

Ardahan ilinin meteorolojik verilerindeki değişimin istatistiksel olarak incelenmesi

Statistical investigation of change in meteorological data of Ardahan province

Galip KALTAKKIRAN* 

Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 75002, Ardahan

• Geliş tarihi / Received: 26.01.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2023

Öz

İnsan merkezli etkiler, sera gazları, fosil yakıt tüketimi, kentleşme ve tarım alanlarının yok edilmesi gibi etmenlerin çevre ve iklim değişikliği üzerindeki zararlı etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Tüm bu değişimler insan sağlığı, canlı türleri ve çevre üzerinde istenmeyen ve kalıcı etkiler oluşturabilmektedir. İklim değişiminin etkilerinin anlaşılması ve zararlı etkilerini azaltmaya yönelik gerekli öngörülebilir adımlar atılması noktasında bölgesel bazda iklim parametrelerinin analizi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Ardahan ilinin sıcaklık, yağış miktarı, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi gibi çeşitli iklim parametrelerindeki değişimleri analiz edilmiştir. Bu amaçla Ardahan Meteoroloji İstasyonu tarafından 2001-2021 yılları arasında ölçümü gerçekleştirilen iklim parametrelerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri incelenmiştir. Ayrıca iklim parametrelerine parametrik olmayan Mann Kendall ve Şen eğimi yöntemleri uygulanarak her bir parametrenin aylık, mevsimsel ve yıllık değerleri %5 istatistiksel anlamlılık düzeyine göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bölgenin sıcaklık değerlerinde artan yönde, ortalama yağış, bağıl nem ve ortalama rüzgâr hızı değerlerinde ise azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Böylece, bu çalışmada hem iklim değişiminin etkilerinin anlaşılması ve risklerin yönetilmesi hem de bölgede yapılması düşünülen ısı enerjisi projeleri için gerekli iklim verilerinin sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ardahan, İklim değişimi, Mann Kendall (MK), Şen eğimi, Trend analizi

Abstract

The harmful effects of factors such as human-induced effects, greenhouse gases, fossil fuel consumption, urbanization and destruction of agricultural lands on the environment and climate change are increasing day by day. All these changes can create undesirable and permanent effects on human health, living species and the environment. The analysis of climate parameters on a regional basis is very important in understanding the effects of climate change and taking the necessary predictable steps to reduce its harmful effects. This study analyzes changes in various climate parameters of Ardahan province, such as temperature, precipitation amount, wind speed and sunshine duration. For this purpose, the changes in the three-year averages of the climate parameters measured by Ardahan Meteorological Station between 2001-2021 are analyzed. In addition, non-parametric Mann Kendall and Sen slope methods are applied to climate parameters, and monthly, seasonal and annual values of each parameter are evaluated according to the statistical significance level of 5%. As a result, increasing trends in the temperature values of the region and decreasing trends in the average precipitation, relative humidity and average wind speed values are determined. Thus, this study aims to understand the impacts of climate change and manage risks, as well as to provide the necessary climate data for thermal energy projects planned to be carried out in the region.

Keywords: Ardahan, Climate change, Mann Kendall (MK), Sen's slope, Trend analysis

*Galip KALTAKKIRAN; galipkaltakkiran@ardahan.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Artan nüfus, sanayileşme ve değişen dünya düzeni gibi faktörler iklim değişiminin ve küresel ısınmanın önemli etkenleri arasında yer almaktadır. Değişen iklim koşullarının ülkemiz ve dünya üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve öngörülebilir sonuçları için gerekli tedbirlerin alınması oldukça önemlidir. Bu çerçevede iklim değişimine bağlı olarak; artan sıcaklık, ani yağışlar ve seller, azalan su kaynakları, tarımsal üretimin azalması ve yakın gelecekte şiddetlenerek artacağı düşünülen kuraklık sıkıntısı gibi muhtemel sonuçlar karşımıza çıkmaktadır (Turan, 2018). İklim değişikliğinin insan, ekosistem, sosyal ve ekonomik sektörler üzerindeki olumsuz etkilerinin iyileştirilmesi noktasında öncelikli olarak insan kaynaklı olan sera gazı salınımlarının azaltılması gerekmektedir (Türkeş, 2008).

İklim değişikliğinin etkilerinin yakından takip edilmesi ve değişimlerin analiz edilmesi amacıyla yürütülen çok sayıda çalışma arasında sıcaklık ve yağış parametrelerinin incelendiği ve genel eğilimlerin ne yönde olduğunun belirlenmesine yönelik araştırmalar oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Keskin vd., 2018; Oğuz & Oğuz, 2020; Ülke & Özkoca, 2018). Bu çalışmalar yıllık veya uzun yıllar arası periyotlarda ilgilenilen bölgenin sıcaklık ve yağış parametrelerinin zamanla değişimi hakkında bilgiler sunmaktadır. Bu amaçla literatürde Türkiye'nin çeşitli bölgelerine yönelik olarak çeşitli çalışmalar yer almaktadır (Acar vd., 2018; Gönencgil & İçel, 2010; Şen, 2014). Bu kapsamda Türkiye'nin Antalya bölgesinde iklim değişikliğinin etkilerinin anlaşılması üzerine ormanla ilişkili bir çok iklim parametresine trend analizleri uygulanmış ve bölgede yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerlerinde anlamlı seviyede artış yönünde eğilimler tespit edilmiştir (Fosso & Karahaliil, 2020). İklim değişikliğinin etkilerinin yeterli derecede anlaşılması hususunda çok uzun yıllar ölçümü yapılan yağış verilerine parametrik olmayan Mann Kendall ve Sen's eğimi trend analizleri uygulanarak uzun vadede tarımsal ve su kaynaklarının planlanması noktasında fayda sağlanması amaçlanmıştır (Kamal & Pachauri, 2019).

İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin etkilerinin anlaşılması amacıyla bölgesel olarak çeşitli iklim parametrelerinin değişimleri analiz edilmektedir. Bunların başında genellikle sıcaklık ve yağış değerlerindeki eğilimlerin belirlenmesi gelmektedir. Şanlıurfa bölgesi özelinde sıcaklık ve yağış parametrelerinin parametrik olmayan test metotlarıyla eğilimleri incelendiğinde bölgedeki bazı istasyonlarda yağış değerleri azalan eğilime sahip olduğu gözlenirken, tüm istasyonlarda ise sıcaklık eğilimlerinin artış yönünde eğilime sahip olduğu görülmüştür (Duman & İrcan, 2021). Benzer şekilde Çankırı ve Kastamonu illerindeki toplam 8 adet ölçüm istasyonunun 38 yıllık sıcaklık verilerine eğilim analizleri uygulanmış ve sıcaklık eğilimlerinin artış yönünde olduğu tespit edilmiştir (İlker & Terzi, 2021).

