



# Antarktika'da mevcut araştırma istasyonları kapsamında yenilenebilir enerji potansiyeli ve Türk Araştırma Üssü özelinde bir ön inceleme

## Renewable energy potential within the scope of existing research stations in Antarctica and a preliminary study on the Turkish Research Base

Şehriban Yiğit<sup>1,\*</sup>, Mehmet İşler<sup>2</sup>, Tolga Bakırman<sup>3</sup>, Mahmut Oğuz Selbesoğlu<sup>4</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Programı, İstanbul, Türkiye

<sup>2,4</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Öz

Antarktika, iklim özelliklerinden ve topoğrafik şartlarından dolayı üzerinde yerli nüfus barındırmayan bir kıtadır. Günümüzde kıta üzerindeki mevcut nüfusu bilimsel faaliyetlerin yürütülmesi için tesis edilen araştırma istasyonlarında yaşayan görevli ve araştırmacılar oluşturmaktadır. Antarktika'da 30'dan fazla ülke 100'ün üzerinde araştırma istasyonu ile bilimsel çalışmalar yürütmektedir. İlgili istasyonların faaliyetlerini sürdürebilmesi için enerji ihtiyaçlarının kesintisiz bir şekilde karşılanması gerekir. Son yıllarda birçok istasyonda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış olsa da buradaki istasyonların çoğu enerjilerini fosil yakıtlardan sağlamaya devam etmektedir. Ülkeler kıta üzerindeki faaliyetlerini gerçekleştirirken Antarktika'nın ekosistemini, doğal ve canlı kaynaklarını korumak zorundadır. Fosil yakıtlar çevreye kirletici gazlar salmakta ve karbon emisyonunu arttırmaktadır. Bu bağlamda kıtadaki mevcut yenilenebilir enerji potansiyellerinin incelenmesi ve bu alanda projelerin artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada öncelikle Antarktika'daki seçilmiş 20 araştırma istasyonu kapsamında bir inceleme yapılmış, mevcut enerji kullanımları ve potansiyelleri analiz edilmiştir. Çalışmanın devamında Türk Araştırma Üssü'nün kurulması planlanan Horseshoe Adası özelinde yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin potansiyel durum incelenmiştir. NASA'ya bağlı Küresel Modelleme ve Asimilasyon Ofisi (GMAO) tarafından geliştirilen MERRA-2 yeniden analiz verileri ile Horseshoe adasının yakınında bulunan mevcut iki araştırma üssüne ilişkin veriler kıyaslanarak mekânsal analizler gerçekleştirilmiş, Antarktika Türk Araştırma Üssü'nün kullanabileceği yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin bir ön incelemede bulunulmuştur

**Anahtar kelimeler:** Antarktika, Yenilenebilir enerji, Türk Araştırma Üssü, Horseshoe Adası

### 1 Giriş

Güney kutbunda yer alan ve buzullarla kaplı olan Antarktika Kıtası, Dünya'nın doğal laboratuvarı olarak görülmektedir. Özellikle küresel iklim değişikliğinin

### Abstract

Antarctica is a continent that does not have a native population due to its climate characteristics and topographic conditions. Today, the current population on the continent consists of officials and researchers living in research stations established for scientific activities. More than 30 countries have conducted scientific studies with over 100 research stations in Antarctica. For the relevant stations to continue their activities, their energy needs must be met uninterruptedly. Even though the usage of renewable energy sources has recently increased in the relevant stations, most stations continue to produce their energy with fossil fuels. Countries carrying out their activities on this continent must protect Antarctica's ecosystem and natural and living resources. Fossil fuels release polluting gases into the environment and increase carbon emissions. In this context, it is necessary to examine the existing renewable energy potentials in the continent, and renewable energy facilities should be increased. First, this study is aimed to analyze the current renewable energy potential of 20 selected research stations in Antarctica. In the second stage of the study, a potential situation analysis was made regarding the use of renewable energy on Horseshoe Island, where the Turkish Research Station is planned to be established. Spatial analyses were conducted by comparing the MERRA-2 reanalysis data developed by NASA's Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) with the data from the two existing research stations near Horseshoe Island. Thus, a preliminary study has been made on the renewable energy resources that the Antarctic Turkish Research Base can use.

**Keywords:** Antarctica, Renewable energy, Turkish Polar Research Base, Horseshoe Island

izlenmesi ve etkilerinin araştırılması konularında yapılan bilimsel çalışmaların yoğunlaştığı bir yerdir

Dünya'nın diğer alanlarından oldukça yalıtılmış bir halde bulunan bu ücra kıtanın kendine özgü iklimsel, jeolojik ve topoğrafik özellikleri bulunmaktadır. İnsan etkilerinin en az

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sehibanygt65@gmail.com (Ş. Yiğit)

Geliş / Received: 21.11.2022 Kabul / Accepted: 11.01.2023 Yayınlanma / Published: 15.04.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1208140

görüldüğü bu kıta, Dünya'nın en yüksek, en soğuk ve en rüzgârlı yeridir. Zorlu koşulların hâkim olduğu Antarktika, aynı zamanda Dünya'daki tatlı suyun %70'ine sahip olmasıyla birlikte birçok maden yatağının, petrol ve doğalgaz rezervlerinin bulunduğu bir bölgedir [1].

Antarktika Antlaşmalar Sistemine göre, Antarktika insanlığın ortak malı olarak kabul edilmekte olup üzerinde hiçbir devletin egemenliği bulunmamaktadır [2]. Ülkeler kıtadan yalnızca barışçıl amaçlarla yararlanabilmektedir. Ülkeler kıta üzerindeki faaliyetlerini gerçekleştirirken Antarktika'nın ekosistemini, doğal ve canlı kaynaklarını korumak zorundadır [2]. Devletlerin büyük çoğunluğu, bu kıtanın sadece bilimsel araştırmaların yürütüldüğü bir bölge olarak kabul edilmesi gerektiği fikrini paylaşmaktadır [2]. Kıtada 30'dan fazla ülke 100'ün üzerinde araştırma istasyonu ile bilimsel çalışmalar yürütmektedirler [3]. Bilim insanları kıtada yer bilimlari, yaşam bilimlari, fizik bilimlari ve uzay bilimlari ana başlıkları altında birçok bilim dalında çalışmalar ve araştırmalar yapmaktadırlar. Antarktika kıtasına ulaşımın zorluğu ve iklim koşullarının çok sert oluşundan dolayı lojistiğin sağlanmasında zorluklar yaşandığı düşünüldüğünde [4], bölgede çeşitli amaçlarla tesis edilen istasyonların faaliyetlerini sürdürebilmesi ve bilimsel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için gerekli enerji ihtiyacının çevreye zarar vermeden, kesintisiz bir şekilde karşılanması oldukça önemli bir husustur.

Antarktika kıtasında enerji talebi büyük çoğunlukla fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları kullanan istasyon sayısının da yıllar içerisinde arttığı görülmektedir [4]. Yenilenebilir enerji, doğal döngüsü içinde aynen kalabilen ve kullanılmasına rağmen tükenmeyen enerji kaynakları kullanılarak üretilir [5]. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, gelgit ve dalga enerjisi yenilenebilir enerji türleri içinde sıralanabilir. 1991'de Madrid'de imzalanan ve 1998'de yürürlüğe giren Antarktika Antlaşması Çevre Koruma Protokolü, Antarktika'nın çevresel, bilimsel ve tarihsel değerleri ile birlikte doğal kaynakların ve canlı ekosistemini korumasını amaçlamaktadır [4]. Bilimsel çalışmalar ve turizm amaçlı insan nüfusunun kıtada artış göstermesiyle, bölgedeki karbon salınımının da oldukça arttığı gözlemlenmektedir [6]. Bu bağlamda, kıtadaki enerji ihtiyacının karşılanmasında bölgedeki çevresel koşulların izin verdiği yenilenebilir kaynakların analiz edilmesi ve kullanım olanaklarının değerlendirilmesi önemli bir ihtiyaç ve sorumluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Özellikle 2017 yılında gerçekleştirilen Birinci Ulusal Antarktika Bilim Seferi (TAE-I) ile birlikte ülkemizin Antarktika bölgesindeki çalışmaları giderek yoğunlaşmıştır. T.C. Cumhurbaşkanlığı himayesinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde ve TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü (KARE) koordinasyonunda bilim seferleri devam etmekte olup, geçen süre içerisinde ilgili kıtada ülkemiz bilim insanları tarafından birçok bilimsel proje yürütülmeye başlanmıştır. Bu sürecin bir devamı olarak TAE seferlerinin yapıldığı Horseshoe Adası'nda ülkemiz adına bir bilim üssü kurulması planlanmaktadır. Bu bağlamda kurulması planlanan Türk bilim üssünde gerekli enerjinin karşılanmasında yenilenebilir enerji kullanım

