



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

### Su Dalga Enerjisi Üretimi ve Yapay Zekâ: Asya, Avrupa ve Türkiye'nin Potansiyeli

Selma KAYMAZ\*, Tuğrul BAYRAKTAR, Çağrı SEL

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye  
Selma KAYMAZ, ORCID No: 0009-0002-6342-871X, Tuğrul BAYRAKTAR, ORCID No: 0000-0001-5620  
5804, Çağrı SEL, ORCID No: 0000-0002-8657-2303

\*Sorumlu yazar e-posta: [kaymazselma@outlook.com](mailto:kaymazselma@outlook.com)

#### Makale Bilgileri

Geliş: 02.03.2024  
Kabul: 04.06.2024  
Online Ağustos 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1445985](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1445985)

#### Anahtar Kelimeler

Asya,  
Avrupa,  
Gelgit enerjisi,  
Su dalga enerjisi,  
Türkiye,  
Yapay sinir ağları

**Öz:** Son yıllarda, sürdürülebilir bir dünya için yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması gerekliliği giderek daha belirgin hale gelmektedir. Fosil yakıt tüketiminden, daha temiz bir enerjiye geçiş döneminde, yenilenebilir enerji kaynakları hızla gelişme göstermektedir. Bu gelişmeler ışığında su enerjisi teknolojilerine odak artmaktadır. Enerji potansiyeli için gerekli şartlar karşılandığı sürece; su kaynaklı enerji üretim projelerinin uygulanması ülkelerin refahına katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminde rekabete konu olan su kaynaklı enerji üretimi için; literatürde kıtalar arası enerjinin incelendiği, su potansiyelinin ölçüldüğü, santraller için uygun yer seçiminin yapıldığı, dalga – iklim ilişkisinin incelendiği, okyanus enerjisi teknolojileri konularını içeren çalışmalarda geleneksel teknikler yanı sıra yapay zekâ tekniklerine de yer verilmektedir. Deneysel modelleme saha ölçüm tekniklerinin yüksek maliyetli olduğu, sayısal yöntemlerin parametre ve girdi hazırlık sürecinin zahmetli olması sebebiyle çeşitli yapay zekâ yöntemleri, su kaynaklı enerji üretimi teknolojisinde yoğun şekilde kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları da bu alanda karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılan tekniklerden birisi olarak yer almaktadır. Bu derlemede, Asya ve Avrupa kıtasında su kaynaklı enerji üretimi hakkında yapılmış mevcut çalışmalardan bahsedilmekte, Türkiye'nin su enerjisi potansiyelini, mevcut literatür incelenerek ortaya konulmaktadır. Ayrıca yapay zekâ tekniklerinden yapay sinir ağı metodunun su enerjisi teknolojilerinde ne şekilde ve hangi ölçüde kullanıldığı ve kullanılan yöntemlerle ilgili literatüre yer verilmiştir.

### Wave Energy Production and Artificial Intelligence: The Potential of Asia, Europe and Türkiye

#### Article Info

Received: 02.03.2024  
Accepted: 04.06.2024  
Online August 2024

DOI: [10.53433/yyufbed.1445985](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1445985)

#### Keywords

Artificial neural network,  
Asia,  
Europe,  
Tidal stream,  
Türkiye,  
Wave energy converter

**Abstract:** In recent years, there has been a growing need to reduce our reliance on non-renewable energy sources for a more sustainable world. The use of renewable energy sources is increasing as we move towards cleaner energy options and away from fossil fuels. Wave energy technology is gaining particular attention for generating energy sustainably. Under optimal conditions, wave energy projects have the potential to contribute significantly to a country's well-being. In addition to traditional methods, artificial intelligence techniques are widely used in wave energy technology due to the high costs and labor-intensive nature of experimental field measurements and the preparation of parameters and inputs for numerical methods. One such technique involves artificial neural networks to solve problems in this field. This study examines existing research on water-based energy production in Asia and Europe, evaluates Türkiye's wave energy potential based on the available literature, and discusses the application of artificial neural networks in wave energy technology and the methods employed in the literature.

## 1. Giriş

İnsan yaşamının sürdürülebilirliğinde enerji kaynakları önemli rol oynamaktadır. Nüfus hareketleri, şehirleşmeler ve makineleşme ile dünyanın sınırlı enerji kaynakları azalmaktadır. Çevresel dengenin bozulması sonucunda ülkelerin enerji politikalarında yenilenebilir enerji kullanımının artırılması amaçlanmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çevresel sürdürülebilirlik sağlamak için önemlidir ve her bir kaynağın avantajları olduğu kadar dezavantajları olduğu bilinmektedir (Bak, 2003). Spelta ve De Giuli tarafından 2023'te yapılan çalışmada, Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2026'ya kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin genişlemesinin dünyanın toplam güç kapasitesindeki artışın yaklaşık %95'ini oluşturacağını tahmin edildiğinden bahsedilmektedir. Genel olarak dünya çapındaki temiz enerji kapasitesindeki büyümenin %43'ünü oluşturan Çin en büyük pazar olurken, onu Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan izlemektedir. Bu dört bölge, küresel olarak yenilenebilir enerji kapasitesindeki artışın yaklaşık %80'ini sağlamaktadır (Spelta & De Giuli, 2023).

Dalgalar ve rüzgâr, yenilenebilir doğaları ve çevreye verdiği minimum zarar dolayısıyla önemli potansiyele sahip olan enerji kaynaklarıdır. Okyanusları gelen potansiyel enerji, sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişi kolaylaştırabileceğinden, dalga enerjisi son yıllarda ilgi çekmektedir. 2025 yılına kadar, dünya çapındaki dalga enerjisi yatırımları sonucunda mevcut 47 milyon dolar olan enerji pazarı 107 milyon dolara çıkacaktır (Shadmani ve ark., 2023). Dünya okyanuslarının en az 10 TW (teravat) temiz enerji potansiyeli içerdiği tahmin edilmektedir (Neill, 2022). Bu; dalga ve gelgit enerjisi, deniz termal enerji dönüşümü, deniz akıntısı ve tuzluluk gradyan enerjisi içeren kaynakları içermektedir. Ancak, bu kaynaklar büyük ölçüde kullanılmamış durumda olup, şu anda dünya genelinde yaklaşık 500 MW (megavat) deniz temiz enerji kapasitesi bulunmakta ve bunların büyük bir kısmını gelgit enerjisi oluşturmaktadır (Neill, 2022).

Su enerjisi günümüzde yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağı değildir. Su enerjisi, özel türbinler kullanarak veya suyun yükselip alçılmasıyla mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemler aracılığıyla elde edilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir enerji çeşidi değildir. Bunun sebebinin özel türbinlerin kurulumunun oldukça karmaşık ve maliyetli olmasıdır. Ortalama dalga potansiyeli olan denizlerde de maliyetli olması sebebiyle türbinlerin kurulumu göze alınmamaktadır. Kurulum için dalga potansiyeli çok yüksek yerler belirlenmektedir. Diğer sebebi ise kurulum sonrası oluşabilecek fırtınalarda türbinlerin zarar görme ihtimali olarak bilinmektedir. Örneğin Norveç'te kurulan dalga enerjisi türbini uzun süre Norveç'in batı kıyısında bulunan Bergen şehrinin elektrik enerjisini üretmiş fakat bir fırtınada yerle bir olmuştur. Bu sistemin başarısız olması ile ilgili üretici firmanın santrali geliştirme sürecinde yeterince ilgi göstermemiş olması ve tankın toprak dolması sebebiyle büyük hasar aldığı şeklinde yorumlar mevcuttur (Bak, 2003).

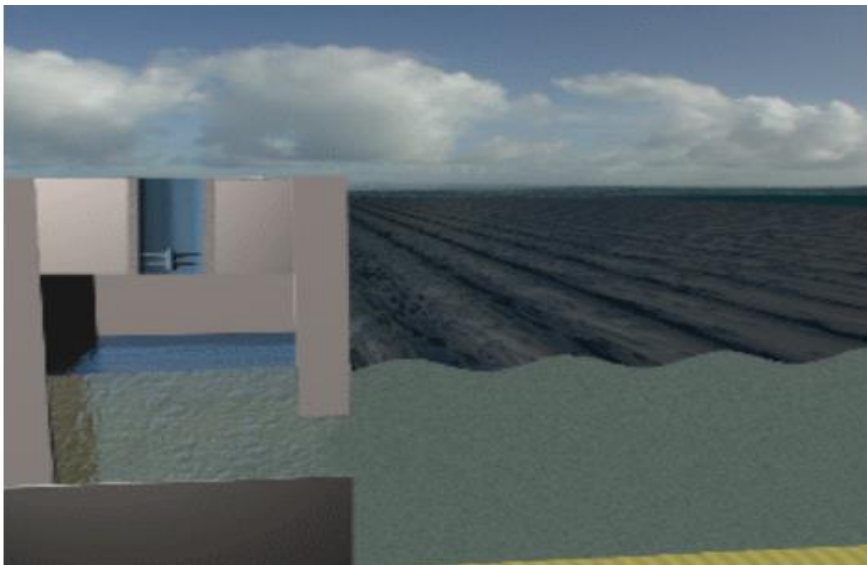
Su dalga enerjisi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak büyük potansiyele sahiptir. Ancak, bu potansiyeli tam anlamıyla değerlendirebilmek için karmaşık veri analizi, kontrol sistemleri ve optimizasyon tekniklerine ihtiyaç vardır. Yapay zekâ, bu zorlu alanda önemli bir rol oynar. Makine öğrenmesi (Hassan ve ark., 2024), derin öğrenme (Shadmani ve ark., 2023), veri madenciliği (Cao ve ark., 2022), tahmin modelleri (den Bieman ve ark., 2023) ve otomasyon (de Mello ve ark., 2013) su dalga enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırabilir ve kaynak kullanımını optimize edebilir. Bu makale, su enerji çeşitlerini ve kıtalar arasındaki su dalga enerjisi potansiyelini araştırırken aynı zamanda yapay sinir ağlarının dalga potansiyel özelliklerini konu alan makaleleri incelemektedir ve bu alanda kullanılacak yapay sinir ağları konusunda öneriler sunmaktadır. Bu da henüz gelişmekte olan ve güncel makalelere konu olan su dalga enerjisi teknolojilerinin gelecekteki sürdürülebilir enerji üretimi için daha verimli hale getirilmesine yardımcı olabilir.

Giriş bölümünde; temiz enerji kaynaklarından, su dalga enerjisi potansiyelinin keşfinden ve genel olarak yapay zekâ tekniklerinin bu alandaki rolünden bahsedilmiştir. İlerleyen bölümlerde, Asya ve Avrupa ülkelerinde su dalga enerjisi potansiyeli için yapılmış mevcut çalışmalar incelenmiştir. Türkiye'nin potansiyeli literatürdeki çalışmalar baz alınarak ortaya konulmuştur. Popüler yapay zekâ teknikleri arasında değerlendirilen yapay sinir ağlarının su dalga enerjisi konusunda nasıl kullanılabileceğini ve yapay sinir ağları için dalga enerjisi sistemlerinin daha verimli ve güvenilir hale getirilmesine katkı sağlayan literatürdeki çalışmalarını incelenmiştir. Son olarak, yapay sinir ağlarının su dalga enerjisi konusundaki rolü vurgulanmış ve gelecekteki çalışmalara öneriler sunulmuştur.

## 2. Denizlerin ve Okyanusların Enerji Potansiyeli

Gelgit ve dalga enerjisi, okyanus enerjisi teknolojilerinin en gelişmiş iki türünü temsil etmektedir. Dalgalar, deniz yüzeyinde esen rüzgarlarla oluşur. Üretilen dalgaların boyutu, rüzgâr hızına, süresine, üzerine üflendiği suyun mesafesine, deniz tabanının batimetrisine ve akıntılara bağlıdır. Suyun hareketi, dalga enerjisi cihazları tarafından kullanılabilen kinetik enerjiyi taşımaktadır. Gelgit akıntıları ise, ay ve güneşin dünya okyanusları üzerindeki sürekli değişen yerçekimi kuvveti tarafından yaratılır. Gelgitlerin asla durmadığı bilinmektedir. Su önce bir yöne, sonra diğerine, dünyanın her yerine hareket etmektedir. Gelgit akıntısı teknolojileri, gelgit bölgelerine giren ve çıkan akımların kinetik enerjisini yakalar. Güneş ve ayın göreceli konumları tam bir doğrulukla tahmin edilebildiğinden, ortaya çıkan gelgit de tahmin edilebilir. Gelgit enerjisini bu kadar değerli bir kaynak yapan da bu öngörülebilirliğidir (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi, 2024). Düşük gelgitte, su türbinlerden ters yönde çekilir. Bu hareketlerin her ikisi de türbinin kanatlarını döndürür ve elektrik üretir (Crown Estate Scotland, 2024).

Deniz dalgaları veya gel-git hareketleri, türbinler veya salınlı sistemler kullanılarak mekanik enerjiye dönüştürülerek elektrik üretimi için kullanılabilir (Türköz, 2021). Su dalgasından elektrik enerjisi üretme fikri, son dönemde oldukça yaygınlaşsa da bu fikrin 20. yy. başlarına dayanan bir geçmişi vardır. Japon bilim adamı Masuda'nın 1945 yılında yaptığı deneysel inceleme sonrası bu konu ilgi görmeye başlamıştır. Petrol krizi sonrasında araştırmacıların tekrar ilgisini çekmeye başlayan dönüşüm sistemi, 1980'lerin ikinci yarısında prototiplerin oluşturulmasıyla fiilen ortaya konulmuştur (Bak, 2003). 1799 yılında Fransa'da Girard adında bir baba ve oğul (Ross, 1995) tarafından alınan patent, dalga enerjisi dönüştürücülerinin ilk tescilli örneğini temsil ederek, dalga enerjisi kullanımıyla ilgili bilimsel ilginin tarihsel kökenine işaret etmektedir (Foteinis & Emmanuel Synolakis, 2023). Dalga enerjisi dönüşüm sistemlerinin; kıyı şeridi, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulandığı bilinmektedir. Bu bağlamda dalga enerjisi dönüşüm teknolojileri kıyı şeridinde; salınlı su kolonu, daralan kanal sistemi, pendula gibi sistemler kurulurken, kıyıya yakın sahalarda osprey, oyster, wosp gibi enerji sistemleri kurulmaktadır. Açık denizlerdeki uygulamalar ise McCabe dalga pompası, OPT dalga enerji dönüştürücüsü, Arşimet dalga salınımı ve Pelamis dalga enerji dönüştürücü sistemleridir (Metin, 2023). Kükner (2018)'e göre dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan dönüştürücü sistemi salınlı su kolonu enerji sistemidir. Salınlı su kolonu sisteminin kıyı şeride kurulduğu bilinmektedir. Bir kısmı suya batırılmış olan bu sistem Şekil 1'de görüldüğü üzere içi boş bir yapıdır. Bir su sütununun üzerine bir hava sütunu çevreler. Dalgalar, su sütununun yükselmesine ve düşmesine neden olur, bu da hava sütununu sıkıştırır ve genişletir. Bu sıkışmış hava, dönme kabiliyetine sahip olan bir türbin aracılığıyla atmosfere ve atmosferden akmasına izin verilir. Türbinin dönüşü elektrik üretmek için kullanılır (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi, 2024).



