

Atf İçin: Kaltakkıran, G. ve Bakırcı, K. (2023). Ardahan İlinde Enerji Uygulamaları için Meteoroloji ve İklim Verilerinin Analizi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(3), 2026-2041.*

To Cite: Kaltakkıran, G. & Bakırcı, K. (2023). Analysis of Meteorology and Climate Data for Energy Applications in Ardahan Province. *Journal of the Institute of Science and Technology, 13(3), 2026-2041.*

Ardahan İlinde Enerji Uygulamaları için Meteoroloji ve İklim Verilerinin Analizi

Galip KALTAKKIRAN^{1*}, Kadir BAKIRCI²

Öne Çıkanlar:

- Ardahan ilinin iklimi ve çeşitli enerji kaynakları araştırılmıştır.
- Enerji projelerine yönelik meteorolojik veri sağlanmıştır.
- Yıllık ortalama sıcaklık 3.80 °C ve yıllık toplam yağış miktarı 554.82 kg/m²'dir.

Anahtar Kelimeler:

- Ardahan
- İklim
- Meteorolojik veri
- Enerji

ÖZET:

Meteoroloji ve iklim verileri, enerji ile ilgili proje çalışmalarında önemli bir veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Herhangi bir bölge için mevcut enerji kaynaklarının kullanımı ve bu kaynakların çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda, özellikle yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelikli kullanımı, karbon salınımı ve küresel ısınmaya karşı olumlu etkilerinden dolayı son derece önemlidir. Bu bakımdan, Ardahan ili için fosil kökenli ve özellikle dışa bağımlı enerji kaynaklarına alternatif olabilecek yenilenebilir enerji potansiyelleri belirlenmelidir. Ayrıca bu noktada farkındalığın oluşturulması ve kaynakların etkin olarak kullanılması için meteoroloji ve iklim verilerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Ardahan ili için özellikle meteoroloji ve iklim verileri üzerinden rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji potansiyellerinin belirlenmesi ve enerji projeleri ile ilgili yapılacak fizibilite çalışmalarına destek vermek için veri sağlanmıştır. Ardahan 3.80 °C'lik yıllık ortalama sıcaklığı ile Türkiye'nin sıcaklık ortalaması en düşük olan illeri arasında yer almıştır. İlin uzun yıllar ortalamasına göre günlük toplam güneşlenme süresi 5.67 saat/gün olup, önemli bir güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Sınırları içerisinde çeşitli büyüklüklerde hidroelektrik santrali bulunan Ardahan'ın yağışlı gün sayısı yıllık olarak ortalama 136 gün olup yağış miktarı yıllık 554.82 kg/m²'dir. İlin bazı ilçelerinde kaplıca ve maden suyu niteliğinde çeşitli jeotermal enerji kaynaklarının olması yanı sıra il genelinde 100 cm derinlikte toprak sıcaklığı yılın hiçbir ayında 0 °C'nin altında değildir. Ayrıca, ilin yıllık ortalama rüzgâr hızı 1.88 m/s'dir.

Analysis of Meteorology and Climate Data for Energy Applications in Ardahan Province

Highlights:

- Climate and various energy resources of Ardahan province were investigated.
- Meteorological data was provided for the energy projects.
- The annual average temperature is 3.80 °C and the total annual precipitation is 554.82 kg/m².

Keywords:

- Ardahan
- Climate
- Meteorological data
- Energy

ABSTRACT:

Meteorology and climate data are used as important data source in energy-related project studies. The use of available energy resources for any given region and the effects of these resources on the environment and human health should be considered. In this context, the priority use of new and renewable energy sources is extremely important in terms of their positive effects on carbon emissions and global warming. In this respect, it is necessary to determine the renewable energy potentials for Ardahan province, which can be an alternative to fossil-based and especially foreign-dependent energy sources. In addition, meteorology and climate data should be analyzed in detail in order to raise awareness and utilize resources effectively. In this study, data are provided to determine the renewable energy potential such as wind and solar for Ardahan province, especially based on meteorological and climate data. Ardahan is among the provinces with the lowest average temperature in Turkey, with an annual average temperature of 3.80 °C. According to the long-term average of the province, the total daily sunshine duration is 5.67 hours/day, and there is a significant important solar energy potential. Ardahan, which has hydroelectric power plants of various sizes within its borders, has an average of 136 days of precipitation per year, with an annual precipitation of 554.82 kg/m². In some districts of the province, there are various geothermal energy sources in the form of hot springs and mineral waters, and the soil temperature at a depth of 100 cm throughout the province is not below 0 °C in any month of the year. In addition, the annual average wind speed of the province is 1.88 m/s.

¹Galip KALTAKKIRAN ([Orcid ID: 0000-0003-2502-0078](https://orcid.org/0000-0003-2502-0078)), Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ardahan, Türkiye

²Kadir BAKIRCI ([Orcid ID: 0000-0001-5447-4955](https://orcid.org/0000-0001-5447-4955)), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Galip KALTAKKIRAN, e-mail: galipkaltakkiran@ardahan.edu.tr

GİRİŞ

Dünyada artan enerji ihtiyacına bağlı olarak baş gösteren küresel ısınma tehdidi, yenilenebilir enerji kaynaklarının en faydalı şekilde kullanımının önemini bir kez daha göstermiştir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının zararlı çevresel etkilerine kıyasla alternatif enerji kaynaklarına yönelim son yıllarda giderek artmaktadır. Bu yüzden enerji kaynaklarının devamlılığının yanı sıra potansiyel iklim değişikliğinin yavaşlatılması için küresel ölçekte çaba ve iş birliği gereklidir. Özellikle sera gazlarının azaltılması için çok sayıda güneş ve rüzgâr esaslı yenilenebilir enerji teknolojilerinin yanında karbon salınımının da azaltılması elzem bir durumdur (Fant ve ark., 2016). Bunun dışında CO₂ emisyonunun küresel ısınma ve iklim değişikliğine olan etkilerinin kısıtlanması gereklidir. Bu yüzden Yoro ve Daramola (2020) atmosferdeki CO₂ ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için karbon yakalama ve depolama teknolojisine ait son gelişmeleri araştırmışlardır. Çalışmalarında, elektrik, demir, çelik, çimento ve petrokimya gibi alanlardaki CO₂ azaltma tekniklerini incelemişlerdir. Çünkü yoğun sanayileşme öncesindeki iklime kıyasla küresel ısınmada 2 °C'lik bir artış değeri, antropojenik iklim değişikliğinin neden olabileceği tehlikeleri kısıtlamak için dikkat edilmesi gereken bir eşik olarak kabul edilmektedir. Vautard ve ark. (2014) küresel ısınmanın bu 2 °C'lik hedefine yönelik olarak Avrupa ikliminde olası değişiklikleri araştırmışlar ve sonuçlara göre Avrupa'nın büyük bir bölümünün küresel ortalamaya göre daha fazla bir ısınmaya maruz kalacağını bildirmişlerdir. Bu bağlamda, Dünya çapında çeşitli alternatif enerji kaynaklarına yönelik etüt çalışmaları her geçen gün artarak devam etmektedir. Bunun başlıca sebepleri arasında, insan esaslı zararlı emisyonların neden olduğu küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliğinin hissedilir düzeylere ulaşması sayılabilir. Bu durumda, değişen iklim şartlarının sebep olduğu etkilerin bölgesel bazda araştırılması, enerji kaynaklarından maksimum fayda elde edilebilmesi ve enerji çalışmalarının daha sağlıklı yürütülmesi bakımından güncel ve güvenilir ölçüm verilerinin kullanılması büyük öneme sahiptir.

Tüm dünyada artarak devam eden küresel ısınma ve iklim değişiminin etkilerinin incelenmesi hususunda sıcaklık parametresinin önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu parametredeki değişimin, uzun yıllar ölçüm verileri üzerinden incelenmesi ile gelecekte küresel ısınmanın ve iklim değişimin ne boyutlara varacağı hususunda bilgi edinilebilecektir. Bu amaçla Fant ve ark. (2016) iklim değişikliğinin etkilerini güneş ve rüzgâr kaynak potansiyeli üzerinden tahmin etmeye çalışmışlardır. Yine Lionello ve Scarascia (2018), Akdeniz bölgesinin mevcut durumdaki ve gelecek yüzyıl için iklim değişiminin etkilerini, yıllık ortalama küresel yüzey sıcaklığı değişimi ile ilişkili olarak analiz etmişlerdir. Açık literatürde, çeşitli bölgeler için uzun ölçüm periyotlarında alınan sıcaklık ve yağış verilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; küresel ısınma ve iklim değişiminin sıcaklık değerlerinde artışa ve yağış miktarlarında azalmalara sebep olduğu, bunun da beraberinde kuraklık tehdidini getirdiği ifade edilmiştir (Bolat ve ark., 2017; Ercan ve Yüce, 2018; İlker ve Terzi, 2021).

