve endüstride de jeotermal ısı ile elektrik ve doğalgaz tasarrufu imkânı sağlanmaktadır. (Erdoğan, 2014).

Türkiye'nin jeotermal türevli enerji potansiyeli oldukça yüksek olup potansiyel oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır [11].

Dünyada jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretiminde ilk beş ülke, ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya'dır. Jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk beş ülke ise Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya olmaktadır. (Çolak, 2015).





**Şekil 5.** Türkiye’deki jeotermal kaynaklar ve bu kaynakların uygulama haritası (ETKB, 2019)

### 1.2.5. Biyokütle Türevli Enerji

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak tanımlanabilmekte olup aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul edilmektedir [12].

Biyokütle Türevli Enerji’nin elde edilmesi için bazı kaynaklar gereklidir [12]:

#### 1. Bitkisel Biyokütle Kaynaklar:

- a. Yağlı tohumlu bitkiler ( kanola, ayçiçek, soya v.b. ),
- b. Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı v.b.),
- c. Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.),
- d. Protein bitkileri (bezelye, fasulye v.b.), Bitkisel ve tarımsal artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.)

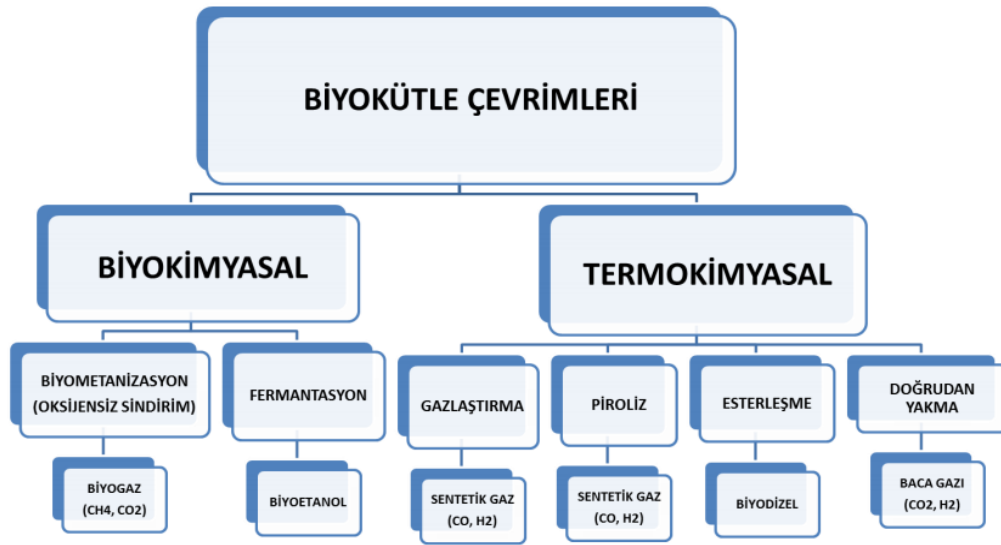
2. Orman ve Orman Ürünlerinden Elde Edilen Biyokütle Kaynakları:
  - a. Odun ve orman atıkları (enerji ormanları ve enerji bitkileri, çeşitli ağaçlar)
3. Hayvansal Biyokütle Kaynakları:
  - a. Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, kesim yeri atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar
4. Organik çöpler, Şehir ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Kaynakları:
  - a. Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, endüstriyel ve evsel atık sular, belediye ve büyük sanayi tesisleri atıkları.

Biyokütle türevli enerji üretimi Türkiye’de çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Gerek ulaşım alanında biyoyakıt olarak elektrik enerjisi üretiminde ve gerekse son ürün olarak tarım alanına gübre olarak biyokütleden yararlanılmaktadır.

Biyodizel; kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen, bitkisel ya da hayvansal yağlardan üretilen bir yakıt türü olup çok soğuk ortamlarda kullanım sorunları yaşatsa da ağır tonajlı taşımacılık sektöründe dizel iş makinaları ve lojistik araçları için doğaya karbon salınımı düşük olan önemli bir alternatiftir. Biyodizel, konut ve sanayi sektöründe fueloil olarak da kullanılmaktadır. Bu enerji kaynağı, tarımsal ürünlerden üretilmesi sebebiyle fotosentez sayesinde karbon döngüsünü sağladığı için sera etkisini arttırıcı etki göstermemektedir. (Mahmutoğlu, 2013).

Etanol; hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe benzin ile karıştırılıp; küçük ev aletlerinde ve kimyasal ürün sektöründe kullanılan bu madde yakıtın oksijen seviyesini arttırarak verimli bir yanma sağlayıp egzoz emisyonunu azaltmaktadır. Etanol, doğaya olan düşük karbon salınımı ile yararlı bir maddedir. (Mahmutoğlu, 2013).

Biyogaz; organik maddelerin (hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz şartlarda biyolojik parçalanması sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksitten oluşan bir gazdır. Biyogaz teknolojisi, organik kökenli atık/artık maddelerden enerji elde edilmesine ve atıkların tarım sektöründe toprağa gübre olarak kazandırılmasına imkân vermektedir.



Şekil 6. Biyokimyasal ve termokimyasal çevrimler (ETKB, 2019)

### 1.2.6. Hidrojen Türevli Enerji

Hidrojen enerjisi birincil enerji kaynaklarından üretilen bir enerjidir. Bu enerjinin kaynağı hidrojen elementidir. Hidrojen elementi 16.yüzyılda keşfedilmiş olup 18. yüzyılda bu elementin yanabilme özelliğinin farkına varılmıştır. Evrenin en basit ve en çok bulunan elementi olup, renksiz, kokusuz ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Yıldızların ve güneşin yaydığı enerjinin kaynağı, dolayısıyla evrenin enerji kaynağı da yine bu elementtir. (Ataman, 2007).

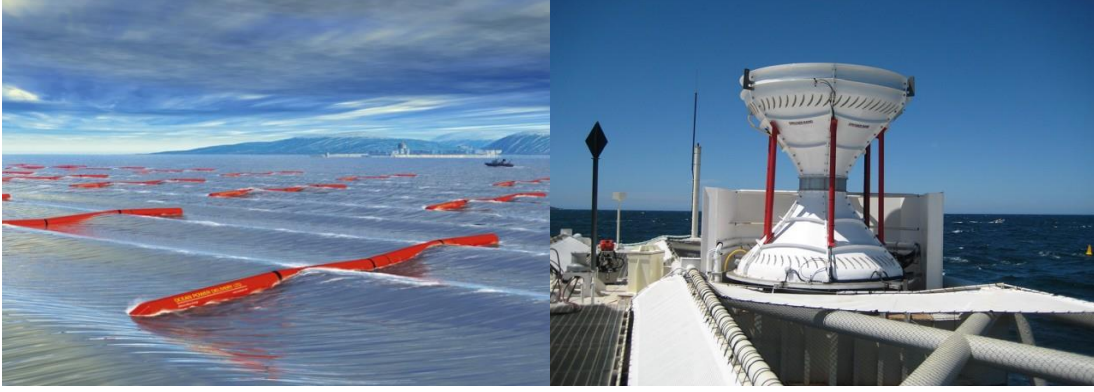
Enerjinin üretilmesi gereken hemen her alanda kullanımı kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su veya su buharı olmaktadır. Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirletici ve sera etkisine neden olan hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir. Önümüzdeki yıllarda fosil türevli kaynakların tükenmesinden dolayı, hidrojen enerjisinin kullanım alanları ve miktarı artacaktır. Ulaşım sektöründen askeri sanayiye kadar motor sistemlerinde hidrojenin kullanılmasına hali hazırda başlanmış olup Türk tipi denizaltı projesi olan MİLDEN 'de hidrojen yakıtlı motorlar kullanılmaya başlanmıştır.

### **1.2.7. Dalga ve Gel-Git Enerjisi**

Günümüzde enerji elde etmenin bir başka yolu da dalgaları kullanmaktır. Dalgaların sahip olduğu potansiyel enerji su damlacıklarının dairesel hareketi ile kinetik enerjiye dönüşmektedir. Deniz ve okyanuslarda dalga oluşumuna sebep olan faktörler rüzgârlar, gel-git olayı ve deniz diplerinde yaşanan çökmeler ile depremler olup ayrıca teknik olarak enerji üretimine imkân veren rüzgârların sebep olduğu dalgalardır. (İnan, 2006).

Gel-Git; Dünyanın uydusu konumunda bulunan ayın ve güneşin yer çekimi kuvvetinden doğan etki ile okyanusların yüzey sularının normal konumundan yükselmesi ve bir süre sonra tekrar alçalması sonucu meydana gelen doğa olaylarıdır. Bu kendiliğinden gerçekleşen doğa olayından yararlanılarak üretilen enerjiye de gel-git enerjisi denilmektedir. Gel-git hareketleri yerkürenin, güneşin ve kendi eksenini etrafında dönmesi nedeniyle belirli zaman zarfında periyodik olarak tekrarlandığından süreklilik arz eden bir kaynaktır. (Ağaçbiçer, 2010).

Dalga ve gel-git enerjisinden elektrik üretimi günümüzde çok sınırlı düzeydedir. Bunun nedeni yüksek verim elde edilebilmesi için türbinlerin çok fazla dalgaya yakın yerlerde yapılması gereği ve şiddetli fırtınalarda dalga enerjisi türbinlerinin çok zarar görebilmesidir. Okyanus enerjisi teknolojileri kapsamında yer alan dalga ve gel-git enerjilerinin 2011 yılı sonu itibarıyla yaratılan ek kapasiteler sonucunda toplam kapasitesi 527 MW seviyesine ulaşmıştır. (Mahmutoğlu, 2013).



Şekil 7. Dalga enerjisi konusunda yapılmış istasyon örnekleri (Siemens, 2019)

### 1.2.8. Sualtı Akıntı Enerjisi

Son yıllarda artan enerji talebiyle beraber ve bunu takip eden teknolojik yeterlilikler insanoğlunu farklı türden yaratıcı arayışlara itmektedir. Fosil türevli enerji akımının gerek insanoğluna gerekse doğaya zararlarının görünmesi ile beraber kaynağını doğadan alan doğaya ve insana zararsız ve ayrıca ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltan yenilenebilir enerji teknolojilerine olan ilgi artmakta olup sualtı akıntı enerjisi son yılların en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir.