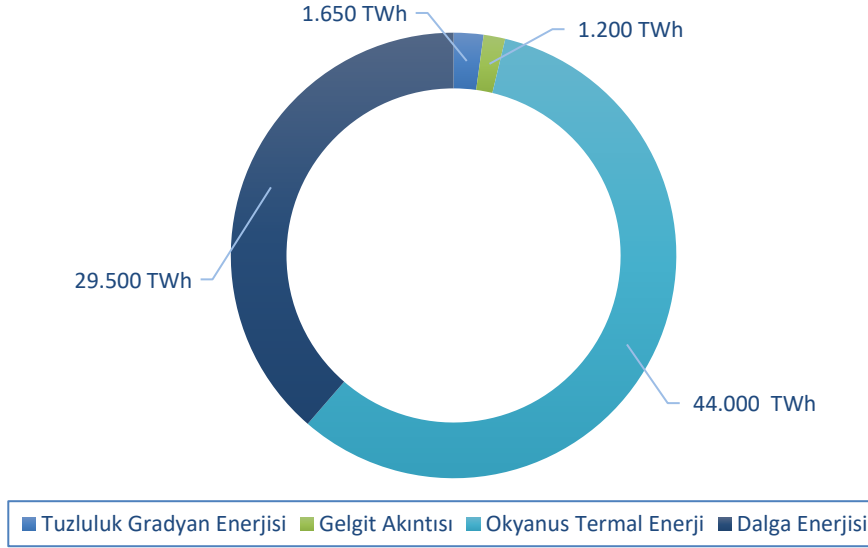
Şekil 1. Salınlı su kolonu enerji sistemi (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi, 2024).

Okyanuslar, sıvı akışı, yüzey dalgaları, termal ve tuzluluk gradyanları şeklinde büyük bir potansiyel enerji kaynağı sağlar. Gelgit akışı enerjisi, son on yılda hem akademi hem de enerji endüstrisinden büyük ilgi görmektedir (Dai ve ark., 2023). Gelgit akımı türbinleri kullanılarak gelgitlerden enerji elde edilmesi, bir dizi çekici özellik nedeniyle giderek daha fazla tercih edilen bir form haline gelmektedir. Gelgit akışı enerjisinin başlıca avantajları olarak; önceden büyük bir hassasiyetle ölçülebilen enerji üretiminin öngörülebilirliği, akışkan özelliklerinden türetilen yüksek yük faktörü (yoğunluğu havanınkinin yaklaşık 1000 katı), düşük görsel, düşük arazi işgali ve ekipmana zarar verebilecek aşırı akış hızlarının olmaması sayılmaktadır. Dezavantajları ise deniz ortamındaki olası bozulmalar ve gelgit enerjisi dönüştürücü teknolojisi hala geliştirilmemiş olmasıdır. Şu ana kadar sadece birkaç gelgit akım türbini ticarileştirilmiştir (Zheng ve ark., 2015). Gelgit akıntısı enerjisi geliştirmekle ilgilenen birçok ülke olduğu bilinmektedir. Bunlar arasında; Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri, Yeni Zelanda, Malezya ve Kanada gibi açık deniz bölgeleri için kaynak değerlendirmeleri yapıldığı bilinmektedir. Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi, gelgit akışı enerji gelişiminde aktif bir figürdür (Dai ve ark., 2023). İskoçya, Güney Kore, Fransa, Kanada ve Çin'de ise en önemli gelgit santrallerinin bulunduğu bilinmektedir (Yeni Enerji, 2019).

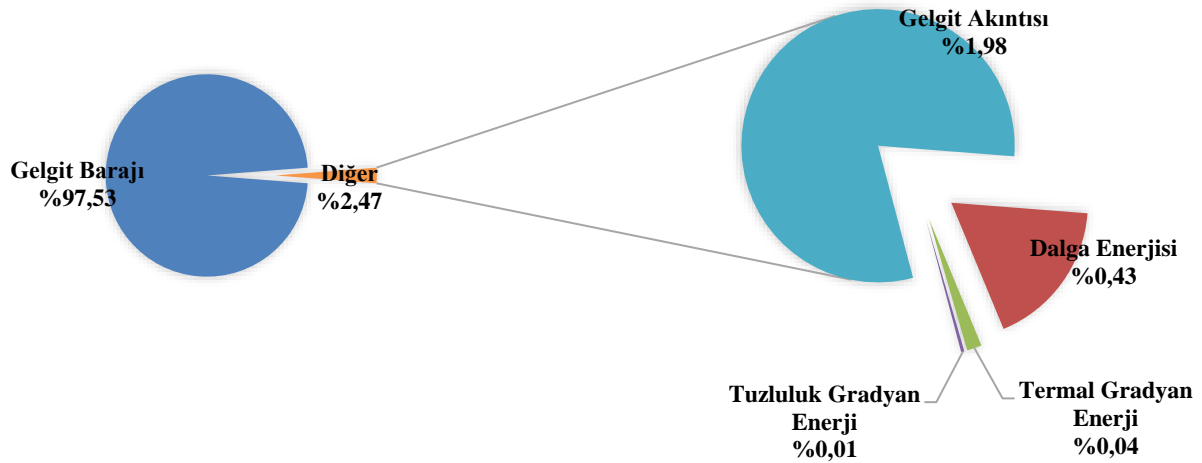
Son yıllarda, ters elektrodializ (RED), düşük ekipman yatırımı ve çevre dostu olma özellikleriyle deniz suyu ve nehir suyu arasındaki tuz farkına uygun yeşil bir enerji üretim teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır (Simões ve ark., 2020). Yeni bir temiz enerji türü olarak, tuzluluk gradyan enerjisi, geniş bir depolama aralığı ve neredeyse sıfır çevre kirliliği avantajlarına sahiptir (Tufa ve ark., 2018). Literatürde mavi enerji olarak da adlandırılan tuzluluk gradyan enerjisi, dünya çapında yaklaşık 2.8 TW (teravat) gibi bir enerji kapasitesine sahiptir (Veerman, 2010). Bu enerji, tatlı- tuzlu su arasındaki tuz konsantrasyonu farkından elde edilmektedir (Turkchem, 2022). Literatürde su altı nehirleri (underwater river) olarak geçen deniz altı akışları ise özellikle okyanus ve denizlerde tuzluluk ve sıcaklık farkından meydana gelmektedir.

Nehir akıntıları olarak bilinen enerji türü de su enerji çeşidine dahil edilmektedir. Güneş-Durak & Kapkın (2024)'a göre, okyanusa açık olmayan tıkalı havzalarda tatlı deniz suyu, ağırlaşarak havzaya girdikten sonra buharlaşma yoluyla dibe çöker. Bu ağır su, engeller nedeniyle açık denize gidemez ve bu nedenle üstte normal tuzlu su, altta ise çok tuzlu su oluşturarak tuzluluk farkından dolayı tabakalı bir su yapısı geliştirir. Bu tabakalı yapının literatürdeki adı "haloklin"dir. Bu tuzluluk farklılıkları, deniz tabanı boyunca tortular taşıyan su altı nehirlerinin oluşumuna da katkıda bulunabilir. Örneğin, İstanbul Boğazı'nın altındaki Karadeniz deniz altı nehrinin keşfi, Leeds Üniversitesi'ndeki bilim insanları tarafından 1 Ağustos 2010'da açıklanmıştır. Bu eşsiz nehir, Akdeniz'den gelen tuzlu suyun İstanbul Boğazı aracılığıyla daha düşük tuzluluk oranına sahip Karadeniz'e akmasıyla oluşur.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA), dünya üzerindeki su enerji potansiyeli çeşitlerini (tuzluluk gradyan, gelgit akıntısı, termal ve dalga enerjisi), ürettiği enerji miktarlarına göre Şekil 2'de verildiği üzere sınıflandırmıştır. IRENA'ya göre, dünya üzerinde sırasıyla okyanus termal enerji (44 000 TWh), dalga enerjisi (29 500 TWh), tuzluluk gradyan enerjisi (1 650 TWh) ve gelgit enerjisi (1.200 TWh) potansiyeli bulunmaktadır. IRENA'ya göre dünyadaki su enerji uygulamalarına da Şekil 3'te verilmiştir. Dünya üzerinde kullanılan su enerji çeşidi 521.5 MW (%97.53) bir değerle gelgit barajlarıdır. Diğer mevcut enerji uygulamaları (termal gradyan, tuzluluk gradyan, gelgit akıntısı ve dalga enerjisi) için ise 13.2 MW (%2.47)'lık bir enerji kullanımı söz konusudur (IRENA ve OEE, 2023).



Şekil 2. Dünyadaki su enerji potansiyeli (IRENA ve OEE, 2023).



Şekil 3. Mevcut su enerjisi uygulamaları (IRENA ve OEE, 2023).

## 2.1. Avrupa ülkelerinde su enerjisi potansiyeli

Avrupa'nın temiz enerji için ciddi projeler yaptığı ve karbon emisyonunu kontrol etmede Asya'dan daha iyi olduğu söylenebilir (Chiu ve ark., 2012). Avrupa'nın su dalga enerjisi teknolojilerine bakışı 1991 yılında Avrupa Komisyonu'nun temiz enerjiler konusundaki Ar-Ge programlarına dalga enerjisini dahil etme kararıyla önemli ölçüde değişmiştir. Projelerin başlangıç tarihinin 1992 olduğu bilinmektedir. O zamandan beri, Avrupa'da aktif olan çok sayıda ekibi içeren Avrupa Komisyonu tarafından dalga enerjisi üzerine yaklaşık otuz proje finanse edilmiştir. Dalga enerjisine yönelik çalışmalar, kullanımı göz önünde bulundurularak, dalga enerjisi teknolojisinin Avrupa'da ilk kez kullanan Birleşik Krallık'ta yoğunluk kazanmaktadır (Pontes ve ark., 1993). Avrupa kıtasında yapılan çalışmaların baz alındığı literatür taraması özeti Tablo 1'de yer almaktadır.

Atlantik Okyanusu'nda yapılan çalışmalar, bölgede rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için çeşitli araştırmaların yapıldığını göstermektedir. Gonçalves ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada Kanarya Adalarında bulunan su dalga enerjisi potansiyeli araştırılmış, dalgaların dönüşüm modeli için SWAN modeli kullanılmıştır. Kanarya Adalarının genel olarak potansiyelinin yüksek olduğu ama kuzey kıyılarında dalga enerjisinin daha yoğun olduğu



gözlemlenmiştir. Rusu & Onea (2016) tarafından yapılan çalışmada Atlantik Okyanusu dalga dönüşüm verimliliği tahmin edilmiştir. 4 test alanında yapılan bu çalışmada (İzlanda, Azor Takımadaları, Madeira Takımadaları ve Kanarya Adaları) İzlanda bölgesinin en önemli dalga enerjisi potansiyelini sunduğu sonucuna varılmaktadır. Lavidas ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada İskoç kıyı şeridinden alınan 2004- 2014 verileri, dalga tahminleri ve haritaları incelenmiştir. Çalışmaya göre İskoçya, dalga enerjisi için en umut verici ülkelerden biridir. Choupin ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada dalga enerjisi üretimi için yüksek potansiyele sahip Kanarya Adalarında su dalga enerjisi kaynak ve kurulum fizibilitesi yapılmaktadır. Çalışma, İspanya'daki Yedi Adalar bölgesindeki Atlas Okyanusunda gerçekleştirilmiştir. Çevresel ve diğer kısıtlamalar da çalışmaya dahil edilerek tüm adaların santral kurulumu için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Kuzey Denizi'nde yapılan çalışmalar, bölgede rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için çeşitli araştırmaların yapıldığını göstermektedir. Rusu & Rusu (2021) tarafından yapılan çalışmada Kuzey Denizi dalga enerjisi potansiyeli 1989-2018 yılları arasına ait 30 yıllık verilerle dalga gücü değerlendirilmiştir. Bu kapsamda denizin kuzey kesiminin su dalga enerjisi potansiyelinin oldukça güçlü olduğu sonucuna varılmıştır. Alday & Lavidas (2024) tarafından yapılan çalışmada Hollanda kıyılarının gel-git enerjisi değerlendirilmiştir. Bu çalışma Hollanda gel-git enerjisi için yapılmış ilk örnek olarak kabul edilmektedir. Kuzey Denizi'nde gerçekleştirilen çalışmada, 1 yıllık akım ve yükseklik veri tabanı oluşturulmuş, mevsimsel olarak da değerlendirilmiştir. Hollanda kıyıları için; Den Helder, De Cocksdorp, Oost Vlieland ve Hollum potansiyel alanlar olarak belirlenmiştir. Genel olarak Hollanda kıyılarının gel-git kaynağı düşük yoğunluklu olarak sınıflandırılmış ve türbinlerin bu yönde geliştirilmesi için öneriler sunulmuştur.

Akdeniz'de yapılan çalışmalar, bölgede rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için çeşitli araştırmaların yapıldığını göstermektedir. López-Ruiz ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada Akdeniz'de kıyıya yakın dalga enerji kaynağını orta ve uzun vadeli zamansal ölçeklerde tahmin etmek amaçlanmıştır. Sonuçlar, dalga gücünün en yüksek ortalama ve uç değerlerine sahip yerlerin Punta del Santo çevresindeki en derin yerler olduğunu göstermiştir. Foteinis & Emmanuel Synolakis (2023) tarafından yapılan çalışmada ise tek bir saha (Girit Adası- Henya Körfezi) üzerinden Akdeniz su dalga enerjisi potansiyeli tahmini yapılmaktadır. Bu tahmin sonucunda dalga potansiyeli okyanuslara kıyasla yetersiz görülmüş, Akdeniz'de dalga enerjisinin başarılı bir şekilde kullanılmasının Avrupa Birliği'nin karbon nötr 2050 hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olabileceği ihtimal verilmiştir. Daha fazla vaka çalışmalarına ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde Avrupa kıtası için yapılmış diğer su enerjisi çalışmaları ise şu şekildedir: Jakimavičius & Akstinas (2023) tarafından yapılan çalışmada Litvanya'da su dalga enerjisi kaynakları incelenmiş ve rüzgâr – iklim etkileri araştırılmıştır. Çalışma, rüzgâr hızı ile dalga yüksekliği arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Baltık Denizi, onu Atlantik Okyanusu'na bağlayan dar bir boğaza sahip oldukça kapalı bir denizdir. Bu nedenle rüzgâr, dalgaların oluşumu için ana kaynak olmaya devam etmektedir. Greaves ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada Avrupa dalga enerjisi test merkezlerinden çevresel etkileri değerlendirmek adına deneyimler toplanmıştır. Sosyo-ekonomik, fiziksel ve biyolojik etmenler tartışılmıştır. O'Hagan ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada Avrupa kıtasında dalga enerjisi konusunda bugüne kadar yapılmış deneyimler ve ilerlemeler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Test alanından alınan verilerle mevzuatlar incelenmiş, eksik mevzuatlara deniz yenilenebilir enerji konusu eklenmiştir. Dalga enerjisi konusunda en büyük engelin karmaşık planlama sistemi olduğu ortaya konmuştur. Kalogeri ve ark. (2017) ifade ettiği üzere Avrupa'da en yüksek rüzgâr ve dalga enerjisi Kuzey Denizi'nin kuzey kesimindedir. Kapalı havzalar olduğundan Akdeniz, Karadeniz ve Baltık Denizi'nin dalga güç yoğunluğu düşüktür. Çalışmada amaç dalga – rüzgâr enerjisinin beraber kullanımının verimliliği olduğundan korelasyon ile en güçlü alanlar Aslan Körfezi, Ege Denizi ve Baltık Denizi olarak belirlenmiştir. Atlantik Okyanusu'nda bulunan Kanarya Adaları'nın güçlü potansiyeline de değinilmektedir. Rusu & Onea (2022) tarafından yapılan çalışmada Avrupa su-rüzgâr dalga enerjisi projelerine olumsuz hava koşullarının etkisi incelenmektedir. Okyanus alanlarından gelen rüzgâr koşullarının kapalı denizlerden gelenlerden önemli ölçüde daha yüksek olduğu kanısına varılmaktadır.