Meteoroloji istasyonları tarafından sürekli ölçümü gerçekleştirilen iklim parametrelerinin değişimleri incelenerek iklim değişiminin etkilerinin boyutları anlaşılabilir. Özellikle en belirgin göstergelerden birisi sıcaklık parametresidir. Akdeniz bölgesi Antalya ilindeki sıcaklık ve yağış değerlerindeki değişimler incelendiğinde, maksimum sıcaklık ortalaması genel olarak 2.4 °C artarken yağış indisleri azalma eğilime sahiptir (Durmuş vd., 2021). Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık durum analizine göre bölgedeki bazı iller için ciddi kuraklık beklentileri bulunmaktadır (Çelik vd., 2018). Bu illerden birisi olan Tunceli'de yıllık ortalama sıcaklık değerleri artarken, bağıl nem, rüzgâr hızı ve toplam yağış değerleri azalan eğilime sahiptir. Bu belirtilerin bölgenin gelecekte susuzluk ve kuraklıkla karşı karşıya kalacağı birer göstergesi olduğu söylenebilir (Esen, 2022). İç Anadolu Bölgesi dahilinde önemli bir bölge olan Sivas'da farklı istasyonlar tarafından ölçümü yapılan sıcaklık ve yağış parametrelerinin eğilimleri incelendiğinde neredeyse tüm istasyonların sıcaklık değerlerinde anlamlı düzeyde artan, bazı istasyonların yağış değerlerinde ise azalan yönde eğilimler görülmüştür. Öyle ki, Sivas Merkez istasyonun sıcaklık ölçüm değerlerinde ortalama 2 °C artış, yağış değerlerinde ise 10 mm kadar azalış tespit edilmiştir (Karakuş & Güler, 2022). Türkiye'nin önemli yüksek bölgelerinden birisi olan Ardahan ili kapsamında merkez meteoroloji istasyonunun 1961-2015 yılları arasında ölçümünü gerçekleştirdiği sıcaklık, yağış, bulutluluk, nem ve rüzgâr hızı parametrelerinin aylık ve yıllık değerlerinin eğilimleri istatistiksel olarak araştırılmıştır. Sıcaklık ve yağış verilerinde anlamlı düzeyde artış eğilimleri tespit edilirken, bulutluluk, nem ve ortalama rüzgâr hızı değerlerinde azalan eğilimler tespit edilmiştir (Öztürk & Kılıç, 2018).

Karadeniz Bölgesi'nin iklim parametrelerinin değişimleri araştırıldığında sıcaklık değerlerinde artan yönde bir eğilim görülürken, diğer yandan son yıllardaki yağışlar bölgenin yağış trendini değiştirmektedir (Tokgöz & Partal, 2020). İklim değişiminin Van Gölü Havzası üzerindeki etkilerine bakıldığında ise, genel olarak bölgede

maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde artışlar yaşanmaktadır (İrcan & Duman, 2022). Yeşilirmak Havzası'nda ise farklı gözlem istasyonları için akım kuraklık indeksleri trend analizi ile incelenmiştir. Çalışmada aylık ve yıllık olarak hidrolojik kuraklık değerlerinde artan yönde eğilimlerin olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı da kuraklık riskinin yönetilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır (Katipoğlu vd., 2022). Türkiye'de önemli havzalar arasında yer alan Sakarya Havzası'nda parametrik olmayan trend testleri ile 25 gözlem istasyonuna ait 1960-2000 yılları arasındaki toplam yağış verileri incelendiğinde istasyonların yarısında azalan eğilimler görülmektedir (Büyükyıldız & Berktaş, 2004). Diğer yandan, iklim parametrelerinin doğal ve beşerî coğrafya ile etkileşimlerinin anlaşılmasına çalışılması doğrultusunda iklim modellerinden faydalanılmıştır (Kılıç, 2022).

Değişen iklimin etkilerinin anlaşılması yanı sıra güncel meteorolojik veriler kullanılarak farklı bölgelere yönelik yapılması düşünülen çeşitli ısıl enerji çalışmalarını desteklemek adına iklim parametrelerine ait verilerin analizi gerçekleştirilmektedir (Bakırcı vd., 2006; Kaya, 2011). Çeşitli iklim parametreleri kullanılarak enerji çalışmalarında önemli bir yere sahip olan güneş ışınım şiddeti tahmini, Yapay Sınır Ağı (YSA) uygulamasına dayalı tahmin metodolojisi ile elde edilen tahmin değerleri ve gerçek ölçüm verileriyle olan kıyaslamaları istatistiksel olarak yapılmaktadır (Şeker, 2021). YSA metodu sayesinde güneşlenme değerlerine ait oluşturulan modellerin korelasyon katsayılarının tatmin edici düzeyde olması, benzer çalışmalar için bu metodu uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkarmaktadır (Kılıç & Kumaş, 2019). Bu doğrultuda, YSA modellerinin yanı sıra farklı iklim parametrelerinin tahmininde Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) metodları da kendilerine yer bulmaktadır (Gümüş vd., 2021).

Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli bir bölgesi olan Ardahan'da Merkez Meteoroloji İstasyonu tarafından 2001-2021 yılları arasında ölçülen 19 farklı iklim parametresine ait verilerin aylık ve yıllık değerlerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri ve parametrik olmayan trend analizi yöntemleri kullanılarak uzun yıllar aylık, mevsimlik ve yıllık genel eğilimleri detaylıca incelenmiştir. Böylece bu çalışma sayesinde hem çok sayıda iklim parametresine ait güncel meteorolojik verilerin değişimleri analiz edilerek eğilimleri tespit edilmiş hem de Ardahan ilinde yapılacak olan çeşitli ısıl enerji uygulamalarına ve yenilenebilir enerji üretim çalışmalarına veri desteği sunarak katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

2.1. Ardahan ilinin meteorolojik verileri

2.1. Meteorological data of Ardahan province

Ardahan 1800 m yükseklikte Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Kuzeydoğuda Gürcistan ve Ermenistan'ın bir kısmı, kuzeyde Acaristan Özerk Cumhuriyeti, güneybatıda Erzurum ili, güneyde ve güneydoğusunda Kars ili ve batısında ise Artvin ili yer almaktadır. Tam ortasından Kura Irmağı geçmekte olan Ardahan, Kuzeyde Yalnızçam dağları, kuzeydoğusunda Keldağ, güneyinde Kısır Dağ, güneybatısında Allahuekber dağlarının uzantıları ve doğusunda Akbaba Dağı ile çevrilidir (Ardahan Belediyesi, 2022; Ardahan Valiliği, 2022).

Bu çalışmada, Ardahan Merkez Meteoroloji istasyonu tarafından 2001 ve 2021 yılları arasındaki ölçümü gerçekleştirilen 19 farklı iklim parametresinin yıllık bazda ortalama değerleri hesaplanmıştır. 2001-2021 yılları arası ölçüm periyodu 3'er yıllık dönemlere ayrılarak her bir iklim parametresi için aylık veya yıllık ortalamaların hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve birbirleriyle kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bu incelemelerin yanı sıra tüm parametrelerin eğilimlerinin belirlenmesi noktasında parametrik olmayan trend testlerinden yaygın olarak kullanılan Mann Kendall ve Şen eğimi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Zaman serilerini analiz etmek için kullanılan bu yöntemler sayesinde iklim parametrelerinin değişimlerinde anlamlı eğilimlerin varlığı araştırılmıştır. Anlamlı eğilimlerin görüldüğü iklim parametrelerindeki lineer eğimler Şen eğimi yöntemiyle belirlenmiştir. Analizler Minitab programında her bir parametrenin aylık, mevsimlik ve yıllık değerleri için uygulanmış ve istatistiksel olarak anlamlı artış veya azalış yönünde eğilimlerin olup olmadığı incelenmiştir. Trend testi sonuçlarında istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı eğilimler değerlendirilmiştir. Mann Kendall Z değerinin 1.96'ya eşit veya daha büyük şartını sağlaması durumunda artan yönde anlamlı trendin olduğu ve -1.96'ya eşit veya daha küçük şartını sağlaması durumunda azalan yönde anlamlı trendin olduğu kabul edilmektedir. Z değerinin bu iki değer arasında olması istatistiksel olarak anlamlı

bir trendin olmadığını gösterir. Ölçümü yapılan meteoroloji istasyonuna ait bilgiler ve ölçülen tüm iklim parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İstasyon bilgileri ve iklim parametreleri
Table 1. Station information and climatic parameters