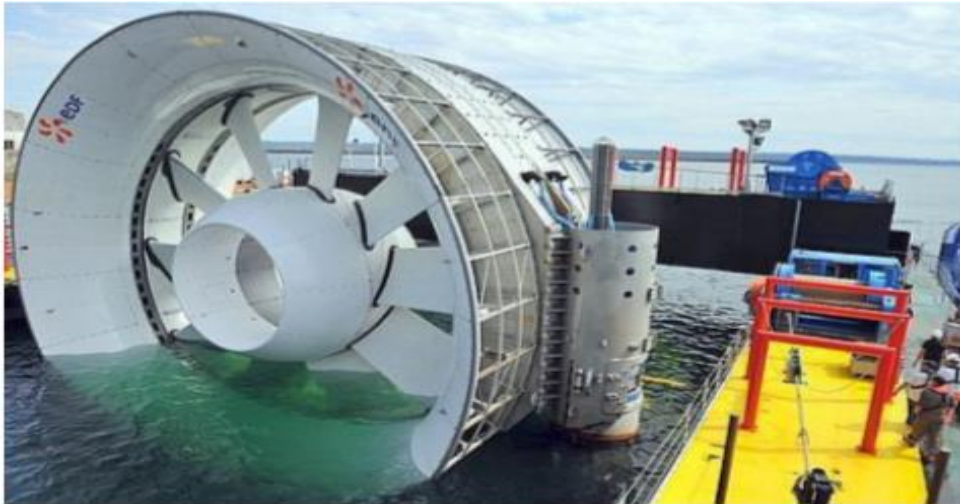
Dip akıntılarının oluşma nedeni denizler arasındaki yükselti farkının boğazlar aracılığıyla sirkülasyonundan kaynaklanmaktadır. Deniz seviyesinin her yerde eşit olduğu düşünülse de Türkiye’de Karadeniz, Marmara Denizi’nden daha yüksektir bu da iki deniz arasında sürekli su sirkülasyonuna neden olmaktadır. Denizlerin arasındaki sıcaklık farkı ve tuzluluk oranı da bir diğer akıntı oluşumuna neden olan doğal etkenlerdendir (Uşar, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları açısından akıntı enerjisi kurulum maliyeti açısından yüksek olsa da uzun ekonomik ömrü sayesinde yıllar geçtikçe pozitif yönde etkide bulunacaktır. Suyun yoğunluğundan dolayı düşük hızlarda efektif olması bu enerji kaynağının bir diğer önemli pozitif özelliğidir. Sualtı akıntı enerjisinin rüzgâr ve güneş enerjilerinin aksine durağan bir yapısı olmamakla birlikte tahmin edilebilir ve devamlılığı yüksek bir enerji çeşididir. Günümüzde konuyla ilgili değişik akıntı türlerine göre değişik tarzda türbin tipleri ile birlikte enerji

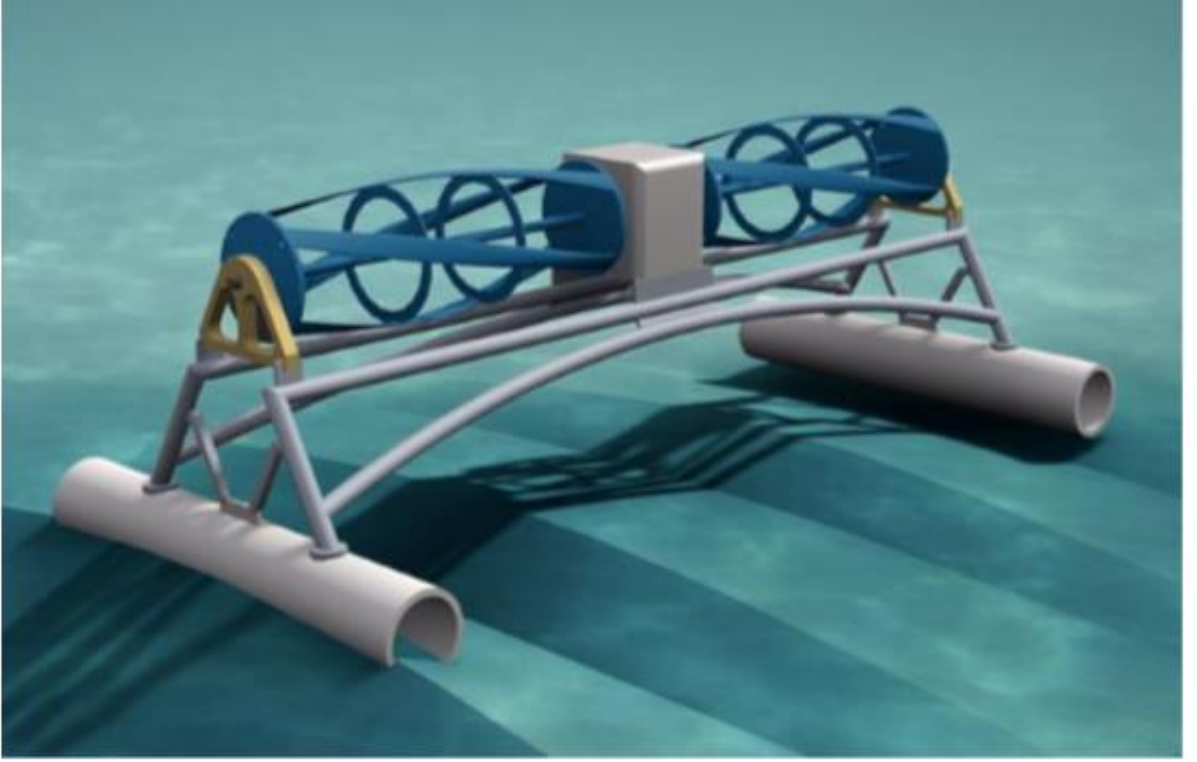
kazanımını arttırmaya yönelik araştırma ve geliştirmeler bulunmakta olup bu konuda yoğun çalışmaları gerçekleştiren lke İngiltere'dir.



**Şekil 8.** 1.2 MW ift kanatlı yatay eksen kurulu akıntı türbini (UŞar, 2015)



**Şekil 9.** 16 metre çapında nozullu sualtı akıntı türbini (UŞar, 2015)



**Şekil 10.** Çapraz akımlı sualtı akıntı türbin projesi (Uşar, 2015)

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. TÜRKİYE'DE YAPILMASI PLANLANAN SUALTI AKINTI ENERJİ TESİSİ KURULUMU İÇİN SWARA VE WASPAS YÖNTEMLERİ İLE YER SEÇİMİ

#### 2.1. Problemin Tanımı

Çağımızın en büyük gereksinimlerinden biri olan yenilenebilir (doğaya zararı indirgenmiş) enerjinin; günümüzün teknolojik imkânları ile daha önceki yetersizliklerinin çözülmeye çalışılmaktadır. Bu çözümlerin artması ile birlikte yenilenebilir enerjinin üretimi, taşınması ve depolanması daha kolay hale gelmekte ve bu gelişmeler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım alanlarının artışı ve bu artış da enerji üretimi çeşitliliğini sağlamaktadır.

Türkiye fosil enerji kaynaklarının üretim alanlarının büyük çoğunluğuna sahip olan ülkelerle ortak sınırlara sahiptir. Ayrıca bu kaynakların Türkiye'de bulunmaması sebebiyle bugüne kadar genel olarak ülkenin enerji ihtiyacının giderilmesi fosil türevli enerji ithalatı yoluyla sağlanmaya çalışılmıştır. Buradaki temel etkenlerden biri geçmişte ülke komşularından temin edilen ucuz fosil enerji kaynakları ve diğeri ise ülkede çıkarılmaya değer miktarda fosil türevli enerji rezervinin bulunmamasıdır. Türkiye özellikle bu sorunu çözmek için bazı illere rafineriler kurarak alınan ham petrolü işleyerek mevzubahis enerji dönüşüm maliyetini minimize edip ihtiyacını gidermeye dönük politikalar izlemektedir.

Son yıllarda bulunulan coğrafyada artan siyasi ve ekonomik gerilimler ayrıca döviz kuruna bağlı artan ham madde fiyatları, küresel ısınmanın yıkıcı etkileri ile beraber artan sını ve sivil taleple birlikte Türkiye'nin enerji üretim alanında ağırlıklı yenilenebilir ve yenilenemez türevli enerji kaynaklarına yatırım yapma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu yatırımlara örnek olarak nükleer türevli enerji, rüzgâr türevli enerji, güneş türevli enerji elektrik üretim çiftlikleri, hidroelektrik santraller ve çeşitli ölçeklerde yenilenebilir-yenilenemez enerji dallarına yapılan yatırımlarla ülkenin dışa bağımlılığı azaltılmaya başlanmış veya buna dönük planlamalar uygulamaya konmuştur.



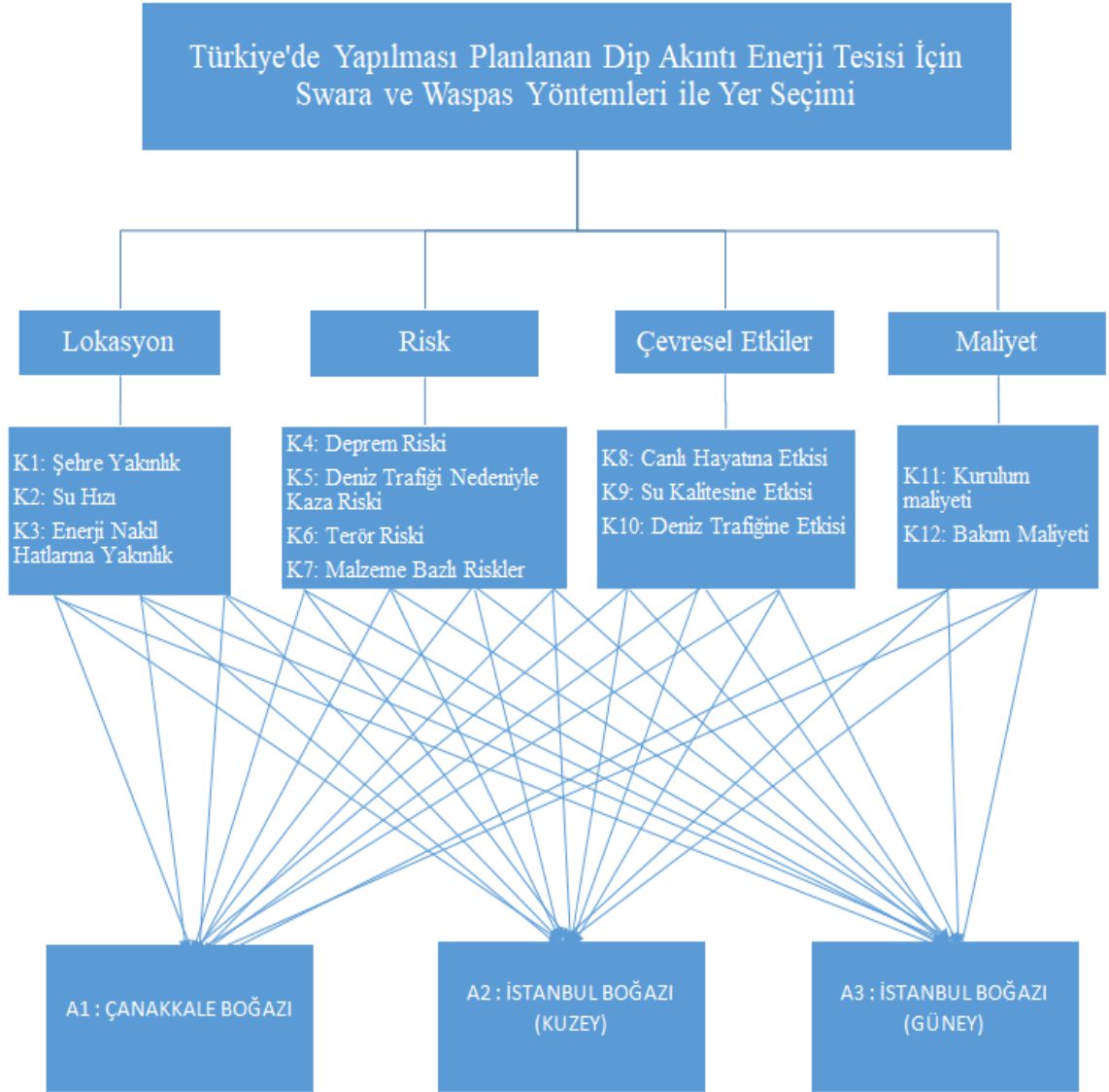
Türkiye'nin içinde bulunduğu konum ve ihtiyaçları göz önüne alındığında yenilenebilir enerji üretimi konusunda ülkenin daha iyi bir seviyede üretim sağlayabileceği gerçeği ortada iken konu ile ilgili yapılan çalışmalar, atılan adımlar gelecek nesiller ve doğanın korunması için umut verici niteliktedir. Tüm bu gelişmeler ülkeye eşzamanlı olarak teknoloji alanında ve maddi alanlarda da kazanımlar sağlayacaktır.