olanaklarının araştırılması oldukça önemlidir. Bu yönde gerçekleştirilecek çalışmalar ülkemizin bölgedeki faaliyetlerine ekonomik ve bilimsel alanda destek olduğu kadar bölgede çevrenin ve ekosistemin korunmasına yönelik gösterilen gayretin vurgulanmasına da katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle kıtadaki mevcut yenilenebilir enerji kullanımı ve potansiyeli bölgede faaliyetlerini sürdüren bilimsel araştırma istasyonları kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışmanın devamında Türk Araştırma Üssü'nün kurulması planlanan Horseshoe Adası özelinde yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin potansiyel durum incelemesi yapılmıştır. NASA'ya bağlı Küresel Modelleme ve Asimilasyon Ofisi (GMAO) tarafından geliştirilen MERRA-2 yeniden analiz verileri ile birlikte Horseshoe adasının yakınında bulunan mevcut iki araştırma üssüne ilişkin veriler karşılaştırılarak mevcut durum analiz edilmiş, Antarktika Türk Araştırma Üssü'nün kullanabileceği yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin bir ön incelemede bulunulmuştur.

## 2 Antarktika'nın başlıca topoğrafik ve iklimsel özellikleri

Antarktika'da kurulan araştırma istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde, ulaşılabilirlik, iklim koşulları ve yürütülen çalışmaların nitelikleri etkili olmaktadır. Kıtada kalıcı istasyonların yanında mevsimlik istasyonlar da bulunmaktadır. İlgili istasyonlardaki yenilenebilir enerji kullanım potansiyeli, istasyonların konumlandığı bölgelerdeki iklimsel, çevresel ve topoğrafik özelliklere göre çeşitlilik ve farklılıklar göstermektedir. Bölgenin coğrafi özelliklerinin izin verdiği ölçüde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak mümkün olmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumu, bakımı ve işletilmesi aşamalarında karşılanacak ekonomik yüklerin analizinde bölgenin zorlu şartlarının getireceği kısıtların irdelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bu bölümde, Antarktika kıtasının geneli için yapılacak yenilenebilir enerji potansiyeli analizinde, öncelikle kıtanın iklim ve coğrafi koşulları ortaya konulmuş, ardından kıtadaki araştırma istasyonlarının konumlarına ilişkin genel bilgilere yer verilmiştir.

Dünya'nın beşinci büyük kıtası olan Antarktika'nın yüzölçümü yaklaşık 14 milyon km<sup>2</sup> [7] olup %97'si ortalama kalınlığı 1600 metre olan buz tabakası ile kaplıdır [1]. Kıtayı kaplayan bu buz tabakası Dünya'daki buzulların yaklaşık %90'ını temsil etmektedir [7]. Şekil 1'de paylaşılan haritada görüleceği üzere, Antarktika, Wendell Denizi ile Ross Denizi arasında uzanmakta olup, Transantarktika Dağları tarafından Batı ve Doğu olarak iki bölüme ayrılmaktadır [6]. Antarktika kıtasının orta bölümü üzerinde dağ zirvelerinin de yer aldığı yaklaşık 3048 metrelere ulaşan bir platodur [8]. Doğu Antarktika'nın sahip olduğu buz tabakası hacmi ise Batı Antarktika buz tabakası hacminin yaklaşık 9 katıdır [3].

Antarktika yarımadası olarak adlandırılan yer ise, Antarktika kıtasının en kuzey uzantısıdır [7]. Bu yarımada, Antarktika'nın Güney Amerika Kıtası'na en fazla yaklaştığı kısımdır [7]. Antarktika yarımadasının kuzeyinde ve doğusunda Güney Shetlands, Güney Orkney, Güney Sandwich ve Güney Georgia adaları bulunmaktadır [8].

Kıyılardan kopan ve kıtanın etrafında hareketli halde bulunan buz dağları, gemilerin kıyılara yaklaşmasını kimi zaman imkânsız hale getirmektedir [8]. Bunun yanında, Antarktika'nın çevresi okyanus suyunun donmasıyla oluşan buz kütleleri kaplıdır. Yaz döneminde bu tabakalar kırılğan hale gelmekte ve gemiler bu tabakalardan geçerek yol alabilmektedirler [8].



Şekil 1. Antarktika kıtasını gösterir harita [3]

Antarktika kıtasında kıyı ve iç bölgeler farklı iklim özelliklerine sahiptir. Yükseklik farkından dolayı, Antarktika'nın doğu bölgesi ve iç kesimler daha soğuktur ve yağışlar oldukça düşüktür [3]. Kıyı kesimlerde ise kar şeklinde yağışlarla karşılaşılır. Antarktika kıyılarında, sıcaklıklar Aralık-Şubat döneminde donma noktasına yakın olurken, Haziran-Ağustos dönemlerinde ise  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $-30^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir [1]. İç kesimlerde ise sıcaklık Haziran- Ağustos döneminde  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $-70^{\circ}\text{C}$  arasında seyrederken, Aralık-Şubat döneminde  $-15^{\circ}\text{C}$  ile  $-35^{\circ}\text{C}$  arasında değiştiği görülmektedir [7]. Antarktika üzerinde "Katabatik" adı verilen özel bir rüzgâr türü etkilidir ve bazı bölgelerde yıllık ortalama hızı saatte 50 km'ye kadar ulaşır [3].

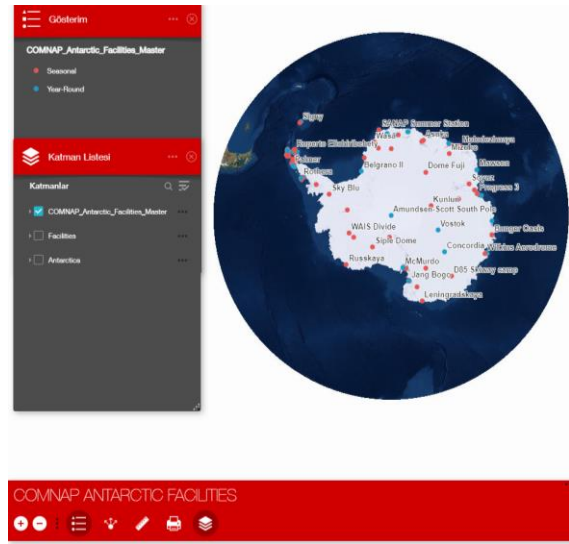
Araştırma istasyonlarının çoğu iklim şartları ve lojistiğin izin vermesi nedeniyle kıtanın batı bölgesinde bulunmaktadır [6]. Kıtanın kıyı bölgeleri ve iç bölgelerinde farklı dallarda çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Kıyı bölgelerinde çoğunlukla çevre bilimleri, deniz biyolojisi, hidroloji ve mikrobiyoloji gibi bilim dalları üzerine çalışmalar ağırlıktayken, iç bölgelerde astrofizik ve buzul bilimi üzerine çalışmalar ön plandadır [6].

### 3 Antarktika araştırma istasyonları

Bu bölümde Türkiye'nin de dahil olduğu Ulusal Antarktika Programları Yöneticileri Konseyi (COMNAP)'ne üye olan ülkelerin kıtada bulunan istasyonlar hakkında özet bilgilere yer verilmiştir. Ulusal Antarktika

Programları Yöneticileri Konseyi, 1988 yılında kurulmuş olup, 2022 yılı itibarıyla 32 üye ve beş gözlemci programa sahiptir. Antarktika Antlaşması ve Çevre Protokolüne imza atan ve kıtada araştırma yapan ülkeler bu konseye katılabilirler. İlgili konsey, uluslararası ortaklıkları kolaylaştırmak ve teşvik etmek, bilgi alışverişini sağlayacak olanaklar ve sistemler sağlamak, çevreye karşı sorumlu bir şekilde kıtadaki bilimsel faaliyetlerin etkinliğini arttıran uygulamalar geliştirmek için bir forum olarak hizmet vermek amaçlarını taşımaktadır [9].