Küresel çapta suya erişim ısınan bir dünya için sosyoekonomik ve çevresel refahın önündeki en büyük zorluklardan birçoğuna zemin hazırlamaktadır. Bu doğrultuda, Ferguson ve ark. (2018) tarafından büyük nehir havzası ölçeğinde ortalama su mevcudiyetinin aylık ve yıllık bazda, yıllar arası değişimlerinde ve mevsimsel değişimlerini istatistiksel olarak araştırmışlardır. Öyle ki çalışmalarında mevcut su kaynaklarını yağış, akıntı, buharlaşma ve terleme yönünden incelemişlerdir. Benzer şekilde Öztürk ve Kılıç (2018) tarafından Ardahan iline yönelik yapılan bir araştırmada, bölgede alınan uzun yıllar ölçüm değerlerinden 11 farklı iklim parametresi için onar yıllık ortalamalar karşılaştırılmış ve sıcaklık değerlerinde istatistiksel açıdan anlamlı artış eğilimleri görülmüştür. En fazla sıcaklık artışının 2.04 °C ile minimum sıcaklıkların ortalamasında gerçekleştiği, yıllık ortalamadaki artışın 1.3 °C

olduğu ifade edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarında önemli artışların görüldüğü, onar yıllık ortalama değerler arasında elde edilen farklara göre yıllık toplam yağışın 149 mm kadar arttığı belirtilmiştir. Ortalama bulutluluk, bağıl nem ve rüzgâr hızlarında ise azalma görüldüğü tespit edilmiştir. Nacar ve ark. (2022), Doğu Karadeniz Havzası ve çevresinin 1981-2010 yılları arasındaki aylık toplam yağış değerlerini kullanılarak önceki dönem ve geleceğe yönelik kuraklık analizlerini yapmışlardır. Kılıç (2022) tarafından, benzer şekilde Ardahan ili Çıldır Gölü Havzası'nın uzun yıllar iklim parametreleri farklı iklim modelleri ile analiz edilmiş ve bölgenin iklim özellikleri belirlenmiştir. Böylece her bir iklim parametresinin göl havzasının doğal ve beşerî coğrafyası üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Literatürde, iklim ve meteoroloji verileri üzerinden ilgili bölgelerin yenilenebilir enerji potansiyellerinin belirlenmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda, Bakırcı ve ark. (2006) tarafından Erzurum ilinde enerji ile ilgili yapılacak çalışmalara kaynak sağlamak ve destek olmak amacıyla iklim verilerinin analizi yapılmıştır. Karaoğlu (2011), Iğdır ili için uzun yıllara (1976-2005) ait iklim verilerinin zirai açıdan incelemesini gerçekleştirmiştir. İlin yağış, nem ve rüzgâr enerjisi bakımından zayıf, buharlaşma, güneşlenme süreleri ve sıcaklık bakımından zengin olduğunu belirtmiştir. Ayrıca çalışmadan bölge ikliminin hayvancılık ve tarıma elverişli olduğunu ifade etmiştir. Esen (2022) tarafından iklim verilerinin uzun yıllar ortalamalarının incelenmesine yönelik olarak Tunceli ili için yapılan başka bir çalışmada ise, ilin sisli gün sayısında ve ortalama sıcaklık değerlerinde artış, bağıl nem, ortalama rüzgâr hızı, toplam yağış, yağışlı ve kar yağışlı gün sayılarında azalma yönünde eğilimler olduğu belirlenmiştir. Bölgenin ilerleyen dönemlerde olası su yetersizliği ve dolayısıyla kuraklık problemleriyle karşılaşacağı belirtilmiştir. Çelik ve ark. (2018), Doğu Anadolu Bölgesi'nin 1967-2017 dönemi için meteorolojik verileri kullanarak mevsimlik kuraklık durum analizini yapmışlardır. Bölgede yer alan illerin bazılarında genel, bazılarında ise ciddi kuraklık eğilimleri olduğu görülmüştür. Ardahan ilinde ise ilkbahar ve yaz aylarında artan nemlilik, sonbahar aylarında ise artan kuraklık eğiliminin olduğu ifade edilmiştir. Topuz ve Karabulut (2021) tarafından, en çok kar yağışının gerçekleştiği Doğu Anadolu Bölgesi'nde kar yağışlı ve kar örtülü günlerin sayısının uzun yıllar boyunca olan değişimleri incelenerek bu iki parametre arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuçlara göre, kar yağışlı ve kar örtülü günlerinin eğiliminin azalan yönde olduğu ve bu iki parametre arasındaki ilişkinin ise genellikle pozitif olduğu belirtilmiştir. Yılmaz Kafalı (2013), topoğrafik özelliklerin iklim değişikliği üzerindeki etkilerini anlamak ve gerçek mevsim (klimatik mevsim) süreleri ile buna yönelik belirlenmiş yağış rejimini ortaya çıkarmak amacıyla Rize, Erzurum, Kars ve Ardahan illerine yönelik bir çalışma yürütmüştür. Uzun yıllar (1975-2011) ortalama sıcaklık değerlerine göre mevsim süreleri, günlük yağış verilerine göre ise yağış rejimini belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar arasında en dikkat çekici olanı ise, Ardahan'da gerçek anlamda yaz mevsiminin yaşanmadığıdır. Gönültaş ve ark. (2020) tarafından, farklı bölgelerden seçilen illere yönelik iklim analizlerinin yapıldığı bir çalışmada, uzun yıllar için hesaplanan maksimum sıcaklık ortalama verileri kullanılarak önümüzdeki 50 yıllık döneme kadar illerin maksimum sıcaklık değerleri belirlenmeye çalışılmış, iklim değişikliğine ilişkin olarak ortalama sıcaklık değerlerinde artışlar ön görülmüştür. Işık ve İnallı (2018), Türkiye'yi temsilen 50 il için meteorolojik verilerin tahminini gerçekleştirmişlerdir. Yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) tahmin metodları yardımıyla diğer meteorolojik parametrelerden faydalanarak Türkiye için sıcaklık, radyasyon ve nem haritaları geliştirmişlerdir. Bunun yanı sıra Qiu ve ark. (2022), küresel güneş ışınımını doğru bir şekilde belirlemek amacıyla var olan 78 modeli inceleyerek sadece sıcaklık verilerine bağlı olarak güneş ışınım şiddetini tahmin edebilmek için 4 farklı yeni model geliştirmiştir. Ayrıca modellerin

tamamının kalibrasyonu ve testleri için Çin genelinde bulunan 105 radyasyon istasyonundan alınan verileri kullanmışlardır.

Meteorolojik ve iklim verilerinin analizlerinin yapılmasının yanı sıra enerji analizi çalışması kapsamında binaların kış aylarında ısıtma ve yaz aylarında soğutma ihtiyaçlarının da belirlenmesi gerekir. Bu kapsamda, Cao ve ark. (2017) Çin'in beş farklı iklim bölgesinde iklim değişiminin analizini yaparak meteorolojik parametreler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çünkü meteorolojik parametreler, binalarda enerji tasarrufu için ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin tasarımlarında temel oluşturur. Bu doğrultuda enerji hesaplamaları ısıtma ve soğutma derece günleri olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilir. Bu hesaplamalar istenilen bölgede yapılması planlanan ısıtma ve iklimlendirme sistemlerinin aylık veya mevsimlik bazda işletim için gereken enerji ve yakıt tüketim değerlerinin belirlenmesine yardımcı olur. Öyle ki, hesaplanan derece gün değerleri sayesinde binanın yıllık enerji yükünün tahmini ve iklimlendirme ekipmanlarının verimliliği belirlenebilir (Bakırcı ve ark. 2008). Derece gün aslında 24 saatlik bir zaman dilimi içerisinde sıcak ve soğuk geçen zaman dilimlerinin ölçülmesinde kullanılan bir birimdir. Isıtma ve soğutma derece günleri dış ortam sıcaklığı ve iç ortam sıcaklığının dikkate alınmasıyla hesaplanır. Soğutma derece gün değerlerinin belirlenmesinde resmi bir eşik sıcaklık değeri olamamakla birlikte genellikle 22 °C referans alınır. Ancak eğer dış ortam sıcaklığı 15 °C'nin üstünde ise ilgili alanın ısıtma ihtiyacı bulunmaz (MGM, 2023).

Bakırcı ve ark. (2008) çalışmalarında Doğu Anadolu Bölgesi illerinin ısıtma ve soğutma derece günlerinin hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda, 1990-2005 yılları sıcaklık ölçüm verilerini kullanarak her bir ilin 2 °C artışlarla 12-22 °C arasındaki taban sıcaklıkları için ısıtma derece günlerini ve 18-28 °C arasındaki taban sıcaklıkları için soğutma derece günlerini hesaplamışlardır. Meteorolojik sıcaklık verilerin kullanımını yanı sıra Erdem Işık ve ark. (2019) farklı meteorolojik parametreleri girdi değişkeni olarak kullanarak sıcaklık verilerini tahmin etmiş ve Türkiye için ısıtma ve soğutma derece günlerini hesaplamışlardır. Hesaplamalarda son 11 yılın meteorolojik verilerden faydalanarak sıcaklık değerlerini yapay sinir ağı (YSA) ve uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımları ile tahmin etmişlerdir. Ayrıca ısıtma derece günlerini hesaplamak için 16 °C ile 18 °C ve soğutma derece günlerinin hesaplamak için 22 °C ve 24 °C taban sıcaklıkları kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Ardahan ili için özellikle meteoroloji ve iklim verileri üzerinden rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji potansiyellerinin belirlenmesi ve enerji projeleri ile ilgili yapılacak fizibilite çalışmalarına destek vermek için veri sağlanmıştır.