İstasyon	İstasyon no	Enlem	Boylam	Rakım (m)	Dönem	Toplam yıl
Ardahan	17046	41°10'	42°70'	1827	2001-2021	21
İklim parametreleri						
Yıllık ortalama maksimum sıcaklık (°C)				Ortalama bağıl nem (%)		
Yıllık ortalama minimum sıcaklık (°C)				Yağmurlu gün sayısı		
Yıllık ortalama sıcaklık (°C)				Maksimum yağış miktarı (kg/m ²)		
Günlük toplam güneşlenme süresi (saat/gün)				Toplam yağış miktarı (kg/m ²)		
Aylık toplam güneşlenme süresi (saat/ay)				Ortalama toprak sıcaklığı- 5 cm, (°C)		
Açık gün sayısı				Ortalama toprak sıcaklığı- 100 cm, (°C)		
Bulutlu gün sayısı				Ortalama rüzgâr hızı (m/s)		
Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayısı				Maksimum rüzgâr hızı (m/s)		
Ortalama basınç (hPa)				Aylık hâkim rüzgâr yönü ve ortalama hızı (m/s)		

3. Bulgular

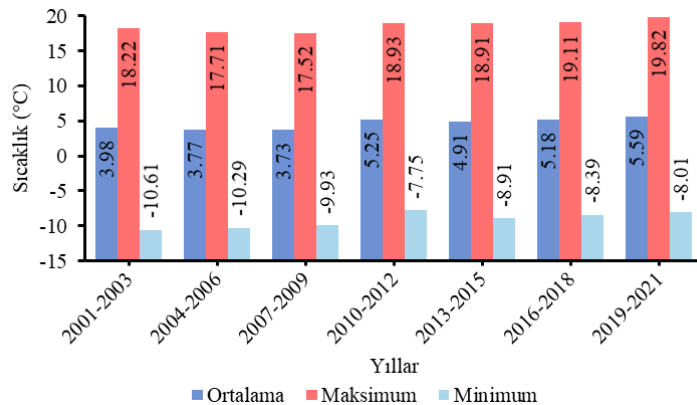
3. Results

3.1. Sıcaklık

3.1. Temperature

Temel ışık ve ısı kaynağı olan güneşten yayılan ışınlar sayesinde yeryüzü aydınlanır ve ısınır. Buldukları koordinatlara ve diğer bazı faktörlere bağlı olarak her bir bölgenin sıcaklığı değişkenlik göstermektedir. Bu sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi noktasında termometre adı verilen cihazlar kullanılır (MGM, 2022).

Ardahan ilinin maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık parametrelerinin 21 yıllık bir ölçüm periyodu için (2001-2021) üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 1’de verilmiştir. Sıcaklık değişimleri incelendiğinde, dönemsel olarak sıcaklık farklarının olduğu görülmektedir. 2001-2003 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değeri 3.98 °C olup, 2007-2009 dönemine kadar azalma eğilimi göstermiştir. 2007-2009 yıllarında en düşük ortalama değere sahip olurken, daha sonrasında 2021 yılına kadar ortalama sıcaklık değişimlerinde artan yönde bir eğilimin olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle 2019-2021 döneminde ortalama sıcaklık değeri son 21 yılın ortalamasına göre en yüksek değerine ulaşmıştır. 2007-2009 dönemine kıyasla 2019-2021 döneminde ortalama sıcaklık yaklaşık %49.9 artarak 5.59 °C değerine çıkmıştır.



Şekil 1. Yıllık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri

Figure 1. Annual maximum, minimum and average temperature values

Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerin değişimi incelendiğinde genel olarak sürekli bir artış eğilimi görülmektedir. 2001-2003 döneminde her üç sıcaklık parametresine ait değerler sırasıyla 18.22 °C, -

10.61 °C ve 3.98 °C iken, 2019-2021 döneminde bu değerler sırasıyla %8.78, %24.50 ve %40.45 artarak sırasıyla 19.82 °C, -8.01 °C ve 5.59 °C olarak hesaplanmıştır. Böylece iklim değişiminin ve küresel ısınmanın sıcaklık parametresi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Bölgede sıcaklık değişiminin takibinin yapılması; binalarda enerji verimliliği, farklı amaçlara yönelik kapalı alan projeleri için yalıtım kalınlığının belirlenmesi, seracılık gibi çeşitli zirai uygulamalar, kuraklık ve su kaynaklarının geleceğinin korunmasına yönelik çeşitli ısı enerjisi projeleri için önemli katkılar sağlayabilir.

Ardahan ili merkez meteoroloji istasyonundan 21 yıllık bir ölçüm periyodu için (2001-2021) alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık parametrelerinin Mann Kendall ve Şen eğimi test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tabloda her bir sıcaklık parametresinin aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin trend analiz sonuçları ve %5 önem düzeyinde gerçekleşen eğilimlerin yönleri detaylıca gösterilmiştir. Anlamlı eğilimlerin elde edildiği veriler koyu renklendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, maksimum sıcaklık verilerinde Haziran ayı, yaz mevsimi ve yıllık değerlerin 1.96’den büyük olmasından dolayı 0.05 düzeyinde anlamlı artan yönde eğilimlerin olduğu görülmektedir. Minimum sıcaklık verilerinde Ekim ve Aralık ayları, ilkbahar ve yaz mevsimi ile yıllık değerlerde artan yönde anlamlı eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışındaki değerlerde anlamlı bir eğilimin olmadığı tespit edilmiştir. Ortalama sıcaklık değerlerinin eğilim analizi sonuçlarında ise maksimum ve minimum sıcaklık verilerine kıyasla daha fazla sayıda anlamlı eğilimlerin olduğu görülmüştür. Öyle ki, Ocak, Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları, kış, ilkbahar ve yaz ayları ile yıllık değerlerde artan yönde eğilimler elde edilmiştir. Tüm sıcaklık parametrelerinde 0.05 düzeyinde anlamlı artış eğilimlerin gerçekleşmesi yanı sıra en kuvvetli artışların ortalama sıcaklık değerlerinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca eğilim yönü tayininde başvurulan Şen eğim değerleri MK-Z değerleri ile örtüşmektedir. Öyle ki, maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık parametrelerinin 0.05 düzeyinde anlamlı artan yönde eğilim değerleri arasında en büyük artış miktarı sırasıyla 0.219 °C/yıl ile Haziran, 0.40 °C/yıl ile Aralık ve 0.252 °C/yıl ile Ocak ayında gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Sıcaklık parametrelerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 2. Mann Kendall and Sen’s slope analysis results of temperature parameters

İklim parametresi	Maksimum sıcaklık		Minimum sıcaklık		Ortalama sıcaklık	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ocak	0.97	0.104	1.75	0.149	2.32*	0.252 ↑
Şubat	1.39	0.118	0.27	0.013	0.97	0.137
Mart	0.09	0.033	0.79	0.146	0.79	0.056
Nisan	1.75	0.155	1.87	0.209	1.39	0.100
Mayıs	1.90	0.135	1.72	0.156	2.96*	0.145 ↑
Haziran	3.29*	0.219 ↑	2.6	0.150	2.87*	0.131 ↑
Temmuz	1.91	0.150	1.24	0.078	2.36*	0.090 ↑
Ağustos	1.18	0.113	1.03	0.080	1.42	0.063
Eylül	0.54	0.044	-0.51	-0.045	0.81	0.041
Ekim	-0.63	-0.050	1.99*	0.200 ↑	0.24	0.017
Kasım	0.12	0.010	1.54	0.244	1.03	0.072
Aralık	0.63	0.093	2.06*	0.400 ↑	1.09	0.200
İlkbahar	1.75	0.132	2.24*	0.160 ↑	2.33*	0.111 ↑
Yaz	2.81*	0.166 ↑	1.97*	0.115 ↑	2.78*	0.100 ↑
Sonbahar	-0.12	-0.007	1.78	0.137	1.27	0.039
Kış	1.63	0.103	1.84	0.237	2.20*	0.175 ↑
Yıllık	3.42*	0.111 ↑	3.17*	0.165 ↑	3.11*	0.104 ↑