COMNAP, kendi internet sayfası aracılığı ile üye olan araştırma istasyonlarının bilgisini içeren kaynaklar ve listeler paylaşmaktadır. Şekil 2'de Antarktika kıtasında bulunan araştırma istasyonlarının mevcut konum ve durum bilgileri gösterilmektedir [10]. Kırmızı renkli noktalar mevsimlik istasyonları temsil ederken mavi renkli noktalar yıl boyunca aktif olan istasyonları göstermektedir.



Şekil 2. Antarktika araştırma istasyonları [10]

Antarktika kıtasının kuzeybatısında bulunan King George ve Güney Shetland adaları ile kıtanın kuzey doğusunda yer alan Dronning Maud adasında araştırma istasyonlarının çoğunlukta olduğu görülmektedir [6]. Bazı devletlerin kıtada farklı bölgelerde birden fazla istasyonu bulunmaktadır.

Tablo 1'de kıtada araştırma istasyonu bulunan ülkeler ve sahip oldukları mevsimlik ve yıllık istasyon sayılarına ait özet bir liste [11] paylaşılmıştır. Bu listede bulunan ülkeler haricinde bölgede belli zamanlarda kamplar kurup bilimsel araştırmalarını sürdüren ülkeler de bulunmaktadır. Antarktika kıtasına konum olarak en yakın ülkeler arasında yer alan Arjantin'in 13, Şili'nin 11, Avustralya'nın ise toplamda 3 araştırma istasyonu bulunmaktadır. Ayrıca, kıtaya uzak coğrafyalarda bulunan Rusya, Çin, ABD, Birleşik Krallık ve Almanya gibi devletlerin de kıtada farklı bölgelerde bulunan birden fazla sayıda istasyona sahip oldukları görülmektedir.

Ülkelerin kurdukları araştırma istasyonları, kuruldukları bölgeler itibarıyla farklı bilimsel çalışmalara yoğunlaşmıştır. Ülkelerin çok sayıda istasyon kurup, faaliyetlerini

sürdürebilmelerinde farklı nedenler bulunmaktadır. Avustralya, Arjantin ve Şili gibi kıtaya yakın olan bazı ülkelerin, coğrafi konumlarının getirdiği olanaklardan yararlandığı söylenebilir. ABD, Rusya, İngiltere, Çin ve Fransa gibi ülkeler ise sahip oldukları güçlü imkanlar ve ulaşım kabiliyetleri doğrultusunda kıtanın önemli stratejik konumlarında istasyon bulundurabilmektedirler [6].

**Tablo 1.** Araştırma istasyonuna sahip ülkeler [11]

Ülke	Yıllık İstasyon Sayısı	Mevsimlik İstasyon Sayısı
Arjantin	6	7
Avustralya	3	-
Belçika	-	1
Brezilya	1	-
Bulgaristan	1	-
Şili	5	6
Çin	2	1
Çekya	-	1
Ekvador	-	1
Finlandiya	-	1
Fransa	1	1
Almanya	2	2
Hindistan	-	2
İtalya	1	1
Japonya	1	3
Yeni Zelanda	1	-
Norveç	1	-
Peru	-	1
Polonya	1	-
Belarus	-	1
Güney Kore	2	-
Rusya	5	7
Güney Afrika	1	1
İspanya	-	2
Ukrayna	1	-
Birleşik Krallık	1	3
ABD	3	-
Uruguay	1	1

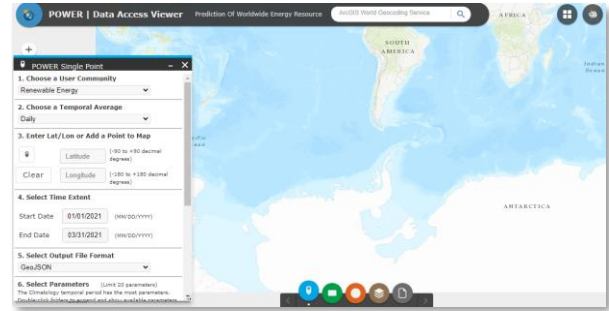
#### 4 Antarktika araştırma istasyonları özelinde yenilenebilir enerji potansiyeli

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından iklim araştırmaları için kullanıcılara uzun dönemleri içeren birçok veri seti sağlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler Küresel Modelleme ve Asimilasyon Ofisi (GMAO) tarafından geliştirilen GEOS ile yürütülen Dünya Sistemi Yeniden Analiz yöntemine dayanmaktadır [12]. Yeniden analiz atmosferik veri setlerinin uzun vadeli analizleri için atmosfer, kara, okyanus ve buz dahil olmak üzere sayısal bir modelin üretimi ile gerçekleştirilmektedir.

1980'li yıllardan başlayarak günümüze kadar veri sağlayan Modern Çağ Retrospektif Araştırma ve Uygulama Analizi (MERRA-2) iklim değişikliği süreçlerini ve aerosollerin uzaya dayalı gözlemlerini içeren uzun vadeli küresel yeniden analiz olan MERRA'nın ikinci sürümü niteliğinde geliştirilmiştir [6]. MERRA-2 asimilasyon modeli Antarktika kıtasını kapsamaktadır.

Bu çalışmada, MERRA-2' den elde edilen yeniden analiz verileri kullanılmıştır. MERRA-2 verileri Şekil 3'te paylaşılan NASA'ya Dünya Çapında Enerji Kaynaklarının

Tahmini (POWER) projesinin CBS web portalından elde edilmiştir [13]. Araştırma için Antarktika kıtasında belirlenen 20 istasyon noktasına ait aylık ve yıllık ortalama rüzgâr hızı ile kısa dalga boylu güneş radyasyonu verileri alınmıştır. Bu veriler 0.5 x 0.625 derece gridler üzerinde üretilmiştir [6].



**Şekil 3.** POWER projesi CBS portalı

#### 4.1 Antarktika'da yenilenebilir enerji potansiyelinin incelenmesinde seçilen araştırma istasyonları

Antarktika kıtasında yenilenebilir enerji potansiyelini araştırabilmek adına kıta üzerinde 20 adet istasyon noktası seçilmiştir. Bu seçimde istasyonların kıtadaki dağılımlarına dikkat edilmiş, kıtanın birçok bölgesinin temsil edilmesi sağlanmıştır. İstasyon noktaları Antarktika Yarımadası, Kraliçe Maud Adası ve Transantarktika Dağları olmak üzere kıtanın ve Doğu ve Batı bölgelerini kapsamaktadır. Seçilen 18 adet istasyonda bilimsel araştırmalar gerçekleştirilirken 2 adet istasyon depo alanı olarak kullanılmaktadır [6]. Bu istasyonlar arasında yenilenebilir enerji kullananlar istasyonlar olduğu gibi sadece fosil yakıt kullanarak enerjilerini sağlayan istasyonlar da bulunmaktadır. İlgili istasyon noktaları Norveç Kutup Araştırmaları Enstitüsünün açık kaynak kodlu QGIS programına entegre ettiği Quantarktika eklentisi kullanılarak haritalandırılmıştır ve ilgili harita Şekil 4'te paylaşılmıştır.



**Şekil 4.** Quantarktika üzerinden istasyonların yerleri

Tablo 2'de seçilen istasyonların isimleri, kıtada hangi bölgede yer aldıkları ile enlem ve boylam bilgileri paylaşılmıştır.

**Tablo 2.** Analiz edilen istasyonların listesi

İstasyon adı	Konum	Enlem	Boylam
Henryk Arctowski	Antarktika Yarımadası	-62.159773	-58.473322
Palmer	Antarktika Yarımadası	-64.774261	-64.053333
Rothera	Antarktika Yarımadası	-67.569500	-68.124900
Sky Blu	Antarktika Yarımadası	-74.856351	-71.585200
Halley VI	Kraliçe Maud Adası	-75.571111	-25.473889
Neumayer III	Kraliçe Maud Adası	-70.666626	-8.279638
Princess Elisabeth	Kraliçe Maud Adası	-71.949858	23.346891
Syowa	Kraliçe Maud Adası	-69.004122	39.581836
Mawson	Doğu Antarktika	-67.602644	62.873028
Zhongshan	Doğu Antarktika	-69.373206	76.371871
Casey	Doğu Antarktika	-66.282343	110.526792
Dumont d'Urville	Doğu Antarktika	-66.662833	140.001333
Jang Bogo	Transantarktika Dağları	-74.627363	164.23585
McMurdo	Transantarktika Dağları	-77.848209	166.668422
Amundsen-Scott	Doğu Antarktika	-89.997500	139.272800
Concordia	Doğu Antarktika	-75.099975	123.332605
Kunlun	Doğu Antarktika	-80.417189	77.1159973
Kohnen	Kraliçe Maud Adası	-75.001909	0.066336
WAIS Divide	Batı Antarktika	-79.471286	-112.072154
Russkaya	Batı Antarktika	-74.765726	-136.800072

Tablo 2’de yer verilen Princess Elisabeth istasyonu, Dünya’nın ilk sıfır emisyonlu bilimsel araştırma istasyonudur [14]. İlgili istasyonun bulunduğu bölge yenilenebilir enerji kullanımı için oldukça idealdir ve bu nedenle özellikle seçilmiştir [6]. Şekil 5’te ilgili istasyona ilişkin bir görsel paylaşılmaktadır [14]. İstasyonda enerji için rüzgâr gücü ve güneş ışığından faydalanılmaktadır. Böylelikle yakıt taşıma lojistiğinde önemli bir azalma sağlanmıştır [14].