Ardahan İli Maden ve Enerji Kaynakları

Türkiye'nin kuzey doğusunda yer alan Ardahan ilinde yaygın olarak volkanik kayalar yer almaktadır. Bunlar piroklastik kayalar ile andezit ve bazalt lavıdır. Bölgede maden yatağı olarak nitelendirilebilecek hammadde veya metalik maden oluşumu kaydedilmemiştir. Ancak yüzeydeki volkanik kayalar göz önüne alındığında pomza, kaolen, kil, perlit, bazı metalik oluşumlar elde edilebilir. Ayrıca Ardahan ili Posof ilçe sınırlarında linyit oluşumları bulunmaktadır (MTA, 2022).

TRA2 Bölgesi (Ağrı, Ardahan, Iğdır ve Kars) kapsamında Ardahan ili güneş enerjisi potansiyeli açısından Ağrı, Iğdır ve Kars illerinden sonra gelmektedir (Yeşil, 2015). İlin ortalama aylık toplam (global) ışınım değeri en yüksek Temmuz ayında (6.65 kWh/m²/gün), en düşük değeri ise Aralık ayındadır (1.23 kWh/m²/gün). İlin ortalama güneşlenme sürelerine bakıldığında en yüksek ve en düşük güneşlenme süreleri sırasıyla 8.94 h (saat) ile Ağustos ve 3.42 h ile Aralık aylarında gerçekleşmiştir (GEPA, 2022). Rüzgâr enerji potansiyeli bakımından Ardahan ilinin Çıldır ve Posof ilçelerinde dikkate

değer bazı bölgeler bulunmaktadır. Özellikle Çıldır gölü çevresinde 7 m/s kadar rüzgâr hızının olduğu tespit edilmiştir (Yeşil, 2015).

İlin su kaynakları ve potansiyeli yüzeysel sular ve yeraltı suları olmak üzere iki kısımda değerlendirilebilir. Yüzeysel su kaynakları olarak; Kür Çayı, Kayınlık Deresi, Türkmen Deresi, Hanak Çayı ve ülke dışına kadar uzanan sırasıyla 31.7 m³/s ve 6.97 m³/s debiye sahip Kura Nehri ve Posof Çayı'dır. Kura Nehri ve Posof Çayı hem sulama hem de enerji ihtiyacı alanında fayda sağlamaktadır. Yeraltı su kaynakları olarak; Binbaşak Fayının Kura Vadisi ile kesiştiği bölgelerde ve Susuz ilçesinin yaklaşık 10 km batısında kaplıca olma potansiyeline sahip jeotermal enerji kaynağı bulunmaktadır. Merkez ilçe sınırlarında Ur Köyü Maden Suyu, Çıldır ilçesi sınırlarında Öncül Köyü ve Deveboynu kaplıcaları, Göle ilçesi sınırlarında ise Göle Kaplıcası, Koruvenk Kaplıcası ve Göle Maden Suyu yer almaktadır (Ardahan Valiliği, 2022). Ardahan ilinin toplam su potansiyelinin 1383.26 hm³ kadarı yer üstü ve 79.48 hm³ kadarı ise yer altı su potansiyeli olarak belirlenmiştir (DSİ 24.Bölge Müdürlüğü, 2022).

Ardahan'da çeşitli bölgelerde hidroelektrik santralleri bulunmaktadır. Kura Nehri üzerinde bulunan Köroğlu Barajı ve Kotanlı hidroelektrik santrali (HES) 125.16 MWe kurulu güce sahip ve santralde 2020 yılı itibariyle yaklaşık 23 GWh elektrik üretimi yapılmıştır. Bir diğer HES santrali Çıldır ilçesinde Kura Nehri üzerinde bulunan ve 84.68 MWe kurulu güce sahip Kayabeyi Barajı ve Akıncı HES'dir. Bu santralde 2020 yılı itibariyle yaklaşık 197 GWh elektrik üretimi yapılmıştır. Ardahan ili Posof ilçesinde Posof Çayı üzerinde ise 11.16 MWe kurulu gücündeki Merekler Regülatörü ve Algölü HES bulunmaktadır. Hanak ilçesinde 8.78 MWe kurulu gücünde Hanak HES ve Posof ilçesinde Kazankaya Deresi üzerinde 6.13 MWe kurulu gücündeki Söğütükaya (Posof 3) HES yer alır (Enerji Atlası, 2022). Ardahan il sınırları içerisinde bugüne kadar tespit edilmiş herhangi bir petrol veya doğalgaz gibi fosil kökenli bir enerji kaynağı bulunmamıştır.

MATERYAL VE METOT

Ardahan İli için Meteoroloji ve İklim Verileri

Bölgenin iklimi, yüzey şekillerinin değişken ve yüksek olması nedeniyle genel olarak karasal olup, sert ve kar yağışlı uzun süren bir kış mevsimine sahiptir. Yılda ortalama 500 mm civarında yağış düşen ilde yıllık ortalama sıcaklık 5 °C'nin altında, kış aylarında ise -30 °C'nin altına düşmektedir (Ardahan İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2022).

İlin kuzey bölgelerinde Karadeniz iklimi etkin olup, bitki örtüsü de bu iklimi yansıtmaktadır. Bu bölgelerde bitki örtüsü ormanlık ve çalılıklardan oluşurken, daha iç kesimlerde çayır ve meralar hakimdir. Bölge yağış rejimi açısından kış mevsimi hariç diğer mevsimlerde özellikle Nisan, Mayıs ve Haziran ayları yağmurlu geçer. Ekim ayı ile birlikte başlayan kış mevsimi Mayıs ayı başlarına kadar devam etmektedir. Bölgede bulutluluğun çok olması iklimin genellikle serin geçmesinin başlıca sebeplerinden birisidir (Ardahan Valiliği, 2022).

İlin ilçelerinden birisi olan Göle'de ağır kış şartları hakimdir. Bu bölge Türkiye'de bulunan en soğuk yerlerden birisidir. Göle ovasının etrafı yüksek dağlarla çevrelenmiş olup kış mevsiminde hava sirkülasyonu yavaştır. Bu durum, soğuyan ve yoğunluğu artan havanın aşağıya doğru inmesine ve bölgenin dondurucu sıcaklıklara düşmesine sebep olur. Bu mevsimlerde, yeryüzünde bulunan bitki örtüsü donar. Çevresi dağlık bölge olan Posof ilçesinin iklimi ise Doğu Karadeniz ikliminin sert hali şeklindedir. Öyle ki, bu bölgenin iklimi mikroklima özelliğe sahip olup, en belirgin özelliği yağışlı olmasıdır. Yılın yarısında bol kar yağışlı kış mevsimi yaşanırken, ilkbaharda ve sonbaharda sisler oluşmaktadır. Yağmurun bolca görüldüğü yaz mevsiminde yağışlar ve bulutluluk, sıcaklığı doğrudan

etkilemektedir. İlkbahar tadında geçen yaz mevsimi neticesinde bölgede geniş ormanların varlığı kendiliğinden meydana gelmiştir (Ardahan İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2022).

Ardahan ili merkezi meteoroloji istasyonunda bazı gözlemlerin ölçümü 1958 yılından beri yapılmakta olup bazı meteorolojik verilerin ölçümüne ise daha sonraki yıllarda başlanmıştır. Yaklaşık 60 yılı aşkın süredir yapılan gözlem sonuçlarına göre, ilde ortalama en düşük sıcaklık Ocak ayında -16.6 °C ve ortalama en yüksek sıcaklık Ağustos ayında 24.6 °C olarak ölçülmüştür (MGM, 2022a).

BULGULAR VE TARTIŞMA

17046 numaralı Ardahan Merkez Meteoroloji istasyonu tarafından ölçümü yapılan 21 farklı iklim parametresinin uzun yıllar ortalama aylık ve yıllık değerleri belirlenmiş ve ölçüm periyotlarıyla birlikte Çizelge 1’de verilmiştir. Ölçümü yapılan meteorolojik verilerin aylık ortalama değerlerinin hesaplanmasında 1960’lı yıllardan günümüze kadar olan uzun yıllar ölçüm verileri kullanılmıştır. Uzun yıllar ölçüm periyodunda tüm yıllar için ilgili ayın ortalama değerleri toplanarak toplam yıl sayısına oranlanmıştır. Her bir iklim parametresi için kullanılan ölçüm periyotları ilgili konu başlığında verilmiştir. Ancak, henüz ölçümü yapılmadığından dolayı 2022 yılının son üç ayına (Ekim, Kasım ve Aralık) ait veriler hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Çizelge 1. İklim parametreleri ve ölçüm periyotları.