Su dalga enerjisi teknolojileri, genellikle okyanustan gelen enerjiyi çoğunlukla dalga yoğunluğundan dolayı tercih etmektedir. Bu alanda Avrupa kıtası, özellikle Atlantik Okyanusu'na kıyısı olan ülkelerin bulunmasından kaynaklanan avantajlarla öne çıkmaktadır. Özellikle Atlantik kıyısı boyunca kaynakların mevcudiyeti ve zenginliği sayesinde dalga ve gelgit enerjisinin bu konumdaki gelişmeleri oldukça hızlı devam etmektedir. Atlantik Okyanusuna kıyısı olan Avrupa kıtası ülkeleri:

İngiltere, Fransa, İspanya, Portekiz, Norveç, İzlanda, İrlanda olarak sayılabilmektedir. Literatürde bu ülkelerin deniz enerjisi ile adı çoğu zaman yan yana geçmektedir. Yani söz konusu ülkeler Atlantik Okyanusu potansiyelinin farkında ve bu konuda projelerini sürdürmektedir.

AB'de amaç, 2050 yılına kadar kurulu 100 GW birleşik dalga ve gelgit kapasitesine ulaşmaktır (Magagna & Uihlein, 2015). Avrupa gelgit enerji projelerine ait verilerin çok az bir kısmının kamuya açık olduğu bilinmektedir. İlk projeler tam olarak bilinemese de Lamy & Azevedo (2018)'e göre, Eday Adasında bulunan "Fall of Warness" adlı test tesisinin ilk tesis olduğu tahmin edilmektedir. Pentland Firth'de bulunan "Meygen" adlı tesisin ise Avrupa'da kurulan ikinci gelgit tesisi olduğu tahmin edilmektedir. Şu anda Avrupa Birliği okyanus enerjisi teknolojisi gelişimi için genel itibariyle ön safhada aşamasında olduğu söylenebilir. Gelgit enerjisinin %50'sinden fazlasına, dalga enerjisi geliştiricilerinin ise yaklaşık %45'ine Avrupa ev sahipliği yapmaktadır. Bugüne kadar, okyanus enerjisi test merkezleri ve dağıtım sahaları gibi okyanus enerjisi altyapısının çoğunluğu da Avrupa sularında bulunmaktadır. Okyanus enerjisinde gerekli teknolojik altyapı için Avrupa, birçok politika ve Ar-Ge faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bunlardan bazıları; OceaneraNET Ar-Ge çalışması, MariNet Avrupa deneysel tesis test çalışması ve 135 eyaletin dahil edildiği küresel IRENA politikasıdır (Magagna & Uihlein, 2015).

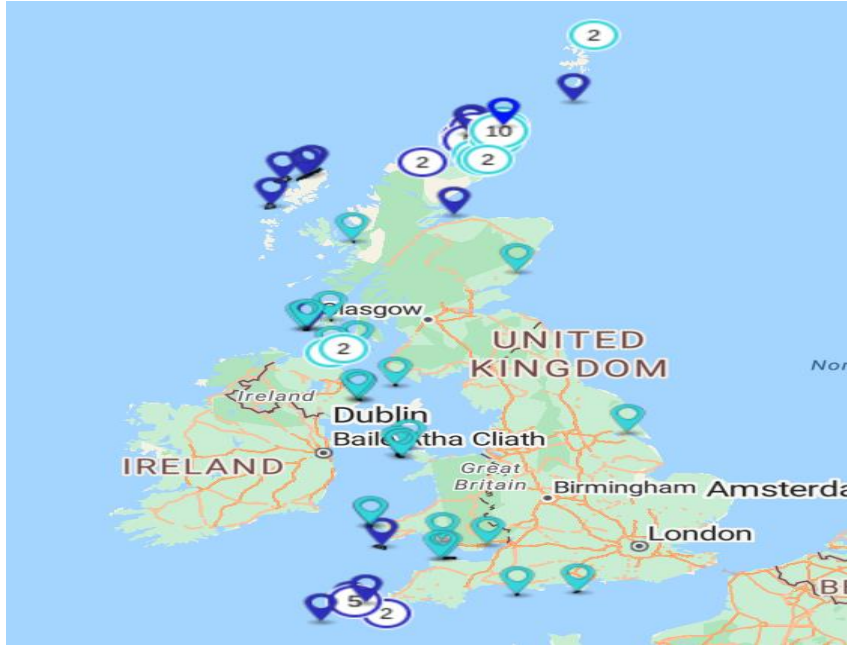
Tablo 1. Avrupa kıtasında yapılmış su enerjisi çalışmaları

Literatürdeki Çalışmalar	Çalışma Alanları				
	Atlantik Okyanusu	Baltık Denizi	Kuzey Denizi	Karadeniz	Akdeniz
Gonçalves ve ark. (2014)	√				
Greaves ve ark. (2016)	√	√	√		√
Rusu & Onea (2016)	√				
O'Hagan ve ark. (2016)	√	√	√		√
López-Ruiz ve ark. (2016)					√
Lavidas ve ark. (2017)	√				
Kalogeri ve ark. (2017)	√	√	√	√	√
E. Rusu & L. Rusu (2021)			√		
Rusu & Onea (2022)	√	√	√	√	√
Choupin ve ark. (2022)	√				
Foteinis & Emmanuel Synolakis (2023)					√
Jakimavičius & Akstinas (2023)		√			
Alday & Lavidas (2024)			√		

Avrupa kıtası, Atlantik Okyanusunun dışında; Baltık Denizi, Akdeniz, Karadeniz ve Kuzey Denizini barındırmaktadır. Kalogeri ve ark. (2017)'na göre Akdeniz, Karadeniz ve Baltık Denizi kapalı havzalar olması sebebi ile bu denizlerde dalga güç yoğunluğu düşüktür. Kuzey Denizi'nin ise kıyı çevresi, deniz yenilenebilir enerjisinin toplanması açısından dünyanın en önemli alanları arasındadır. (Rusu & Rusu, 2021). Akdeniz, yıllık ortalama dalga gücüne sahip düşük enerjili bir denizdir. Akdeniz dalga iklimi, Karadeniz gibi diğer düşük enerjili denizlerle karşılaştırılabilir, nispeten enerji alanları ise Yunanistan'da bulunmaktadır (Foteinis & Emmanuel Synolakis, 2023). Genellikle, deniz alanlarından elde edilen doğal kaynaklar karadan daha önemlidir ve Karadeniz veya Hazar denizleri gibi bazı kapalı deniz havzaları bile belirli yerlerde uygulanabilir deniz enerjisi projeleri geliştirmek için uygun koşullar sağlayabilir (Rusu & Onea, 2022).

Su enerjisi teknolojileri, Dünya bazında çok yeni bir teknoloji olmasına rağmen, Avrupa bu konuda birçok projeye öncülük etmektedir. Son zamanlarda Avrupa Birliği tarafından finanse edilmiş Ocean DEMO projesinin başarısından sıkça söz edilmektedir. Bu proje; tek makineden çok cihazlı çiftliklere geçişi desteklemektedir. Proje kapsamında; Fransa, Hollanda ve Birleşik Krallık'taki Ocean DEMO ulusal elçileri, endüstri için destekleyici bir politika ortamı yaratmak için kendi ülkelerindeki

okyanus enerjisi paydaşlarıyla yakın bir şekilde çalışmıştır. Bu çalışmalar sayesinde, Hollanda siyasi destek, Birleşik Krallık ise gelgit enerjisi için hatırı sayılı maddi destek sağlamıştır. Aynı zamanda Fransız Hükümeti dünyanın en büyük gelgit çiftliği projesinin geliştirilmesine desteğini açıklamıştır (Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi, 2024).



Şekil 4. Birleşik Krallık'a ait akıntı ve gelgit projeleri (RenewableUK Marine Energy Database, by eSpatial Mapping Software).

Dalga ve gelgit enerjilerine olan yatırımları ile bilinen Birleşik Krallık'a ait tüm akıntı ve gelgit projeleri hakkında bilgi sağlayan veri tabanı oluşturulmuştur. Şekil 4'te turkuaz pinler gelgit enerji projelerini, mavi pinler ise dalga enerji projelerini sembolize etmektedir. Haritadan da anlaşılacağı üzere; Birleşik Krallık, iklim hedefleri, gelişmiş teknoloji düzeyi, yatırım ve araştırma potansiyeli ve en önemlisi de okyanus potansiyeline sahip olması nedeniyle Avrupa'da okyanus enerjileri kapsamında öncü kabul edilmektedir. Birleşik Krallıkla bağlantısı olan ve Atlas Okyanusu'na kıyısı bulunan ülkelerin de bu konuda gelişmekte olduğu incelenen kaynaklar sonucunda anlaşılmaktadır. İklim planları doğrultusunda; İrlanda 2030 yılına kadar 30MW, 2040 yılına kadar ise 110 MW deniz enerjisi hedeflemektedir. Portekiz, 2030 yılına kadar 70 MW; İspanya ise 2030 yılına kadar 40-60 MW deniz enerjisi hedeflemektedir (IRENA, 2023).

## 2.2. Asya ülkelerinde su enerjisi potansiyeli

Literatürdeki çalışmalara göre Asya bölgesinde gelişmişlik düzeyi fazla olan ülkeler baz alınarak Tablo 2 oluşturulmuştur.

Çin Denizi'nde yapılan çalışmalar, bölgedeki rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için çeşitli araştırmaların yapıldığını göstermektedir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Zheng ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, 1988 – 2009 yılları arasına ait 20 yıllık rüzgâr ve dalga enerjisi verileri kalibre edilmiş ve rüzgâr-dalga enerjisi yoğunluğu simülasyon programları kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda Çin Denizinde söz konusu enerjilerin değerlendirilebilir olduğu ve en yoğun bölgenin ise Güney Çin Denizi olduğu ortaya konmuştur. Qiu ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise Çin'in deniz yenilenebilir enerji potansiyeli için yaptığı çalışmalar ve ortaya koyduğu sonuçlar incelenmiştir. Çin denizlerinde (Doğu Çin Denizi, Gelgel Denizi, Güney Çin Denizi) genel olarak dalga periyodu küçük ve dalga boyu kısa olmasına rağmen ülke bazında ciddi çalışmalar ve yatırımların yapıldığı ortaya konmuştur. Kamranzad & Lin (2020) tarafından yapılan çalışmada Güney Çin Denizine ait 55 yıllık veriler ve SWAN modeli kullanılarak bölgedeki su dalga enerjisinin potansiyeli ve sürdürülebilirliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda kıyıya



yakın olan Luzon Boğazı, Vietnam Güneydoğusu ve Güney kıyılarında potansiyelin fazla olduğu sonucuna varılmıştır. [Dai ve ark. \(2023\)](#) tarafından yapılan çalışmada gelgit çiftlikleri arasında en umut verici su kaynağı olan Çinde'ki Zhoushan takımadalarında gelgit enerji potansiyeli araştırılmıştır. Gelgit hareketi simülasyonu için üç boyutlu sayısal model oluşturulmuştur. Model sonuçlarına göre güç yoğunluğuna sahip alanlar belirlenmiştir. Bunlar: Guishan, Guanman, Xihoumen ve Luotou kanallarıdır.

Japonya Denizi'nde yapılan çalışmalar, bölgedeki rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için çeşitli araştırmaların yapıldığını göstermektedir. [Bricker ve ark. \(2017\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Japonya'nın nükleer felaket sonrasında yenilenebilir enerji kaynaklarından su dalga enerjisi potansiyeli üzerinde yeteri kadar durulmadığından ötürü, söz konusu makalede dalga ve gelgit verileri kullanılarak Japonya'da su dalga enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Kuzey Japonya'da kullanılan salınımlı su dalga dönüştürücüleri mevcut elektrik fiyatına yakın maliyetler gösterdiği ortaya konmuştur. Bu bölgede su dalga enerjisi konusunda gelişimin mantıklı olduğu sonucuna varılmıştır. [Wang \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada ise Japonya Denizinden alınan veriler ile dalga enerji dönüştürücünün güç performansı araştırılmıştır. Yükseklik verileri ultrasonik tip dalga ölçerler ile ölçülmüştür. Japonya Denizi gibi dalgaları doğrusal olmayan denizler için, yeni bir metodoloji önerilmiştir.

Su enerjisi araştırmaları; Pasifik Okyanusu, Japonya ve Çin Denizi'nde ilgi görmektedir. Söz konusu bölgelerin hepsini kapsayan çalışmalardan bazıları şunlardır: [Kamranzad & Takara \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada Kuzeydoğu Asya bölgesinin elli yıllık dalga iklimi simülasyonu ile dalga potansiyelleri araştırılmıştır. Enerji potansiyeli uygun alanların tespiti için sürdürülebilirlik endeksi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre doğu Pasifik bölgesinde kış ve ilkbahar mevsimlerinde mevsimsel değişkenlik fazladır. Batı Pasifik için sonbaharda değişkenliğin yüksek olduğu görülmüştür. Japonya'nın kışın dalga gücünün yüksek olduğu görülmüştür. Simülasyona göre Japonya doğu pasifik okyanus dalgalarından enerji sağlamak için en uygun alan olarak belirlenmiştir. [Webb ve ark. \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada Japonya'nın dalga gücü değerlendirmek amacıyla 21 yıllık dalga simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyona göre Japonya'nın dalga gücü, 70 nükleer santrale eşdeğer ve yaklaşık olarak 70 GW bulunmuştur.

Literatürde Asya bölgesinde yapılmış diğer çalışmalar ise şunlardır: [Chen ve ark. \(2023\)](#) tarafından yapılan çalışmada Tayvan'ın Kuzeydoğu bölgesi için dalga potansiyeli araştırılmıştır. 4 sahada 10-14 yıl boyunca oluşan dalga verilerinin saatlik ölçümleri baz alınmıştır. Santral tasarımı için ise Pasifik okyanusunda yapılmış önceki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Tayvan için dalga potansiyeli orta dereceli olarak belirlenmiştir. Muson ve tayfunlardan önemli ölçüde etkilenildiği bildirilmiştir. [Harameen & Akman \(2023\)](#) tarafından yapılan çalışmada ise Asya kıtası ülkelerindeki yenilenebilir elektrik üretim sektörü ele alınmış ve bu ülkeler toplam elektrik üretimlerine göre kümeleme analizi ile kümelere ayrılmıştır. Asya bölgesindeki karbon emisyonu miktarını ölçmek için çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Veriler 2019 yılı toplam elektrik üretimlerine göre gruplandırılmıştır. GSYİH'nin yenilenebilir enerjiye etkisini incelemek için korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Tüm bu analiz ve modellemeler için SPSS paket programı kullanılmıştır. Kümeleme analizi sonucunda Çin, Japonya, Hindistan ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji konusunda öncü kümede olduğu, Arap körfezi kıyılarının ise kaynaklarını verimli kullanmadığı ortaya çıkmıştır. GSYİH'nin ise elektrik üretimi ile güçlü bir ilişkisi olduğundan bahsedilmektedir.