**Şekil 5.** Princess Elisabeth araştırma istasyonu

#### 4.2 MERRA-2 verileri ışığında Antarktika’da yenilenebilir enerji potansiyelinin incelenmesi

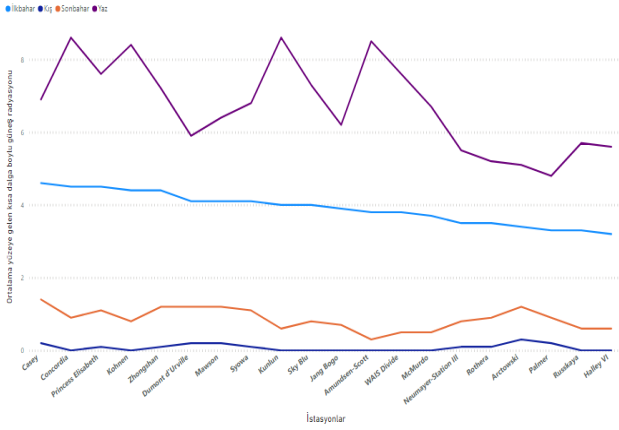
Antarktika kıtasının yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendirebilmek için öncelikle günlük veriler kullanılarak mevsimsel değerler hesaplanmıştır. Kıtada Aralık-Ocak-Şubat ayları yaz mevsimi Mart-Nisan-Mayıs ayları sonbahar mevsimi, Haziran-Temmuz-Ağustos ayları kış mevsimi ve Eylül-Ekim-Kasım ayları da ilkbahar mevsimi olarak kabul edilmektedir.

Çalışma için alınan kısa dalga boylu güneş radyasyonu verileri 1 Ocak 1984-31 Aralık 2020 yılları arasındaki 37 yıllık dönemi kapsarken, rüzgâr hızı verileri ise 1 Ocak 1981-31 Aralık 2020 yılları arasındaki 40 yıllık dönemi kapsamaktadır.

##### 4.2.1 Antarktika’daki araştırma üsleri özelinde güneş enerjisi potansiyeli

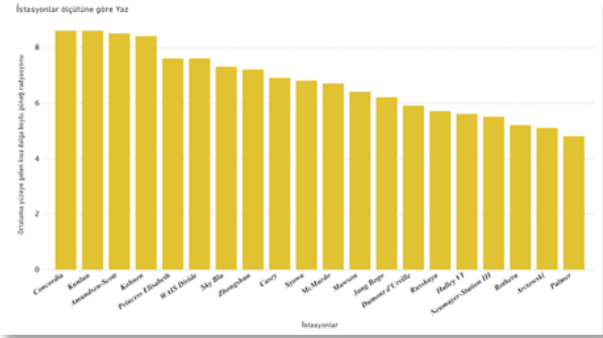
Bu bölümde kıta üzerinde seçilen 20 araştırma istasyonu özelinde, Modern Çağ Retrospektif Araştırma ve Uygulama Analizi (MERRA-2) ile elde edilen ortalama kısa dalga boylu güneş radyasyon verileri ile güneş enerjisi potansiyelleri araştırılmış ve ayrı ayrı istasyonların mevcut enerji üretim kaynakları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Antarktika kıtasına hâkim olan iklim koşulları gereği kıtadaki güneş enerjisi potansiyelini yorumlayabilmek için öncelikle yüzey radyasyon değişimi hakkında inceleme yapmak gerekir.

1984-2021 yıllarını kapsayan MERRA-2 yeniden analiz verilerinin mevsimlere göre incelenmesi için öncelikle istasyonların aylık verileri toplanmıştır. Sonraki aşamada yaz, sonbahar, kış, ilkbahar ve yıllık ortalama değerler hesaplanmıştır. Antarktika kıtası üzerinde seçilen 20 araştırma istasyonuna ait yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu ortalama değerleri kullanılarak oluşturulan 37 yıllık ortalama mevsim grafiği Şekil 6’da paylaşılmıştır.



**Şekil 6.** İstasyonlarda 37 yıllık ortalama mevsimsel yüze gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu [KWh/m<sup>2</sup>/g] [6]

Antarktika kıtasında güneş radyasyonunun en fazla olduğu zaman aralığının Aralık-Şubat dönemine ait olduğu Şekil 6'da paylaşılan grafikten açıkça görülmektedir. Kıtanın yaz aylarında önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu ilk bakışta söylenebilir. Bu nedenle yaz mevsimine ait yüze gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu değerleri de istasyonlar bazında incelenmiş ve Şekil 7'de ayrıca paylaşılmıştır.



**Şekil 7.** Yaz mevsimine ait 37 yıllık ortalama yüze gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu [KWh/m<sup>2</sup>/g] [6]

Şekil 7'de paylaşılan grafiğe bakıldığında kutup noktalarına yakın konumda bulunan Concardia, Kunlun, Amundsen-Scott, Kohnen, gibi istasyonlarda Aralık-Şubat dönemine ait 37 yıllık ortalama yüze gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle de güneş enerjisi potansiyelinin ilgili istasyonlar için oldukça fazla olduğu söylenebilir. Ancak sert iklim koşullarının getirdiği zorluklardan dolayı bu istasyonlarda enerji üretiminde güneş enerjisi kullanılamamaktadır [6].

Kıtanın kutup noktasına yakın iç kesimlerinden sonra en yüksek güneş enerjisi kullanımı potansiyeline sahip bölge Dronning Maud ve çevresidir. Burada bulunan Princess Elisabeth, Zhongshan ve Syowa istasyonlarında güneş panellerinin kullanıldığı da bilinmektedir [6]. Doğu Antarktika'nın kıyı bölgesinde bulunan Casey istasyonunda ise güneş enerjisi çiftliği kurulmuştur [6]. Antarktika'da kış günlerinde güneş radyasyonu neredeyse sıfıra yakın

değerlerde seyretmektedir. Bu nedenle kış aylarında güneş enerjisi ile enerji üretimi mümkün olmamaktadır. Kış döneminde rüzgâr enerjisi kullanılarak enerji üretiminin sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

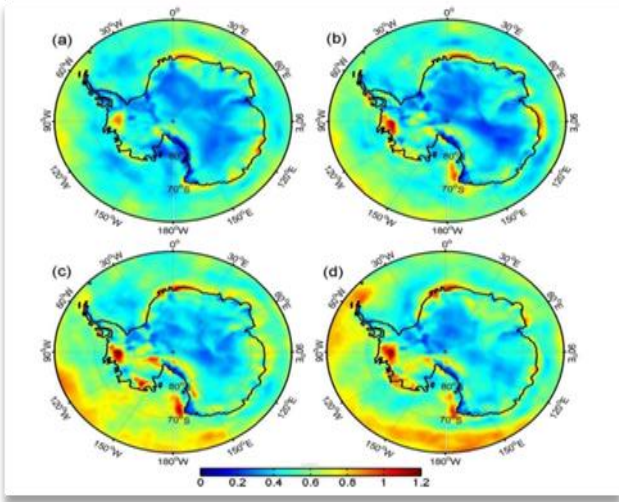
Ayrıca, kıtadaki araştırma istasyonları özelinde gerçekleştirdiğimiz güneş enerjisi potansiyeli araştırmasında, Çalışma Ortamı Araştırma Programı'nın (WCRP) bir referans ağı olan Temel Yüze Radyasyon Ağı (BSRN)'nda yer alan ve Antarktika kıtasında bulunan Concardia (DOM), Syowa (SYO), Neumayer (GVN) ve Amundsen Scott Güney Kutup (SPO) istasyonlarına ait çalışmalar da analiz edilmiştir. Özellikle, çalışma kapsamında seçilen istasyonlar arasında bulunan Concardia istasyonunun yer aldığı bölgede bulunan Temel Yüze Radyasyon Ağı (BSRN)'na ait Concardia (DOM) noktasında daha önce yapılan incelemeler üzerinde durulmuştur.