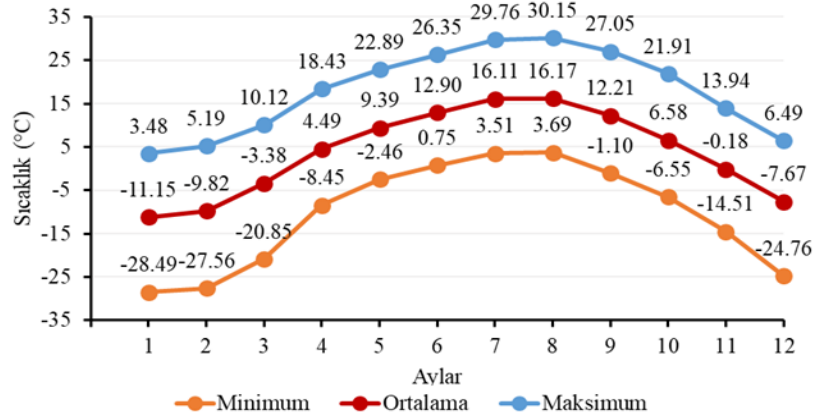
İklim Parametreleri	Ölçüm Periyotları
Maksimum sıcaklık ortalaması (°C)	
Minimum sıcaklık ortalaması (°C)	1961-2022
Ortalama sıcaklık (°C)	
Günlük toplam güneşlenme süresi (saat)	2003-2022
Aylık toplam güneşlenme süresi (saat)	
Açık gün sayısı	
Bulutlu gün sayısı	1961-2022
Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayısı	
Ortalama basınç (hPa)	1967-2022
Ortalama bağıl nem (%)	
Yağmurlu gün sayısı	
Maksimum yağış miktarı (kg/m ²)	1961-2022
Toplam yağış miktarı (kg/m ²)	
Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	1966-2022
Maksimum rüzgâr hızı (m/s)- Esm oranı (%)	
Kar örtülü ve kar yağışlı günler sayısı	1970-2020
5, 50 ve 100 cm ortalama toprak sıcaklıkları (°C)	1969-2022

Sıcaklık

Her bir gün için ölçülen sıcaklık değerlerinin toplamı aynı gün içinde yapılan toplam ölçüm sayısına oranlanmasıyla günlük sıcaklık ölçümü elde edilir. Bir ay boyunca elde edilen günlük sıcaklık ölçümlerinin toplamı toplam gün sayısına bölünmesiyle aylık ortalama sıcaklık değeri bulunur (MGM, 2022b).

Ardahan, Doğu Anadolu Bölgesi’nde en düşük sıcaklık ortalamasına sahip illerden birisidir. Öyle ki, ilin uzun yıllar sıcaklık ölçümlerine bakıldığında 21.01.1972 tarihinde -39.8 °C ile ilde termometreler en düşük sıcaklık değerini gösterirken, en yüksek sıcaklık değeri ise 35 °C ile 29.08.1988 tarihinde ölçülmüştür (MGM, 2022a). İlin uzun yıllar (1961-2022) ortalamasına göre aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü üzere, yıllık en yüksek ve en düşük sıcaklık ortalamaları sırasıyla 30.15 °C ile Ağustos ve -28.49 °C ile Ocak aylarında gerçekleşmektedir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde yıllık ortalama sıcaklık

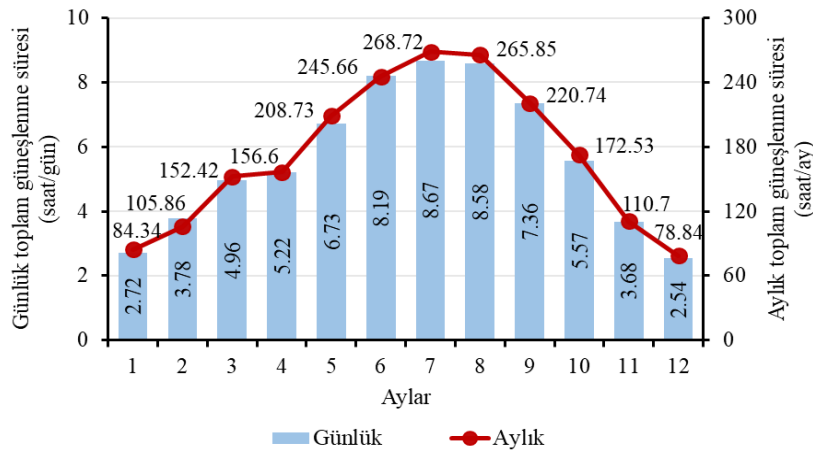
3.8 °C olarak bulunmuştur. Diğer yandan ilde en sıcak ay ortalaması Ağustos ayında 16.17 °C olup, en düşük sıcaklıklar Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla -7.67 °C, -11.15 °C ve -9.82 °C'dir.



Şekil 1. Ardahan ili için ortalama aylık sıcaklık değerleri (1961-2022)

Güneşlenme Süresi

Günün güneşli olan kısmına güneşlenme süresi denir. Bir gün boyunca ölçülen güneşlenme sürelerinin toplamının, aynı gün ölçülen değerlerin sayısına oranlanması ile günlük toplam güneşlenme süresi parametresi hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra herhangi bir ay için tüm günlerin ortalama güneşlenme süreleri toplanarak aylık toplam güneşlenme süresi elde edilmektedir (MGM, 2022b). Ardahan ili için günlük ve aylık toplam güneşlenme süreleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, ilin fark edilir bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. En yüksek güneşlenme sürelerinin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ve en düşük güneşlenme sürelerinin ise Aralık ve Ocak aylarında olduğu görülmektedir. Ardahan ilinin toplam güneşlenme süresine mevsimsel bazda bakıldığında ise en fazla güneşlenme süresi yaz mevsimi boyunca toplam 780.23 saat ve ilkbaharda ise 517.75 saat olmuştur. Yaz mevsimine kıyasla ilkbaharda güneş ışınlarından yaklaşık %51 oranında daha az faydalanılmaktadır.



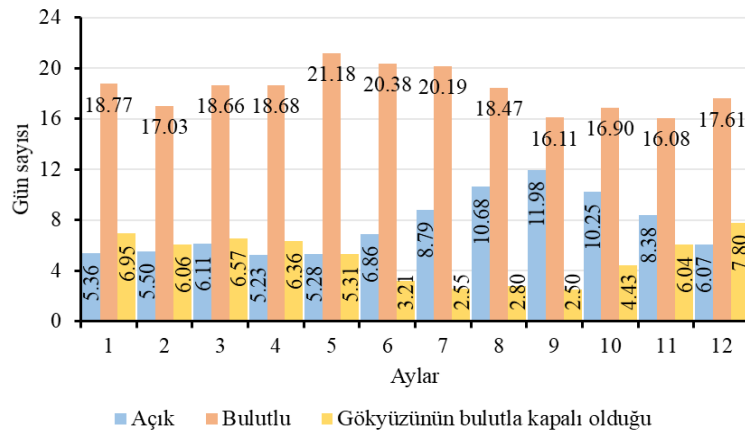
Şekil 2. Günlük ve aylık güneşlenme süreleri (2003-2022)

Açık ve Bulutlu Günler Sayısı

Bulutluluk durumu ilgili bölgenin kara-deniz oranı ve enlem derecesiyle ilişkilidir. Enlem derecesi artışına bağlı olarak bölgenin bulutluluk oranı da artmaktadır. Yeryüzünün ortalama bulutluluk değeri %50-%60 arasındadır. Bulutluluk değeri klimatolojik olarak incelenirken, 10 parçaya ayrılan gökyüzünün kaç parçasının kapalı olduğu tahmin edilir. Eğer gökyüzünün tamamı bulutla kaplı ise bu oran 10/10, yarısı kapalı ise 5/10 olarak ifade edilir. Bu yolla bir bölgenin bulutluluk durumu 3

farklı şekilde sınıflandırılır. Günlük ortalama bulutluluğun 10 üzerinden 0-1.9 arasında olduğu günlerin ortalama sayısı açık gün, 2-8 arasında olduğu günlerin ortalama sayısı bulutlu gün ve bulutluluğun 8.1-10 arasında olduğu günlerin ortalama sayısı ise kapalı günler olarak tanımlanır. Burada ortalama bulutluluk (0-10), gözlem saatlerinde belirlenen bulutluluğun aylık ve yıllık ortalaması olarak ifade edilmektedir. Diğer bir gözlem olarak sinoptik yaklaşımla incelendiğinde ise gökyüzü hayali olarak 8 kısımda değerlendirilir. Burada bulutluluk oranları 1/8, 4/8, 6/8 ve 8/8 olarak ifade edilir (Okuroğlu ve ark., 2015).