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkede tüm memnuniyet verici çalışmalara rağmen dip akıntı enerjisine ne yazık ki gereken önem ve fırsat günümüze kadar verilmemiştir. Dünya'da özellikle İngiltere'de bu konuyla ilgili çalışmalar ve denemeler hızla sürdürülmektedir. Türkiye'de ise özel bir müteşebbis de bu konuyla ilgili Çanakkale Boğazı'nda gerekli fizibilite ve malzeme çalışmaları yapmaktadır. Dip akıntı enerjisi; rüzgâr türevli enerji gibi veya güneş türevli enerji gibi günün belli saatlerinde enerji üreten bir kaynaktan ziyade sürekliliği daha yüksek olan deniz tuz oranı ve sıcaklık oranlarındaki değişikliklerinden meydana gelen bir enerji türüdür.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan uygulamada Türkiye'de yapılması planlanan dip akıntı enerji üretim tesisi kurulumu için SWARA ve WASPAS yöntemleri kullanılarak önerilen ÇKKV modelindeki kriterler ışığında en uygun alternatif yer belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2.2. Önerilen Araştırma Modeli

Bu çalışma kapsamında önerilen araştırma modeli 4 ana kriter, 12 kriter ve değerlendirilecek 3 alternatiften oluşmakta olup araştırma modeli Şekil 11'de yer almaktadır.



Şekil 11. Önerilen araştırma modeli

### 2.2.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Araştırma modeli için önerilen yapı oluşturulurken yenilenebilir ve yenilenemez türevli enerji kaynakları detaylı olarak incelenmiş ve Türkiye’de yapılması planlanan sualtı akıntı enerjisi tesisleri için yer seçiminde dikkate alınması gereken ana kriterler ve bağlı kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesi aşamalarında kullanılan ana kriterler ve onların alt kriterleri iyi bir karar verme aşamasında bize yol gösterici ve yapılan hesaplamalarda yardımcı olma niteliği taşımıştır. SWARA yöntemi ile belirlenen kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, WASPAS yöntemi ile ise elde edilen kriter ağırlıklarına göre alternatiflerin sıralanması sağlanmıştır.

Uygulamamızda kriterlerin belirlenmesinde yapılan literatür çalışmaları, uzmanlarımız ve sektörel tecrübelerle göre belirlenmiştir. Yapılan fikir alışverişlerine çalışmada yer alan sualtı enerji tesisi için yer seçiminde etken olabilecek başlıklardan oluşturulan ana kriterler ve bunların alt kriterleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Enerji üretim tesisi için seçilecek bölgenin en verimli ve en uyumlu olması için değerlendirilecek olan “Lokasyon” ana kriteri,
2. Seçilecek yerin sahip olduğu ve ilerde meydana gelebilecek tehlikelerin göz önüne alındığı “Risk” ana kriteri,
3. Enerji üretimi için kurulması planlanan sistemin çevreye olan etkilerinin göz önüne alındığı ve tesis nedeniyle meydana gelebilecek tehlikelerin değerlendirildiği “Çevresel Etkiler” ana kriteri,
4. Kurulması planlanan tesisin bakım, kurulum ve diğer tüm etkilerinin mali olarak göz önünde alındığı “Maliyet” ana kriteri ve bunlara bağlı alt kriterler değerlendirilecektir.

#### 1. Lokasyona Bağlı Alt Kıstaslar (Kriterler) ;

- **Şehre yakınlık kıstası (K1):** Türkiye’de kurulması planlanan dip akıntı enerji üretim tesisi, üretim tekniği göz önüne alındığında denizleri birbirine bağlayan boğazlardaki su devir daiminin yani akıntının etkisinden yararlanmaktadır. İnsanoğlu yerleşik hayatı temel aldığından beri sürekli suya

yakın yaşamaya özen göstermiş ve medeniyetler gelişimlerini bu mevkilerde kazanmıştır. Bu nedenden ötürü kurulması düşünülen enerji üretim tesisleri coğrafik olarak mevzu bahis şehirlere yakın olma şansına sahip olacaktır. Örnek vermek gerekirse kurulması düşünülen Çanakkale il sınırları içindeki “Çanakkale Boğazı” ve İstanbul il sınırları içindeki “İstanbul Boğazı” potansiyel olarak şehre yakın üretim tesisi olacaktır. Aynı zamanda üretilen enerjinin şehir hatlarına uygun bir voltaj değerine dönüştürüldüğü ve gelişen yenilenebilir enerji bataryalarının kurulumunun yapılacağı yer şehre yakın olması sebebiyle enerji taşıma maliyetlerini minimize edici bir etkisi de olacaktır.

- **Su hızı (K2):** Kurulması planlanan enerji üretim tesisinde enerjinin kazanımı su akıntı hızına bağlı bir niceliktir. Dip akıntılarının su taşınma kapasitesi yüzey akıntılarından 1,5 kat azdır. Suyun yoğunluğunun havadan yüksek olması nedeniyle sualtı türbinlerinin oluşturduğu enerji üretimi rüzgâr enerjisinin ürettiği enerjiden daha yüksektir. Akıntılar temel olarak denizlerin sıcaklık, tuzluluk ve deniz dibi yükselti farklılıkları gibi etkenler sonucu oluşur. Aynı zamanda geliştirilen yeni sualtı akıntı türbinleri her bir dönüşte daha çok tur atma prensibine bağlı olduğundan daha çok elektrik üretmektedir. Katmanlı türbin yapısı ve yönlendirilebilir türbinleri de akıntının değişkenliğine göre konumlandırılabilir.
- **Enerji Nakil Hatlarına Yakınlık (K3):** Kurulması planlanan dip akıntı enerji üretim tesisinin şehir hatlarında kullanılabilir voltaj değerlerine sahip olması için bazı işlemlerden geçip daha sonra şehir hat ve şebekelerine bağlanması gerekmektedir. Almanya’da üretilen güneş enerjisinin şehir hatlarına dâhil edilmesi için depolama ve enerji nakil hatlarının dönüşümüne önümüzdeki yıllarda milyarlarca Euro kaynak ayrılması öngörülmektedir. Yapılması planlanan enerji üretim tesisinden elde edilen temiz enerjinin de aynı yüksek kurulum maliyetlerine sahip olacağı aşikârdır. Yalnız Türkiye’de yapılması planlanan enerji üretim türbinleri şehre nispeten daha yakın olacağından dolayı enerji nakil hatları bağlamında daha ekonomik bir yapı kurulabileceği varsayılabilir.

## 2. Riske Bağlı Alt Kıstaslar (Kriterler);

- **Deprem Riski (K4):** Türkiye'nin birçok deprem kuşağı içinde bulunduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ülkede kurulması planlanan dip akıntı enerji tesislerinin tümü bu fay hatlarının etkisi altındaki bölgelerdedir. Bu riskler göz önünde bulundurulup buna göre planlama ve inşa süreci planlanmalıdır. Herhangi bir afet durumunda bu enerji üretim tesislerinin hizmet verdiği yaşam alanlarında oluşabilecek sorunlara karşı yedek planlar belirlenmelidir.
- **Deniz Trafikine Bağlı Kaza Riski (K5):** Çanakkale Boğazı ve İstanbul Boğazı (Boğaziçi) bölgelerinde kurulması planlanan dip akıntı enerji üretim tesisleri özellikle deniz trafiğinin metrekareye düşen miktarının en yüksek olduğu ve su derinliğinin yer yer düştüğü İstanbul Boğazında büyük tonajlı gemilerin alt kısmına çarpma riski az da olsa bulunmaktadır. Planlamaların bunun doğrultusunda yapılması önemli önleyici bir tedbir olacaktır.
- **Terör Riski (K6):** Yapılması yüksek maliyetlere neden olacak ve kuruldukları bölgede çevreye verecekleri yarar göz önüne alınırsa yenilenebilir sualtı akıntı türbinleri her daim olumsuz ve tehlikeli terör risklerine sahip olacaktır. Bunlar, sahip oldukları yüksek mali yapı ve önem neticesinde kriz yaratma adına hedef alınabilecek jeopolitik yapılardır. Özellikle bulunduğumuz coğrafyada ve Dünya genelinde artan terör olaylarının sayısı bu riskin gerçekleşme ihtimalinin göz önünde bulundurulması gerektiğinin altını çizmektedir.
- **Malzeme Bazlı Riskler (K7):** Yenilenebilir enerji kaynakları çoğu insan için "Küresel Isınma" probleminin çözümünde bir şans olarak görülmektedir. Bu kaynaklar sera gazlarının atmosferde meydana getirdiği yaranın düzeltilmesinden, buzulların erimesinin engellenip su yüksekliğinin artmasına bağlı afetlerin, milyarlarca insanın yaşamını tehlikeye sokmasını engellemesi içinde büyük bir şanstır. Bu kaynaklardan enerji eldesi için kullanılacak olan teknolojik enerji üretim ekipmanlarının mukavemet değerlerinin ve korozyona karşı gerekli metalürjik yapı ve tasarımıyla değişen şartlara uyum sağlayan bir yapısının olması şarttır. Ekonomik ömür bağlamında fosil türevli enerji üretimi yapan üretim tesislerine göre daha uzun bir ömre sahip olan yenilenebilir enerji türevli üretim tesisleri kuruluş dönemindeki yüksek

maliyetini zamanla doğaya ve ekonomiye katkılarıyla sürdürülebilir kılmaktadır.

### 3. Çevresel Etkilere Bağlı Alt Kıstaslar (Kriterler);

- **Canlı Hayatına Etkisi (K8):** Türkiye’de yapılması planlanan dip akıntı enerji üretim tesisinde kullanılması gereken malzeme ekipmanlarının için kullanılan boya ve türbinlerin verimini arttırmak için kullanılan yağ çeşidinin türbin çiftliğinin bulunduğu alandaki doğal habitatın işleyişini yok edecek bir kimyasal yapıda olmaması gerekmektedir. Temel olarak amacı doğaya saygı ve var olan kirliliği bertaraf etmek olan yenilenebilir enerji kaynakları için oldukça önemli olan etkenlerden biridir.
- **Su Kalitesine Etkisi (K9):** Yapılması planlanan tüm büyük çaplı enerji üretim tesislerinin yapımı öncesi çevreye ve canlılara olan etkileri araştırılıp beraber yaşanan canlılarında hakları gözetilmelidir. Türkiye’de adı “Çevresel Etki Değerlendirmesi” olan ve Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan tüm büyük çaplı projelerin yapımı öncesi o projelerin gelecekte neden olabileceği değişimlerin olası etkileri raporlanmaktadır. Sualtı dip akıntı enerji tesisi bir önceki kıstasta belirtildiği gibi canlı hayatına olan etkisi gibi su kalitesine de etki edecektir. Su kalitesi etkisi bağlamındaki amaç turizm, balıkçılık gibi alanlardaki negatif etkinin bertaraf edilmesidir.
- **Deniz Trafiğine Etkisi (K10):** Türkiye boğazlarında yapılması planlanan dip akıntı türbin çiftlikleri konumu gereği ülkenin ve Dünya’nın en yoğun deniz trafiğine sahip olan bölgeleri planlanmaktadır. İnşa aşaması ile başlayan süreçte en verimli dip yüksekliği belirlenirken boğazı kullanan fırtınalı günlerde yüksek tonajlı gemilerle olabilecek kaza riskini azaltmak için gerekli hesaplama ve güvenlik önlemlerinin alınması şarttır. Bu türbinler, temel olarak uygun şartlarda herhangi bir trafik arttırıcı etkiye sahip olmasa da, türbinlerin inşa ve bakım günlerinde dar bir boğazda bulunmaları hasebiyle bekleme ve trafiğe neden olma ihtimalleri bulunmaktadır. Planlama dâhilinde en aşırı şartların göz önüne alınması şarttır.

#### 4. Maliyete Bağlı Alt Kıstaslar (Kriterler);

- **Kurulum Maliyeti (K11):** Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan sualtı dip akıntı tesislerinin kurulum maliyetleri yüksektir. Kurulum aşamasından önce yapılan araştırma ve geliştirme safhasıyla beraber, tesislerin saha testleri, malzeme maliyeti, enerji bataryaları ve enerji nakil hatları olmak üzere birçok çıktısı bulunmaktadır. Kurulum aşamasında boğazların yoğun trafiği nedeniyle yaşanabilecek gecikmeler her iki taraf içinde ek maliyetlere neden olabilecektir.
- **Bakım Maliyetleri (K12):** Sualtı dip akıntı türbinlerinin kurulum maliyetleri her ne kadar yüksek olsa da bakım maliyetleri oldukça düşüktür. Kurulumun tamamlanmasının ardından genel sistem kontrolü hariç masrafi bulunmamaktadır. Ekonomik ömür açısından fosil yakıtlara göre uzun bir ömür sunan yenilenebilir enerji üretim kaynakları, insanoğluna ham maddelere bağımlılığı olmadan enerji ihtiyacını giderme şansı vermektedir.