Bai vd. [15] DOM C (Concardia) noktası için 2006-2016 yıllarını kapsayan Temel Yüze Radyasyon Ağı (BSRN) verilerinin kullanıldığı güneş radyasyonu analizi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Güneş radyasyonu analizi için gerekli olan soğurma, saçılma, yansıma gibi uzun süreli atmosferik parametreler de çalışmaya dahil edilmiştir. Analiz sürecinde ayrıca bölgeye ait hava sıcaklığı, rüzgâr hızı gibi veriler de eklenerek tahminler yapılmıştır. Concardia istasyonunda yapılan bu çalışmaya göre küresel güneş radyasyon değerlerinde mevsimlere göre önemli değişimler olduğu görülmüştür [15]. Çalışmamız kapsamında Merra-2 verileri kullanarak elde edilen ortalama kısa dalga boylu güneş radyasyonu değerleri ile uyumlu olarak Bai vd. [15] yaptığı çalışmada da en fazla yoğunluk yaz mevsiminin aralık ayı içerisinde görülmüştür [15].

#### 4.2.2 Antarktika'daki araştırma üsleri özelinde rüzgâr enerjisi potansiyeli

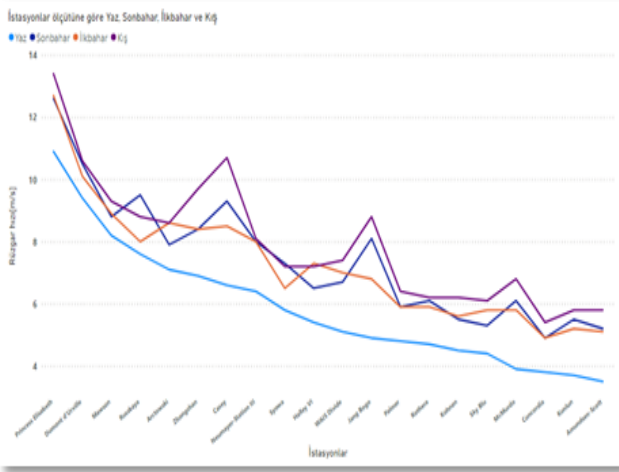
Antarktika kıtasında oldukça güçlü yüzey rüzgarları ile karşılaşmaktadır. Antarktika kıtasında kendine özgü iklimsel özelliklerinden ötürü "Katabatik Rüzgarları" oluşmaktadır. Yoğun alçak basınç sonucu oluşan ve kıta üzerinde sabit bir rüzgâr yönü oluşturan katabatik rüzgarları, dünyanın en etkili yüzey rüzgarları olarak bilinmektedir. [16].

Öncelikle, Antarktika kıtası genelindeki rüzgâr hızlarının mevsimlere ve lokasyona bağlı değişimlerinin incelenmesi oldukça önemlidir. Bu doğrultuda, Yu ve diğ. [17] tarafından yapılan bir çalışmanın sonuçları incelenmiştir. İlgili çalışmada, Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) Interim Yeniden Analiz (ERA-Interim) yöntemini kullanarak 1979 – 2017 yılları içindeki Antarktika kıtası ve çevresindeki okyanuslar üzerinde rüzgâr hızının standart sapması hesaplanmıştır. İlgili hesap sonuçlarına göre mevsimsel ortalama rüzgâr hızı iç kesimlerde daha az değişime uğrarken Transantarktika, Batı Ross Denizi ve Pasifik okyanusunda daha fazla değişime uğradığı görülmektedir [17]. 1979-2017 arası dönemde Antarktika ve Güney okyanusuna ait rüzgâr hızlarının ortalama mevsimsel standart sapmalarının mekansal dağılımı Şekil 8'de paylaşılmıştır.



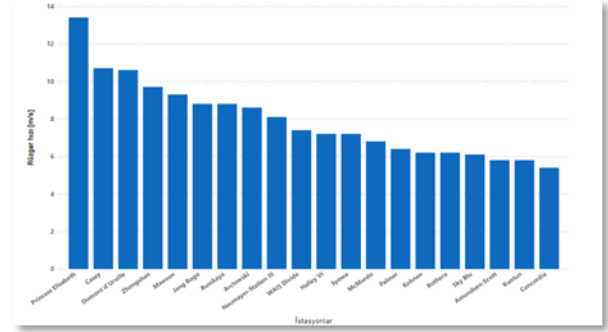
Şekil 8. 1979'dan 2017'ye rüzgâr hızı ( $ms^{-1}$ ) standart sapması yaz(a), sonbahar(b), kış(c), ilkbahar(d) [17]

Ayrıca, çalışmamızın devamında kıtadaki istasyonlar esas alınarak mevcut rüzgâr enerjisi potansiyeline yönelik incelemelerde bulunulmuştur. 1981-2020 yıllarını kapsayan ve rüzgâr hızlarını içeren MERRA-2 yeniden analiz verileri seçilen istasyonlar özelinde değerlendirilmiştir. Öncelikle aylık rüzgâr hızı değerleri elde edilmiş ve sonraki aşamada yaz, sonbahar, kış, ilkbahar ve yıllık ortalamalar hesaplanmıştır. Seçilen 20 araştırma istasyonuna ait 10 m yükseklikteki ortalama mevsimsel rüzgâr hızı değerlerinden kullanılarak hazırlanan mevsim grafiği Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. İstasyonlar 'da 40 yıllık ortalama mevsimsel rüzgâr hızı (m/s) [6]

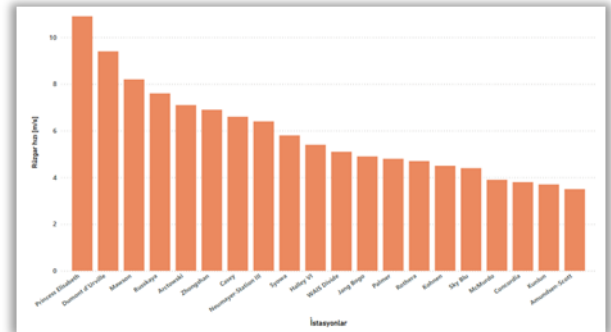
Kış aylarında Katabatik rüzgarların etkisi oldukça artmaktadır. Bu nedenle kış aylarında ortalama rüzgâr hızının yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Yaz aylarında ise güneş radyasyonu artışı nedeniyle ortalama rüzgâr hızları en düşük değerdedir [6]. Şekil 10'da 20 istasyona ait 10 m yükseklikteki kış mevsimi ortalama rüzgâr hızları gösterilmiştir.



Şekil 10. İstasyonlar 'da 40 yıllık kış mevsimi ortalama rüzgâr hızı (m/s) [6]

En yüksek rüzgâr hızı değerlerinin Antarktika kıtasının doğu kıyılarında yer alan Princess Elisabeth, Casey, Dumont d'Urville, Mawson istasyonlarına ait oldukları görülmektedir. Kıtanın iç kesimlerine doğru ilerledikçe ortalama rüzgâr hızının azaldığı görülmektedir. Şekil 10'da paylaşılan grafikten de görüldüğü üzere, ortalama rüzgâr hızı değerleri Concardia, Amudsen-scott, Kunlun ve Kohnen istasyonlarında en düşük seviyededir.

Kıta üzerinde yaz mevsiminde güneş radyasyon yoğunluğu artmakta ve bu artış yüzeyin soğumasını engellemektedir. Buna bağlı olarak katabatik rüzgarlarının gücünü azalmaktadır [16]. Şekil 11'de 20 istasyona ait 10 m yükseklikteki yaz mevsimi ortalama rüzgâr hızları gösterilmiştir.



Şekil 11. İstasyonlar 'da 40 yıllık yaz mevsimi ortalama rüzgâr hızı (m/s) [6]

Yaz aylarında rüzgâr hızında düşüş yaşandığı görülmekle birlikte Antarktika'nın doğu kıyısında bulunan Princess Elisabeth, Dumont d'Urville, Mawson istasyonlarının diğer istasyonlara oranla daha yüksek ortalama rüzgâr hızı seviyelerine sahip oldukları görülmektedir.