Tablo 2. Asya Kıtası'nda yapılmış su enerjisi çalışmaları

Literatürdeki Çalışmalar	Çalışma Alanları							
	Pasifik Okyanusu	Hint Okyanusu	Japonya Denizi	Filipin Denizi	Karadeniz	Arap Denizi	Çin Denizi	Basra Körfezi
C. Zheng ve ark. (2013)							√	
Bricker ve ark. (2017)			√					
Qiu ve ark. (2019)							√	

Tablo 2. Asya Kıtası'nda yapılmış su enerjisi çalışmaları (devam)

Literatürdeki Çalışmalar	Çalışma Alanları							
	Pasifik Okyanusu	Hint Okyanusu	Japonya Denizi	Filipin Denizi	Karadeniz	Arap Denizi	Çin Denizi	Basra Körfezi
Kamranzad & Takara (2020)	√		√				√	
Kamranzad & Lin (2020)							√	
Wang (2020)			√					
Webb ve ark. (2020)	√		√				√	
Chen ve ark. (2023)	√			√			√	
Dai ve ark. (2023)							√	
Harameen & Akman (2023)	√	√	√	√	√	√	√	√

Asya bölgesinde gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerden birisi olarak gösterilen Japonya, 2011'de yaşadığı deprem, tsunami ve Fukuşima Nükleer Santral kazası sonrası tüm nükleer üretim santrallerini kapatmak zorunda kalmıştır. Aynı zamanda ithal enerjiye bağımlı hale gelmiştir. Bu felaketten önce nükleer santrallerin Japonya'nın elektrik üretiminin %27'sini oluşturmakta olduğu bilinmektedir. Kazanın bir sonucu olarak da Japonya, yenilenebilir enerji konusunda çalışmalarını geliştirmeye başlamıştır. Japonya'nın bir ada olması sebebiyle deniz kaynaklarının bol olduğu bilinmektedir (Bricker ve ark., 2017). Japonya'nın batısı Doğu Çin Denizi, güneydoğusu Filipin Denizi, batı kıyıları Japon Denizi ve doğu kıyıları Pasifik Okyanusu ile çevrilidir. Japonya su dalga enerjisi konusunda öncü ülkelerden birisi olarak gösterilmektedir. Yoshio Masuda, 1940'lardan beri Japonya'da dalga enerjisi teknolojisinin ilk çalışmalarını yapan kişi olarak kabul edilmektedir. Japonya, salınlı su sütunu dönüştürücüleri ile okyanus dalgalarından kullanılabilir güç elde etmek için teknolojinin saha test liderlerinden biridir. 1970'lerden 1980'lere kadar, Japon araştırmacılar "Kaimei" (1976-1986) ve "Mighty Whale" (1987-2004) geliştirdiler. Japonya'da bilinen salınlı su sütunu dönüştürücülerinden ilki 1983 yılında inşa edilmiş, 40 kw kurulu güce sahip Sanze salınlı su sütunu dönüştürücüleridir. 1988 yılında 30 kw kurulu kapasiteye sahip Kujukuri- Japonya bölgesinde inşa edilmiştir. 1989'da ise 60 kw kurulu güce sahip Sakata- Japonya bölgesinde inşa edilmiştir. Bu tesisler Pasifik Okyanusuna kıyısı olan yerlerde kurulmuştur. Ayrıca Japonya Denizinde inşa edilmiş Niigata tesisi de yer almaktadır (Molina ve ark., 2022). Wang (2020)'e göre Japonya Denizi'ne ait dalgalar, karmaşık ve düzensizdir. Buna rağmen Japonya'nın denize bir tesis kurmuş olması Japonya'nın dalga enerjisini ciddiye aldığı ve denize santral kurmak konusunda başarılı olduğunu göstermektedir. Su dalga enerjisi konusunda Japonya'nın öncü olduğu aynı zamanda ciddi yatırımlarına ve çalışmalarına devam ettiği görülmektedir.

Asya ülkeleri arasında gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerden bir diğeri ise Çin'dir. Çin, şu anda dünyanın en büyük enerji tüketen ülkesidir ve dünyanın toplam enerji tüketiminin yaklaşık beşte birini oluşturmaktadır. 2030 yılına kadar Çin'in enerji tüketiminin %60 oranında artması beklenmektedir (IRENA, 2015). Çin'de dalga enerjisi dönüştürücü araştırma ve mühendislik uygulamasının başlaması 1970'lerin sonlarına kadar uzanmaktadır. Çin'de, genel olarak bakıldığında dalga periyodu nispeten küçüktür ve dalga boyu kısadır. Çin'in düşük dalga güç yoğunluğuna uygun dönüştürücüler tasarlamak için farklı araçlar kullanılmalıdır. Çin'deki dönüştürücüler ilgili bilgi ve uzmanlık düzeyi, Batı ülkelerine kıyasla olgunlaşmamıştır, ancak bu konuda ilgi son derece yüksektir (Qiu ve ark., 2019) ve kurulu bir tesisin varlığı bilinmektedir (Astariz & Iglesias, 2015). İlgili tesis, Güney Çin Denizine kıyısı olan Shanwei şehrinde (Molina ve ark., 2022). Genel olarak Asya bölgesi için su dalga enerjisi konusunda çalışmaların fazla olduğu ülkelere birisi Çin'dir. Bu konuda ciddi yatırımlar yapıldığı görülmektedir.

Asya ülkeleri açısından bakıldığında gelişmişlik düzeyi ile su dalga enerjisi potansiyeli arasında ilişki olduğu taranan literatür sonucunda ortaya konulmaktadır. Japonya ve Çin'in kıyısı olduğu deniz ve okyanuslar bu konuda şanslıdır. Araştırmalar sonucunda şu an Kuzey Amerika ve Avrupa'da oldukça popüler olan su dalga enerjisi teknolojilerine öncü olan ülkenin bir Asya ülkesi olarak Japonya olduğu anlaşılmıştır. Zaman zaman okyanus teknolojileri olarak da adlandırılan su dalga enerjisi teknolojilerini

denizlerde de kullanmayı başarmışlardır. Japonya ve Çin yenilenebilir enerjinin dünya çapında önemsenmesiyle birlikte ciddi yatırımlarına ve çalışmalarına devam etmektedir.

### 2.3. Türkiye’de su enerjisi potansiyeli

Asya ile Avrupa arasında kritik bir nokta olan Türkiye, enerji kullanım seviyesi ve kritik konumu sebebiyle enerji politikaları açısından oldukça önemli bir konumdadır (Es ve ark., 2014). Enerji kullanım seviyesi, toplumların gelişmişlik düzeyinin gösterilmesinde kullanılan önemli parametrelerden bir tanesidir (Altaş & Şahin, 2019). Türkiye elektrik sektörü açısından son yirmi yılda hızlı bir büyüme göstermiş; üretim miktarı iki kattan, kurulu kapasite ise üç kattan fazla artmıştır. Sektörün ithal fosil yakıtlara olan yüksek bağımlılığı, yenilenebilir kaynakların kullanımındaki önemli gelişmeler nedeniyle yavaşlama eğilimindedir (Önenli ve ark., 2023). Söz konusu gelişmeler, CO<sub>2</sub> emisyonunun azalmasına katkı sağlamanın yanı sıra çevreye zarar veren etkilerin azaltılmasına da katkı sağlamaktadır (Yücel ve ark., 2021).

Son dönemde, Türkiye enerji sektöründe büyük bir dönüşümü gerçekleştirme gayretindedir. Öne çıkan gelişmeler arasında, güneş enerjisi teknolojilerinde artan faaliyetler göze çarpmaktadır. Türkiye, güneş enerjisi alanındaki bu hızlı ilerleme ile fosil yakıtlardan daha temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağına geçiş yapma vizyonunu güçlendirmiştir. Bu adımlar, Türkiye'nin sadece kendi enerji altyapısını güçlendirmekle kalmayıp aynı zamanda küresel çapta bir liderlik rolü üstlenmeye hazırlandığını göstermektedir.

NATO TU WAVES projesi ile Türkiye; 1994-2000 yılları arasında, dalga iklimini incelemek için Karadeniz'e kıyısı olan tüm ülkelerin bilimsel kurumlarını içeren ilk uluslararası araştırmayı yapmıştır (Abdalla & Özhan, 1999). Bu kapsamda Gelendzhik, Hopa ve Sinop'taki üç yönlü dalga şamandıralarından dalga kayıtları toplanmıştır. Gelecekteki çalışmalar için uygun model verileri ve simülasyonlar belirlenmiştir (Çalışır & Akpınar, 2020). Türkiye, 2016'da imza attığı Paris antlaşması ile Avrupa Yeşil Mutabakatı koşul ve sonuçlarını kabul etmiştir (Kocalar, 2022). Bu koşullara göre yenilenebilir enerji konusunda faaliyetlerini hızlandırmaktadır. Bu kapsamda Türkiye’de önde gelen yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, hidro enerji, biyokütle enerjisi sayılmaktadır (Özdemir, 2019).

Türkiye'nin kıyı uzunluğunun yaklaşık 8210 km (Hepbaşlı ve ark., 2001) olduğu bilindiği halde su dalga enerjisini kullanmıyor olması, araştırmacıların ve deniz bağlantısı olan diğer ülkelerin dikkatini çekmektedir. Zira ülkede henüz dalga enerjisi kullanılmıyor olması birkaç faktöre bağlanabilir. Bu durumun temel sebepleri arasında, dalga enerjisi teknolojilerinin maliyeti, altyapı eksiklikleri ve Türkiye'nin iç denizlerinin deniz akısının düşük yoğunluğa sahip olması gibi etkenler ön plana çıkmaktadır. Türkiye’de henüz su dalga enerjisi kullanılmıyor olsa bile bu konu hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır ve konuyla ilgili geçmişte yapılmış prototipler de mevcuttur. Dalga enerjisine yönelik çalışmalar Türkiye’de genellikle pilot proje konumundadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kapsamında su dalga enerjisi üzerinde yapılmış çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

Literatürde Türkiye'nin Karadeniz sahilinde yapılan çalışmalar diğer bölgelere nazaran fazladır. Karadeniz sahilindeki su enerjisi çalışmalar şu şekildedir: Uygur ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, Düzce'nin Akçakoca ilçesindeki sahillerinin dalga potansiyeli ölçülerek Türkiye'deki denizlerin güç potansiyeli açısından su dalga enerjisi santral teknolojisine uygunluğu araştırılmıştır. Araştırma, Akçakoca rasathanesinden belli saat aralıklarında alınmış 5 yıllık veriler içermektedir. 1996 yılından 2000 yılına kadar yapılan dalga yükseklikleri ölçümleri incelendiğinde, Akçakoca sahillerinin ortalama dalga yükseklikleri 0,55 m olarak ölçülmüştür ve dalga gücü potansiyeli yarı ampirik bir şekilde hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda hesaplanan güç potansiyelinin söz konusu bölgede yeterli düzeyde olduğunu, ancak maliyetler açısından zorlayıcı olduğu belirtilmektedir. Jafalı (2019) tarafından yapılan çalışmada, Karadeniz'in güney-batı kıyılarının dalga enerjisi potansiyeli açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda SWAN modeli kullanılmıştır. Çalışma için, 1979- 2009 yılları arasında Sinop, Karaburun ve Filyos'un yıllık ortalama dalga enerji akısı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Filyos'un ortalama dalga enerjisi 3-7 s, Karaburun için bu değer 2-5 s ve Sinop için ise 2.5-6.5 s'dir. Güngör (2019) tarafından yapılan çalışmada, iç denizlerden sağlanacak dalga enerjisi üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Karadeniz'e uygun dalga üretim sistemi üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda salınlı su sütunu sistemi ve deniz dalga dönüştürücü sistemi modeli kullanılmıştır. Trabzon Araklı sahilinde test edilmiştir. Verim açısından, deniz dalga dönüştürücü sisteminin salınlı su sütunu

sistemine göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Halihazırda var olan herhangi bir sistemin Türkiye'nin iç denizlerine entegre edilemeyeceği konusunda bir sonuca varılmıştır. Yeni bir sistem için ise Ar-Ge çalışmaları geliştirilmelidir. [Erselcan & Kükner \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Karadeniz kıyılarında en uygun dalga dönüştürücüsünü seçmek amacıyla bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak dalga enerjisi dönüştürücülerinin farklı şamandıra geometrilerinin üzerinde fark yarattığı, her dönüştürücünün dalgayı yakalama potansiyelinin farklı olduğu sonucuna varılmış, uygun geometri şamandıralardan bahsedilmiştir. [Özbek & Ergül \(2022\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Karadeniz'de kurulabilecek su dalga enerjisi santrali için en uygun yeri belirlemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda çok kriterli karar verme yöntemlerinden ANP yöntemi kullanılmıştır. Çalışma için dikkate alınan şehirler: Samsun, Sinop, Trabzon, Ordu ve Giresun'dur. Kriterlerin 3 uzman tarafından sıralandığı bilinen çalışmada en uygun yer seçim sırasıyla: Sinop, Ordu, Samsun, Giresun, Trabzon'dur.