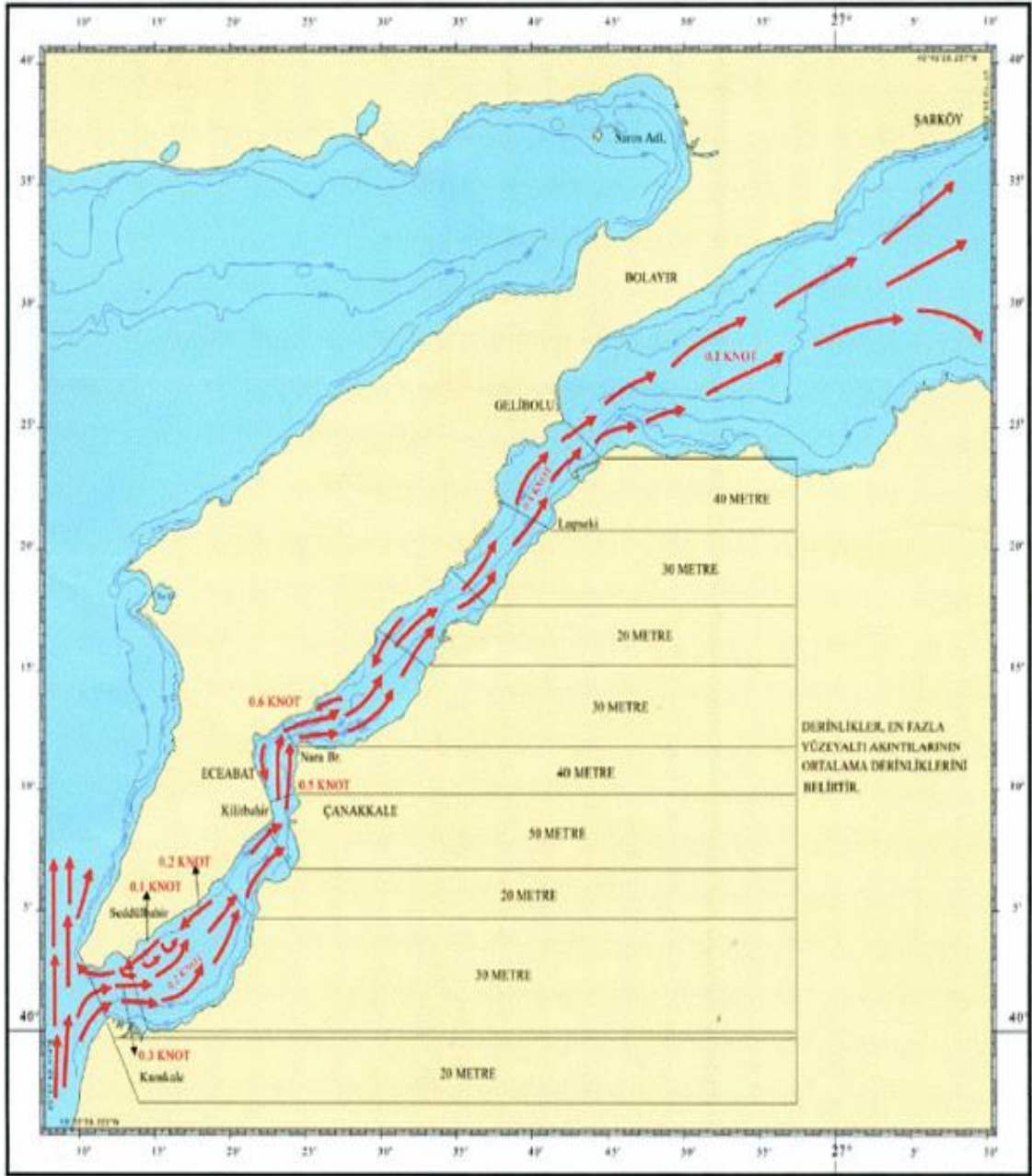
#### 2.2.2 Alternatiflerin Belirlenmesi

Son yıllarda devlet destekli fizibilite çalışmaları da olan bu teknoloji üzerine çalışmalar ve araştırmalar devam etmekte olup dip akıntıları denizlerin farklı tuzluluk oranı, sıcaklık oranı ve bölgenin rüzgâr rejimlerinin etkileri gibi birçok etmenden meydana geldiği bilinmektedir.

Türkiye’de yapılması planlanan dip akıntı enerji üretim tesisinin kurulabileceği alanın seçiminde temel olarak bu enerji kaynağından maksimum fayda edilebilecek olan boğazlar en uygun alternatiflerdir. Çanakkale Boğazı ve İstanbul Boğazı’nın bu kaynak için en verimli yer olacağı düşünülmüş ve bu tez çalışması kapsamında 3 alternatif belirlenerek analiz edilmiştir.

Çanakkale Boğazı (A<sub>1</sub>), İstanbul Boğazı (Kuzey) (A<sub>2</sub>) ve İstanbul Boğazı (Güney) (A<sub>3</sub>) uygulama çalışmasında dip akıntı enerji üretim tesisi alternatiflerini oluşturacaktır.

- Çanakkale Boğazı (A<sub>1</sub>)
- İstanbul Boğazı (KUZEY) (A<sub>2</sub>)
- İstanbul Boğazı (GÜNEY) (A<sub>3</sub>)

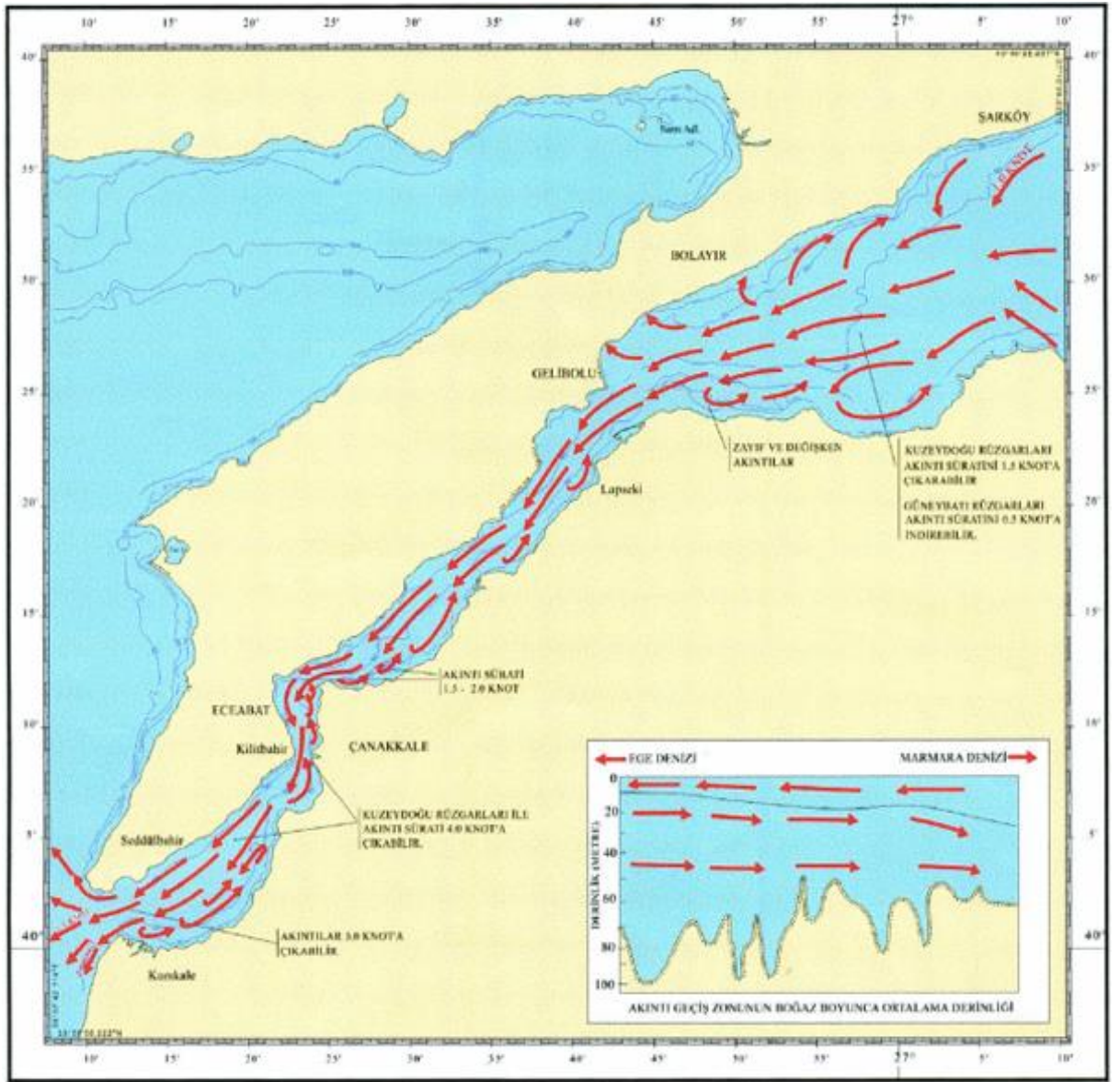


Şekil 12. Çanakkale Boğazı için sualtı akıntı oranları (TUDAV, 2014)

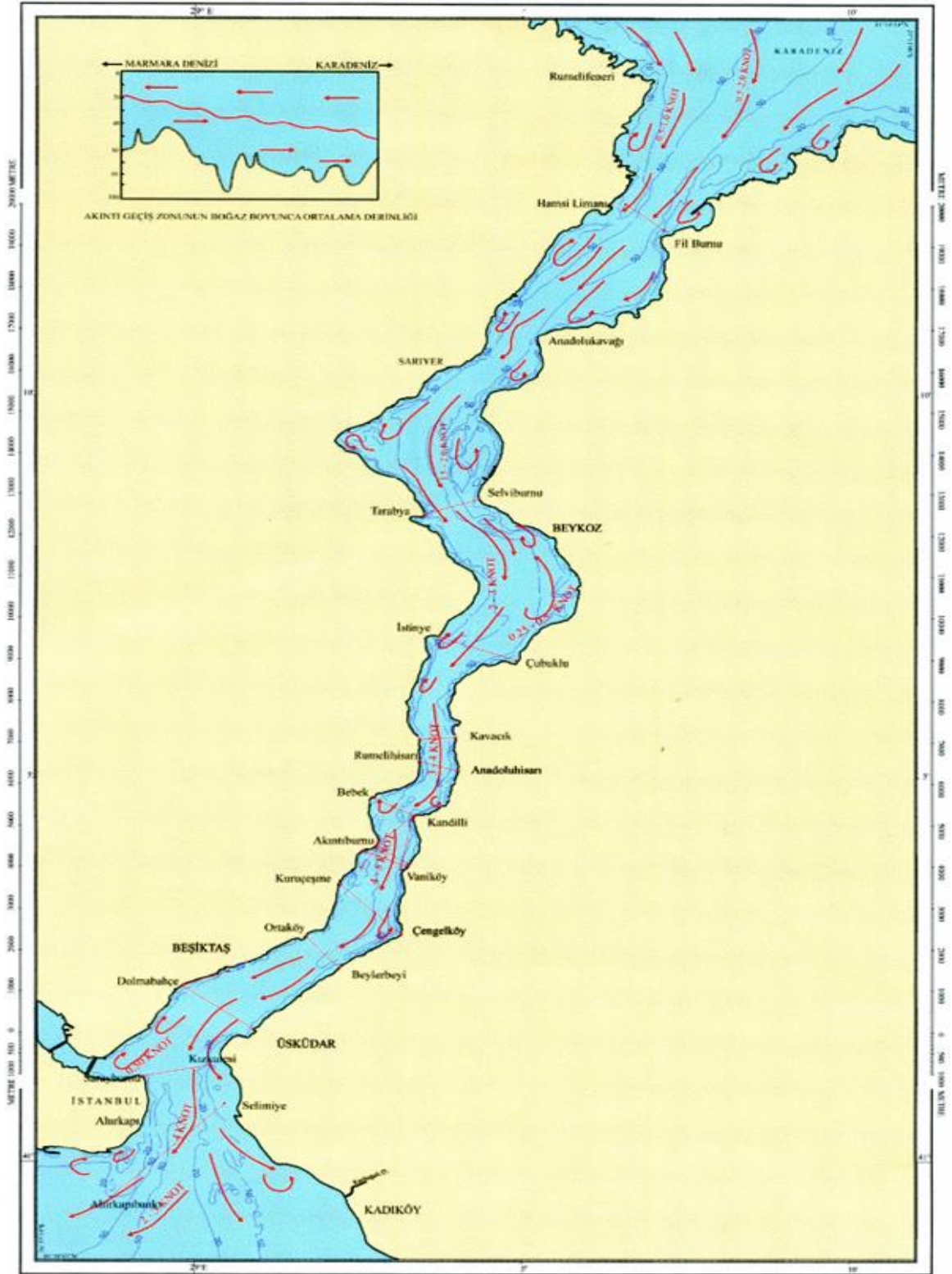


- Çanakkale Boğazı (A<sub>1</sub>)