Antarktika Kıtası'nın mevsimlere göre ortalama rüzgâr hızı değerleri bizlere bölgede yüksek bir rüzgâr enerjisi potansiyeli olduğunu göstermektedir. Ancak, şiddetli rüzgarların kurulan rüzgâr türbinlerine verebileceği olası zararlar ve bakım maliyetleri düşünülünce rüzgâr enerjisinin kullanımının bazı zorluklar içerdiği açıktır. Örneğin Avustralya üssü Mawson istasyonunda kurulan rüzgâr türbinlerinden birinin kuvvetli rüzgarların etkisiyle kırıldığı bilinmektedir [6]. Bu nedenle bölgeye özgü rüzgâr

türbinlerinin tasarımı ve yeni teknolojik olanaklar üzerinde araştırmaların artırılması gerekmektedir.

Bölgede son zamanlarda rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin depolama pilleri ile birlikte kullanımı üzerinde araştırma ve uygulamalar artmaktadır. Örneğin, Zhongsan, Rothera, Princess Elisabeth, Syowa, Jang Bogo gibi istasyonlar enerji üretimlerini hibrit yöntemlerle sağlamaktadır [6].

#### 4.2.3 Antarktika'daki araştırma üsleri özelinde gelgit enerjisi potansiyeli

Gelgit enerjisi okyanus kıyılarında kullanılabilir yenilenebilir enerji türleri arasındadır. Bu nedenle, gelgit enerjisi Antarktika kıtası için olası yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilebilir. Antarktika kıtasında gelgit enerjisi kullanılarak enerji üretimi yapılmamaktadır. Enerji verimi oldukça yüksek olsa da kıtanın coğrafyası gereği sahip olduğu sert iklim koşulları kurulum ve bakım işlemlerini zorlaştırmaktadır [6].

Okyanus derinliği, okyanus hızı ve yönü ile kıyılarda biriken malzemeler sistemin sürekli ve sağlıklı bir şekilde çalışmasını etkileyecek temel faktörler arasında sayılabilir [6]. Bölge özelinde yaz mevsiminde çözünen buz kütlelerinin sisteme verebileceği zararların yanında ve ilgili sistemin deniz canlılarına verebileceği zararlar da gelgit enerjisinin bu bölgede kullanılabilmesinin önünde büyük bir engel teşkil etmektedir [6].

West vd. [18], Batı Antarktika bölgesinde Ross denizinde kurulu McMurdo istasyonunda sahada yapılan ölçümlere dayanarak gelgit enerjisi analizi gerçekleştirmişlerdir. İstasyonun bulunduğu bölge buz kütleleriyle kaplı olup, okyanus sıcaklığı donma noktasına yakındır. Bu durum, gelgit türbininin çalışması açısından olumsuz bir özellik oluşturmaktadır. Ayrıca, batimetrik ölçülerden bölgenin derinliğinin oldukça sığ olduğu görülmüştür. Bu nedenle su dibine biriken malzemelerin türbin sistemine zarar verebileceği tespit edilmiştir. İlgili çalışmada, gelgit enerjisi potansiyelinin araştırılmasında daha fazla veri ve incelemenin gerekli olduğunun altı çizilmekle birlikte McMurdo istasyonunun yer aldığı bölgedeki gelgit akım hızının düşük olması nedeniyle buraya türbin kurulumu tavsiye edilmemektedir. Ancak, ilgili çalışmada, Antarktika kıtasındaki diğer bölgelerde farklı koşullar geçerli olduğu için detaylı ölçümler yapılarak kıta genelinde gelgit enerjisi potansiyelinin araştırılması gerektiği de ifade edilmektedir [18].

### 5 Horseshoe Adasının topoğrafik ve iklimsel özellikleri

2017 yılında gerçekleştirilen Birinci Ulusal Antarktika Bilim Seferi (TAE-I) ile Türkiye'nin kıtadaki faaliyetleri yoğunlaşmış, Antarktika'da üs kurma hedefinin yanı sıra farklı alanlarda çok sayıda bilimsel çalışma yürütülmeye başlanmıştır.

Ulusal Antarktika Seferleri (TAE) öncesi yapılan hazırlıklar sırasında kıtada istasyon kurulabilecek olası 35 lokasyon belirlenmiştir. 2017 yılında gerçekleştirilen TAE-I seferinde yürütülen saha çalışmaları neticesinde olası lokasyon sayısı 17'ye düşürülmüştür [3].

17 bölgeden toplanan verilerin analizi sonucunda olası bölge sayısı 4'e düşürülmüştür. Gerçekleştirilen TAE-II

seferi sırasında belirlenen 4 bölgede saha çalışmaları detaylandırılarak gerçekleştirilmiş ve bölge şartları hakkında veriler toplanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) aracılığı ile Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak 4 bölge kapsamında bir seçim analizi gerçekleştirilmiştir [3].

Antarktika kıtasında, TAE seferlerinin yapıldığı ve sonrasında ülkemizin bilimsel üssüne ev sahipliği yapması planlanan yer Horseshoe Adasıdır. Bu çalışmamızda Horseshoe Adası özelinde yenilenebilir enerji kullanım potansiyelinin analizine yönelik bir ön çalışma da yapılmıştır.

Horseshoe Adası, Antarktika Yarımadasında 67,83° Güney enlemi ve 67,24° Batı boylamında yer almaktadır [19]. Ada hafif eğimli bir araziye sahiptir. Adada 537 m yükseklikte Searle Dağı ile 879 m yükseklikte Breaker Dağı bulunmaktadır [6]. Ada içerisinde yaklaşık 6,5 km<sup>2</sup>'lik alana sahip Shoemith Buzulu bulunmaktadır [6]. Adanın doğusunda Galya Koyu yer alırken, batısında Lystad Körfezi bulunmaktadır [6]. Ulaşım ve erişim kolaylığı nedeniyle Türk Araştırma Üssü Lystad Körfezinde çalışmalarını yürütmektedir [6]. Şekil 12'de Horseshoe Adasının kıtadaki konumunda ilişkin bir görsel paylaşılmaktadır. Şekil 13'te ise Horseshoe Adasının genel görünümüne ve üzerindeki önemli coğrafi bölgelere ilişkin bir görüntüye yer verilmiştir (TÜBİTAK, 2021).



Şekil 12. Horseshoe adası konumu [19]



Şekil 13. GÖKTÜRK-2 uydu görüntüsünden Horseshoe adasının genel görünümü (TÜBİTAK, 2021)



TÜBİTAK tarafından Horseshoe adası için yayımlanan “Türk Araştırma İstasyonu Çevresel Değerlendirme Raporu’nda” bölgedeki iklim şartlarına ilişkin değerlendirmelerin yapılmasında adaya yakın olan San Martín ve Rothera araştırma istasyonları ait uzun süreli meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu raporda yer alan bilgilere göre, San Martín Üssü’nün 1990-2014 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklığı 4,6 °C iken, Rothera üssünde 1976-2021 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklıkların -20,5 ile 2,7 °C arasında değiştiği belirtilmiştir. Rothera istasyonuna ait on yıllık günlük sıcaklık ortalaması ise -3,9 °C’dir [6].

## 6 Horseshoe Adası yenilenebilir enerji potansiyeli

Horseshoe adasında kalıcı ve aktif bir araştırma istasyonu bulunmamaktadır. Türkiye, TAE seferlerinin yapıldığı Horseshoe adasında kalıcı bir araştırma istasyonu kurmayı hedeflemektedir. Bu istasyonda yürütülecek faaliyetler için ihtiyaç duyulacak enerjinin nasıl elde edilebileceği oldukça önemli bir konudur.

Türkiye’nin bölgede kuracağı kalıcı istasyonda enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılaması kitadaki doğal kaynakların ve çevrenin korunmasına katkısı yanında uluslararası kabul edilebilirlik açısından da büyük önem taşımaktadır [6]. Bu bağlamda, bu bölümde Horseshoe adasının yenilenebilir enerji potansiyeli üzerine bir ön değerlendirmede bulunulmuştur.