Ardahan ili için ortalama açık, bulutlu ve gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayılarının aylık ortalama değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında açık gün sayısı 10 günün üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra bulutlu günlerin sayısı en az sonbahar mevsimi ayları içerisinde olduğu görülmüştür. Bulutlu günlere ek olarak gökyüzünün tamamen bulutla kapalı olduğu günler ise yoğunlukla Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiştir. Yaz ve sonbahar aylarında açık gün sayısı en fazla olurken, bulutlu ve gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günlerin sayısı en azdır. Yıl boyunca aylık ortalama açık gün sayısı 7.54, bulutlu gün sayısı 18.34 ve gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayısı ise 5.05 gündür. Böylece yılın yaklaşık olarak 90 günü açık, 220 günü bulutlu ve bu bulutlu günlerin 61'inde de gökyüzünün bulutla kapalı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Aylık ortalama açık, bulutlu ve gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayısı (1961-2022)

Ortalama Bağlı Nem ve Basınç

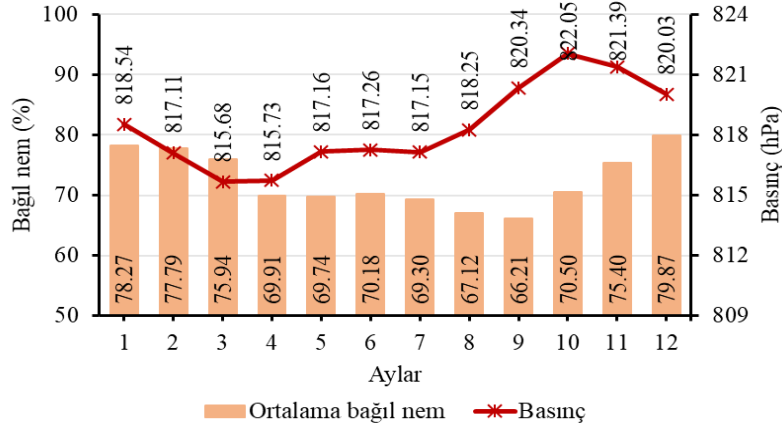
Aynı sıcaklık ve basınçta olmak üzere, hava içerisindeki su buharı miktarının havanın taşıyabileceği en yüksek su buharı miktarına oranlanmasıyla bağlı nem hesaplanabilir. Sıcaklıkla ters orantılı olan bağlı nem % olarak ifade edilir. Günlük ölçülen nem değerlerinin toplamı aynı gün içinde yapılan ölçüm sayılarına oranlandığında günlük ortalama nem değeri belirlenir. Bir ayın tüm günleri için elde edilen bu nem değerlerinin toplamı toplam gün sayısına bölündüğünde aylık ortalama nem elde edilmiş olur (MGM, 2022b).

Ardahan ili için aylık bağlı nem değerlerinin uzun yıllar (1967-2022) ortalaması Şekil 4'te verilmiştir. İlgili şekilden anlaşılacağı üzere kış aylarında aylık ortalama bağlı nem yüksek, yaz aylarında ise düşüktür. Aylık ortalama bağlı nem değeri %66.21 ile %79.87 aralığında olmak üzere yıl boyunca değişkenlik göstermiş olup yıllık ortalama bağlı nem değeri %75.52'dir. En düşük bağlı nem değerleri Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ölçülmüştür. Kış aylarında ise bağlı nem değeri %77'nin üzerindedir. Bu sonuç, bağlı nemin sıcaklıkla ters orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu desteklemektedir.

Hava basıncı atmosfer içerisindeki gazların yüzeylere uyguladıkları kuvvettir. Basınç sıcaklıkla yakından ilişkili olduğundan dolayı yoğunluktaki en ufak bir değişim basınç değerinin değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Sıcaklık dışında yükseklik, mevsim ve yerçekimi hava basıncını

etkileyen temel değişkenlerdir. Genel olarak Türkiye’de hava basıncı yükseltiye bağlı olarak 776-1026 mbar aralığında değişkenlik göstermektedir (Bakırcı ve ark., 2006).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan hava basınçları mbar (milibar) veya hPa (hektopascal) biriminde verilebilir (1 mbar = 1 hPa). Ardahan ili için aylık ortalama basınç değerlerinin uzun yıllar (1967-2022) ortalaması Şekil 4’te verilmiştir. Aylık ortalama basınç değerleri incelendiğinde bağıl nemle benzer bir davranış sergilendiği açıkça görülmektedir. Öyle ki, sonbahar ve kış aylarında basınç değerleri artarken, ilkbahar ve yaz aylarında düşüş eğiliminde olmuştur. En yüksek basınç değeri 822.05 hPa ile Ekim ayında ve en düşük basınç değeri ise 815.68 hPa ile Mart ayında ölçülmüştür. Yıllık bazda ortalama gerçek basınç değeri 818.39 hPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Aylık ortalama bağıl nem ve basınç değerleri (1967-2022)

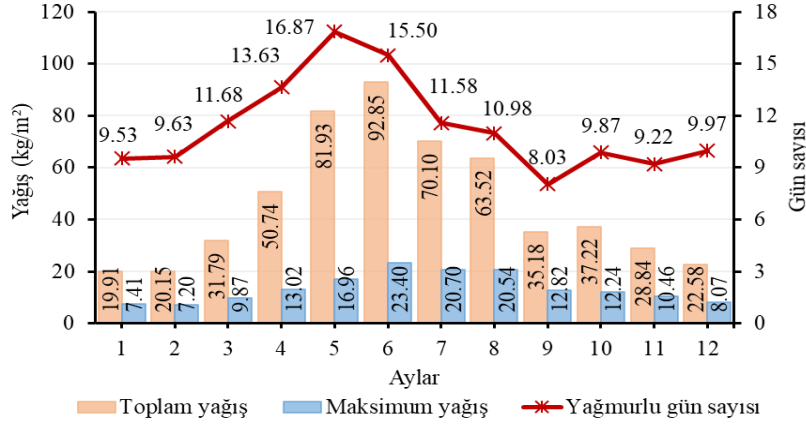
Yağış

Enerji çalışmalarında önemli bir parametre olarak karşımıza çıkan bir başka iklim parametresi yağıştır. Yağış meteorolojik olarak atmosferden düşen katı, sıvı ve sulu birikintiler için kullanılan bir terimdir. Yağış ölçümü plüviyometre cihazıyla kg/m^2 veya mm biriminde gerçekleştirilir. Günlük toplam yağış miktarı belirlenirken saat 06.01’den ertesi gün 06.00’a kadar olan zaman diliminde ölçülen toplam yağış miktarı dikkate alınır. Belirli bir ay için maksimum yağış miktarının tespit edilebilmesi için günlük toplam yağış değerlerinden en yüksek olanı seçilir. Ay içerisindeki tüm günlere ait yağış değerlerinin hepsinin toplanmasıyla aylık toplam yağış değeri elde edilir (MGM, 2022b).

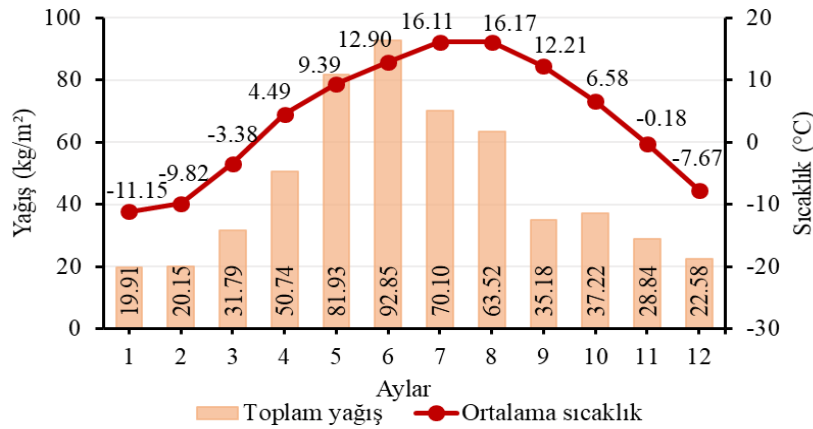
Ardahan ili için aylık yağışlı gün sayısı, maksimum ve toplam yağış değerlerinin uzun yıllar (1961-2022) ortalaması Şekil 5’te verilmiştir. Yağışlı gün sayılarının aylara göre dağılımı incelendiğinde ilkbahar ve yaz aylarının yılın en yağışlı dönemleri olduğu görülmektedir. Öyle ki, Mayıs ve Haziran aylarının yarısının ve yıl boyunca yaklaşık 136 günün yağışla geçtiği görülmüştür. Uzun yıllar ortalaması olarak aylık ortalama maksimum yağış miktarlarının yıllık toplamı 162.69 kg/m^2 , uzun yıllar ortalama aylık yağış miktarı 46.24 kg/m^2 ve yıllık toplam yağış miktarı 554.82 kg/m^2 olarak ölçülmüştür. Ardahan’ın aylık toplam yağış ortalaması Haziran ayında en fazla (92.85 kg/m^2), Ocak ayında ise en azdır (19.91 kg/m^2). Yağışların %40.82’si yaz, %29.64’ü ilkbahar, %18.25’i sonbahar ve %11.29’u kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Maksimum yağış ortalaması en düşük Şubat ayında 7.20 kg/m^2 ve en yüksek Haziran ayında 23.40 kg/m^2 ’dir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı Mayıs ayında en fazla ve Eylül ayında en azdır. Yağışlı gün sayısı Eylül ve Şubat ayları arasında 10 günün altına düşmektedir.