Alternatiflerimizin belirlenmesinde kabul ettiğimiz alternatifler genel olarak yaptığımız literatür araştırmalarında Türkiye’de bu zemin için uygun olan Çanakkale Boğazını ilk alternatifimiz olarak kabul ettik. Hali hazırda bu bölgede özel bir şirket bu teknoloji ile ilgili çalışmalar sürdürmektedir. En yüksek sualtı akıntı oranlarına sahip Eceabat, Kilitbahir ve Çanakkale bölgesi hem yüksek sualtı akıntı oranına sahip olması hem de enerji çevirim ve aktarma istasyonlarına yakın olması hasebiyle tercih edilmiştir.



Şekil 13. Çanakkale Boğazı için sualtı akıntı oranları (TUDAV, 2014)

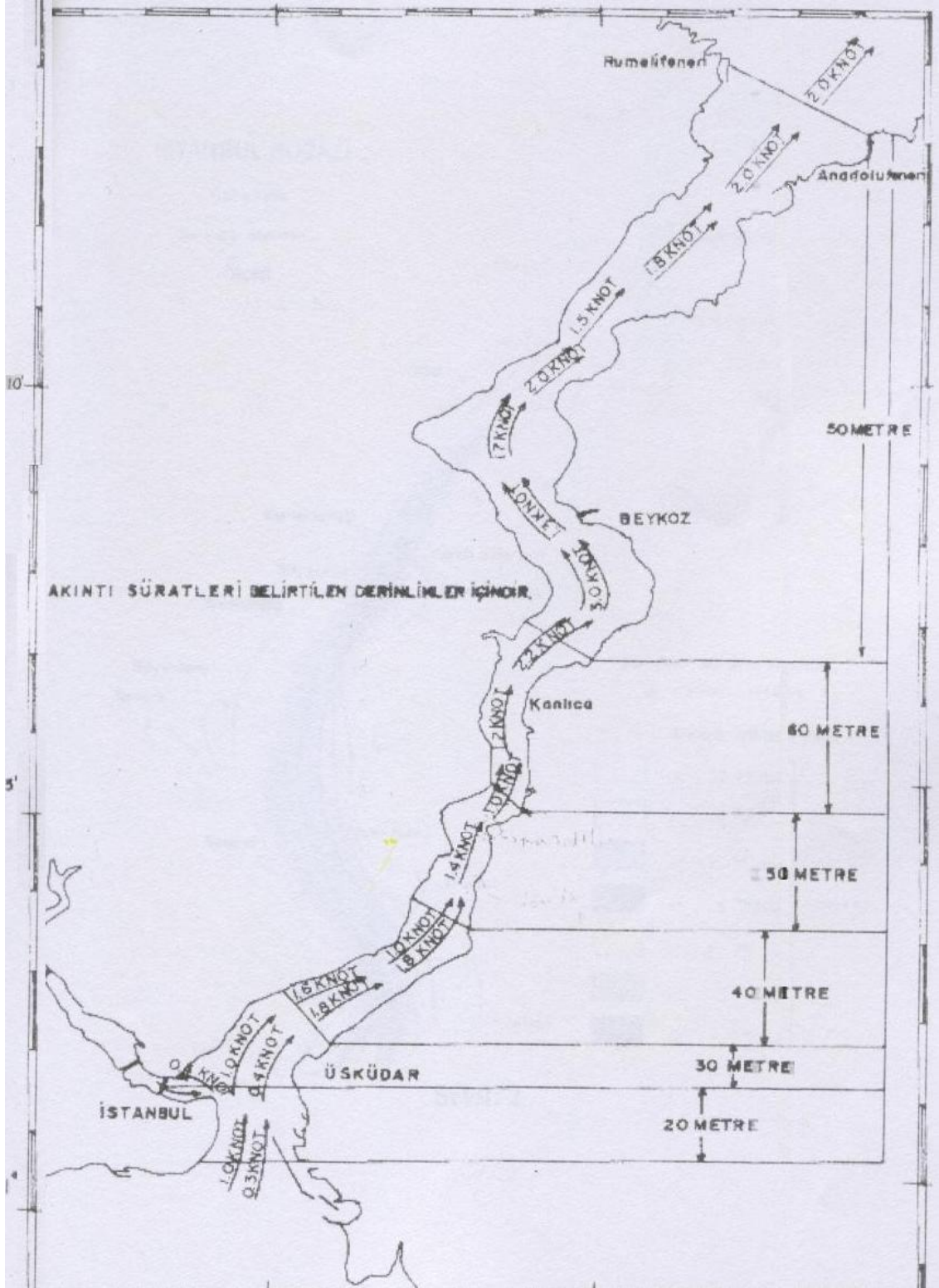


Şekil 14. İstanbul Boğazı için sualtı akıntı oranları (TUDAV, 2014)

- **İstanbul Boğazı (KUZEY) (A<sub>2</sub>)**

Alternatiflerimiz arasında olan İstanbul Boğazı (Kuzey) bölgesi alternatif bağlamında belirlediğimiz modelimiz içindeki 2 bölgeden biridir. Elde edilen verilere göre yapılması planlanan sualtı akıntı enerji üretim tesisi için Akıntıburnu-Kandilli ve Kuruçeşme-Vaniköy arasındaki yıl için 4-5 Knot ortalama sualtı akıntı debisi Kuzey lokasyonu için en uygun seçenektir. Suyun yoğunluğunun havadan fazla olması hasebiyle mevzu bahis santralden elde edilecek enerji miktarı aynı üretim kapasitesine sahip bir rüzgâr santralinden daha yüksek olduğu kabul edilmektedir. Türbin teknolojileri, malzeme seçimi vs. gibi konularda yapılacak teknik araştırma ve gelişmeler enerji kazanımı konusunda bu teknolojinin gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Bölgenin nüfus miktarı yüksek olması hasebiyle enerji nakil ve taşıma maliyetlerinin düşük olacağı kabul edilmektedir. Bakım ve onarım açısından Kuzey istasyonuna göre daha dar bir bölgede olması hasebiyle boğaz trafiğine nispi oranda gecikme yaratabilecek bir konuma sahiptir. Yapılan çalışma modelinde tüm alternatifler için aynı kurulu güç oranı kabul edilip hesaplamalar ona göre yapılmıştır. Yapılacak daha geniş teknik kapsamlı modellerde mevzu bahis enerji üretim santralinin boyutları ve üretim kapasiteleri değiştirilebilir. Aynı zamanda alternatif sayısı da yapılacak simülasyonlarla genel hat boyunca istasyon sayısı arttırılabilir.



Şekil 15. İstanbul Boğazı için sualtı akıntı oranları (TUDAV, 2014)

- **İstanbul Boğazı (GÜNEY) (A<sub>3</sub>)**

İstanbul Boğazı (Güney) bölgesinde Ahırkapı-Selimpaşa bölgesi boğazın Karadeniz'den Marmara'ya çıkış bölgesinde olması hasebiyle nedeniyle yıl içi ortalaması 4 Knot gibi yıl içi ortalama sualtı akıntı hızlara ulaşmaktadır. Yaşayan nüfus bakımından da yoğun bir orana sahip olan bölge enerji nakil ve dağıtım hatlarına yakınlığıyla enerji taşıma ve ulaştırma maliyetleri bakımından faydalı bir yapıya sahip olacaktır. Tarih boyunca insanların yaşam alanları olarak suya yakın bölgeler seçmesi üç alternatif içinde aynı maddi ve manevi faydayı sağlamaktadır.

İstanbul Bölgesin içinde kurulacak her iki sualtı akıntı enerji üretim tesisinin kabul edilebilir bir faydası da kurulacağı boğazların hem benzerlerine göre daha fazla sualtı akıntı debi oranına sahip olması hem de hem de sürdürülebilirliğinin birden fazla etki ile desteklenmesidir. Bunlar iki deniz arasındaki su tabanı yükselti farkı, iki deniz arasındaki sıcaklık farkı ve iki deniz arası tuzluluk oranı farkıdır. Bu üç etken enerjinin üretimi konusunda sürdürülebilirliği garanti eden doğal avantajlardır.

Güney istasyonunun Kuzey istasyonuna göre daha geniş bir alana sahip olması bakım-onarım anlamında da çalışmaların deniz trafiğini etkileme oranını azaltacaktır.

### **2.3 Önerilen Araştırma Modeli için Varsayımlar**

Uygulamasını yaptığımız çalışmada baz alınan alternatif santral konumları, bu teknolojinin uygulanabilirliği açısından uygun yapıya sahip Türkiye içindeki 3 alternatifin kriterler bağlamında değerlendirilip sıralamasına dönük bir çalışmadır.

Yapılan uygulamada tesis kurulum ve maliyet kriterleri açısından her bir alternatif için boyut, hacim ve üretim kapasitesi açısından denk tesisler için dikkate alınmıştır. Buradaki amaç örnek modelimizde bu teknolojinin uygulanabilirliği açısından en uygun konumu belirlemek ve alternatiflerin sıralaması için Swara ve Waspas tekniklerinin kullanılmasıdır. Uzmanlar tarafından yapılacak gerekli teknik değerlendirmeler sonucunda tesiste kullanılacak üretim kapasitesi, şehre uzaklık, nakil hatlarına uzaklık gibi kriterler değiştirilebilir ve modellemeler ona göre yapılabilir.

Alternatifler ihtiyaca göre azaltılabilir, arttırılabilir. Üretim kapasitelerine göre daha kapsamlı modeller ile daha detaylı hesaplar yapılabilir. Çalışmada asıl amaçlanan uygulanabilirliği test edilmemiş enerji kaynaklarından biri olan sualtı akıntı türbinlerinin uzmanlar (karar vericiler) ana kriterlere bağlı alt kriterlere ve alternatiflere göre sıralanmasını yapabildiğimizi göstermektedir.