Literatürde Türkiye'nin su dalga enerjisi potansiyelini genel olarak değerlendiren ve dönüştürücülere yönelik laboratuvar çalışmalarını içeren diğer çalışmalar şu şekildedir: [Sağlam ve ark. \(2010\)](#) tarafından yapılan çalışmada, dalga enerjisinin Türk sularında kullanılma potansiyeli araştırılmaktadır. Türkiye'nin dalga enerjisi kaynakları gözden geçirilmiş, ardından saha seçimi hakkında çalışılmış ve Türkiye'nin güneybatısında bir vaka incelemesi yapılmıştır. NATO'nun TU-WAVES projesi kapsamında Türkiye'de Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz sahilleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Batı Karadeniz, İstanbul Boğazı'nın kuzeyi, Ege bölgesinin güneybatısı ve batısındaki kıyılar ülkedeki diğer bölgelere nazaran dalga enerji potansiyelinin yüksek olduğu yerler olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin dalga enerjisini hayata geçirebilmek adına yeni teknolojilere ihtiyaç duyduğu kanısına varılmıştır. [Mert \(2012\)](#) tarafından yapılan çalışmada, dünyada ve Türkiye'de su dalga enerji potansiyeli üzerinde durulmuş, aynı zamanda iki farklı dalga dönüşüm sistemi tasarlanmıştır. Model geliştirilmesi cam dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model verimsiz bulunmuş ve geliştirilmesi için öneriler sunulmuştur. Potansiyel olarak Türkiye'nin potansiyelinin değerlendirilebilir olduğunu, ama henüz teknik olarak yeteri kadar veriye sahip olmadığını belirtmiştir. [Kapluhan \(2014\)](#) tarafından yapılan çalışmada, dalga enerjisi konusu Türkiye ve dünya potansiyeli ele alınarak araştırılmıştır. Potansiyel alanların olduğundan fakat bu konuda Ar-Ge çalışmalarının artırılması gerektiğinden söz edilmektedir. [Özdamar ve ark. \(2016\)](#) tarafından yapılan çalışma, su dalga enerjisi türbinlerinin verimliliği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, salınan su sütunu tipi türbinleri incelenmiştir. ANSYS fluent paket programında analizi gerçekleştirilen türbinin verimi negatif yönde %40'a varan sonuçlara yaklaşmıştır. [Kıldiran \(2018\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Antalya ili için dalga potansiyeli araştırılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan saatlik rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü araştırmada kullanılmıştır. Dalga yükseklikleri Wilson metodu ile belirlenmiştir. Antalya'nın 11 bölgesi için yapılan bu çalışmada, Kaş'ın yatırım yapılabilir bir alternatif olduğu ortaya çıkmıştır. [Özdemir \(2019\)](#) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin alternatif yenilenebilir enerji potansiyeli kaynakları çok kriterli karar verme yöntemlerinden PROMETHEE ile kıyaslanmıştır. Belirlenen kriterlere göre, alternatif sıralamasına göre 7 enerji kaynağından dalga enerjisi, PROMETHEE akış tablosunda son sırada yer almıştır. [Altaş & Şahin \(2019\)](#) tarafından yapılan çalışmada dalga enerji potansiyeli Türkiye ve Dünya açısından ele alınmaktadır. Aynı zamanda dönüştürücü sistemleri incelenmektedir. Türkiye potansiyeli Ar-Ge çalışmalarına destek verilmesi kanısına varılmaktadır. Türkiye ve su dalga enerjisi potansiyeli konusunda Batı Karadeniz ve Ege kıyıları hakkında olumlu yargılara varılmıştır. [Demirok & Koçer \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada, dalga enerjisinden elektrik üretmek için Wells türbinli bir cam hazne sistemi kurulmuştur. Cam hazneye manuel dalgalar gönderilmiştir. Kurulan sistemde 120 saniyede 13.5 voltluk elektrik üretilmiştir. [Öztunalı Özbahçeci ve ark. \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada, ekstrem dalga analizinde kullanılmak üzere ilk kez Türkiye kıyıları boyunca en uzun ve tutarlı dalga verilerini elde etmek için yüzyıl bazında dalga verilerinin kalibre edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veri seti ile ilerleyen dönemde Türkiye kıyılarında yapılacak çalışmaların desteklenmesi öngörülmektedir. [Gülçelik & Diri \(2021\)](#) tarafından yapılan çalışmada dalga enerjisi kullanılarak çalışan jeneratör önerisi sunulmuştur. Bunun için pilot sistem kurulmuştur. Çevresel teorik hesaplamalar, enerji hesabı ve yıllık enerji üretimi ortaya koyulmuş, kurulan sistemin başarılı olacağına ve Karadeniz konumunun bunun için en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. [Aydiner & Öztürk \(2021\)](#) tarafından yapılan çalışmada, rüzgâr ve dalga enerji sistemleri kurulumu için en uygun alanı seçmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda Ege denizi sahilleri baz alınmıştır. Yer seçimi coğrafi bilgi sistemi tabanlı analitik hiyerarşi prosesi ile yapılmıştır. Kriterler literatür taraması baz alınarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Ege Denizi için, Bozcaada en uygun alandır. [Karaköse & Koca \(2022\)](#)



tarafından yapılan çalışmada potansiyeli düşük su dalgalarından yüksek enerji verimi alabilmek üzere Fırat Üniversitesi Enerji Laboratuvarında bir prototip hazırlanmıştır. Bu prototip için dalga periyot aralığı 2-6 saniye, dalga yüksekliği 2-7 cm olarak belirlenmiştir. Sonuç başarılı olmuştur. Deniz dalgaları okyanus dalgalarından daha zayıf olduğu için üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye'de bu sistem uygulanabilir kanısına varılmıştır. [Türker & Aydın \(2022\)](#) tarafından yapılan çalışmada Türk mevzuatının Avrupa yeşil mutabakatına ne kadar hazır olduğu üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmaya göre Türkiye; mevzuattaki ilkeler açısından değerlendirildiğinde, ortalama bir konumdadır. [Önenli ve ark. \(2023\)](#) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli araştırılmıştır. Doğrusal programlama ile elektrik tüketimi için makul bir model oluşturulmuştur. Analiz sonucunda bu konunun öneminden ve Türkiye'nin 2030'dan 2040 yılına kadar yenilenebilir paya, sırasıyla %53.3, %67.3 ile ulaşabileceği tahmininde bulunmuştur.

Dalga enerjisinin, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi popüler enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında öne çıkan en önemli özelliği, en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır ([Altaş & Şahin, 2019](#)). Türkiye ise enerji yoğunluğu konusunda bu denli verimli bir kaynak için henüz somut adımlar atamamıştır. Bunun sebeplerinin irdelendiği çalışmada literatürdeki kaynaklar incelenmiş, aynı hedeflere yönelik olarak su ve dalga enerjisinin Türkiye kıyılarındaki potansiyelini değerlendiren çeşitli çalışmalar analiz edilmiştir. Ayrıca, su dalga enerjisi dönüştürücülerini inceleyen ve kurulum için en uygun yer seçimlerini tartışan çalışmalar da bu analizin temelini oluşturmuştur.

Kıyı uzunluğu yaklaşık olarak 8210 km bilinen Türkiye'nin toplam sahil uzunluğunun yaklaşık beşte biri 18.5 TW saat/yıl (yaklaşık 2.11 GW) dalga enerjisi teknik potansiyeline sahiptir ([Hepbaşı ve ark., 2001](#)). [Sağlam ve ark. \(2010\)](#)'na göre ise ülkemizin dalga enerjisi potansiyeli yaklaşık 10 TW saat/yıl olarak belirtilmiştir. Ülkemiz iç denizlere sahip bir ülke olarak, çoğunlukla okyanus enerjilerinde kullanılan ve son derece teknolojik altyapı isteyen su dalga enerjisi teknolojisi konusunda henüz adım atmamış olması son derece olağandır. Fakat son dönemde artan yenilenebilir enerji politikaları ile bu konuda yeni adımlar atıldığı gözlemlenmektedir.

Söz konusu politikalarla ilgili çalışmalarda su dalga enerjisi potansiyeli için uygun yer seçimi çalışmalarına da yer vermektedir. Bu kapsamda [Sağlam ve ark. \(2010\)](#)'na göre İstanbul Boğazının kuzeyi, Marmaris- Finike kıyıları arası ve Batı Karadeniz bölgesi su dalga enerjisi potansiyeli açısından uygun yerler olduğu üzerinde durmuştur. [Altaş & Şahin \(2019\)](#)'e göre Ege ve Batı Karadeniz bölgelerinde yadsınamayacak kadar dalga enerjisi potansiyeli vardır. [Gülçelik & Diri \(2021\)](#)'e göre ise toplam enerji analizi yapıldığında Karadeniz'in su dalga enerjisi potansiyeli diğerlerine nazaran yüksektir. Mevcut çalışmalar incelendiğinde Karadeniz'in potansiyeli üzerinde durulmuştur. Konumu nedeniyle Karadeniz, enerji arzı açısından dört farklı avantaja sahiptir. Birincisi, bol miktarda rüzgâr ve dalga enerjisine sahiptir. İkincisi, önemli hidrojen sulfür rezervlerine sahiptir. Üçüncüsü hidrojen üretimi için avantajlı olan düşük tuz içeriğine sahiptir ve dördüncüsü, politik olarak istikrarlı bir fikir birliğine sahip bir bölgede yer almaktadır ([Güneş-Durak & Kapkın, 2024](#)).

Son dönemde Karadeniz'de su enerji dönüşüm sistemleri üzerinde çalışmalar da yapılmaya başlanmıştır ([Özbek & Ergül, 2022](#)). [Çokan \(2004\)](#) tarafından yapılan ve Karadeniz Ereğli kıyılarında denenen su dalga dönüştürücü prototipi KOSGEB ve TÜBİTAK destekleri ile hayat bulmuştur. Fakat prototipin dalgalara yenilmesi ile Ar-Ge çalışmalarının genişletilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Çokan, su dalga enerjisi üzerine kurduğu web sitesinde çalışmanın detaylarından bahsederken, verilen desteğin yetersiz kaldığı ve prototipin de bu sebeple deniz dalgalarına yenilecek kadar güçsüz olduğunu belirtmektedir. Prototip için seçilen yerin Batı Karadeniz olması, bu bölgenin dalga potansiyeli konusunda umut vadettiği kanısına varmamıza sebep olmaktadır. Söz konusu konu ile ilgili atılan bir diğer adım ise Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü ve Türkiye Elektromekanik A.Ş. iş birliği ile 2008'de yapılan prototiptir. Sakarya'nın Karasu ilçesinde gerçekleştirilen model 4 adet duba, şamandıra ve jeneratörden oluşturulmuştur ([Kaplukan, 2014](#)). Son dönemde konuşulan bir proje ise Ordu OREN Enerji dalga enerji projesidir. Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı (BAKKA)'nın 2023'te yayımlanmış olduğu Kilimli Teknoloji ve Yatırım Üssü ön faaliyet raporunda bu pilot projeden de bahsedilmektedir ([BAKKA, 2023](#)).

Su dalga enerjisi, sağladığı avantajlar nedeniyle bazı ülkelerin elektrik enerjisi üretimi için kullandığı yenilenebilir bir enerji türüdür ve Türkiye için potansiyel yenilenebilir enerji kaynağı alternatifini kabul edilebilir. Ancak maliyetler, deniz ekosistemine olan etkileri ve kurulum altyapısının olmaması gibi sebeplerle, ülkemizde su dalga enerjisi dönüştürücülerinin Ar-Ge faaliyetlerine dayalı olarak geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. Yapılan incelemede, özellikle



Karadeniz bölgesinin su dalga enerjisi potansiyeli konusunda umut verici olduğunu göstermiştir fakat Karadeniz adına yapılan çalışmalar oldukça kısıtlı ve azdır. Ayrıca denizlerin tuzluluk ve termal gradyan enerjileri için de yapılmış çalışmalara rastlanılmamıştır. Mevcut çalışmaların bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan bilgiler, “Bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme faaliyetine yönlendirebilir.” olduğunu göstermektedir. Türkiye, söz konusu enerji için öncü olan ülkelerin yol haritalarını izlemelidir. Paydaşlarının yaptığı çalışmaları da yakından izlemeli ve iş birliği yapmalıdır.

### 3. Su Dalga Enerjisi Potansiyelini Tahmininde Kullanılan Yapay Zekâ Teknikleri

Babarit (2017) kitabında dalga enerjisi dönüştürücülerinin en fazla sayıda patentin bulunduğu teknolojik alan olduğundan bahsetmektedir. Henriques ve ark. (2016) ise çalışmasında binlerce su dalga enerjisi dönüştürücü patentlerine rağmen ana sorunun cevapsız kaldığından bahseder. Henriques ve ark. (2016)'e göre dalga enerjisi ile ilgili ana sorun: dalga döngülerine dayanabilecek ve rekabetçi bir fiyatla elektrik üretecek bir cihazın tasarlanmasının mümkün olup olmadığıdır. Henriques ve ark. (2016) tasarlanan çoğu dönüştürücünün tasarımlarına özgü çok büyük torklar nedeniyle ticari aşamaları geçemediğinden bahsetmektedir. Dalga tahminleri ise, dalga enerjisi cihazlarının tasarım ve kontrol stratejilerini optimize etmeye yardımcı olabilir. Örneğin, dalga koşullarını doğru tahmin etmek, cihazın maksimum verimlilikle çalışması için latching kontrol gibi stratejilerin uygulanmasına olanak tanır. Bu, dalgaların enerjisini daha etkili bir şekilde yakalayarak kuvvet ve tork taleplerini azaltabilir. Doğru dalga tahminleri, cihazın aşırı dalga ve değişen hava koşullarında nasıl davranacağını önceden belirlemeye yardımcı olabilir. Çalışmanın önceki bölümünde de bahsi geçen Bergen Şehrindeki fırtınada yıkılan dönüştürücüler gibi birkaç dönüştürücü prototipi büyük dalgalar tarafından tahrip edilmiştir (Babarit, 2017). Doğru dalga tahminleri dönüştürücülerin hayatta kalmasına da yardımcı olabilmekte ve olası fırtınalardan dönüştürücülerini koruyabilmektedir.

Dalga periyodunun önceden tahmin edilmesi, yüzey dalgaları hakkında bilgi sağlayarak açık deniz uygulamalarının optimizasyonu için önem taşır. Son yıllarda, makine öğrenimi ve hesaplama yeteneklerindeki gelişmeler, veriye dayalı dalga tahmin yöntemlerine ilgiyi artırmıştır. Bu yöntemler, doğrusal olmayan okyanus koşullarının getirdiği zorlukları aşarak daha verimli ve etkili tahminler sağlamaktadır (Chen ve ark., 2024). Öte yandan bu çalışmalarda genelde derin öğrenme, makine öğrenimi, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi çeşitli yapay zekâ tekniklerinden faydalandığı görülmektedir. Birçok alandaki mühendislik çalışmalarında olduğu gibi su dalga enerjisi çalışmalarında da yapay zekâ teknikleri tahmin yaklaşımı olarak oldukça faydalı olabilmektedir. Söz konusu enerji çeşidi ile yapay zekâ konularının multidisipliner işlendiği çalışmalarda genel olarak yapay zekâ tekniklerinin birbirleri ile karşılaştırıldığı ve en cazip olan tekniğe karar verildiği görülmektedir.

#### 3.1. Dalga enerjisi tahmini ve dönüştürücülerin optimizasyonunda makine öğrenmesi ve derin öğrenme uygulamalarının gözden geçirilmesi

Literatüre göre, dalga enerjisi tahmini ve dönüştürücülerin optimizasyonunda makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri, enerji üretiminde verimliliği artırma potansiyeli sunmaktadır. Dalga enerjisi tahmininde, makine öğrenmesi algoritmaları regresyon modelleri, zaman serisi analizi ve karar ağaçları gibi yöntemler kullanılarak dalga yüksekliği, periyodu ve rüzgâr hızı gibi verilerden gelecekteki enerji üretimi tahmin edilebilmektedir. Derin öğrenme teknikleri, özellikle Yapay Sinir Ağları (ANN), Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) modelleri, bu tahminlerin doğruluğunu artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda, dalga enerjisi dönüştürücülerinin optimizasyonunda genetik algoritmalar, evrimsel hesaplama yöntemleri ve takviyeli öğrenme teknikleri, dönüştürücülerin parametrelerini optimize ederek enerji verimliliğini maksimize etmektedir. Derin güçlendirme öğrenmesi ve kapsayıcı ağlar gibi ileri seviye derin öğrenme uygulamaları, dönüştürücü sistemlerinin performansını daha da iyileştirebilmektedir. Bu alandaki başarılı uygulamalar ve örnek çalışmalar, yapay zekâ tekniklerinin dalga enerjisi sektöründe ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir.