Horseshoe adasında yenilenebilir enerji potansiyeli için MERRA-2 yeniden analiz verileri kullanılmıştır. Horseshoe adasının 1990,2000,2010 ve 2020 yıllarına ait yıllık ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu verileri kullanılarak oluşturulan grafik Şekil 14’te verilmiştir. Grafikte görüleceği üzere, Horseshoe adası için elde edilen radyasyon değerleri yıllar içinde giderek artmış ve 2020 yılında en yüksek noktaya ulaşmıştır.



Şekil 14. Horseshoe adası 1990-2020 yılları arası ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu [KWh/m²/g] [6]

Oluşturulan bir diğer grafik ise Şekil 15’te sunulmuştur. Bu grafikte ortalama yıllık rüzgâr hızı verileri paylaşılmaktadır. Ortalama rüzgâr hızında yıllara göre

farklılıklar gözlenmiştir. Ortalama rüzgâr hızı en düşük 6.6 m/s iken en yüksek 8,1 m/s olarak kaydedilmiştir.



Şekil 15. Horseshoe Adası 1990-2020 yılları arası ortalama rüzgâr hızı [m/s] [6]

Çalışmanın devamında, Horseshoe adasının yenilenebilir enerji potansiyeli çevre bölgelerle kıyaslanmıştır. Bunun için adaya yakın konumda bulunan Rothera istasyonu ile Antarktika kıtasında enerji ihtiyacı için sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı Princess Elisabeth istasyonu seçilmiştir. Tablo 3’te Rothera ve Princess Elisabeth istasyonuna ait bazı bilgiler verilmiştir.

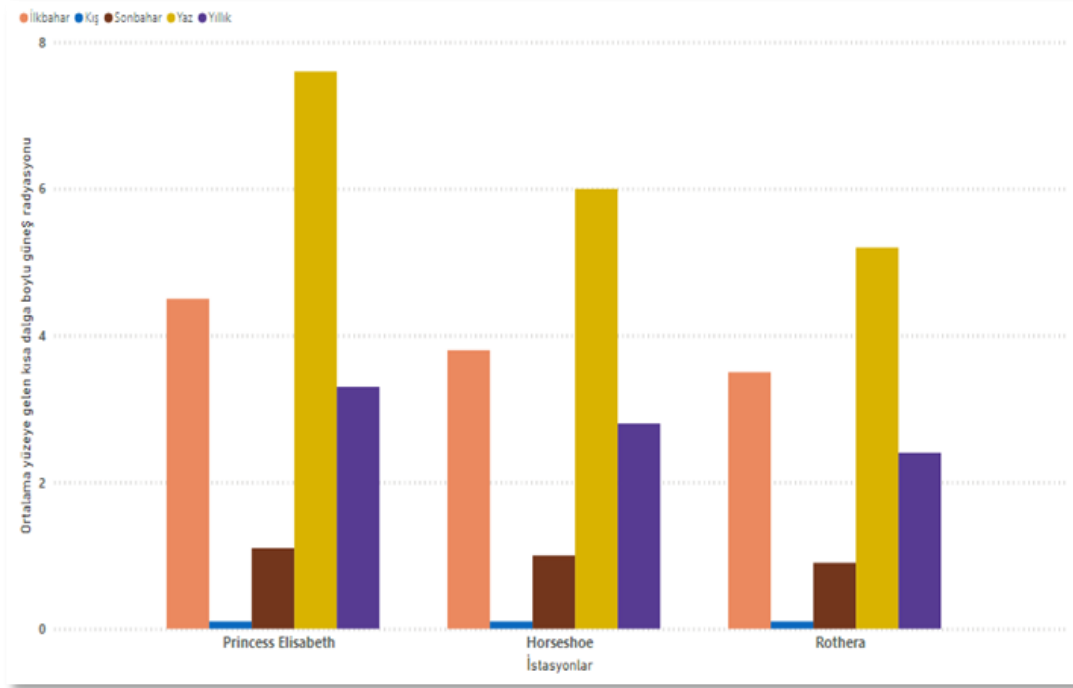
Belçika tarafından işletilen Princess Elisabeth istasyonu yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olan Dronning Maud Adasında kurulmuştur. İngiliz araştırma üssü olan Rothera istasyonu Horseshoe adasına yakın bir konuma sahip olup, enerji üretiminin belli bir kısmını yenilenebilir enerji ile karşılayabilmektedir. Horseshoe adasının, yakın çevresinde bulunan bu iki araştırma istasyonu ile karşılaştırılması, adanın yenilenebilir enerji potansiyelinin ortaya konması açısından bizlere önemli bilgiler sunabilir [6].

Tablo 3. Princess Elisabeth ve Rothera araştırma istasyonları enerji kaynağı durumu [6]

İstasyonlar	Konum	Enerji Kaynağı
Princess Elisabeth	Dronning Maud Adası	Güneş paneli, Rüzgâr türbini, Depolama pilleri
Rothera	Antarktika Yarımadası	Güneş paneli, Rüzgâr türbini, Depolama pilleri, Fosil yakıt

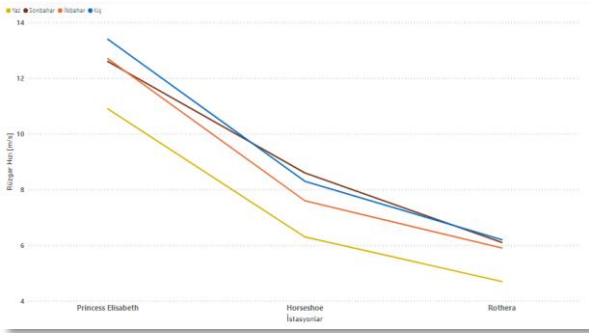
1984-2020 yıllarını kapsayan MERRA-2 yeniden analiz verileri kullanılarak kıyaslanan istasyonlar için mevsimsel ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 16’da paylaşılan grafikte görüldüğü üzere, kıyaslanan üç istasyon için de güneş radyasyon değerleri yaz mevsiminde oldukça yüksektir. Horseshoe adasında görülen radyasyon değerleri Rothera ve Princess Elisabeth istasyonlarının sahip olduğu değerlerinin arasındadır.



Şekil 16. Horseshoe adası ve istasyonlar 'da 37 yıllık ortalama yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu [KWh/m<sup>2</sup>/g]

Şekil 17'deki grafikte ise kıyaslanan üç istasyona ait ortalama mevsimsel rüzgâr hızları paylaşılmıştır. Ele alınan üç istasyon değerlendirildiğinde hâkim rüzgâr hızı en yüksek Princess Elisabeth istasyonunda hesaplanırken, ilgili istasyonu sırasıyla Horseshoe adası ve Rothera istasyonu takip etmektedir. Ortalama rüzgâr hızları 3 bölge için de kış mevsiminde oldukça etkili görülmektedir.



Şekil 17. Horseshoe adası ve istasyonlar 'da 40 yıllık ortalama rüzgâr hızı [m/s] [6]

## 7 Bulgular ve tartışma

Antarktika kıtasının topoğrafik, çevresel ve iklimsel özellikleri dikkate alındığında, bölgenin kullanımına izin verdiği yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve gelgit enerjisi sayılabilir. Bu nedenle bölgeye ait potansiyel yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu analiz edilirken, sayılan bu üç yenilenebilir enerji kaynağı üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. NASA'ya ait MERRA-2 yeniden analiz

verilerinin kullanıldığı bu çalışmada ortalama tahmin değerleriyle yüzeye gelen kısa dalga boylu güneş radyasyonu ile rüzgâr hızı değerleri elde edilmiştir. Öncelikle, Antarktika'da seçilen 20 araştırma istasyonu üzerinden kıtanın yenilenebilir enerji kullanım potansiyeli ortaya konulmuştur. Ardından, Türkiye'nin kalıcı bir araştırma istasyonu kurmayı hedeflediği Horseshoe adası üzerinde yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli hakkında bir değerlendirme yapılmıştır.

20 istasyon kapsamında 37 yıllık ortalama güneş radyasyon verileri incelendiğinde kıtada Aralık-Şubat döneminde kutup bölgelerine yakın istasyonlarda daha fazla güneş radyasyonu değerleri olduğu gözlemlenirken kış mevsiminde bu değer neredeyse sıfıra inmektedir. Özetle, kıta genelinde güneş enerjisi potansiyeli yalnızca yaz mevsiminde değerlendirilebilmektedir.