## 2.4 Modelin Çözüm Yöntemleri (SWARA VE WASPAS)

### 2.4.1. SWARA Yöntemi

Türkçe açılımı “Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) Yöntemi” olan “Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis” Keršulienne vd. tarafından 2010 yılında literatüre kazandırılmıştır. Bu yöntem ile alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılması gereken kriterler en önemli ağırlık oranına sahip olandan başlanarak daha az önem değerine sahip olana doğru derecelendirilmekte ve her kriter konunun uzmanları tarafından oylanarak önemsiz olanlar ise saf dışı bırakılmaktadır (Keršulienne vd., 2010)

**1.Aşama;** Her karar verici model için belirlenmiş olan kriterleri kendi uzmanlığına göre en önemliden en az önemli olana göre sıralar. Uzman tarafından en önemli kritere 1 puan verilir ve ardından karar verici uzman bu değerlendirmeyi 0 ile 1 arasında 0,05’in katları olacak şekilde tekrar değerlendirir.  $p_j^k$ ;  $j=1, \dots, k=1, \dots, l$ ;  $0 \leq p_j^k \leq 1$  olarak gösterilir.

**2.Aşama;** Tüm kıstaslar için görelî ortalama önem puanı hesaplanır. Karar verici sayısı  $l$  ile gösterildiğinde karar vericiler tarafından kriterlere atanan görelî önem puanlarının ortalaması 1. Eşitlik yardımıyla belirlenir.

$$S_j = \frac{\sum_{k=1}^l p_j^k}{l}; j = 1, \dots, n \quad \text{1.Eşitlik}$$

**3.Aşama;** Tüm kıstaslar görelî ortalama önem puanlarına göre sıralanır. Yapılan karşılaştırma sonucunda  $S_j$  değerleri yani kıstasların ortalama değerlerinin

karşılaştırılmalı önemi hesaplanır.  $C_j$  değerleri  $j + 1$  kriterinin  $j$  kriterine göre önem oranı olarak belirlenerek, ikili karşılaştırma yoluyla elde edilir.

**4.Aşama;** Tüm kıstaslar için katsayı değeri  $C_j$ , aşağıda yer alan 2.Eşitlik kullanılarak elde edilir. En büyük  $S_j$  değerine sahip kritere ait katsayı  $c_j = 1; j = 1, \dots, n$  olarak belirlenir.

$$C_j = S_j + 1; j = 1, \dots, n \quad \text{2.Eşitlik}$$

**5.Aşama;** Tüm kıstaslar için  $S_j'$  değeri yani düzeltilmiş ağırlıklar 3.Eşitlik kullanılarak hesaplanır. Birinci sırada yer alan kriterin düzeltilmiş ağırlığı  $S_j' = 1$  olarak kabul edilir ve  $S_j'$  hesaplanırken  $S_j'$ ye göre yapılan sıralama dikkate alınır.

$$S_j' = \frac{S_{j-1}'}{C_j}; S_{j-1}' > S_j \quad \text{3. Eşitlik}$$

**6.Aşama;** Bütün kriterler için nihai ağırlıklar 4. Eşitlik kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplama ile  $S_j'$  değerleri normalleştirilir ve ağırlıklar  $w_j; j = 1, \dots, n$  ile elde edilir.

$$W_j = \frac{S_j'}{\sum_{j=1}^n S_j'} ; j = 1, \dots, n \quad \text{4. Eşitlik}$$

#### 2.4.2. WASPAS Yöntemi

“Ağırlıklı Toplam Modeli (Weighted Sum Model)” ve “Ağırlıklı Çarpım Modeli (Weighted Product Model)” olmak üzere iki farklı modelin sonuçlarını birleştiren bir bu yöntem ile birleşik optimallik kriterinin değerine göre alternatiflerin sıralaması yapılmaktadır. Yöntem kendi işleyişi içerisinde duyarlılık analizi yaparak alternatif sıralamalarındaki tutarlılığı kontrol edebilmektedir ve bu özelliği ile diğer ÇKKV yöntemlerinden ayrılmaktadır (Chakraborty ve Zavadskas, 2014); (Yurdođlu, 2014).

WASPAS yönteminin adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Zavadskas vd., 2013b; 2013c):

**1. Aşama:** Araştırma modeli için gerekli olan alternatifler  $A_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) ve  $K_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) kıstaslar belirlenir.

**2. Aşama;** Daha sonra ÇKKV yöntemlerinden biri kullanılarak karar vericiler tarafından kıstas ağırlıkları belirlenir.

**3. Aşama;** Kıstas ağırlıklarının belirlenmesi ile birlikte WASPAS yönteminin yapısını oluşturan başlangıç karar matrisi oluşturularak normalize edilir.

Karar sürecinde dikkate alınan ve araştırma modelinde yer alan kıstaslardan bazıları problemin yapısına göre fayda yapılı bazıları ise maliyet yapılı olarak ayrıştır. Fayda yapılı kıstaslar, karar verici tarafından değerleri maksimize edilmek istenen kriterler, maliyet yapılı kıstaslar ise yine karar verici tarafından değerleri minimize edilmek istenen kriterlerdir. Başlangıç karar matrisinin normalize edilmesinde fayda yapılı ve maliyet yapılı kıstaslar için sırasıyla 5. ve 6. Eşitlikler kullanılmaktadır.

Fayda yapılı kriterler için;

**5. Eşitlik**

$$\overline{\overline{x_{ij}}} = \frac{\overline{x_{ij}}}{\max_i \overline{x_{ij}}}$$

Maliyet yapılı Kriterler için;

**6. Eşitlik**

$$\overline{\overline{x_{ij}}} = \frac{\min_i \overline{x_{ij}}}{\overline{x_{ij}}}$$

**4. Aşama;** WASPAS yöntemini yapısını oluşturan Weighted Sum Modeline göre tüm alternatifler için ayrı ayrı toplam göreceli önem değeri 7.Eşitliğe göre hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \overline{\overline{x_{ij}}} \times w_j$$

**7. Eşitlik**



**Not:** Buradaki  $w_j$  değeri bu tez çalışması kapsamında SWARA yöntemiyle hesaplanan kriterlere ait önem ağırlıklarındır.

**5.Aşama;** Bu defa yine WASPAS yöntemini oluşturan Weighted Product Modeline göre tüm alternatifler için ayrı ayrı toplam göreceli önem değeri 8. Eşitliğe göre hesaplanır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\overline{x_{ij}})^{w_j} \quad \text{8. Eşitlik}$$

**6.Aşama;** Birleşik optimallik değeri Weighted Sum Model ve Weighted Product Model yaklaşımlarına göre tüm alternatifler için 9.Eşitlik ile hesaplanır. İki model optimallik kriterinde eşit güce sahip olduğu kabul edilerek  $\lambda=0,5$  alınır. Burada  $\lambda$ , birleşik optimallik katsayısıdır ve  $\lambda \in [0,1]$ ' dir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad \text{9. Eşitlik}$$

**7.Aşama;** İki model optimallik kriterinde eşit güce sahip olduğu durumlarda  $\lambda=0.5$  alınarak 10.Eşitlik oluşturulur.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad \text{10.Eşitlik}$$

## 2.5. Modelin Çözümü

Bu tez çalışmasının uygulama aşaması Türkiye'de yapılması planlanan dip akıntı tesisi için SWARA ve WASPAS yöntemlerinin kullanması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen model 4 ana kriter altında toplanan 12 kriterden oluşmaktadır. Bu kriterler; Şehre Yakınlık ( $K_1$ ), Su Hızı ( $K_2$ ), Enerji Nakil Hatlarına Yakınlık ( $K_3$ ), Deprem Riski ( $K_4$ ), Deniz Trafiği Nedeniyle Kaza Riski ( $K_5$ ), Terör Riski ( $K_6$ ), Malzeme Bazlı Riskler ( $K_7$ ), Canlı Hayatına Etkisi ( $K_8$ ), Su Kalitesine Etkisi ( $K_9$ ), Deniz Trafiğine Etkisi ( $K_{10}$ ), Kurulum Maliyeti ( $K_{11}$ ) ve Bakım Maliyeti ( $K_{12}$ )' dir. Önerilen model kapsamında oluşturulan alternatifler ise dip akıntı tesislerinin kurulabileceği muhtemel potansiyel üç bölgeden oluşmakta olup bu bölgeler Çanakkale Boğazı ( $A_1$ ), İstanbul Boğazı Kuzey ( $A_2$ ) ve İstanbul Boğazı Güney ( $A_3$ ) bölgeleridir.

**1. Aşama:** İlk olarak, enerji konusunda uzman ve sektörde aktif olarak yer alan üç karar verici kendilerine sunulan anket çalışması ile birlikte modelde yer alan kriterleri derecelendirmişlerdir. Sıralama yapılırken puanlama kıstas (kriter) sayısı kadar numarayla belirlenmiş ve önem dereceleri elde edilerek Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo1.** Önerilen Model Alt Kriterlerinin Önem Derecelerine Göre Karar Vericiler Tarafından Sıralanması

			KARAR VERİCİLER		
			KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>
<b>KRİTERLER</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>ŞEHRE YAKINLIK (KM)</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>AKINTI HIZI (KNOT)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>ENERJİ NAKİL HATLARINA YAKINLIK (KM)</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>DEPREM RİSKİ</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>
	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>DENİZ TRAFİĞİ NED. KAZA RİSKİ</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
	<b>K<sub>6</sub></b>	<b>TERÖR RİSKİ</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
	<b>K<sub>7</sub></b>	<b>MALZEME BAZLI RİSKLER</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>5</b>
	<b>K<sub>8</sub></b>	<b>CANLI HAYATINA ETKİSİ</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
	<b>K<sub>9</sub></b>	<b>SU KALİTESİ ETKİSİ</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	<b>K<sub>10</sub></b>	<b>DENİZ TRAFİĞİNE ETKİSİ</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>7</b>
	<b>K<sub>11</sub></b>	<b>KURULUM MALİYETİ</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
	<b>K<sub>12</sub></b>	<b>BAKIM MALİYETİ</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Kriterlerin derecelendirilmesinin ardından sonra karar vericiler kendileri için en önemli kritere 1,00 değerini vererek ondan sonraki kriterleri de bu referans ile 0.05’in katı olacak şekilde tekrar sıralamış ve elde edilen puanlamaların tamamlamasından sonra p<sub>k</sub> değerlerinden oluşan tablo, Tablo 2 ile gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Önerilen Model Kriterlerinin Puanlandırılması (Önem Derecelerine Göre)

Kriterlerin karar vericilerin değerlendirmesine göre önem dereceleri dikkate alınarak puanlandırılması (p <sub>k</sub> değerleri)				
		KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>
K <sub>1</sub>	ŞEHRE YAKINLIK (KM)	1,00	0,90	0,90
K <sub>2</sub>	AKINTI HIZI (KNOT)	0,90	0,85	0,80
K <sub>3</sub>	ENERJİ NAKİL HATLARINA YAKINLIK (KM)	0,45	0,75	0,70
K <sub>4</sub>	DEPREM RİSKİ	0,60	0,80	0,35
K <sub>5</sub>	DENİZ TRAFİĞİ NED. KAZA RİSKİ	0,40	0,45	0,55
K <sub>6</sub>	TERÖR RİSKİ	0,20	0,30	0,40
K <sub>7</sub>	MALZEME BAZLI RİSKLER	0,55	0,40	0,75
K <sub>8</sub>	CANLI HAYATINA ETKİSİ	0,50	0,60	0,50
K <sub>9</sub>	SU KALİTESİ ETKİSİ	0,35	0,50	0,45
K <sub>10</sub>	DENİZ TRAFİĞİNE ETKİSİ	0,30	0,55	0,60
K <sub>11</sub>	KURULUM MALİYETİ	0,75	1,00	0,95
K <sub>12</sub>	BAKIM MALİYETİ	0,80	0,95	1,00

**2. Aşama:** Önerilen model kriterlerinin tümü için göreceli ayrı ayrı ortalama önem puanı (p<sub>j</sub>) 1.Eşitlik yardımıyla hesaplanmış elde edilen değerler Tablo 3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Önerilen Model Kriterlerinin Önem Puanları (Ortalama)

Önerilen kriterler için ortalama önem puanları (p <sub>j</sub> )	
K <sub>1</sub>	0,93
K <sub>2</sub>	0,85
K <sub>3</sub>	0,63
K <sub>4</sub>	0,58
K <sub>5</sub>	0,47
K <sub>6</sub>	0,30
K <sub>7</sub>	0,57
K <sub>8</sub>	0,53
K <sub>9</sub>	0,43
K <sub>10</sub>	0,48
K <sub>11</sub>	0,90
K <sub>12</sub>	0,92

**3. Aşama:** Tüm kriterler önem derecelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış, kriterler için ortalama değerlerin karşılaştırılmalı önemi yani s<sub>j</sub> değerleri hesaplanarak Tablo 4’e eklenmiştir.