Bu bölümde, literatürde su dalga enerjisi teknolojileri için kullanılan yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar derlenmiştir. Yapay sinir ağı ile ilgili çalışmaların üzerinde durulmasının nedeni, bu tekniklerin başarılı bulunması ve dalga enerjisi tahmininde diğer tekniklere nazaran yüksek doğruluk sağlamasıdır. Asma ve ark. (2012) çalışmasında dalga yüksekliğini tahmin etmek için yapay sinir

ağlarını ve doğrusal regresyon modellerini kullanmıştır. Batı Hindistan kıyılarında kurdukları bu tahmin modelinde yapay sinir ağı modellerinin ve çoklu doğrusal regresyon modellerinin de doğru tahminler sağladığını ortaya koymuşlardır. Yapay sinir ağları daha küçük hata oranına sahipken, çoklu doğrusal regresyon daha az parametre ile tahmin modeli kurar. O yüzden uygun modelin seçimi araştırmacıya ve araştırmanın özelliklerine bağlı olduğu kanısına varmışlardır. Yine de öneri vermeleri gerekirse bunun yapay sinir ağlarından yana olacağını bunun sebebinin ise yapay sinir ağlarının daha küçük ortalama kare hatası elde etmesinden dolayıdır. [Ali ve ark. \(2021\)](#) tarafından yapılan çalışmada tepe dalga enerjisi periyotlarını tahmini için kullanılan yapay sinir ağları ve makine öğrenimi teknikleri karşılaştırılmıştır. Avustralya'nın kıyı bölgelerinde yapılan bu çalışmada kullanılan makine öğrenimi tekniği (aşırı öğrenme makinesi) yapay sinir ağlarına göre daha iyi bir sonuç vermiştir. [Bento ve ark. \(2021\)](#) tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağı modelleri ile doğrudan dalga enerji akışını tahmin etme ve dolaylı yoldan dalga gücünün tahmin etmek amaçlanmıştır. Dalga yüksekliklerini mevsimsel olarak ortaya koymuş, aynı zamanda kış ve sonbaharda bu yüksekliklerin diğer mevsimlere oranla daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. İleri beslemeli sinir ağlarının, dalga potansiyel enerjisinin tahmini için önemli olduğunu gösteren çalışmalardan biridir. [Rodriguez-Delgado & Bergillos \(2021\)](#) tarafından yapılan bu çalışmada yapay sinir ağlarının iklim değişikliğinin etkilerini de dikkate alarak uzun vadede dalga enerjisi potansiyelini optimize etmek amaçlanmıştır. Bu çalışma, su derinliği arttıkça enerji kullanılabilirliğinin de arttığını göstermektedir. Aynı zamanda oluşturulan yapay sinir ağı modeliyle hesaplama maliyeti oldukça azalmıştır. [Aylak \(2022\)](#) yaptığı çalışmada denizcilik lojistiğinde kullanılan derin öğrenme çalışmalarını derlemeyi amaçlamış, enerji verimliliği ve yapay zekâ konusunda literatürü eksik bulmuştur. Gemi rotalama problemleri için derin öğrenme çalışmalarına rastlanılmaktadır fakat harici denizcilik faaliyetleri için yapılmış derin öğrenme çalışmalarına literatürde az yer verilmiştir. [Zhang ve ark. \(2023\)](#) çalışmasında su dalga enerjisi dönüştürücülerinin karmaşık modellemeleri sebebiyle yapay zekâ teknikleri kullanarak kurulan modellerin performansları değerlendirilmiştir. Yakın zamanda oluşturulan derin operatör ağı ile yapay sinir ağları karşılaştırılmıştır. Plymouth Üniversitesi okyanus havzasında yapılan modelleme ve analiz sonucunda derin operatör ağı tabanlı dönüştürücü modeli veri gereksinimi, tahmin doğruluğu ve sürekli zamanı destekleme açısından yapay sinir ağlarından üstün bir performans sergilemiştir. [Ahmed ve ark. \(2023\)](#) çalışmasında yapay sinir ağlarını kullanarak dalga yüksekliğini tahmin etmek amacıyla model oluşturulmuştur. Avustralya'da bulunan birkaç dalga üretim tesisinde oluşturulan bu hibrit modelin hayata geçirilmesinin dalga enerjisi dönüştürücüleri için faydalı olacağına dair bir sonuca varmıştır. [Mahdavi-Meymand & Sulisz \(2023\)](#) çalışmasında dalga yüksekliğini tahmin etmek amacıyla kullanılan yapay sinir ağlarının ve diğer makine öğrenimi tekniklerinin performanslarını karşılaştırılmıştır. Uyarlamalı Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritması, İç İç Geçmiş çok katmanlı yapay sinir ağı algoritması düğümleri için transfer fonksiyonları olarak kullanılmıştır. Kuzey Denizde yapılan bu çalışmada diğer makine öğrenimi modellerinin doğruluğunun ileri beslemeli yapay sinir ağlarından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. İç içe geçmiş çok katmanlı yapay sinir ağlarının muadillerinden daha başarılı olduğu kanısına varılmıştır. [Shadmani ve ark. \(2023\)](#) çalışmasında su dalga dönüştürücüleri tasarımı optimizasyonu için makine öğrenmesi ve derin öğrenme açısından literatürü incelemiştir. İncelediği literatür sonucunda optimizasyon çalışmalarının çoğunda yapay sinir ağlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma ile ileri beslemeli ağlar ve evrişimli sinir ağlarının karmaşık ve veri problemleri olan soruları çözmenin uygun olduğu kanısına varılmıştır. [Sareen ve ark. \(2023\)](#) tarafından yapılan bu çalışmada okyanus dalgası enerjisini tespit etmede uzun kısa dönemli bellek modelinin etkilerini incelenmiştir. Uzun vadeli sorunlar için geri beslemeli sinir ağı önerilmez. Önerilen yeni uzun kısa vadeli bellek modeli diğer tahmin algoritmalarını performans açısından geride bırakmaktadır (Ülke genelinde kullanılmayan okyanus dalgası enerjisi üretim potansiyelini etkin bir şekilde keşfetmede önemli ölçüde yardımcı olacaktır). [Bagheri ve ark. \(2023\)](#) tarafından yapılan çalışmada sudaki karmaşık sorunları ele alma potansiyellerini aydınlatmak amacıyla makine öğrenmesi tekniklerinin uygulamalarını derinlemesine tartışılmıştır. Su ortamındaki teknik sorunların tespitinin temel veri yaklaşımları için kolay olmadığı vurgulanmıştır ve hatanın ayıklanmasının ve onaylanmasının hatayı tespit etmekten daha kolay olduğu iddia edilmiştir. Çalışmaya göre evrişimli sinir ağları, su ortamlarındaki sorunları çözmek için en çok kullanılan görüntü tanıma algoritmalarından biridir. Uzun kısa vadeli bellek modeli ise atıksu arıtma ünitelerinde arıza tespiti için optimal bir modeldir. [Zheng ve ark. \(2023\)](#) yapılan bu çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağları ile dalga yüksekliğinin tahmin modeli oluşturulmuştur. Kapılı yinelemeli model geri beslemeli diğer yapay sinir ağları modellerinden uyum

iyiliği ölçümlerine dayalı olarak daha yüksek doğruluk elde ettiğini göstermektedir. Önerilen model; hidroloji, atmosfer bilimleri, kuraklık, yağış ve tarım sektörlerinde uygulanabilir. Kim ve ark. (2023) yapılan bu çalışmada evrişimli sinir ağı ve uzun kısa dönemli bellek modeli ile birleştirilmiş algoritma kullanarak dalga yüksekliklerini sınıflandırmak amaçlanmaktadır. Kore'nin güneybatı kıyı bölgesinden anlık görüntüler toplandı ve bunlar daha sonra kategorize edildi ve eğitildi. Evrişimli sinir ağına dayalı deniz durumları sınıflandırması ve ortalama dalga yükseklikleri, özellikle bazı dalga yükseklikleri için tatmin edici olmayan performans göstermiştir.

Konuyla ilgili incelemesi yapılan literatürdeki çalışmalar için Tablo 3 oluşturulmuştur. Sınıflandırma yapay sinir ağı modellerinin türlerine göre yapılmıştır.

Tablo 3. Yapay sinir ağlarını baz alan su enerjisi çalışmaları

Literatürdeki Çalışmalar	Çalışmanın Amacı	Yöntem		
		İleri Beslemeli Sinir Ağı	Geri Beslemeli Sinir Ağı	Evrişimli Sinir Ağı
Asma ve ark. (2012)	Dalga yüksekliği tahmini için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon modellerinin karşılaştırılması.	√	√	
Ali ve ark. (2021)	Tepe dalga enerjisi periyotlarını tahmin etme yeteneği açısından makine öğrenimi alanında kullanılan bir model ile yapay sinir ağlarının karşılaştırılması.	√	√	√
Bento ve ark. (2021)	Yapay sinir ağı modelleri ile doğrudan dalga enerji akışını tahmin etme ve dolaylı yoldan dalga gücünün tahmini.	√		
Rodriguez-Delgado & Bergillos (2021)	Yapay sinir ağlarının iklim değişikliğinin etkilerini de dikkate alarak uzun vadede dalga enerjisi potansiyelini optimize edilmesi.	√	√	
Aylak (2022)	Denizcilik lojistiğinde kullanılan derin öğrenme çalışmalarının derlenmesi.	√	√	√
Zhang ve ark. (2023)	Su dalga enerjisi dönüştürücülerinin karmaşık modellemeleri sebebiyle yapay zekâ teknikleri kullanarak performans değerlendirmesi.		√ (Kapılı Yinelemeli Birim Modeli ve Uzun Kısa Dönemli Bellek)	√
Ahmed ve ark. (2023)	Yapay sinir ağlarını birlikte kullanarak dalga yüksekliğini tahmin etmek amacıyla modelinin oluşturulması.		√ (Kapılı Yinelemeli Birim Modeli ve Uzun Kısa Dönemli Bellek)	√

Tablo 3. Yapay sinir ağı baz alan su enerjisi çalışmaları (devam)

Literatürdeki Çalışmalar	Çalışmanın Amacı	Yöntem		
		İleri Beslemeli Sinir Ağı	Geri Beslemeli Sinir Ağı	Evrışimli Sinir Ağı
Mahdavi-Meymand & Sulisz (2023)	Dalga yüksekliğini tahmin etmek amacıyla kullanılan yapay sinir ağlarının ve diğer makine öğrenimi tekniklerinin performanslarının karşılaştırılması.	√ (İç İçe Geçmiş Yapay Sinir Ağı Modeli)		
Shadmani ve ark. (2023)	Su dalga dönüştürücüleri tasarımı optimizasyonu için makine öğrenmesi ve derin öğrenme açısından mevcut literatürün incelenmesi.	√	√	√
Sareen ve ark. (2023)	Okyanus dalgası enerjisini tespit etmede uzun kısa dönemli bellek modelinin etkilerinin incelenmesi.		√	
Bagheri ve ark. (2023)	Sudaki karmaşık sorunları ele alma potansiyellerini aydınlatmak amacıyla makine öğrenmesi tekniklerinin uygulamalarını derinlemesine tartışılması.		√	√
Kim ve ark. (2023)	Evrışimli sinir ağı ve uzun kısa dönemli bellek modeli ile birleştirilmiş algoritma kullanarak dalga yüksekliklerini sınıflandırılması.		√ (Uzun Kısa Dönemli Bellek)	√
Zheng ve ark. (2023)	Geri beslemeli yapay sinir ağları ile dalga yüksekliğinin tahmini.		√ (Kapılı Yinelemeli Birim Modeli ve Uzun Kısa Dönemli Bellek)	

Yapay sinir ağları genellikle giriş katmanı, orta katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Her katmanın birkaç nörondan oluşur ve bu nöronlar matematiksel işlemler gerçekleştirilmekte, çıktıları hesaplamaktadır. Bu işlemlerin türüne bağlı göre farklı yapay sinir ağları geliştirilmektedir (Mahdavi-Meymand & Sulisz, 2023). Çalışmada yapay sinir ağları, işlem türlerine göre ileri beslemeli sinir ağları, geri beslemeli ağları olarak sınıflandırılmışlardır. Ayrıca görüntü tanıma teknolojisine dayanan evrışimli sinir ağları bulunmaktadır. Evrışimli sinir ağları, çok katmanlı sinir ağı modelinin katman sayısının artırılarak daha iyi sonuçlar vermesi için geliştirilmiştir ve filtrelemeye dayalı bir modeldir. Filtreleme ile görüntünün özelliklerini belirgin hale getirir. Belirgin hale getirilen özellikleri sınıflandırmada oldukça iyi olduğu bilinen bu model, farklı boyut ve değerlerde kullanılarak araştırmalarda baskınlık düzeyi az olan özelliklerin de ortaya çıkmasını sağlar (Simard ve ark., 2003).

İleri beslemeli ağlar, girdi verilerinin çıktı verilerine doğru ilerleyen ağ modellerini baz alan matematiksel modellerdir. Bu ağ yapısında geri besleme bulunmamaktadır (Yüksel, 2023). İç içe geçmiş yapay sinir ağı modelinin ana fikri, makine öğrenimi modelleri tarafından gerçekleştirilen işlemlere benzer doğrusal olmayan işlemler gerçekleştirmektir (Mahdavi-Meymand & Sulisz, 2023). Su dalga

teknolojilerinde dalga yüksekliklerini tahmin etmek için ileri beslemeli sinir ağları araştırmacıların tercih ettiği bir model olmuştur. İç içe geçmiş yapay sinir ağ modelleri de bunlardan biridir. Modellerin ana fikri, makine öğrenimi modelleri tarafından gerçekleştirilen işlemlere benzer doğrusal olmayan işlemler gerçekleştirmektir (Mahdavi-Meymand & Sulisz, 2023).

Geri beslemeli ağlar (tekrarlayan sinir ağları), girdi veri akışlarının ileri akışa ek olarak geriye doğru olabildiği ağ yapılarını baz alan matematiksel modellerdir. Bu modelde çıktılar girdi olarak da kullanılabilir (Yüksel, 2023). Geri beslemeli ağ adı altında kullanılan modeller, uzun kısa dönemli bellek ve kapılı yinelemeli birim olarak tanımlanmaktadır. Uzun kısa dönemli bellek modeli, tekrarlayan sinir ağlarının belleğini genişleten bir mimaridir. Tipik olarak, tekrarlayan sinir ağları, mevcut sinir ağında kullanılmak üzere kalıcı önceki bilgileri kullanmaları nedeniyle "kısa süreli hafızaya" sahiptir. Bu modelin görevi önceki bilgileri de kullanmasıdır (Alpay, 2020) ve yine Alpay (2020)'a göre bu model el yazısı tanıma, zaman serisindeki anormallikleri tespit etmek, konuşma tanıma, müzik bestelemek gibi araştırmalarda kullanılabilir. Bu çalışmada bu modelin, daha çok dalga tanklarının kurulumu için geçmişe dayalı verileri de kullanarak dalga yüksekliği tahmini yaptığı görülmektedir. Aynı zamanda bir başka tekrarlayan ağ olan kapılı yinelemeli model ile kullanıldığı çalışmalar da olmuştur. Bu bütünleşmiş modelde maksimum dalga yüksekliği, dalga periyodu, tepe enerji dalga periyodu, deniz yüzeyi sıcaklığı ve önemli dalga yükseklikleri dahil olmak üzere tarihsel dalga özellikleri analiz edilmek için kullanılmıştır. Araştırmacıların bu hibrit modeli sıkça kullanması ve başarılı bulması, gelecekteki çalışmalar için fikir vermektedir.