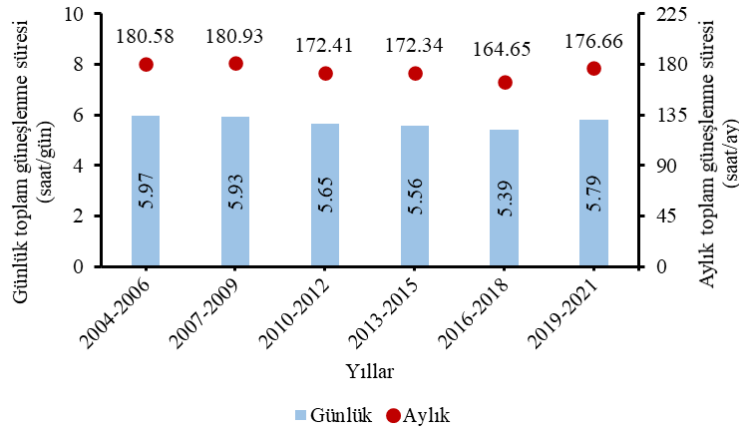
* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

3.2. Güneşlenme süresi

3.2. Sunshine duration

Önemli bir güneş enerjisi parametresi olan güneşlenme süresi enleme bağlı bir parametredir. Güneş ışınlarının süresi veya günün güneşli olan kısmının belirlenmesinde Helyograf denilen cihazlar kullanılır. Bu cihazlar ile güneşten gelen ışınlar bir diyagram üzerinde kaydedilir. Güneşlenme süresi, günlük toplam güneşlenme süresi

ve aylık toplam güneşlenme süresi olmak üzere ikiye ayrılır (MGM, 2022). Ardahan iline ait günlük ve aylık toplam güneşlenme sürelerinin 2004-2021 yılları arasındaki üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 2’de verilmiştir. Günlük toplam güneşlenme süresi 5.39-5.97 saat/gün ve aylık toplam güneşlenme süresi 164.65-180.93 saat/ay arasında değişmiştir. Güneşlenme sürelerinin değişimleri incelendiğinde 2004-2006 ve 2007-2009 dönemleri arasında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Genel olarak 2004-2006 döneminden başlayarak 2019-2021 dönemine kadar sürekli bir azalma eğilimi gösteren güneşlenme süreleri 2019-2021 döneminde tekrar yükselmeye başlamıştır. Öyle ki, günlük ve aylık toplam güneşlenme süreleri 2016-2018 döneminde sırasıyla 5.39 saat/gün ve 164.6 saat/ay değerinde iken, 2019-2021 döneminde bu değerler sırasıyla %7.42 ve %7.36 artarak 5.79 saat/gün ve 176.66 saat/ay değerlerine yükselmiştir. Güneşlenme süresi değerlerinin belirlenmesi neticesinde ilde çeşitli ısı projelere güncel veri desteği sağlanarak araştırmacı veya yatırımcılar için ön fizibilite çalışmalarına katkı sağlanabilir. Öyle ki, günlük güneşlenme süresinin 5 saatin üzerinde olması neticesinde il bazında güneş enerjisine yönelik projeler uygulanabilir. Bu kapsamda güneş enerjisi destekli ısıtma ve soğutma uygulamalarının yanı sıra elektrik üretimine yönelik sistem veya tesisler kurulabilir.



Şekil 2. Ortalama günlük ve aylık toplam güneşlenme süreleri
Figure 2. Average daily and monthly total sunshine durations

Ardahan’da 2001-2021 yılları arasında ölçülen aylık toplam güneşlenme süresi parametresinin trend analiz sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Toplam güneşlenme süresi verilerinin aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin trend analiz sonuçları incelendiğinde 0.05 düzeyinde anlamlı eğilimlerin olduğu değerler koyu renkle belirtilmiştir. Analiz neticesinde aylık toplam güneşlenme süresi MK-Z değerlerine göre Haziran ve Temmuz ayları ile yaz mevsiminde azalan yönde eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Burada tüm anlamlı eğilime sahip Z değerlerinin -1.96’dan küçük olması eğilimin azalan yönde gerçekleştiğini göstermektedir. Bunun dışındaki değerlerde anlamlı bir eğilim olmadığı görülmüştür. Eğilim yönünü gösteren Şen eğim değerleri bu sonuçları desteklemiştir. Şekil 2’de gösterilen ortalama günlük toplam güneşlenme süresi değerlerinin aylık bazda toplamı aylık toplam güneşlenme süresine eşit olduğundan dolayı Tablo 3’te sadece aylık toplam güneşlenme süresine ait eğilim sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3. Toplam güneşlenme süresinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 3. Mann Kendall and Sen’s slope analysis results of total sunshine duration

İklim parametresi	Toplam güneşlenme süresi	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ocak	-0.11	-0.067
Şubat	0.42	0.800
Mart	0.27	0.540
Nisan	0.23	0.438
Mayıs	-1.29	-1.983
Haziran	-2.12*	-3.220 ↓
Temmuz	-2.16*	-3.100 ↓
Ağustos	0.3	0.500
Eylül	-0.83	-1.257

Tablo 3. Devamı
Table 3. Continuing

İklim parametresi	Toplam güneşlenme süresi		
	Trend test	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ekim		0.08	0.187
Kasım		0.61	0.700
Aralık		-0.76	-0.844
İlkbahar		0.0	0.189
Yaz		-2.73*	-1.600 ↓
Sonbahar		-0.27	-0.180
Kış		-0.29	-0.308
Yıllık		-1.06	-0.567

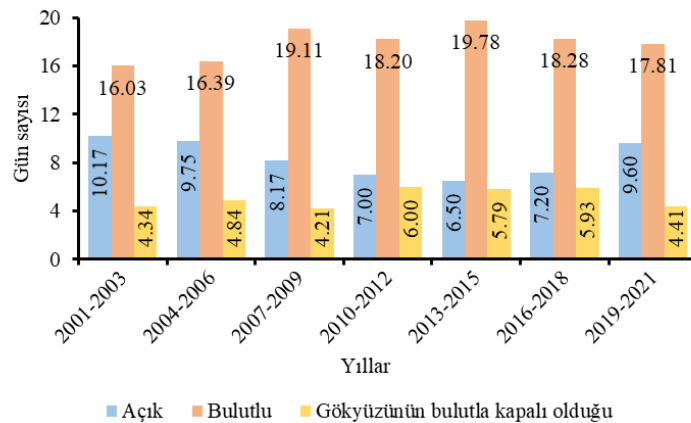
* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

3.3. Açık ve bulutlu günler sayısı

3.3. Clear and cloudy days

Bulutluluğun güneşlenme süresi ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Öyle ki, bulutluluk durumuna göre günlük sıcaklık gidışatında farklılıklar oluşabilir. Bulut yoğunluğunun yüksek olduğu zamanlarda yere gelen güneş ışınlarının azalmasından dolayı günlük maksimum sıcaklık değeri düşer. Aynı zamanda yerden atmosfere verilen ısı enerjisinin bulutlar tarafından tutularak atmosfer dışına çıkması engellendiği için günlük minimum sıcaklık değeri yükselir. Bir bölgedeki bulutluluk durumu o bölgenin enlem derecesiyle de ilişkilidir. Enlem derecesinde artan yönde bir değişim olması durumunda ilgili bölgenin bulutluluk oranı da artmaktadır. Bu bölgelerde özellikle yaz ayları biraz daha fazla olmakla beraber her mevsim bulutlu geçer. 0-10 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %53, 20-30 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %41, 40-50 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %56, 60-70 aralığında enlem derecesine sahip bölgelerde bulutluluk oranı %63'dür. Buradan anlaşıldığı üzere yeryüzüne ait ortalama bulutluluk değeri %50 ile %60 aralığındadır (Okuroğlu vd., 2015).