**Tablo 4.** Önerilen Model Kriterlerinin Ortalama Önem Puanlarına Göre Karşılaştırılması

	$p_i$	$S_j$
<b>K<sub>1</sub></b>	<b>0,93</b>	-
<b>K<sub>12</sub></b>	<b>0,92</b>	<b>0,01</b>
<b>K<sub>11</sub></b>	<b>0,90</b>	<b>0,02</b>
<b>K<sub>2</sub></b>	<b>0,85</b>	<b>0,05</b>
<b>K<sub>3</sub></b>	<b>0,63</b>	<b>0,22</b>
<b>K<sub>4</sub></b>	<b>0,58</b>	<b>0,05</b>
<b>K<sub>7</sub></b>	<b>0,57</b>	<b>0,01</b>
<b>K<sub>8</sub></b>	<b>0,53</b>	<b>0,04</b>
<b>K<sub>10</sub></b>	<b>0,48</b>	<b>0,05</b>
<b>K<sub>5</sub></b>	<b>0,47</b>	<b>0,01</b>
<b>K<sub>9</sub></b>	<b>0,43</b>	<b>0,04</b>
<b>K<sub>6</sub></b>	<b>0,30</b>	<b>0,13</b>

Yapılan hesaplamalar ile elde edilen kıstasların önem ağırlık sıralaması  $K_1 > K_{12} > K_{11} > K_2 > K_3 > K_4 > K_7 > K_8 > K_{10} > K_5 > K_9 > K_6$  olarak elde edilmiştir.

**4. Aşama:** Kıstasların katsayı değeri ( $c_j$ ), 2.Eşitlik kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Önerilen Model Kriterlerinin Katsayı Değerleri

<b>Kriterler</b>	<b>Katsayı Değerleri (<math>c_j</math>)</b>
<b>K<sub>1</sub></b>	<b>1</b>
<b>K<sub>12</sub></b>	<b>1,01</b>
<b>K<sub>11</sub></b>	<b>1,02</b>
<b>K<sub>2</sub></b>	<b>1,05</b>
<b>K<sub>3</sub></b>	<b>1,22</b>
<b>K<sub>4</sub></b>	<b>1,05</b>
<b>K<sub>7</sub></b>	<b>1,01</b>
<b>K<sub>8</sub></b>	<b>1,04</b>
<b>K<sub>10</sub></b>	<b>1,05</b>
<b>K<sub>5</sub></b>	<b>1,01</b>
<b>K<sub>9</sub></b>	<b>1,04</b>
<b>K<sub>6</sub></b>	<b>1,13</b>

**5. Aşama:** Tüm kıstaslar için düzeltilmiş ağırlıklar yani  $s_j'$  değerleri 3.Eşitlik yardımıyla hesaplanmış bulunan değerler Tablo 6'da gösterilmiştir. İlk sırada yer alan kriterin düzeltilmiş ağırlığı  $s_j'=1$  olarak kabul edilmiştir.

**Tablo 6.** Önerilen Model Kriterlerinin Ağırlık Değerleri (Düzeltilmiş)

Kriterler	Düzeltilmiş Ağırlık Değerleri ( $s_i$ )
<b>K<sub>1</sub></b>	<b>1</b>
<b>K<sub>12</sub></b>	<b>0,99</b>
<b>K<sub>11</sub></b>	<b>0,97</b>
<b>K<sub>2</sub></b>	<b>0,92</b>
<b>K<sub>3</sub></b>	<b>0,76</b>
<b>K<sub>4</sub></b>	<b>0,72</b>
<b>K<sub>7</sub></b>	<b>0,71</b>
<b>K<sub>8</sub></b>	<b>0,69</b>
<b>K<sub>10</sub></b>	<b>0,65</b>
<b>K<sub>5</sub></b>	<b>0,65</b>
<b>K<sub>9</sub></b>	<b>0,62</b>
<b>K<sub>6</sub></b>	<b>0,55</b>

**6.Aşama:** Tüm kıstaslar için nihai ağırlıklar, 4.Eşitlik kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7’de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Önerilen Model Kriterlerinin Elde Edilen Nihai Ağırlık Değerleri

Kriterler	Nihai Ağırlık Değerleri ( $w_j$ )
<b>K<sub>1</sub></b>	<b>0,11</b>
<b>K<sub>12</sub></b>	<b>0,11</b>
<b>K<sub>11</sub></b>	<b>0,11</b>
<b>K<sub>2</sub></b>	<b>0,1</b>
<b>K<sub>3</sub></b>	<b>0,08</b>
<b>K<sub>4</sub></b>	<b>0,08</b>
<b>K<sub>7</sub></b>	<b>0,08</b>
<b>K<sub>8</sub></b>	<b>0,07</b>
<b>K<sub>10</sub></b>	<b>0,07</b>
<b>K<sub>5</sub></b>	<b>0,07</b>
<b>K<sub>9</sub></b>	<b>0,07</b>
<b>K<sub>6</sub></b>	<b>0,06</b>

SWARA metodu ile kriter ağırlıkları hesaplamaları tamamlanması ile birlikte alternatiflerin sıralanması için WASPAS metodu kullanılmıştır.

**1. Aşama:** Dip akıntı türbinlerinin kurulum bölgesi için uygun olabilecek alternatifler ( $A_i$ ;  $i = 1, \dots, 3$ ) ve kriterler ( $K_j$ ;  $j=1, \dots, 12$ ) belirlenmiştir

Önerilen araştırma modelindeki ilk üç kriter ( $K_1, K_2, K_3$ ) ölçülebilir nicel kıstaslar olup, diğer 9 kriter ise ( $K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}, K_{11}, K_{12}$ ) ise fayda temelli kriterler olarak sınıflandırılmıştır.

**2. Aşama:** Araştırma modeli kıstaslarının ağırlıklarının belirlenmesinde SWARA metodu yaklaşımı uygulanmıştır ve uygulama sonucu elde edilen nihai ağırlıklar Tablo 7’de yer almıştır.

**3. Aşama:** SWARA metodu ile belirlenen kriter ağırlıklar ile birlikte WASPAS metodunun temelini oluşturan başlangıç karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 8’de gösterilmiştir. ( $K_1$ ) Şehre yakınlık (Km), ( $K_2$ ) Su Hızı (Knot) ve ( $K_3$ ) Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık (Km) değerlerinin haricindeki diğer tüm kıstaslar 1= en kötü ve 5 = en iyi olacak şekilde değerlendirilmiş, alternatifler ise Türkiye’de dip akıntı tesisi kurulabilecek en uygun zemin olan boğazlar olarak kabul edilmiştir.

- Çanakkale Boğazı ( $A_1$ )
- İstanbul Boğazı (KUZEY) ( $A_2$ )
- İstanbul Boğazı (GÜNEY) ( $A_3$ )

**Tablo 8.** WASPAS Yöntemi İçin Başlangıç Değerlendirme Matrisi

		KRİTERLER											
		ŞEHRE YAKINLIK (KM)	SU HIZI (KNOT)	ENERJİ NAKİL HAT. YAKINLIK (KM)	DEPREM RİSKİ	DENİZ TRAFİĞİ NEDENİYLE KAZA RİSKİ	TERÖR RİSKİ	MALZEME BAZLI RİSKLER	CANLI HAYATINA ETKİSİ	SU KALİTESİNE ETKİSİ	DENİZ TRAFİĞİNE ETKİSİ	KURULUM MALİYETİ	BAKIM MALİYETİ
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$
SUNUCU ALTERNATİFLERİ	A1	20	2	15	3	4	2	2	2	5	3	4	4
	A2	10	4	5	3	5	3	4	3	3	4	4	5
	A3	7	4	5	5	5	4	4	4	3	4	5	5

Başlangıç karar matrisi oluşturulduktan sonra normalize başlangıç karar matrisi oluşturulurken 5. ve 6. Eşitlikler kullanılmış elde edilen değerler Tablo 9’da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Başlangıç Değerlendirme Matrisinin Normalize Edilmesi

		NORMALİZE EDİLMİŞ BAŞLANGIÇ KARAR MATRİSİ											
		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>
ALTERNATİFLER	A1	0,35	0,50	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,33	1,00	1,00
	A2	0,70	1,00	1,00	1,00	0,80	0,67	0,50	0,67	1,00	1,00	1,00	0,80
	A3	1,00	1,00	1,00	0,60	0,80	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,80	0,80

**4. Aşama:** Önerilen araştırma modelindeki her bir alternatif için ayrı ayrı toplam göreceli değeri Ağırlıklı Toplam Model'ine göre 7. Eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 10'da gösterilmiştir.

**Tablo 10.** Alternatif Alanlar İçin Önem Değerleri (Birinci Toplam Göreceli)

Alternatiflere Ait Birinci Toplam Göreceli Önem Değerleri ( $Q_i^{(1)}$ )	
A <sub>1</sub>	0,81982185
A <sub>2</sub>	0,849643701
A <sub>3</sub>	0,80806243

**5. Aşama:** Alternatiflerin Birinci Toplam Göreceli Önem Değerlerinin ( $Q_i^{(1)}$ ) hesaplanmasının ardından tüm alternatifler için Ağırlıklı Çarpım Modeli'ne göre 8. Eşitlik yardımıyla gerekli hesaplamalar yapılmış, alternatiflerin İkinci Toplam Göreceli Önem Değerleri ( $Q_i^{(2)}$ ) elde edilerek, elde edilen bu değerler Tablo 11'de gösterilmiştir.

**Tablo 11.** Alternatif Alanlar İçin Önem Değerleri (İkinci Toplam Göreceli)

	Alternatiflere Ait İkinci Toplam Göreceli Önem Değerleri ( $Q_i^{\omega}$ )
<b>A<sub>1</sub></b>	<b>0,751059743</b>
<b>A<sub>2</sub></b>	<b>0,83292091</b>
<b>A<sub>3</sub></b>	<b>0,783325378</b>

**6. Aşama:** Tüm alternatifler için tek tek birleşik optimallik değerini 9. Eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır bu hesaplamalarda  $\lambda = 0,50$  olarak kabul edilmiş ve elde edilen değerler Tablo 12’de gösterilmiştir.

**Tablo 12.** Önerilen Model Alternatifleri İçin Nihai Değerler

	Tüm alternatifler için ( $Q^i$ ) değerleri
<b>A<sub>1</sub></b>	<b>0,7854408</b>
<b>A<sub>2</sub></b>	<b>0,84128231</b>
<b>A<sub>3</sub></b>	<b>0,7956939</b>

**7. Aşama:** Tüm alternatif birleşik optimallik değerleri ( $Q^i$ ) hesaplanarak alternatifler sıralanmış ve bu sıralama  $A_2 > A_3 > A_1$  şeklinde gerçekleşmiştir. En yüksek  $Q^i$  değerine sahip olan alternatif ( $A_2$ ) İstanbul Boğazı Kuzey bölgesi Türkiye’de kurulması planlanan dip akıntı tesisi için bu çalışma kapsamında önerilen modele göre en uygun bölge olarak bulunmuştur.



## 2.6. Bulgular

Yapılan SWARA uygulaması ile kriterlerin ağırlıklı belirlenmiş Türkiye’de yapılması planlanan dik dalga enerji üretim tesisinin yer seçimi için belirlenen 12 kriterden en önemli olan 3 tanesi aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

- $K_1= 0,93$  Şehre Yakınlık (Km),
- $K_{12}=0,92$  Akıntı hızı (Knot),
- $K_{11}=0.90$  Enerji Nakil Hatlarına Yakınlık (Km).