20 istasyon kapsamında 40 yıllık ortalama rüzgâr hızı verileri değerlendirildiğinde katabatik rüzgarlarının da etkisiyle rüzgâr hızlarının kış aylarında oldukça arttığı görülmektedir. Mekânsal olarak rüzgâr hızlarının dağılımı incelendiğinde ise Antarktika'nın doğu kıyılarında daha yoğun olan rüzgâr hızının iç bölgelerde daha düşük olduğu gözlemlenmektedir.

Kıtada hâkim olan aşırı soğuk ve sert iklim şartları nedeniyle rüzgâr ve güneş enerjisinin kullanımında süreklilik sağlanamadığı görülmektedir. Bu nedenle istasyonlarda bu iki enerji kaynağının yetersiz kaldığı durumlarda birbirini destekleyen sistemlerin oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Depolama pilleri ile desteklenen hibrit modelin istasyonlarda kullanımının oldukça yoğun olduğu görülmektedir.

Horseshoe adası özelinde gerçekleştirilen çalışmada özellikle Rothera ile kaynağı yalnızca yenilenebilir enerji olan Princess Elisabeth istasyonu verileri değerlendirilmiş ve Horseshoe Adası ile kıyaslanmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda adanın konumu itibarıyla yenilenebilir enerji potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmada elde edilen verilen ortalama tahmin değerleri olduğundan istasyonlara ait çalışmalar daha detaylı gözlemlere dayalı olmalıdır. Ön çalışmada ortaya çıkan potansiyel kullanımlara ilişkin senaryolar doğrultusunda yapım, kullanım ve bakım süreçleri üzerinde değerlendirmeler derinleştirilmelidir. Horseshoe adası özelinde farklı enerji kaynaklarının yaklaşık kurulum maliyetleri ile yaklaşık kullanım ömürlerinin de ayrıntılı bir şekilde analizi gerçekleştirilmelidir. Bu doğrultuda Horseshoe Adası'nda detaylı saha çalışmaları yapılmalıdır.

## 8 Sonuçlar

Bu çalışmada Antarktika kıtası genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım durumları ve potansiyeli seçilen araştırma istasyonları baz alınarak incelenmiş ve Horseshoe adası özelinde de ilgili konuda değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda bir liste halinde özetlenmiştir;

- Kıtadaki bazı bilimsel araştırma istasyonlarında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim mevcuttur ancak bu sayı yeterli oranda değildir.
- Araştırma istasyonları özelinde yapılan analizler bölgedeki yenilenebilir enerji kullanım potansiyeli hakkında olumlu sonuçlar verirken, istasyonlardaki mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım durumu da oldukça umut vericidir.
- Yenilenebilir enerji kaynakları mevsimsel farklılıklardan etkilendiği için kıta üzerinde hibrit modelin uygulanması en uygun yöntem olarak görülmektedir.
- Türk araştırma üssünün bulunduğu Horseshoe adasında güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin bulunduğu görülmektedir. Özellikle Princess Elisabeth ve Rothera araştırma istasyonları ile yapılan kıyaslamalar da bu durumu desteklemektedir.
- Sürdürülebilir bir yaşam için gerekli olan sürdürülebilir kaynakların geleceğimizi şekillendirdiği açıkken, bu konuda yapılan her çalışma ve atılacak her adım büyük önem taşımaktadır. Ülkemiz adına kurulacak istasyonda yenilenebilir enerji kullanımına yönelik hayata geçirilecek projelerle bölgedeki görünürlüğümüz ve kabul edilebilirliğimiz artacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Oğuz SELBESOĞLU danışmanlığında İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Öğrencisi Şehriban Yiğit tarafından gerçekleştirilen "Antarktika'da yenilenebilir enerji potansiyeli ve Türk araştırma üssü

özelinde bir inceleme" başlıklı ve 740221 Tez Nolu Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

Bu çalışma, TÜBİTAK KUTUP ARAŞTIRMALARI 1001 kapsamında yürütülen, 118Y322 Numaralı ve "Antarktika Bölgesinde Troposfer ve Kar Derinliğinin/Kalınlığının GNSS Meteorolojisi ve GNSS Reflektometresi Yöntemleri ile İzlenmesi" başlıklı projesi ile desteklenmiştir.

## Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## Benzerlik oranı (iThenticate): % 10

## Kaynaklar

- [1] R.M. Alkan, S. Erol, B. Mutlu, IGS-RTS ürünleri kullanılarak gerçek-zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) tekniğinin performans analizi: Antarktika örneği. *Yerbilimleri*, 43 (1), 76-95, 2022. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1050124>.
- [2] S. Altın Coşkun, Antarktika kıtasındaki hukuki rejim ve Türkiye'nin kıtadaki varlığı. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 67-112, 2019
- [3] M. Şenel ve H.H. Yavaşoğlu, Antarktika'da araştırma istasyonu kurmak için en uygun yer seçimi: Türkiye örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (1), 72-82, 2020. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.647320>
- [4] E. Özcan, A. Yılmaz, O. Okur ve B. Özsoy, Antarktika seferlerinde araştırma gemilerinin karbon emisyonlarının istatistiksel yaklaşımla belirlenmesi. *Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 4 (1), 25-43, 2022. <https://doi.org/10.54410/denlojad.1079719>
- [5] E. Koç ve K. Kaya, Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56 (668), 36-47, 2015.
- [6] Ş. Yiğit, Antarktika'da yenilenebilir enerji potansiyeli ve Türk Araştırma Üssü özelinde bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi*, 2022.
- [7] T. Erdem, Galindez Adası (Antarktika Yarımadası), sediment ve balık örneklerinde pestisit bileşiklerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi*, 2018.
- [8] A. Civanoğlu, Türk dış politikasında yeni yönelimler: Antarktika'da Türk araştırma üssü kurulması ve kıtanın geleceği hakkında öngörüler, *Doktora Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trakya Üniversitesi*, 2019.
- [9] Ulusal Antarktika Programları Yöneticileri Konseyi Hakkında: <https://www.comnap.aq/our-story>, Son Erişim: 17.11.2022.
- [10] CONMAP Antarktika Araştırma Üsleri Web Uygulaması: <https://ucnz.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8663617ffa264e45aa3804d0d08fcdf8>, Son erişim: 17.11.2022
- [11] CONMAP Antarktika Araştırma Üsleri Listesi: <https://github.com/PolarGeospatialCenter/comnap>

- [antarcticfacilities/blob/master/dist/csv/COMNAP\\_Antarctic\\_Facilities\\_Master.csv](#) Son erişim: 17.11.2022
- [12] Küresel Modelleme ve Asimilasyon Ofisi (GMAO) – GEOS: [https://gmao.gsfc.nasa.gov/gmao\\_mission](https://gmao.gsfc.nasa.gov/gmao_mission), Son erişim: 18.11.2022.
- [13] Dünya Çapında Enerji Kaynaklarının Tahmini (POWER) projesi: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=52116d331ff64e468fe9351fc1c76423>, Son Erişim: 18.11.2022.
- [14] Princess Elisabeth Antarktika İstasyonu, <http://www.antarcticstation.org/>, Son erişim: 17.11.2022.
- [15] J. Bai, X. Zong, C. Lanconelli, A. Lupi, A. Driemel, V. Vitale, K. Li, et al. Long-term variations of global solar radiation and its potential effects at Dome C (Antarctica). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3084, 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19053084>,.
- [16] C. Hallgren, Assessment of green power production in Antarctica. Project report 2013, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-341702>.
- [17] L. Yu, S. Zhong ve B. Sun, The climatology and trend of surface wind speed over Antarctica and the Southern Ocean and the implication to wind energy application. *Atmosphere*, 11(1), 108, 2020 <http://dx.doi.org/10.3390/atmos11010108>.
- [18] B. West, I. Gagnon, M. Wosnik, Tidal energy resource assessment for McMurdo Station, Antarctica. 10.13140/RG.2.2.27884.97920, 2016.
- [19] M.O. Selbesoğlu, H. H. Yavaşoğlu, M. F. Karabulut, H. A. Yavaşoğlu, H. G. Özcan, Ö. Oktar, B. Özsoy, H. Karaman, M. E. Kamaşak ve V. E. Güral, Antarktika'da küresel iklim değişikliği izleme için GNSS istasyon tasarımı: TUR1 ve TUR2 GNSS istasyonlarının 4. Ulusal Antarktika Bilim Seferi'nde Antarktika Horseshoe Adası'na kurulumu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 1353-1365, 2021 <https://doi.org/10.35414/akufemubid.946282>.