Ardahan ili için aylık ortalama açık, bulutlu ve gökyüzünün bulutla kapalı olduğu gün sayılarının 2001-2021 yılları arasındaki üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 3'te verilmiştir. Aylık ortalama açık gün sayısı 2001-2003 döneminde 10.17 gün iken, 2013-2015 döneminde %36.1 azalarak 6.5 güne kadar düşmüştür. Bu iki dönem arasında aylık ortalama açık gün sayısı ortalama değerleri sürekli azalma eğiliminde olmuş, ancak 2013-2015 döneminden sonra artan yönde değişim olmuştur. Yıllık bazda aylık ortalama bulutlu gün sayısının maksimum değeri 19.78 gün ile 2013-2015 döneminde gerçekleşmiş ve bu dönemden itibaren 2019-2021 dönemine kadar azalan yönde değişim göstermiştir. Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günlerin sayısı 2010-2012 dönemine kadar artan bir değişim sergilemiş ancak 2019-2021 döneminde 4.41 gün seviyesine kadar gerilemiştir. Açık gün sayısının son yıllardaki artışına bağlı olarak gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günlerin sayısında azalma yaşanmıştır.



Şekil 3. Aylık ortalama açık ve bulutlu günlerin sayıları
Figure 3. Monthly average number of clear and cloudy days

Uzun yıllar ölçüm periyodunda (2001-2021) aylık ortalama açık ve bulutlu gün sayılarının Mann Kendall testi ve Şen eğimi sonuçları Tablo 4 ile verilmiştir. Açık gün sayısına ait sonuçlar incelendiğinde 0.05 düzeyinde anlamlı olarak MK-Z değerinin -3.06 olduğu Haziran ayında azalan yönde bir eğilim görülmüştür. Bu aydaki kuvvetli eğilimin bir neticesi olarak yıllık bazda azalan yönde bir eğilim gerçekleşmiştir. Bununla birlikte açık gün sayısı ile aksi eğilim sergilemesi beklenen bulutlu gün sayısına ait istatistiksel test sonuçlarına bakıldığında Haziran ayında artan yönde kuvvetli bir eğilimin olduğu tespit edilmiştir. Açık ve bulutlu gün sayısına ait test sonuçları içerisinde sadece yaz mevsiminde artan yönde bir eğilimin olduğu görülmekle birlikte Şen eğimi sonuçlarının da tespit edilen eğilimlerle örtüştüğü görülmüştür.

Tablo 4. Açık ve bulutlu gün sayılarının Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 4. Mann Kendall and Sen's slope analysis results of clear and cloudy days

İklim parametresi	Açık gün sayısı		Bulutlu gün sayısı	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	0.89	0.08	-0.89	-0.155
Şubat	0.03	0.00	0.43	0.069
Mart	0.55	0.00	0.00	0.00
Nisan	-0.15	0.00	-0.15	0.00
Mayıs	-1.58	-0.185	1.22	0.191
Haziran	-3.06*	-0.539 ↓	3.63*	0.793 ↑
Temmuz	-1.51	-0.27	1.49	0.267
Ağustos	-1.22	-0.183	1.43	0.297
Eylül	-1.46	-0.323	1.36	0.279
Ekim	1.06	0.183	-0.82	-0.216
Kasım	0.15	0.00	0.06	0.00
Aralık	0.00	0.00	-0.06	0.00
İlkbahar	-1.21	-0.111	-0.67	0.095
Yaz	-1.93	-0.333	2.40*	0.436 ↑
Sonbahar	-0.06	-0.012	-0.09	0.00
Kış	-0.06	0.00	-0.06	0.00
Yıllık	-1.96*	-0.149 ↓	1.88	0.134

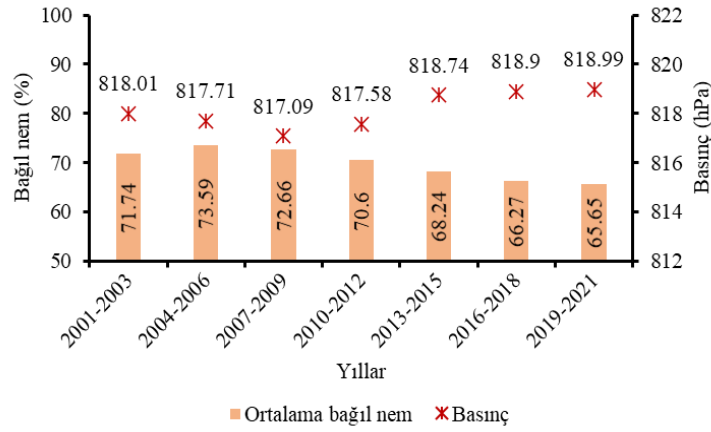
* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

3.4. Ortalama bağıl nem ve basınç

3.4. Average relative humidity and pressure

Havadaki su buharı miktarı nem olarak tanımlanır ve higrometre denilen bir cihaz yardımıyla ölçülmektedir. 1 m³ hava içerisindeki su buharının gram cinsinden ağırlığı mutlak nem olarak adlandırılır (MGM, 2022). Basınç ölçümü Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır ve birimi hPa (hektopascal) biriminde verilmektedir.

Ardahan iline ait 2001-2021 yılları arasındaki ortalama bağıl nem ve basınç değerlerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. İlin yıllık ortalama basınç değerlerine bakıldığında en düşük değer 2007-2009 yıllarını kapsayan dönemde elde edilmiştir. Dalgalı bir değişim izleyen basınç, 2001-2003 ve 2007-2009 dönemleri arasında azalmış ve daha sonrasında artan yönde bir eğilim göstererek en yüksek değerine 2019-2021 döneminde ulaşmıştır. Sonuç olarak, 21 yıllık zaman periyodunda, ilin yıllık ortalama basınç değeri genel olarak 818 hPa seviyelerinde kalmıştır. Yıllık ortalama bağıl nem değerlerinin değişimleri incelendiğinde, bağıl nem değerleri basınca kıyasla ters yönde bir eğilim göstermiştir. Ortalama bağıl nemin en yüksek değeri %73.59 ile 2004-2006 döneminde, en düşük değeri ise %65.65 ile 2019-2021 döneminde gerçekleşmiştir. 2004-2006 döneminden itibaren 2019-2021 dönemine kadar sürekli azalmıştır. Böylece 2004-2006 döneminden 2019-2021 dönemine kadar geçen zaman aralığında bağıl nem yaklaşık olarak %10.79 azalmıştır. Önemli birer iklim parametresi olan bağıl nem ve basınç verilerinin güncel değişimlerinin takip edilmesi çeşitli iklimlendirme sistemlerinin etkinliklerinin iyileştirilmesi noktasında katkı sağlayabilir.