Yağış miktarı ve sıcaklık parametrelerinin yer aldığı grafiklere iklim diyagramları denir. Bu diyagramlar sayesinde ilgili bölgenin iklimi hakkında belirgin özellikler elde edilir (Karaoğlu, 2011). Ardahan ili için iklim diyagramı Şekil 6’da gösterilmiştir. Bölgenin yeterince yağış miktarına sahip

olduğu, hatta yağışsız herhangi bir ayın olmadığı Şekil 6'dan açıkça görülmektedir. Bölge iklimi tipik bir sıcaklık dağılımı göstermekte olup, yağış dağılışı sinüzoidal bir eğilime sahiptir. Yaz ayları serin olup, kış ayları soğuktur. İlgili şekilden, en az yağış miktarının gözlemlendiği ay ile en sıcak ay arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür.



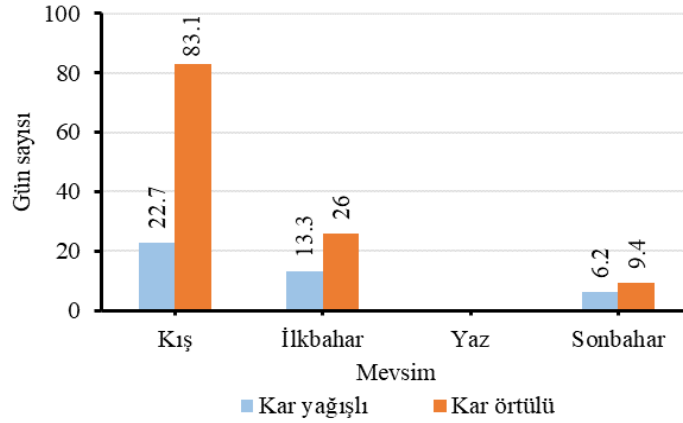
Şekil 5. Aylık ortalama yağmurlu gün sayısı, maksimum ve toplam yağış değerleri (1961-2022)



Şekil 6. Ardahan ilinin aylara göre yağış ve sıcaklık değerleri (1961-2022)

Kar Yağışı

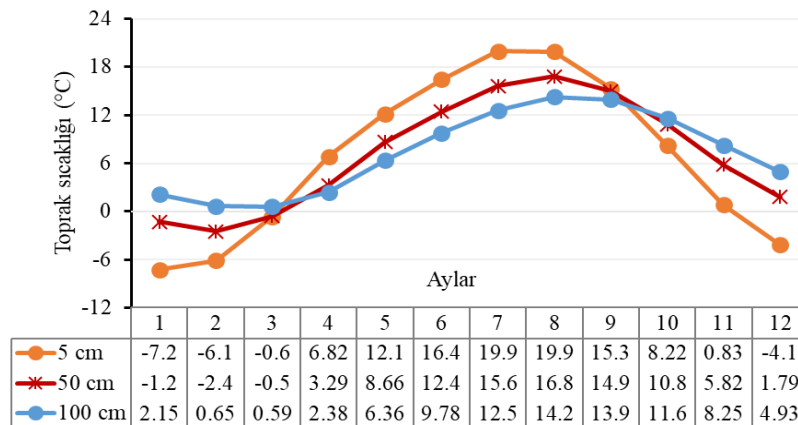
Kar yağışı donma noktasının altındaki sıcaklıklarda, genişleyen bulutların içinde meydana gelmektedir. Bulutların içerisinde aşırı soğumuş su damlacıkları ve buz kristalleri birlikte bulunabilirler. Aşırı derecede soğumaya başlayan su damlacıkları buz kristalleri ile etkileşim içerisine girerek donmaya başlar. Her bir damlacık bir diğer buz kristaline yapışarak büyümeye başlar ve böylece kar tanesi oluşur (MGM, 2022b). Ardahan ili için kar örtülü ve kar yağışlı günler sayısının uzun yıllar (1970-2020) ortalaması Şekil 7'de verilmiştir. Ardahan için kar örtülü günlerin aylara göre dağılımı incelendiğinde; kış mevsiminde en yüksek değere ulaştığı, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde anlamlı düşüşler olduğu görülmektedir. Ardahan ili yılın 118.4 günü boyunca kar örtüsü altında olup, bu sürenin %70.2'si yani 83.1 günü kış mevsiminde gerçekleşmiştir. En az karla örtülü günler ise %7.9 ile sonbahar mevsimindedir. Kar yağışlı günlerin sayısına bakıldığında kar yağışının ise yine kar yağışının en yoğun olduğu dönem yine %53.9 ile kış aylarıdır. Kış mevsimi boyunca toplam 22.7 gün kar yağışlı olarak geçmiştir. Kar yağışlı günlerin sayısında artış olmasına rağmen kar örtülü günlerin sayısı azalmıştır. Yıl boyunca ortalama 42 günün kar yağışlı geçtiği ilde, ilkbaharda 13.3 gün ile % 31.4 ve sonbaharda 6.2 gün ile % 14.7 oranında kar yağışının gerçekleştiği görülmüştür (Topuz ve Karabulut, 2021).



Şekil 7. Kar örtülü ve kar yağışlı gün sayısı ve % değerleri (1970-2020) (Topuz ve Karabulut, 2021)

Toprak Sıcaklığı

Gerçek toprak sıcaklıklarının belirlenmesi aşamasında hem toprak yüzeyinin farklı konumlarında hem de farklı derinliklerde sıcaklık ölçümlerinin yapılması gerekir. Bu yüzden temel araştırmalar için 0-100 cm aralığında değişen derinliklerde ölçümler yapılmaktadır. Ancak yapılan çalışmanın özelliği ve amacına göre sıcaklık ölçüm konumları ve derinlik profili değişkenlik gösterebilir (MGM, 2022b). Toprak sıcaklığının belirlenmesi enerji ve enerji teknolojisi açısından önemlidir. Çünkü toprakta depolanan ısı enerjisi güneşten yansıyan ışınımın emilmesi veya yansıtılması ile yakından ilişkilidir. Öyle ki, gelen güneş enerjisinin %80'ini koyu renge sahip toprak türleri ve %30 kadarını ise açık renkli topraklar tutulabilmektedir. Toprak tarafından depolanan bu enerji, toprak sıcaklığına bağlı olarak farklı yollarla (toprağın ısıtılması, suyun buharlaşması vb.) tekrar kaybedilir (Bakırcı ve diğerleri, 2006). Farklı derinlikte toprak sıcaklığının ölçülmesi ile hem zirai açıdan ilgili tarımsal ürünlerin gelişim süreçlerinin takip edilmesi hem de enerji çalışmalarında toprak altı uygulamalarda (ısı pompası, temiz su ve pis su tesisatlarının döşenmesi vb.) hesaplamaların yapılmasında yol gösterici olmaktadır. Toprak sıcaklığı verileri meteoroloji istasyonları tarafından ölçülmekte olup Ardahan ili için uzun yıllar ortalamasına (1969-2022) göre yüzeyden 5, 50 ve 100 cm derinliklerde ölçülen aylık ortalama toprak sıcaklıkları Şekil 8'de verilmiştir.



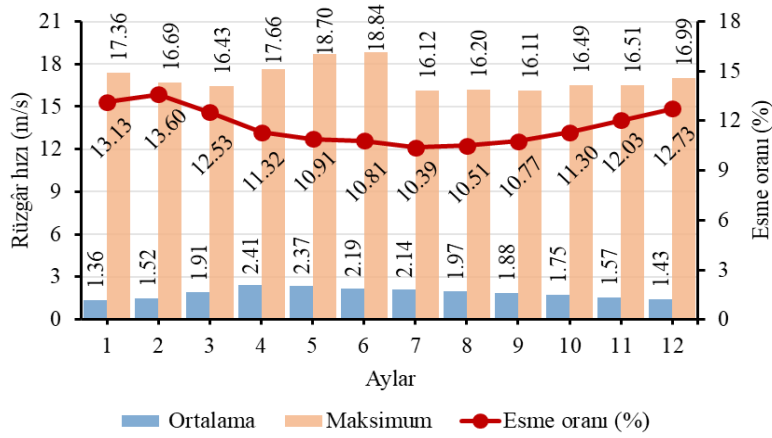
Şekil 8. Farklı derinlikteki (5, 50 ve 100 cm) aylık ortalama toprak sıcaklıkları (1969-2022)

Kış aylarında toprak sıcaklığı yüzeye yakın derinliklerde daha düşük iken, derinlik arttıkça toprak sıcaklığı eş zamanlı olarak artmıştır. En düşük ortalama toprak sıcaklığı 5 cm derinlikte -7.25 °C ile Ocak ayında, 50 cm derinlikte -2.40 °C ile Şubat ayında ve 100 cm derinlikte 0.59 °C ile Mart ayında olduğu görülmüştür. Öyle ki, 100 cm derinlikte yılın hiçbir ayında ortalama toprak sıcaklığı 0 °C'nin altına düşmezken, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında 5.0 °C'nin altına düşmüştür.