Bir diğer yapay sinir ağ türü ise evrişimli (konvansiyonel) sinir ağıdır. Derin öğrenme yapıları içerisinde en çok kullanılan sinir ağı olduğu bilinmektedir (Doğan & Türkoğlu, 2019). Bu sebeple çalışmaya dahil edilen evrişimli sinir ağının filtrelemeye dayalı görüntü tanıma teknolojisi olduğu bilinmektedir. Dalga görüntülerinin analiz edilip filtrelenmesi su enerjisi teknolojilerini bir adım daha öteye taşımaktadır. Ayrıca literatürde türbin arıza sistemleri için evrişimli sinir ağlarının da hibrit modelde yer aldığı diğer derin öğrenme teknikleriyle gürültü bağışıklığı analizi yapılarak su dalga dönüştürücülerin arızalarını tespit eden modeller geliştirilmiştir (Bao ve ark., 2024).

Araştırmacılar ve mühendislerin en uygun yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerini tasarlamaları için dalga yüksekliklerinin doğruya en yakın tahminlerine ihtiyaçları vardır (Mahdavi-Meymand & Sulisz, 2023). Dalga yüksekliğini tahmin etmek, mühendisler için oldukça zor konulardan biridir. Bu çıkarım, öngörülebilirliği ile gelgit enerjisinin en çok kullanılan su enerji çeşidi olduğu ile de yapılabilir. Deniz lojistiği, kıyı şeridi ve açık denizlerin yapısı gibi okyanus ortamını etkileyen fırtınalar için öngörülebilirlik oldukça önemlidir. Dalga özelliklerinin tahmin etmek fırtınada oluşabilecek tüm zararları engellemek adına çok önemlidir. Bu nedenle, okyanus yüzey dalgalarının doğru tahmini çok önemlidir ve zorlu bir iştir (Asma ve ark., 2012). Bunun için henüz geliştirilen ve güçlü bir tahmin modeli olan yapay sinir ağlarını kullanmak su kaynaklı enerji önem taşımaktadır. Mevcut çalışmalar ile yapılan bu değerlendirmede; dalga yüksekliğini, dalga periyodu, tepe enerji dalga periyodu, deniz yüzeyi sıcaklığı, rüzgâr yönü ve vb. etkileri tahmin etmek için okyanus enerji çalışmalarında yapay sinir ağı modellerinin kullanıldığı görülmüştür. Araştırmacıların daha çok bütünleşmiş modelleri kullanmayı tercih ettiği ve yapay sinir ağlarının, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha başarılı sonuçlar verdiği kanısına yazın taraması sonucunda varılmaktadır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Su enerji potansiyeli yüksek okyanuslara sahip ülkeler, yenilenebilir enerji çalışmalarını kapsamında suyun enerjisini elektriğe dönüştüren projeler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Henüz yeni sayılabilecek bu enerji çeşidi için özellikle gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkeler, pilot projelerle okyanuslarda yerini almışlardır. Bu enerji türünün kullanılabilmesi için başta maddi zorluklar olmak üzere, teknolojik ve fiziksel altyapı kurulum karmaşıklığı gibi zorluklarla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu tür projeler ile ilgilenen ülkenin öncelikle şebeke-teknolojik altyapısının yeterli seviyede olması ve projelerin uygulanması için fizibilite çalışmalarına önem verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Asya-Avrupa kıtası ülkelerinin ve Türkiye'nin su enerji potansiyeli, incelenen literatür sonucunda ortaya koyulmuştur. Tablo 4, mevcut literatür incelemesi sonunda okuyuculara özet bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır.



Tablo 4. Su dalga enerjisi: Türkiye, Asya ve Avrupa karşılaştırılması

Özellik	Türkiye	Asya	Avrupa
<b>Potansiyel</b>	Düşük	Yüksek	Yüksek
<b>Teknoloji</b>	Gelişmekte	Gelişmekte	Gelişmekte
<b>Yatırımlar</b>	Artan	Yüksek	Yüksek
<b>Kaynaklar</b>	Mevcut literatüre göre Karadeniz ve Ege Denizi dalga enerjisi potansiyellerinin diğer bölgelere nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır.	Japonya Çin	Birleşik Krallık İrlanda İspanya Portekiz
<b>Mevcut Projeler</b>	Birkaç pilot projenin bahsi geçmektedir.	Projeler mevcut	Geniş ölçekli projeler

Yapılan çalışmalarda, gelişmişlik düzeyi ile bilinen ülkelerin adı çoğu zaman su enerjisi teknolojileri ile yan yana gelmektedir. Asya kıtasında Japonya ve Çin bu konuda öncüdür. Asya kıtasında okyanusa kıyısı olan Rusya, Hindistan ve Endonezya gibi ülkelerin henüz okyanus potansiyeli üzerinde yapılmış çalışmalarına rastlanmamıştır. Su enerjisi teknolojileri, Dünya bazında çok yeni bir teknoloji olmasına rağmen, Avrupa kıtası bu konuda birçok projeye öncülük etmektedir. Literatür taraması sonucunda Avrupa kıtasının bu konuda Asya'ya göre gelişmişlik düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Avrupa kıtası ülkeleri arasında ise Birleşik Krallık bu konuda öncüdür. Dalga ve gelgit enerjisi projeleri ile bilinen Birleşik Krallık paydaşlarıyla birlikte birçok ortak projeleri yürütmektedir. Avrupa kıtası için Atlantik Okyanusuna kıyısı olan İngiltere, Fransa, İspanya, Portekiz, Norveç, İzlanda, İrlanda okyanustan elde edebilecekleri potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için çalışmalarını sürdürmektedirler. Asya ve Avrupa kıtasında kapalı havzaları ile bilinen Türkiye'nin ise su dalga enerjisi alanında görece olarak daha başlangıç seviyesinde olduğu söylenebilir. Türkiye'nin kapalı havzaları olması su kaynakları için bir handikap (denizlerin enerji potansiyelinin okyanuslara nazaran düşük olması) olsa da denizlerin potansiyeli hususunda araştırmalara devam edilmektedir. Karadeniz ve Ege Denizinin dalga potansiyeli bakımından diğer iç denizlere nazaran daha iyi konumda olduğu söylenebilir. Araştırmacıların bu bölgeler üzerinde yoğunlaşması gerekebilir. Denizlerin dalga potansiyelini arttırmak için yapılan çalışmalarda maliyet, teknoloji gibi faktörlerin de hesaba katılması bu enerji türünün uygulanabilirliği açısından önem arz etmektedir. Henüz dünya çapında çok yeni bir teknoloji olduğu için ülkelerin bu teknolojiye attıkları adım gelişmişlik düzeylerini arttırmak için fırsat yaratabilir. Söz konusu enerji çeşidinde öncü olan ülkelerin yol haritaları incelenmeli, paydaşların yaptığı çalışmalar yakından izlenmeli ve iş birliği yapılmalıdır. İstanbul Boğazı ve Karadeniz arasındaki tuzluluk farkından ortaya çıkan enerji literatüre az da olsa konu olmuştur. Denizlerin tuzluluk gradyan enerji potansiyeli araştırmalarına ağırlık verilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Su dalga enerjisi alanında Ar-Ge çalışmaları için özellikle başlangıç aşamasında ekipman ve finans desteğinin eksik tutulmaması önem arz etmektedir. Öte yandan projeler ve prototipler dalgalara yenilmemek için sağlam altyapıya ihtiyaç duymaktadır. Birleşik Krallıktaki yıllanmış projelerin hala sürdürülüyor olması altyapının oldukça güçlü oluşturulduğunu göstermektedir.

Okyanusa kıyısı olan ülkeler enerji potansiyelleri dolayısıyla su dalga enerjisi için projeler yapmaktadır. Hali hazırdaki projelerin çoğu pilot proje konumundadır. Bu yüzden ülkeler bu konuda kendini geliştirirken, dünya çapında da bu teknoloji adına keşifler yapabilir. Söz konusu teknoloji için santral kurulumu gereklidir. Bu santrallerin kurulumu için planlamalar oldukça titiz yapılmaktadır. Dalgaların öngörülebilirliği, yükseklik tahmini, fırtına durumunda olabilecek zararların hesaplanması ve önlemlerin alınması önemlidir. Suyun getirebileceği tüm iyi ve kötü faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Dalga enerjisinin kesintili ve düzensiz özelliği, güç sisteminin kararlılığı için bir endişe nedenidir. Bu yüzden dünya çapında öngörülebilir olduğu için en fazla gelgit enerji türbinleri kullanılmaktadır. Tahmin yöntemlerinin bu konuda çözüm aracı olarak kullanılması ön plana çıkmaktadır. Son zamanlarda kullanılan makine öğrenimine ve yapay sinir ağlarına dayanan tahmin yöntemleri su enerji konularında da bu tarz araçlar olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda literatürde dalga yüksekliğini, dalga periyodu, tepe enerji dalga periyodu, deniz yüzeyi sıcaklığı, rüzgâr yönü ve vb. etkileri tahmin etmek için okyanus enerji çalışmalarında yapay sinir ağı modellerinin yaygın olarak

kullanıldığı görülmektedir. Yapay sinir ağları da hala geliştirilen bir model olduğu için dalga tahminlerinde güçlü bir model oluşturmak için bütünleşmiş modeller kullanılmaktadır.

Gelecek çalışmalarda santral türlerine değinerek ülkemizdeki dalga çeşidine uygun santral seçimi yapılabilir. Sualtı betonlama yöntemlerinin maliyetleri hesaplanabilir, kurulum yapılacak yerler uzmanların çerçeveleriyle belirlenip yer seçimi çalışmaları ve fizibilite çalışmaları yapılabilir. Kurulumda kullanılan ekipman ve malzemelerin suya ve çevreye etkisi incelenmelidir. Örneğin, türbinler için kauçuk türleri kullanıldığı ve kauçuğun çevreye zararının olduğu bilinmektedir. Akdeniz ve Karadeniz kıyılarındaki diğer ülkelerin konuyla ilgili çalışmalar yoğunlaştırılarak yalnızca Türkiye kıyılarına dair kapsamlı bir çalışma yapılabilir. Ülkemizde su enerjisi kurulması için engel olan darboğaz faktörler incelenip, irdelenmelidir. Bu yönde karşılaşılan problemleri çözmeye yönelik yaklaşımlar çeşitlendirilebilir. Bu çalışma yalnızca Asya- Avrupa kıtalarındaki ülkeler için sınırlı kalmıştır. Yükseklik vb. tahminleri için son zamanlarda tahmin çalışmalarında kullanılan ve başarılı sonuç alınan bulanık mantık çalışmaları da gelecek çalışmalarda yapay sinir ağları ile incelenebilir.

## Kaynakça

- Abdalla, S., & Özhan, E. (1999, Nisan). *Wind and wave climate of the mediterranean and the black sea*. Proceedings of the International MEDCOAST Conference, Antalya.
- Ahmed, A. A. M., Jui, S. J. J., AL-Musaylh, M. S., Raj, N., Saha, R., Deo, R. C., & Saha, S. K. (2024). Hybrid deep learning model for wave height prediction in Australia's wave energy region. *Applied Soft Computing*, 150, 111003. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111003>
- Alday, M., & Lavidas, G. (2024). Assessing the Tidal Stream Resource for energy extraction in The Netherlands. *Renewable Energy*, 220, 119683. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119683>
- Ali, M., Prasad, R., Xiang, Y., Sankaran, A., Deo, R. C., Xiao, F., & Zhu, S. (2021). Advanced extreme learning machines vs. deep learning models for peak wave energy period forecasting: A case study in Queensland, Australia. *Renewable Energy*, 177, 1031-1044. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.052>
- Alpay, Ö. (2020). LSTM mimarisi kullanarak USD/TRY fiyat tahmini. *European Journal of Science and Technology*, 452-456. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf59>
- Altaş, İ. H., & Şahin, E. (2019). Dünyada ve Türkiye'de dalga enerjisi. *Elektrik Mühendisliği*, 465, 43-53.
- Asma, S., Sezer, A., & Ozdemir, O. (2012). MLR and ANN models of significant wave height on the west coast of India. *Computers & Geosciences*, 49, 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.05.032>
- Astariz, S., & Iglesias, G. (2015). The economics of wave energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 397-408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.061>
- Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi. (2024). *Sektör raporları: EMEC*. Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi. Erişim tarihi: 16.01.2024. <https://www.emec.org.uk/marine-energy/industry-reports/>
- Aydıner, İ. & Öztürk, D. (2021). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Ege Denizi'nde rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer seçimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 217-232. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236719>
- Aylak, B. L. (2022). The impacts of the applications of artificial intelligence in maritime logistics. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 34, 217-225. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1079206>
- Babarit, A. (2017). *Ocean Wave Energy Conversion: Resource, Technologies and Performance*. Elsevier.
- Bagheri, M., Farshforoush, N., Bagheri, K., & Shemirani, A. I. (2023). Applications of artificial intelligence technologies in water environments: From basic techniques to novel tiny machine learning systems. *Process Safety and Environmental Protection*, 180, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.09.072>
- Bak, U. (2003). *Dalga enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm sistemleri*. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- BAKKA. (2023). BAKKA Kütüphane. Erişim tarihi: 04.02.2024. <https://bakkakutuphane.org/>