Şekil 4. Aylık ortalama bağıl nem ve basınç değerleri
Figure 4. Monthly average relative humidity and pressure values

2001-2021 yılları arasında ölçülen Ardahan merkez istasyonuna ait bağıl nem parametrelerinin aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerine trend test analizleri uygulandığında tüm değerlerde azalan bir eğilimin olduğu gözlenirken Ocak, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim aylarında 0.05 düzeyinde anlamlı azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Diğer aylarda anlamlı eğilim bulunmazken, mevsimsel olarak kış hariç diğer mevsimlerde ve yıllık değerlerde azalan yönde eğilimler görülmüştür. Bağıl nem parametresinde en kuvvetli azalan eğilim değerleri aylık olarak Nisan ayı ve mevsimsel olarak ise ilkbahardır. Basınç parametresi değerlerinde ise Nisan, Mayıs ve Kasım aylarında artan yönde eğilimler %95 güven aralığında belirlenirken diğer aylarda anlamlı bir eğilim tespit edilmemiştir. Bununla birlikte ilkbahar, sonbahar ve yıllık değerlerde artan yönde eğilimler elde edilmiştir. Basınç değerlerinde en kuvvetli artış eğilimi ilkbahar ayında gerçekleşmiştir. Şen eğimi değerleri MK-Z değerlerini destekler nitelikte sonuçlar göstermiştir.

Tablo 5. Bağıl nem ve basınç parametrelerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 5. Mann Kendall and Sen's slope analysis results of relative humidity and pressure parameters

İklim parametresi	Bağıl nem		Basınç	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	-2.11*	-0.323 ↓	0.18	0.013
Şubat	-1.42	-0.227	1.66	0.193
Mart	-2.75*	-0.361 ↓	0.60	0.041
Nisan	-3.32*	-0.686 ↓	2.30*	0.159 ↑
Mayıs	-2.57*	-0.585 ↓	2.46*	0.109 ↑
Haziran	-2.60*	-0.527 ↓	1.63	0.054
Temmuz	-2.93*	-0.403 ↓	1.15	0.044
Ağustos	-2.69*	-0.650 ↓	1.61	0.076
Eylül	-1.69	-0.386	0.36	0.023
Ekim	-2.90*	-0.578 ↓	1.81	0.10
Kasım	-1.75	-0.265	2.06*	0.120 ↑
Aralık	0.00	0.000	1.42	0.109
İlkbahar	-4.08*	-0.631 ↓	3.18*	0.089 ↑
Yaz	-3.47*	-0.576 ↓	1.79	0.05
Sonbahar	-2.84*	-0.595 ↓	2.23*	0.092 ↑
Kış	-1.45	-0.184	1.91	0.109
Yıllık	-3.84*	-0.479 ↓	2.61*	0.083 ↑

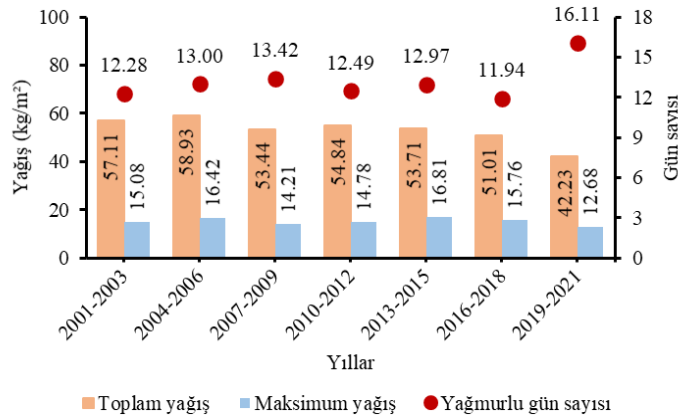
* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

3.5. Yağış

3.5. Precipitation

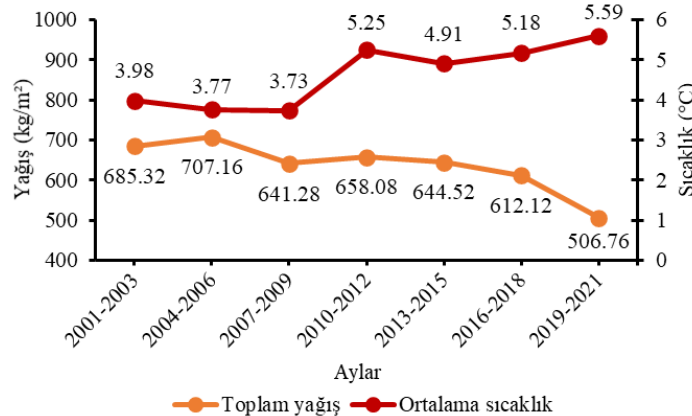
Ardahan ilinin 2001-2021 yılları arasında yıllık bazda aylık ortalama toplam yağış miktarı, maksimum yağış miktarı ve aylık ortalama yağmurlu gün sayılarının üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 5'te verilmiştir. En fazla toplam yağış miktarı 2004-2006 döneminde 58.93 kg/m^2 ve en fazla maksimum yağış miktarı 16.81 kg/m^2 ile 2016-2018 döneminde gerçekleşmiştir. Bu değerler 2019-2021 dönemine gelindiğinde sırasıyla %28.34 ve %24.56 azalarak 42.23 kg/m^2 ve 12.68 kg/m^2 seviyelerine gerilemiştir. Aylık ortalama yağmurlu gün sayısı genelde 11.94-13.42 gün aralığında olurken, 2019-2022 döneminde 16.11 güne kadar yükselmiştir. Bu dönemde yağmurlu gün sayısındaki artışa rağmen toplam ve maksimum yağış miktarları düşmüştür.

Ardahan'ın üçer yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış parametrelerinin değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Sıcaklık ve yağış değerlerinin birlikte incelendiği grafiklere iklim diyagramları denir. İklim diyagramı, ilgili bölgenin iklimi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Karaoğlu, 2011). Bu diyagram ile sıcaklık ve yağış değerlerinin değişimi incelenerek ilgili bölgeye dair iklimsel bilgiler elde edilebilir. Diyagram incelendiğinde, ilin yıllık toplam yağış değerlerinde genel olarak azalan bir eğilim yaşanırken, yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde artan yönde değişimler gözlenmektedir. Özellikle son 10 yıllık süreçte her iki parametrede önemli değişimler izlenmiş ve her üçer yıllık değişimlerde aradaki makas daha fazla açılmaya başlamıştır. 2016-2018 dönemine kıyasla 2019-2021 döneminde yıllık ortalama sıcaklık %7.91 artarken, yıllık ortalama toplam yağış miktarı %17.21 azalmıştır. Sonuç olarak, ilin ortalama yağış miktarlarında azalma kaydedilirken, ortalama sıcaklık değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Potansiyel kuraklık tehlikesinin habercisi olması bakımından önem arz eden bu durum, iklimsel değişimin ne denli etkin sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir. Ayrıca yağış miktarının değişiminin belirlenmesi yer altı ve yer üstü su kaynaklarının yanı sıra tarım alanlarının devamlılığı için tedbir alınması noktasında oldukça önemli bir bilgi verir. Ayrıca, bölgede yağış rejiminin eğiliminin güncel ölçüm verileriyle belirlenmesi, tarımsal faaliyetler için sulama projelerinde önemli bir rol alabilir.