Yaz aylarında ise sıcaklığın yüksek olmasından dolayı toprak sıcaklığı tüm derinliklerde en yüksektir ve derinlik arttıkça ortalama toprak sıcaklığı düşmektedir. Hatta Ağustos ayında 5 cm toprak derinliğinde toprak sıcaklığı 19.94 °C iken, aynı ay için derinlik 100 cm'ye çıktığında toprak sıcaklığı yaklaşık %28 azalarak 14.28 °C'ye düşmüştür. Şekil 8 incelendiğinde Ardahan ilinde 5, 50 ve 100 cm derinliklerde yıllık ortalama toprak sıcaklık değerleri sırasıyla 6.79 °C, 7.16 °C ve 7.30 °C olarak hesaplanmıştır.

Rüzgâr Hızı

Rüzgâr, dünya yüzeyine yakın atmosferdeki havanın doğal yatay hareketleri olarak tanımlanır. Bölgeler arasında atmosfer basıncının değişmesinin bir sonucu olarak hava hareketleri meydana gelmektedir. Bu hareketleri tetikleyen bazı parametreler basınç, yerçekimi, merkezci ve sürtünme kuvvetleridir. Bu etken güçler altında yüksek ve alçak basınç bölgeleri arasında hava akımının yer değiştirmesine rüzgâr denir (Bakırcı ve ark., 2006; MGM, 2022b).



Şekil 9. Aylık ortalama ve maksimum rüzgâr hızları ile esme oranları (1966-2022)

Ardahan ili için uzun yıllar ortalamasına (1966-2022) göre aylık ortalama ve maksimum rüzgâr hızları ile esme oranları Şekil 9'da verilmiştir. Ortalama aylık rüzgâr hızının en az olduğu ay 1.36 m/s ile Ocak, en yüksek olduğu ay ise 2.41 m/s ile Nisan ayıdır. Yıllık ortalama rüzgâr hızı ise 1.88 m/s olarak hesaplanmıştır. İlkbahar ve yaz aylarında ortalama rüzgâr hızı daha kuvvetli iken kış aylarında en düşük değerlerdedir. Maksimum rüzgâr hızları incelendiğinde, en düşük rüzgâr hızının 16.11 m/s ile Eylül ayında ve en yüksek rüzgâr hızının 18.84 m/s ile Haziran ayında olduğu görülmektedir. Haziran ayında ölçülen maksimum rüzgâr hızı, yıllık ortalama rüzgâr hızının yaklaşık 10 katıdır. Bu sonuç bölgenin rüzgâr rejiminde hızlı esen rüzgârların varlığını göstermektedir.

Çizelge 2. Ardahan ili için iklim parametrelerinin uzun yıllar ortalama değerleri

İklim parametresi	Değer	İklim parametresi	Değer
Ortalama sıcaklık	3.80 °C	Ortalama bulutlu gün sayısı	18.34 gün
Ortalama bağıl nem	%75.52	Ortalama gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayısı	5.05 gün
Ortalama güneşlenme süresi	5.67 saat/gün	Ortalama toprak sıcaklığı- 5 cm	6.79 °C
Ortalama rüzgâr hızı	1.88 m/s	Ortalama toprak sıcaklığı- 50 cm	7.16 °C
Ortalama basınç	818.39 hPa	Ortalama toprak sıcaklığı- 100 cm	7.30 °C
Ortalama kar örtülü gün sayısı	118.4 gün	En sıcak gün	35 °C / (29.08.1998)
Ortalama kar yağışlı gün sayısı	42 gün	En soğuk gün	-39.8 °C / (21.01.1972)
Ortalama aylık yağış	46.24 mm	En yüksek kar yağışı	113 cm / (30.01.1968)
Ortalama yağmurlu gün sayısı	11.37 gün	Günlük toplam en yüksek yağış	75.8 mm / (06.07.2014)
Ortalama açık gün sayısı	7.54 gün	Günlük en yüksek rüzgâr hızı	36.5 m/s / (06.05.2009)

Ayrıca en düşük aylık esme oranının %10.39 ile Temmuz ayında, en yüksek esme oranının ise %13.60 ile Şubat ayında olduğu Şekil 9'dan açıkça görülmektedir.

Ardahan ilinin ortalama meteorolojik değerlerinin genel bir özeti Çizelge 2'de verilmektedir. Çizelge 2'de ayrıca Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından uzun yıllar boyunca yapılan ölçümler neticesinde belirlenen en sıcak gün, en soğuk gün, en yüksek kar yağışı, günlük toplam en yüksek yağış ve günlük en yüksek rüzgâr hız değerlerinin elde edildiği tarihler de verilmiştir (MGM, 2022).

SONUÇ

Ardahan Meteoroloji İstasyonu tarafından uzun yıllar ölçümü gerçekleştirilen 21 farklı iklim parametresinin (Çizelge 1) aylık ve yıllık değerlerinin genel ortalamaları belirlenmiştir. Ayrıca ilin iklim ve çeşitli enerji kaynaklarının incelemesi yapılmıştır. Ardahan genel olarak karasal iklim hâkim olup, sert ve kar yağışlı uzun süren kış mevsimine sahiptir. Ardahan ilinde toprak yapısı incelendiğinde volkanik kayaların hâkim olduğu ve Posof ilçesindeki linyit oluşumları dışında maden niteliğinde herhangi bir hammadde veya metalik maden yatağının olmadığı belirlenmiştir. Ardahan yıllık 3.80 °C'lik ortalama sıcaklık değeri ile Türkiye'de sıcaklık ortalaması en düşük olan iller arasında yer almaktadır. Yıllık en yüksek ve en düşük sıcaklık ortalamaları sırasıyla 30.15 °C ile Ağustos ve -28.49 °C ile Ocak aylarında gerçekleşmiştir.

Ardahan ilinin uzun yıllar ortalamasına göre günlük toplam güneşlenme süresi 5.67 saat/gün'dür. Güneş enerjisi potansiyeli bakımından Ardahan ili fark edilir bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. İlin toplam güneşlenme süresi mevsimsel bazda incelendiğinde en yüksek güneşlenme süreleri yaz aylarında olmakla birlikte, güneşlenme süresi yaz mevsimi boyunca toplam 780.23 saat ve ilkbaharda ise 517.75 saat olarak hesaplanmıştır. Açık günler sayısı Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında 10 günün üzerindedir. Bunun yanı sıra bulutlu günlerin sayısının en az sonbahar mevsimi ayları içerisinde olduğu görülmüştür. Ardahan'da yılın 90 günü açık ve yılın 220 günü ise bulutlu olup, bu değerlere göre il genelinde güneş enerjisi destekli sıcak su üretimi ve elektrik enerjisi üretimi sağlamak için çeşitli uygulamalar yapılabilir.

Ardahan ilinin bağıl nem değeri %75.52'dir. Türkiye'nin uzun yıllar (1970-2021) ortalama bağıl nem değeri %63.16'dır (MGM, 2022c). Ardahan nem bakımından Türkiye ortalamasının üzerindedir. Hava sıcaklığının düşmesine karşılık bağıl nem miktarı artmaktadır. Yaz aylarında bağıl nem değerleri düşük, hava sıcaklığının düşük olduğu kış aylarında ise yüksektir. Hava basıncı değerleri 815.68 ile 822.05 hPa arasında değişmekte olup, ilin yıllık ortalama basıncı 818.39 hPa'dır. En yüksek basınç 822.05 hPa ile Ekim ayında ve en düşük basınç 815.68 hPa ile Mart ayında kaydedilmiştir.

Ardahan su kaynakları bakımından geniş bir potansiyele sahiptir. Bölgede başta Kura Nehri ve Posof Çayı olmak üzere çok sayıda yer üstü su kaynağı bulunması neticesinde sulama ve enerji ihtiyacı açısından önemli birer kaynak olma özelliğini taşımaktadırlar. İlin yağışlı gün sayısı yıllık bazda ortalama 136.49 gündür. Uzun yıllar ortalama yağış miktarı yüksek olup aylık 46.24 ve yıllık 554.82 kg/m²'dir. Ardahan'ın aylık toplam yağış ortalaması en fazla Haziran ayında 92.85 kg/m², en az Ocak ayında 19.91 kg/m² olarak hesaplanmıştır. Yağışların %40.82'si yaz ve %29.64'ü ilkbahar mevsiminde gerçekleşmiştir. İlin yıllık ortalama yağış miktarı, Türkiye'nin uzun yıllar (1970-2021) yıllık yağış ortalaması olan 620.6 kg/m² değerinin altındadır (MGM, 2022c). İlin hidroelektrik santral kapasitesi incelendiğinde, Kura Nehri üzerinde bulunan 125.16 MWe ve 84.68 MWe kurulu güce sahip santrallerin dışında Posof Çayı üzerinde 11.16 MWe, Hanak ilçesinde 8.78 MWe ve Posof ilçesinde Kazankaya Deresi üzerinde 6.13 MWe kurulu gücünde santraller bulunmaktadır. Kar yağışlı gün sayısı yıllık ortalama 42 gün olup, ilin karla kaplı kaldığı gün sayısı 118.4 gündür. Bu sürenin %70.2'si olan 83.1 gün kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Ardahan ilinin aylık ortalama yağışlı gün sayılarına

bakıldığında ilkbahar ve yaz aylarının yılın en yağışlı dönemleri olduğu görülmektedir. Öyle ki, ilin kuzey bölgelerinde Karadeniz ikliminin etkin olması neticesinde yağış rejimi açısından bölgede Nisan, Mayıs ve Haziran ayları yağmurlu geçmektedir. Yağışlı gün sayısı ve toplam yağış miktarı verilerine göre bu durum il sınırları dahilinde hidroelektrik santrallerindeki su tutma potansiyelini artırarak elektrik üretimi için avantaj sağlayabilir.