- Bao, X., Huang, G., Liu, M., Sun, H., & Iglesias, G. (2024). Turbine fault diagnosis of the oscillating water column wave energy converter based on multi-lead residual neural networks. *Ocean Engineering*, 291, 116429. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116429>
- Bento, P. M. R., Pombo, J. A. N., Mendes, R. P. G., Calado, M. R. A., & Mariano, S. J. P. S. (2021). Ocean wave energy forecasting using optimised deep learning neural networks. *Ocean Engineering*, 219, 108372. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108372>
- Bricker, J. D., Esteban, M., Takagi, H., & Roeber, V. (2017). Economic feasibility of tidal stream and wave power in post-Fukushima Japan. *Renewable Energy*, 114, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.049>
- Cao, F., Han, M., Shi, H., Li, M., & Liu, Z. (2022). Comparative study on metaheuristic algorithms for optimising wave energy converters. *Ocean Engineering*, 247, 110461. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110461>
- Chen, J., Hlophé, T., Gunawan, D., Taylor, P. H., Milne, I. A., & Zhao, W. (2024). Phase-resolved wave prediction with varying buoy positions in the field using machine learning-based methods. *Ocean Engineering*, 307, 118107. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118107>
- Chen, Y. L., Lin, C. C., Chen, J. H., Lee, Y. H., & Tzang, S. Y. (2023). Characteristics of wave energy resources on coastal waters of northeast Taiwan. *Renewable Energy*, 202, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.058>
- Chiu, Y.-H., Lee, J.-H., Lu, C.-C., Shyu, M.-K., & Luo, Z. (2012). The technology gap and efficiency measure in WEC countries: Application of the hybrid meta frontier model. *Energy Policy*, 51, 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.026>
- Choupin, O., Del Río-Gamero, B., Schallenberg-Rodríguez, J., & Yáñez-Rosales, P. (2022). Integration of assessment-methods for wave renewable energy: Resource and installation feasibility. *Renewable Energy*, 185, 455-482. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.035>
- Crown Estate Scotland. (2024). *Wave and tidal*. Erişim tarihi: 28.01.2024. <https://www.crownstatescotland.com/scotlands-property/marine/wave-and-tidal>
- Çalışır, E., & Akpınar, A. (2020). ERA5 ve ERA-INTERIM rüzgarları ile çalıştırılan SWAN model sonuçlarının performans analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 65-80. <https://doi.org/10.17482/uumfd.688805>
- Çokan, M. (2004, Mayıs). *Dalga enerjisi (dalga elektrik santralleri)*. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul.
- Dai, P., Huang, Z., & Zhang, J. (2023). A modelling study of the tidal stream resource around Zhoushan Archipelago, China. *Renewable Energy*, 218, 119234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119234>
- de Mello, P. C., Carneiro, M. L., Tannuri, E. A., Kassab, F., Jr., Marques, R. P., Adamowski, J. C., & Nishimoto, K. (2013). A control and automation system for wave basins. *Mechatronics*, 23(1), 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.11.004>
- Demirok, H. D., & Koçer, H. E. (2020). Generation of electrical energy from owc based wave motion. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 202-206. <https://doi.org/10.31590/ejosat.804135>
- den Bieman, J. P., de Ridder, M. P., Iriás Mata, M., & van Nieuwkoop, J. C. C. (2023). Hybrid modelling to improve operational wave forecasts by combining process-based and machine learning models. *Applied Ocean Research*, 136, 103583. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103583>
- Doğan, F., & Türkoğlu, İ. (2019). Derin öğrenme modelleri ve uygulama alanlarına ilişkin bir derleme. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 409-445. <https://doi.org/10.24012/dumf.411130>
- Erselcan, İ. Ö., & Kükner, A. (2020). A parametric optimization study towards the preliminary design of point absorber type wave energy converters suitable for the Turkish coasts of the Black Sea. *Ocean Engineering*, 218, 108275. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108275>
- Es, H., Kalender, F. Y., & Hamzaçebi, C. (2014). Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3).
- Foteinis, S., & Emmanuel Synolakis, C. (2023). Field based estimates of wave power at a nearshore Mediterranean locale for sustainable wave energy harnessing. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 59, 103410. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103410>
- Gonçalves, M., Martinho, P., & Guedes Soares, C. (2014). Assessment of wave energy in the Canary Islands. *Renewable Energy*, 68, 774-784. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.017>

- Greaves, D., Conley, D., Magagna, D., Aires, E., Chambel Leitão, J., Witt, M., ... & Marina, D. (2016). Environmental impact assessment: Gathering experiences from wave energy test centres in Europe. *International Journal of Marine Energy*, 14, 68-79. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2016.02.003>
- Gülçelik, S., & Diri, C. (2021). Alternative energy usage types in buildings and a proposal for a generator working with wave energy. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.30785/mbud.808924>
- Gunes-Durak, S., & Kapkin, S. (2024). Overview of hydrogen energy production in the Black Sea for the disposal of potentially hazardous hydrogen sulfide. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50, 706-714. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.11.141>
- Güngör, F. (2019). *İç denizlere uygun dalga enerjisi üretim sistemi*. (Yüksek Lisans Tezi). Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, Türkiye.
- Harameen, H. M. A., & Akman, G. (2023). A cluster analysis of renewable electricity generation policies in Asian Region countries using SPSS software. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 6(2), 357-375. <https://doi.org/10.33712/mana.1104853>
- Hassan, M. K., Youssef, H., Gaber, I. M., Shehata, A. S., Khairy, Y., & El-Bary, A. A. (2024). A predictive machine learning model for estimating wave energy based on wave conditions relevant to coastal regions. *Results in Engineering*, 21, 101734. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101734>
- Henriques, J. C. C., Gato, L. M. C., Falcão, A. F. O., Robles, E., & Faÿ, F. X. (2016). Latching control of a floating oscillating-water-column wave energy converter. *Renewable Energy*, 90, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.065>
- Hepbaşlı, A., Özdamar, A., & Özalp, N. (2001). Present status and potential of renewable energy sources in Turkey. *Energy Sources*, 23, 631-648. <https://doi.org/10.1080/00908310118259>
- IRENA. (2023). *Global geothermal market and technology assessment*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; International Geothermal Association, The Hague. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA\\_Global\\_geothermal\\_market\\_technology\\_assessment\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA_Global_geothermal_market_technology_assessment_2023.pdf)
- IRENA. (2015). *Renewable power generation costs in 2014*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA\\_RE\\_Power\\_Costs\\_2014\\_report.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf)
- IRENA and OEE (2023). *Scaling up investments in ocean energy technologies*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA\\_OEE\\_Scaling\\_up\\_investment\\_ocean\\_energy\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_OEE_Scaling_up_investment_ocean_energy_2023.pdf)
- Jafalı, H. (2019). *Karadeniz'de dalga gücü potansiyeli yüksek alanların dalga enerji içeriğinin uzun dönemli zamansal ve alansal analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Jakimavičius, D., & Akstinas, V. (2023). Projections of wind climate and wave energy resources in Lithuanian territorial waters of the Baltic Sea in the 21st century. *Oceanologia*, 65(4), 534-547. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2023.06.004>
- Kalogeri, C., Galanis, G., Spyrou, C., Diamantis, D., Baladima, F., Koukoula, M., & Kallos, G. (2017). Assessing the European offshore wind and wave energy resource for combined exploitation. *Renewable Energy*, 101, 244-264. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.010>
- Kamranzad, B., & Lin, P. (2020). Sustainability of wave energy resources in the South China Sea based on five decades of changing climate. *Energy*, 210, 118604. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118604>
- Kamranzad, B., & Takara, K. (2020). A climate-dependent sustainability index for wave energy resources in Northeast Asia. *Energy*, 209, 118466. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118466>
- Karaköse, P., & Koca, A. (2022). A novel rotor type wave energy converter design for maximum energy captured in low wave heights. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 12(2), 136-153. <https://doi.org/10.55024/buyasambid.1131891>
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: dalga enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(17), 65-86.



- Kıldırın, E. (2018). *Antalya sahili dalga enerji potansiyelinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye.
- Kim, Y.-H., Cho, S., & Lee, P.-S. (2023). Wave height classification via deep learning using monoscopic ocean videos. *Ocean Engineering*, 288, 116002. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116002>
- Kocalar, A. C. (2022). The effects of the EU green deal harmonization policies in Turkey. *Advanced Engineering Science*, 2, 109-117.
- Kükner, A. (2018). Study of the oscillating water column (owc) which is one of the most used systems in converting wave energy into electrical energy. *Turkish Journal of Engineering*, 2(2), 88-93. <https://doi.org/10.31127/tuje.329295>
- Lamy, J. V., & Azevedo, I. L. (2018). Do tidal stream energy projects offer more value than offshore wind farms? A case study in the United Kingdom. *Energy Policy*, 113, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.030>
- Lavidas, G., Venugopal, V., & Friedrich, D. (2017). Wave energy extraction in Scotland through an improved nearshore wave atlas. *International Journal of Marine Energy*, 17, 64-83. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2017.01.008>
- López-Ruiz, A., Bergillos, R. J., & Ortega-Sánchez, M. (2016). The importance of wave climate forecasting on the decision-making process for nearshore wave energy exploitation. *Applied Energy*, 182, 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.088>
- Magagna, D., & Uihlein, A. (2015). Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives. *International Journal of Marine Energy*, 11, 84-104. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.05.001>
- Mahdavi-Meymand, A., & Sulisz, W. (2023). Application of nested artificial neural network for the prediction of significant wave height. *Renewable Energy*, 209, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.118>
- Mert, S. (2012). *Dalga enerjisi dönüşüm sistemi tasarımı ve deneysel çalışması*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Metin, K. (2023). *Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyeline coğrafi bir bakış: muhtemel sahaların değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi, Coğrafya Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye.
- Molina, A., Jiménez-Portaz, M., Clavero, M., & Moñino, A. (2022). The effect of turbine characteristics on the thermodynamics and compression process of a simple OWC device. *Renewable Energy*, 190, 836-847. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.106>
- Neill, S. P. (2022). Introduction to ocean renewable energy. In T. M. Letcher (Ed.), *Comprehensive renewable energy* (2. ed, pp. 1-9). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00081-9>
- O'Hagan, A. M., Huertas, C., O'Callaghan, J., & Greaves, D. (2016). Wave energy in Europe: Views on experiences and progress to date. *International Journal of Marine Energy*, 14, 180-197. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.09.001>
- Onenli, O., Ercan, H., Acikgoz, S., & Kat, B. (2023). Emission reduction pathways for satisfying Türkiye's future electricity demand: A cross-country dynamic panel analysis with linear programming scenarios. *Cleaner Energy Systems*, 6, 100085. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100085>
- Oztunali Ozbahceci, B., Turgut, A. R., Bozoklu, A., & Abdalla, S. (2020). Calibration and verification of century based wave climate data record along the Turkish coasts using satellite altimeter data. *Advances in Space Research*, 66(10), 2319-2337. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.021>
- Özbek, T., & Ergül, E. U. (2022, Mart). *Çok kriterli karar verme ile dalga enerjisi santrali sahası ve dönüştürücü tipi seçimi*. İnşaat Mühendisleri Enstitüsü Bildirileri.
- Özdamar, G., Mut, M., Pekbey, Y., & Özdamar, A. (2016). Bir wells dalga türbininin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 569-576.
- Özdemir, D. (2019). *Promethee yöntemi ile türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerinin sıralanması*. (Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, Türkiye.
- Pontes, M. T., Mollison, D., Cavaleri, L., Athanassoulis, G. A., & Nieto, J. C. (1993). *Wave studies and development of resource evaluation methodology*. Final Report.



- Qiu, S., Liu, K., Wang, D., Ye, J., & Liang, F. (2019). A comprehensive review of ocean wave energy research and development in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109271. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109271>
- Renewable UK Marine Energy Database. (2024). *eSpatial*. Erişim Tarihi: 31.01.2024. [https://maps.esp.tl/maps/pages/map.jsp?geoMapId=19671&TENANT\\_ID=115744](https://maps.esp.tl/maps/pages/map.jsp?geoMapId=19671&TENANT_ID=115744)
- Rodriguez-Delgado, C., & Bergillos, R. J. (2021). Wave energy assessment under climate change through artificial intelligence. *Science of The Total Environment*, 760, 144039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144039>
- Ross, D. (1995). *Power from the waves*. Oxford University Press.
- Rusu, E., & Onea, F. (2016). Estimation of the wave energy conversion efficiency in the Atlantic Ocean close to the European islands. *Renewable Energy*, 85, 687-703. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.042>
- Rusu, E., & Onea, F. (2022). Evaluation of the adverse weather conditions associated to some significant European marine renewable energy projects. *Energy Reports*, 8(16), 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.205>
- Rusu, E., & Rusu, L. (2021). An evaluation of the wave energy resources in the proximity of the wind farms operating in the North Sea. *Energy Reports*, 7(3), 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.058>
- Sağlam, M., Sulukan, E., & Uyar, T. S. (2010). Wave energy and technical potential of Turkey. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 6(2), 34-50.
- Sareen, K., Panigrahi, B. K., Shikhola, T., & Nagdeve, R. (2023). An integrated decomposition algorithm based bidirectional LSTM neural network approach for predicting ocean wave height and ocean wave energy. *Ocean Engineering*, 281, 114852. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114852>
- Shadmani, A., Nikoo, M. R., Gandomi, A. H., Wang, R.-Q., & Golparvar, B. (2023). A review of machine learning and deep learning applications in wave energy forecasting and WEC optimization. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101180. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101180>
- Simard, P. Y., Steinkraus, D., & Platt, J. C. (2003, September). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003. Proceedings*, 958-963. <https://doi.org/10.1109/icdar.2003.1227801>
- Simões, C., Pintossi, D., Saakes, M., Borneman, Z., Brilman, W., & Nijmeijer, K. (2020). Electrode segmentation in reverse electrodialysis: Improved power and energy efficiency. *Desalination*, 492, 114604. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114604>
- Spelta, A., & De Giuli, M. E. (2023). Does renewable energy affect fossil fuel price? A time-frequency analysis for the Europe. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 626, 129098. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.129098>
- Tufa, R. A., Pawlowski, S., Veerman, J., Bouzek, K., Fontananova, E., di Profio, G., ... & Curcio, E. (2018). Progress and prospects in reverse electrodialysis for salinity gradient energy conversion and storage. *Applied Energy*, 225, 290-331. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.111>
- Turkchem. (2022). *Mavi enerji*. Erişim Tarihi: 11.02.2024. <https://www.turkchem.net/mavi-enerji.html>
- Türker, Y. Ö., & Aydın, A. (2022). How ready is the Turkish Legislation for the green deal? *Energy and Climate Change*, 3, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2022.100084>
- Türköz, K. (2021). Türkiye'de sektörel enerji kullanımındaki değişimlerin itici güçleri: Ayrıştırma analizi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10, 1038-1052. <https://doi.org/10.33206/mjss.853348>
- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A., & Belenli, İ. (2006). Batı Karadeniz bölgesindeki dalga enerjisi potansiyelinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 7-13.
- Veerman, J. (2010). *Reverse electrodialysis: Design and optimization by modeling and experimentation*. (Thesis fully internal (DIV)), University of Groningen.
- Wang, Y. (2020). Predicting absorbed power of a wave energy converter in a nonlinear mixed sea. *Renewable Energy*, 153, 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.031>

- Webb, A., Waseda, T., & Kiyomatsu, K. (2020). A high-resolution, long-term wave resource assessment of Japan with wave-current effects. *Renewable Energy*, 161, 1341-1358. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.030>
- Yeni Enerji. (2019). *Gelgit enerjisi ve başarılı örnekleri*. Erişim tarihi: 31.01.2024. <https://www.yenienerji.com/mercek-alti/gelgit-enerjisi-ve-basarili-ornekleri>
- Yücel, U., Özdemir, E., & Ayaz, M. (2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi teşvik yöntemlerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 774-790. <https://doi.org/10.29130/dubited.774963>
- Yüksel, F. Ş. (2023). *Türkiye'nin havayolu taşıyıcı modellerine göre yolcu talebinin çoklu doğrusal regresyon, anfis ve yapay sinir ağı teknikleri ile tahminlenmesi*. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Zhang, J., Zhao, X., Greaves, D., & Jin, S. (2023). Modeling of a hinged-raft wave energy converter via deep operator learning and wave tank experiments. *Applied Energy*, 341, 121072. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121072>
- Zheng, C.-w., Pan, J., & Li, J.-x. (2013). Assessing the China Sea wind energy and wave energy resources from 1988 to 2009. *Ocean Engineering*, 65, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.03.006>
- Zheng, J., Dai, P., & Zhang, J. (2015). Tidal stream energy in China. *Procedia Engineering*, 116, 880-887. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.377>
- Zheng, Z., Ali, M., Jamei, M., Xiang, Y., Abdulla, S., Yaseen, Z. M., & Farooque, A. A. (2023). Multivariate data decomposition based deep learning approach to forecast one-day ahead significant wave height for ocean energy generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185, 113645. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113645>