Şekil 5. Aylık ortalama yağmurlu gün sayısı ve yağış değerleri

Figure 5. Monthly average number of rainy days and precipitation values



Şekil 6. Aylık ortalama toplam yağış ve sıcaklık değerleri

Figure 6. Monthly average total precipitation and temperature values

2001-2021 yılları arasındaki dönemde toplam yağış, maksimum yağış ve yağışlı gün sayısı değerlerinde meydana gelen değişimlerin üçer yıllık aralıklarla incelenmesinin yanında genel eğilimlerin tespit edilmesi için uzun dönem ölçüm verilerine uygulanan Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur. Toplam ve maksimum yağış verilerinin test analizi sonuçlarında sadece tek bir değerde 0.05 düzeyinde anlamlı azalan yönde eğilim olduğu görülmüştür. Azalan yönde gerçekleşen bu eğilimler, toplam yağış değerlerinde ilkbahar ve maksimum yağış değerlerinde ise yaz mevsiminde elde edilmiştir. Toplam yağışlı gün sayısı değerlerinin test sonuçlarına bakıldığında azalan yönde eğilimlerin Şubat ayında ve dolayısıyla kış mevsiminde gerçekleştiği görülmüştür. Diğer aylarda ve mevsimsel değerlerde istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde herhangi bir eğilim tespit edilmemiştir. Toplam yağış parametresinin Şen eğimi değerleri incelendiğinde 0.05 düzeyinde anlamlı tek eğilim olan ilkbahar mevsiminde 3.233 mm/yıl kadar bir azalma gerçekleşmiştir. Benzer şekilde toplam yağışlı gün sayısı parametresi için kış mevsiminde 0.5 gün/yıl ve maksimum yağış parametresi için yaz mevsiminde 0.357 mm/yıl azalma belirlenmiştir.

Tablo 6. Yağmurlu gün sayısı ve yağış değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 6. Mann Kendall and Sen's slope analysis results of rainy days and precipitation values

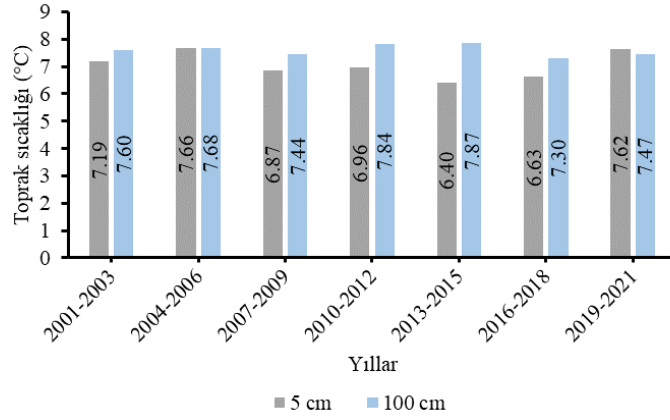
İklim parametresi	Toplam yağış		Toplam yağışlı gün sayısı		Maksimum yağış	
	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi - Trend
Ocak	0.94	0.731	0.46	0.028	0.91	0.205
Şubat	-1.0	-0.668	-2.62*	-0.286 ↓	-0.54	-0.096
Mart	-0.85	-0.729	-0.12	0	-1.09	-0.189
Nisan	-1.36	-1.306	-1.89	-0.25	-0.27	-0.1
Mayıs	-0.03	-0.242	0	0	0.06	0.023
Haziran	-0.88	-1.232	1.15	0.27	-1.48	-0.451
Temmuz	-1.0	-1.342	-0.58	-0.122	-1.18	-0.456
Ağustos	0.39	0.686	-0.24	0	0.51	0.214
Eylül	0.15	0.059	1.04	0.138	-0.73	-0.337
Ekim	-1.06	-0.866	-1.52	-0.216	-0.63	-0.193
Kasım	-0.45	-0.496	-1.46	-0.293	-0.15	-0.052
Aralık	-0.54	-0.35	-0.82	-0.125	0.42	0.061
İlkbahar	-2.20*	-3.233 ↓	-1.33	-0.275	-0.57	-0.18
Yaz	-0.94	-2.377	0.21	0.045	-2.08*	-0.357 ↓
Sonbahar	-1.12	-2.205	-1.39	-0.361	-0.57	-0.143
Kış	-1.6	-1.361	-2.70*	-0.50 ↓	0.39	0.030
Yıllık	-1.48	-7.308	-1.45	-0.938	-0.57	-0.083

* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

3.6. Toprak sıcaklığı

3.6. Soil temperature

Zirai ve ısıl enerji çalışmaları için oldukça önemli olan toprak sıcaklığı parametresinin ölçümü meteoroloji istasyonları tarafından yapılmaktadır. Ölçülen toprak sıcaklığı, ilgili bölgede yapılması düşünülen çeşitli yer altı ısıl enerji çalışmaları ile bitki veya ürün yetiştirilmesi gibi konularda önemli bir yönlendirme sağlar. Ardahan'da 2001-2021 yılları arasındaki ölçümü yapılan 5 ve 100 cm derinlikteki yıllık ortalama toprak sıcaklık değerlerinin üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. 5 cm derinlikte toprak sıcaklığı 2019-2021 döneminde artmaya başlamış ve ortalama 7.62 °C değerine ulaşmıştır. En düşük toprak sıcaklığı 6.40 °C ile 2013-2015 döneminde gerçekleşmiştir. 100 cm derinlikte en düşük toprak sıcaklığı 7.3 °C ile 2016-2018 döneminde, en yüksek toprak sıcaklığı 7.87 °C ile 2013-2015 döneminde gerçekleşmiştir. 5 cm derinlikten 100 cm derinliğe inildiğinde yıllık ortalama toprak sıcaklığı değeri artmaktadır. Genel olarak bakıldığında toprak sıcaklık değerlerinde dalgalı bir değişim gözlenmiştir. Bu ölçümler ile ilgili bölgede toprak sıcaklıkları belirlenerek toprak kaynaklı ısı pompası gibi ısıl projelerin verimlilikleri incelenebilir ve pratik uygulamaları yapılabilir. Bunu yanı sıra toprak sıcaklığındaki değişiminin incelenmesi çeşitli zirai uygulama projelerinde verimliliğin artırılması için önemli bir katkı sağlayabilir.



Şekil 7. Ortalama toprak sıcaklığı
Figure 7. Average soil temperature

Üçer yıllık değişimlerin incelenmesine ek olarak uzun yıllar ölçüm sonuçlarının tamamı ele alınarak genel eğilimi tespit edebilmek için ortalama toprak sıcaklıklarına uygulanan istatistiksel eğilim analizi sonuçları Tablo 7’de sunulmuştur. 5 ve 100 cm derinlikte ölçümü yapılan toprak sıcaklık değerlerinin aylık, mevsimlik ve yıllık analiz sonuçları anlamlı eğilimlerin yönleri ile birlikte verilmiştir. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinde yılın üç ayında (Aralık, Ocak ve Şubat) ve kış mevsimi değerlerinde 0.05 düzeyinde anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiş olup, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında azalan yönde eğilimler belirlenmiştir. Mevsimsel analiz sonuçlarına bakıldığında ilkbahar ve yaz mevsim değerlerinde yine azalan yönde bir eğilimin olduğu görülmüştür. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinde en kuvvetli azalan eğilimler Haziran ve Temmuz aylarındayken, geriye kalan diğer aylarda anlamlı seviyede eğilimlerin olmadığı gözlenmiştir. 100 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinde yılın iki ayında (Şubat ve Mart) ve kış mevsiminde artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Yılın beş ayında (Haziran ve Ekim arasında) ve yaz mevsimi değerinde azalan yönde eğilimler bulunurken, en kuvvetli eğilimler Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Yılın geriye kalan diğer beş ayında istatistiksel olarak anlamlı eğilimlerin bulunmadığı tespit edilmiştir. Şen eğimi ve eğilimlerin yönü Mann Kendall test sonuçlarıyla uyumludur. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinin Şen eğimi sonuçları incelendiğinde, anlamlı eğilimler arasında en büyük artış miktarının 0.27 °C/yıl ile Ocak ayında ve en büyük azalış miktarının 0.354 °C/yıl ile Temmuz ayında olduğu belirlenmiştir. 100 cm derinlikteki toprak sıcaklık değerlerinin Şen eğimi sonuçlarına göre anlamlı eğilimler arasında en büyük artış miktarı 0.107 °C/yıl ile Şubat ayında ve en büyük azalış miktarı 0.11 °C/yıl ile Ağustos ayında olmuştur.