Ardahan ilinde yüzeyden farklı derinliklerde ölçülen toprak sıcaklıklarının değerleri düşüktür. Kış aylarında, toprak sıcaklığı yüzeye yakın derinliklerde daha düşük olup, derinlik arttıkça sıcaklık artmıştır. Toprak sıcaklığı 100 cm derinlikte kış ayları ve ilkbaharın ilk aylarında 5.0 °C'nin altında iken, yılın hiçbir ayında 0 °C'nin altına düşmemiştir. Ardahan ilinde yıllık ortalama toprak sıcaklık değerleri 5, 50 ve 100 cm derinliklerde sırasıyla 6.79 °C, 7.16 °C ve 7.30 °C olarak hesaplanmıştır. İlin Susuz ve Göle ilçeleri yer altı su kaynağı kapsamında kaplıca olma niteliğinde jeotermal enerji kaynaklarını barındırmaktadır. Ayrıca merkez ve Göle ilçesi sınırları içerisinde maden suyu kaynakları bulunmaktadır.

Literatürde Ardahan'ın rüzgâr enerji potansiyeli incelendiğinde hız değerleri bakımından Çıldır ve Posof ilçelerinde dikkate değer rüzgâr hızının olduğu hatta Çıldır gölü çevresinde rüzgâr hızının 7 m/s kadar çıktığı tespit edilmiştir (Yeşil, 2015). İlin uzun yıllar ortalamasına göre yıllık ortalama rüzgâr hızı 1.88 m/s, maksimum rüzgâr hızı 17.01 m/s ve esme oranı %11.67'dir. Uzun yıllar ortalamasına göre aylık ortalama rüzgâr hızı en düşük 1.36 m/s ile Ocak ayında ve en yüksek 2.41 m/s ile Nisan ayında gerçekleşmiştir. İlkbahar aylarında rüzgâr hızı yüksek değerlere sahipken, kış aylarında düşük seviyelerde seyretmiştir. Haziran ayında ölçülen maksimum rüzgâr hızının yıllık ortalama rüzgâr hızının yaklaşık 10 katı olarak gerçekleştiği görülmüştür. Bu yüzden hesaplamalar ve literatürde verilen tespitler neticesinde özellikle Çıldır gölü çevresinde rüzgâr enerjisi sistemleri için çalışmalar yapılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada sunulan meteorolojik ve iklim verilerinin Ardahan ilinde yapılması planlanan enerji çalışmaları için gerekli teknik veri desteği sunarak katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma sayesinde bölgenin mevcut yer altı ve yer üstü kaynakları ile güneş ve rüzgâr gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılabilirliği noktasında farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, sağladıkları meteorolojik verilerden dolayı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ardahan İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2022). İklim Durumu. 22 Kasım 2022 tarihinde <https://ardahan.ktb.gov.tr/TR-55766/iklimi.html> adresinden erişildi.
- Ardahan Valiliği. (2022). Ardahan İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/ardahan_-cdr2021-20221019155628.pdf adresinden erişildi.
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M. ve Erdoğan, S. (2006). Erzurum İli Enerji Çalışmaları İçin İklim ve Meteoroloji Verileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 9(5), 19–26.

- Bakirci, K., Ozyurt, O., Karagoz, S. ve Erdogan, S. (2008). Variable-base degree-day analysis for provinces of the Eastern Anatolia in Turkey. *Energy exploration & exploitation*, 26(2), 111–132.
- Bolat, İ., Kara, Ö. ve Tok, E. (2017). Kastamonu, Karabük ve Bolu’da 1980-1999 ile 2000-2015 Yılları Arasındaki Sıcaklık ve Yağışın Değişimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 276–289.
- Cao, J., Li, M., Wang, M., Xiong, M., ve Meng, F. (2017). Effects of climate change on outdoor meteorological parameters for building energy-saving design in the different climate zones of China. *Energy and buildings*, 146, 65-72.
- Çelik, M. A., Kopar, İ. ve Bayram, H. (2018). Doğu Anadolu Bölgesi’nin Mevsimlik Kuraklık Analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1741–1761.
- DSİ 24. Bölge Müdürlüğü. (2022). Toprak ve su kaynakları. 4 Aralık 2022 tarihinde <https://bolge24.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/967> adresinden erişildi.
- Enerji Atlası. (2022). Ardahan Hidroelektrik Santraller. 6 Aralık 2022 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/> adresinden erişildi.
- Ercan, B. ve Yüce, M. İ. (2018). Kilis İli Aylık Sıcaklık ve Yağış Verileri Trend Analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(2), 947–953.
- Esen, F. (2022). Tunceli İklim Parametrelerine Ait Zaman Serilerinin Farklı İstatistiksel Analiz Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 7–22.
- Fant, C., Schlosser, C. A., ve Strzepek, K. (2016). The impact of climate change on wind and solar resources in southern Africa. *Applied Energy*, 161, 556-564.
- Ferguson, C. R., Pan, M., & Oki, T. (2018). The effect of global warming on future water availability: CMIP5 synthesis. *Water Resources Research*, 54(10), 7791-7819.
- GEPA. (2022). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. 4 Aralık 2022 tarihinde <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/75.aspx> adresinden erişildi.
- Gönültaş, H., Kızılaslan, H. ve Kızılaslan, N. (2020). Projections of the Effects of Climate Changes on Temperature Differences in Some Cities; Example of Ankara, Kars, Aydın and Sinop Provinces. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(10), 2148–2155.
- Işık, E. ve İnallı, M. (2018). Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems approaches to forecast the meteorological data for HVAC: the case of cities for Turkey. *Energy*, 154, 7–16.
- Işık, E., İnallı, M. ve Celik, E. (2019). ANN and ANFIS approaches to calculate the heating and cooling degree day values: The case of provinces in Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 7581–7597.
- İlker, A. ve Terzi, Ö. (2021). Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi: Çankırı ve Kastamonu Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. doi:10.21923/jesd.939707
- Karaoğlu, M. (2011). Zirai Meteorolojik Açından Iğdır İklim Etüdü. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 97–104.
- Kılıç, H. (2022). Çıldır Gölü Havzasında (Ardahan-Kars) Uygulamalı Klimatoloji. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Lionello, P., & Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18, 1481-1493.
- MGM. (2022a). Resmi İstatistikler. 19 Kasım 2022 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ARDAHAN> adresinden erişildi.

- MGM. (2022b). İklim İstatistikleri Metaverisi. 19 Kasım 2022 tarihinde https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/2022_iklim_metaveri.pdf adresinden erişildi.
- MGM. (2022c). Meteorolojik Parametrelerin Türkiye Analizi. 24 Kasım 2022 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=parametrelerinTürkiyeAnalizi> adresinden erişildi.
- MTA. (2022). Ardahan İli Maden ve Enerji Kaynakları. 4 Aralık 2022 tarihinde https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Ardahan_Madenler.pdf adresinden erişildi.
- MGM (2023). Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri. 18 Haziran 2023 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx> adresinden erişildi.
- Nacar, S., Şan, M., Kankal, M. ve Okkan, U. (2022). Farklı İklim Değişikliği Senaryoları için Doğu Karadeniz Bölgesindeki Meteorolojik Kuraklıkların Eğilim Analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 843–856.
- Okuroğlu, M., Yağanoğlu, A. V., Yardımcı, N. (2015). *Meteoroloji-1 (II. Baskı)*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi.
- Öztürk, M. ve Kılıç, H. (2018). Ardahan’da İklim Parametrelerindeki Değişimin Zamansal Analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (70), 37–43.
- Qiu, R., Li, L., Wu, L., Agathokleous, E., Liu, C., Zhang, B., ... & Sun, S. (2022). Modeling daily global solar radiation using only temperature data: Past, development, and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 163, 112511.
- Topuz, M. ve Karabulut, M. (2021). Doğu Anadolu Bölgesinde Kar Örtülü Gün ve Kar Yağışlı Günler Sayısının Eğilim Analizi (1970-2020). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26(46), 1–24.
- Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., ... & Jacob, D. (2014). The European climate under a 2° C global warming. *Environmental Research Letters*, 9(3), 034006.
- Yeşil, M. A. (2015). TRA2 Bölgesi Yeşil Enerji Kaynakları Sektör Raporu. <https://www.serka.gov.tr/store/file/common/1ba56b3e8a17a1657afe452e6c63740c.pdf> adresinden erişildi.
- Yılmaz Kafalı, F. (2013). Kuzeydoğu Anadolu’nun Yağış Rejimi Üzerine Bir Değerlendirme. 3rd International Geography Symposium-GEOMED 2013. Erişim adresi: <http://web.deu.edu.tr/geomed/proceedings/index.htm>
- Yoro, K. O., ve Daramola, M. O. (2020). *CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect*. In *Advances in carbon capture* (pp. 3-28). Woodhead Publishing.