Kriter ağırlıkları SWARA yöntemi ile belirlendikten sonra WASPAS metodu ile alternatiflerin sıralaması belirlenmiş elde edilen birleşik optimalite değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanırsa;

$$A_2= 0,84128231$$

$$A_3= 0,7956939 \quad (A_2 > A_3 > A_1)$$

$$A_1= 0,7854408$$

olduğu ortaya konmuş ve elde edilen tüm verilere göre Türkiye’de yapılması planlanan sualtı akıntı enerji tesisi için en uygun lokasyon sıralamasında ilk olarak İstanbul Boğazı (KUZEY) (**A<sub>2</sub>**) en iyi yer seçeneği olarak belirlenmiştir. Bu en iyi alternatifi ikinci olarak İstanbul Boğazı (GÜNEY) (**A<sub>3</sub>**) seçeneği takip etmiş ve son olarak ise Çanakkale Boğazı (**A<sub>1</sub>**) ise 2.seçeneğe yakın oranı daha düşük nüfus oranı için daha etkili bir tesis olma şansına sahipliğini kanıtlamıştır.

Uygulaması yapılan çalışmada literatür araştırmalarımızdan dolayı birleşik optimalite değeri  $\lambda=0,5$  alınmıştır. Ayrıca yapılan ön hesaplamalarda birinci ( $Q_1$ ) ve ikinci ( $Q_2$ ) toplam değerlerin sıralamaları değişmediği gözlenip sonuçların sıralanması tutarlı bulunmuştur. Bundan dolayı tutarlık analizine gerek duyulmamıştır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada artan enerji arz-talep miktarı ve bu talebe bağlı teknolojilerin gelişmesi üzerine enerjinin üretimi bağlamında yenilenemeyen ve yenilenebilir türevli enerji ile ilgili birçok üretim çeşidi geliştirilmiş ve üretim merkezi (santrali) kurulmuştur. Bu ihtiyacın artmasıyla beraber artan doğa temelli hassasiyet veya bazı ülkelerin ellerinde bulundurdukları fosil türevli enerji kaynaklarını stratejik bir koz olarak kullanmaya başlamasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır.

Tarih boyunca teknolojinin icadı ve kullanımı bağlamında inisiyatif alan ülkeler her zaman daha güçlü ve daha iyi bir pozisyona sahip olmuştur. Teknolojinin meyvesi tarihte bazen silahken, bazen sanayi bazında üretim metodu bazense bilimsel bir yenilik olmuştur. Ama yüzyılın en büyük atılımının ise enerjiye sahip olma ve bunu en efektif şekilde üretme ve hatta bunu kullanma üzerine olacağı açıktır.

Enerjinin askeri, tıp, sanayi, ulaşım gibi alanlarda kullanımının artması ve yenilebilir enerji kaynaklarının tercih edilerek önemsenmesi ile birlikte bu enerji çeşitlerinin üretim ve tüketim bağlamında daha çok araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması ve iş sahasının artması endüstriyel olarak umut vericidir.

Enerji sektörü ve alakalı başlıklarla ilgili yapılan literatür çalışması ve araştırmalarıyla; keşfi uzun yıllara dayanmış olsa dahi henüz Türkiye’de önemli bir gelişme sağlanamamış olan “Sualtı Akıntı Enerji Tesisi” için potansiyel enerji üretim bölge seçimi için Endüstri Mühendisliği’ne bağlı çok kriterli karar verme metodlarından SWARA ve WASPAS metodları ile çözümü bu tez çalışmasının konusudur. Konuyla ilgili geçmiş çalışmalar daha çok teknik ve iktisadi olarak yapılırken, böylesi bir tesisin doğa ve insan yaşamına etkisi henüz irdelenmemiş olup bu tez çalışması konusu ve uyguladığı teknikler yönünden literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır.

Uygulaması yapılan “Türkiye’de Yapılacak Sualtı Akıntı Enerji Tesisi Kurulumu için SWARA ve WASPAS Yöntemleri ile Yer Seçimi” çalışması daha önce yapılmamış bir çalışma olup ileride bu bağlamda çalışma isteği olan kişi ve kurumlar için yol gösterici bir kaynak olarak hazırlanmıştır. İleriki çalışmalarda bu çalışma kapsamında önerilen model kriter ve alternatifleri ile daha da genişletilip, probleme farklı yöntemlerle çözüm aranıp efektif sonuçlar elde edilebilir.

Dünya’da yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları sürmektedir. Bunlardan biri de füzyon reaktörüdür. Günümüzde Birleşik Krallık, Rusya, Çin, A.B.D. , Japonya ve Uluslararası çatıda Fransa’da bu yeni enerji çeşidinin geliştirme çabaları sürmektedir. En büyük örneği Fransa’daki Uluslararası Nükleer Füzyon Reaktörü (ITER) olan araştırma ve geliştirme projesinin 30 yıl sürmesi ve 3.000 kadar uzmanın görev alacağı ve 10 Milyar Euro bütçeli bir proje olacağı planlanmaktadır. ITER’in yapılması mali olarak %50 Avrupa Birliği ve %50 (Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore, Rusya ve A.B.D.) oluşmaktadır. Füzyon reaktörünün avantajları alışagelmış nükleer reaktörlerden daha büyük miktarda enerjiyi daha ucuza ve temize üretecek olmasıdır. Reaktörün merkezinde erime riski sıfır olduğundan ve sıcaklık düşünce füzyon tepkimesi olmayacağından Çernobil nükleer santralindeki gibi patlama riski yoktur. Dünyada nispeten eskiyen uranyum temelli nükleer santraller zamanla yerlerini daha temiz, etkili ve maliyet açısından verimli sistemlere bırakacaktır.

Günümüzde elektrikli araçların kullanımının artması ile birlikte artan enerji üretim ihtiyacı kadar bu enerjinin depolanması da önemli bir yere sahiptir. Günlük kullanım ve lojistik sektöründe kullanılacak elektrikli tırlar için treylerin solar panelleri ile dizayn edilmesi ve treylerin altına tırın etkin menziline arttırmak için batarya sistemi kurulabilir. Ayrıca tırın amortisör sistemlerinin üzerindeki basınç değişiminden ve fren sisteminden elektrik kazanımı da bu sistemin kendi içinde yeterliliğini arttırıp menziline arttıracaktır. Karbon salınımı konusunda daha hassas olmamız gereken bu çağda bu tür teknolojik gelişmeler umut vericidir.

## KAYNAKÇA

- Adıyaman, Ç., (2012). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde
- Ağaçbiçer, G., (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan Swot Analizler Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
- Ataman, A.R., (2007). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara
- Bid S. Vd., ( 2019). Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, Araştırma Makalesi, The University of Burdwan, Hindistan
- Can F.C., vd. (2017). Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Oturma Düzenegi Seçimi, Araştırma Makalesi, Başkent Üniversitesi, Ankara
- Çolak, M., (2015). Bütünleşik Bir Bulanık Karar Modeli ile Türkiye İçin Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, İstanbul
- Dehnavi A., vd. (2015). A new hybrid model using step-Wise Weight Assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard Assessment in Iran, Araştırma Makalesi, Sharif University of Technology, Tahran
- Demirtürk, C., (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Karşılaştırmalı Yatırım Fizibilitesi, İstanbul
- Erdoğan, M., (2014). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Termodinamik Analiz Yöntemi ile incelenerek, Yenilenebilir Enerji Kullanımının Gelecek Projeksiyonlarının Değerlendirilmesi, Araştırma Makalesi, İstanbul

- Ghorabae M.K., vd. (2017). A new hybrid simulation-based assignment approach for evaluating airlines with multiple service quality criteria, Araştırma Makalesi, Allameh Tabataba'i University, Tahran, İnan
- İnan D., (1996). “Denizlerdeki Enerji”, Bilim ve Teknik Dergisi, Araştırma Makalesi, Haziran 1996, ss.72-73, İstanbul
- Keršuliene, V., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). Journal of Business Economics and Management, 11(2), 243-258, Arařtırma Makalesi, Vilnius Üniversitesi, Litvanya
- Mahmutoğlu M., (2013). Türkiye Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerjinin Rolü, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Mardani A., vd. (2017). A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments, Araştırma Makalesi, Malezya Teknoloji Üniversitesi, Malezya
- Mavi R., vd., (2018). Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach, Araştırma Makalesi, Edith Cowan Üniversitesi, Avustralya
- Özcan, M., (2013). Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Geniřletme Planlamasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkileri, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- Popovic G., vd. (2019). A multiple-criteria decision-making model for the selection of a hotel location, s. 49-58, Araştırma Makalesi, Belgrad Üniversitesi, Belgrad
- Toklu M.C., vd. (2018). SWARA-WASPAS Metodolojisine Dayalı Tedarikçi Seçimi: Türkiye'de Demir-Çelik Endüstrisi Örneği, Araştırma Makalesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya

- TÜBAV. (2008). Türkiye'nin Enerji Geleceği. C:1, sayı:2, s.36-44, Araştırma Makalesi, Ankara
- Ural, Engin vd., (2006). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara
- Uşar, D., (2015). Sualtı Akıntı Türbinlerinin Hidrodinamik Analizi Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Varzandeh H.M. vd. (2013). Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating, Araştırma Makalesi, Azad Islamic University, Tahran
- Yurdođlu H. vd., (2017). Swara ve Waspaş Yöntemleri ile Sunucu Seçimi, Araştırma Makalesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- Zavadskas E.K. vd., (2019). Optimal İçyapı Ortamı Seçmek için Çok Nitelikli Değerlendirme, s. 76-85, Araştırma Makalesi, Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi, Vilnius Gediminas Üniversitesi, Litvanya
- Zolfani S.H., vd. (2013). Sustainable Development of Rural Areas' Building Structures Based on Local Climate, Araştırma Makalesi, Tehran Polytechnic University, İran

## İNTERNET KAYNAKÇASI

- [1]<https://prezi.com/p/jv2lvtsezzvd/su-alt-aknt-turbinlerinin-bilesenleri-ve-turbin-yaplarinn-incelemesi/> Erişim Tarihi: 26.03.2019
- [2][http://www.emo.org.tr/ekler/ef560b7064c2e68\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/ef560b7064c2e68_ek.pdf) Erişim Tarihi:26.03.2019
- [3]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X17306649> Erişim Tarihi: 26.03.2019
- [4]<http://tudav.org/calismalar/deniz-alanlari/turk-bogazlari/istanbul-ve-canakkale-bogazi-akinti-haritalari/> Erişim Tarihi: 28.03.2019
- [5] <http://www.tki.gov.tr/bilgi/komur/enerji-ve-komur/232> Erişim Tarihi: 29.03.2019
- [6] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol> Erişim Tarihi: 29.03.2019
- [7] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz> Erişim Tarihi: 30.03.2019
- [8]<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji> Erişim Tarihi: 30.03.2019
- [9] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> Erişim Tarihi: 01.04.2019
- [10]<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>Erişim Tarihi: 01.04.2019
- [11]<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal> Erişim Tarihi:02.04.2019
- [12] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> Erişim Tarihi: 03.04.2019
- [13]<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/renewable-energy/hydroair-turbine.html> Erişim Tarihi:04.04.2019

## ÖZGEÇMİŞ

09.07.1989 yılında Mardin ili Merkez ilçesi doğumluyum. İlk, orta ve lise eğitimimi Mardin’de tamamladıktan sonra üniversite eğitimi dolayısıyla İstanbul’da ikamet etmeye başladım. Mardin Anadolu Lisesinde Fen bilimlerini tamamladıktan sonra lisans eğitimi olarak Beykent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun oldum. Lojistik sektöründe çalışma hayatımı sürdürmekteyim.

Yabancı dilim İngilizcedir.

**Ahmet İPEKÇİ**