Tablo 7. Ortalama toprak sıcaklığı değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 7. Mann Kendall and Sen’s slope analysis results of average soil temperatures values

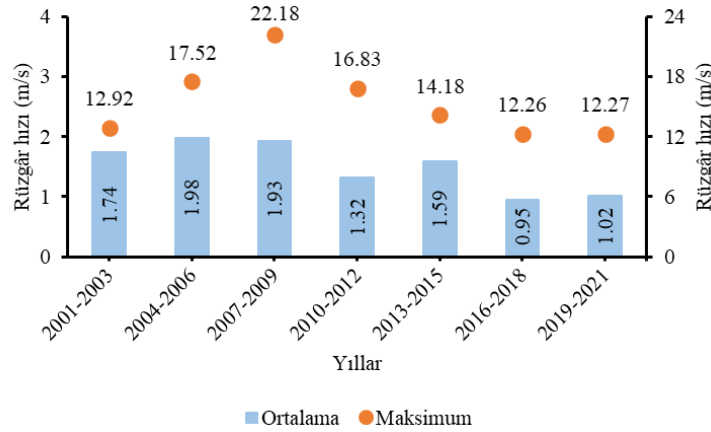
İklim parametresi	Toprak sıcaklığı (5 cm)		Toprak sıcaklığı (100 cm)	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	3.11*	0.270 ↑	1.90	0.065
Şubat	2.57*	0.185 ↑	2.66*	0.107 ↑
Mart	-1	-0.043	2.63*	0.094 ↑
Nisan	-1.51	-0.1	1.27	0.067
Mayıs	-2.78*	-0.160 ↓	-0.52	-0.014
Haziran	-3.50*	-0.300 ↓	-2.09*	-0.06 ↓
Temmuz	-3.84*	-0.354 ↓	-2.92*	-0.10 ↓
Ağustos	-1.75	-0.206	-3.24*	-0.11 ↓
Eylül	-1.33	-0.128	-2.12*	-0.06 ↓
Ekim	-1.42	-0.083	-2.09*	-0.06 ↓
Kasım	0.27	0.009	-0.61	-0.015
Aralık	2.51*	0.185 ↑	1.36	0.033
İlkbahar	-2.36*	-0.110 ↓	1.36	0.050
Yaz	-2.87*	-0.290 ↓	-2.96*	-0.092 ↓
Sonbahar	-1.03	-0.047	-1.78	-0.047
Kış	3.17*	0.236 ↑	2.51*	0.094 ↑
Yıllık	-1.08	-0.031	-0.36	-0.006

* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

3.7. Rüzgâr hızı

3.7. Wind speed

Ardahan'da 2001-2021 yılları arasında maksimum ve ortalama rüzgâr hızlarının üçer yıllık ortalamalarının değişimleri Şekil 8'de detaylıca gösterilmiştir. 2001-2003 döneminden itibaren belirgin bir şekilde yükselmeye başlayan yıllık ortalama maksimum rüzgâr hızı 2007-2009 döneminde 22.18 m/s ile en yüksek seviyesine geldikten sonra bu dönemden itibaren sürekli azalan bir seyir izlemiştir. Diğer yandan, en yüksek değerine 1.98 m/s ile 2004-2006 döneminde ulaşan yıllık ortalama rüzgâr hızı bu dönemden itibaren azalmaya başlamıştır. Yıllık bazda, hesaplanan ortalama rüzgâr hızı ve ortalama maksimum rüzgâr hızı değerleri 2007-2009 döneminde sırasıyla 1.93 m/s ve 22.18 m/s seviyelerinde iken, 2019-2021 döneminde sırasıyla %47.15 ve %44.68 oranında azalarak 1.02 m/s ve 12.27 m/s değerine kadar gerilemiştir. Rüzgâr hızı ve esme yönü değerlerinin belirlenmesi ve dönemsel değişimlerinin incelenerek takibinin yapılması, il genelinde muhtemel rüzgâr enerji santrali kurulumlarında katkı sağlaması bakımından önemli görülmektedir.



Şekil 8. Ortalama ve maksimum rüzgâr hızları
Figure 8. Average and maximum wind speeds

2001-2021 periyodu aralığında ölçülen ortalama ve maksimum rüzgâr hızı değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları Tablo 8'de detaylıca verilmiştir. Ortalama rüzgâr hızı parametresine uygulanan eğilim analiz sonuçlarına göre aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerin tamamında 0.05 düzeyinde anlamlı azalan yönde kuvvetli eğilimler tespit edilmiştir. Ortalama rüzgâr değerlerinde en kuvvetli eğilimlerin Nisan, Ekim ve Aralık ayları ile sonbahar mevsiminde gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte Şen eğimi değerleri de tüm değerlerde azalan eğilimlerin olduğunu desteklemektedir. Maksimum rüzgâr hızı değerlerinin test sonuçları incelendiğinde sadece yaz aylarında (Temmuz ve Ağustos) 0.05 düzeyinde anlamlı azalan eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ortalama rüzgâr hızı değerlerinin uzun yıllar değişimleri incelendiğinde yılın tüm aylarında azalan bir eğilimin olduğu açıkça söylenebilir. Aynı değerlendirme maksimum rüzgâr hızı için sadece yaz aylarına yönelik olarak yapılabilir. Şen eğimi sonuçlarının değerlendirilmesi yapıldığında, ortalama rüzgâr hızı parametresinin anlamlı eğilime sahip değerleri arasında en büyük azalma miktarının $0.068 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$ ile Mayıs ayında, en küçük azalma miktarının $0.033 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$ ile Ocak ayında olduğu tespit edilmiştir. Yıllık değerlerde $0.05 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$ azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca maksimum rüzgâr hızı parametresinin anlamlı eğilime sahip değerleri arasında en büyük azalma miktarının $0.034 \text{ ms}^{-1}/\text{yıl}$ ile Ağustos ayında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 8. Ortalama ve maksimum rüzgâr hızı değerlerinin Mann Kendall ve Şen eğimi analiz sonuçları
Table 8. Mann Kendall and Sen's slope analysis results of average and maximum wind speed values

İklim parametresi	Ortalama rüzgâr hızı		Maksimum rüzgâr hızı	
	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Ocak	-2.74*	-0.033 ↓	-0.54	-0.10
Şubat	-3.91*	-0.067 ↓	-0.76	-0.177
Mart	-3.77*	-0.058 ↓	-0.30	-0.106
Nisan	-4.12*	-0.064 ↓	-1.21	-0.15
Mayıs	-3.75*	-0.068 ↓	-0.91	-0.172

Tablo 8. Devamı
Table 8. Continuing

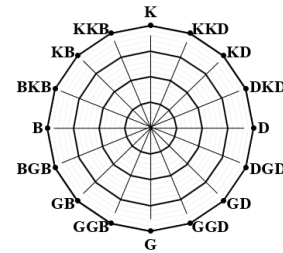
İklim parametresi	Ortalama rüzgâr hızı		Maksimum rüzgâr hızı		
	Trend test	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend	MK-Z değeri	Şen eğimi -Trend
Haziran		-3.15*	-0.063 ↓	-1.69	-0.266
Temmuz		-3.05*	-0.046 ↓	-2.12*	-0.30 ↓
Ağustos		-3.25*	-0.042 ↓	-2.21*	-0.34 ↓
Eylül		-3.52*	-0.057 ↓	-1.73	-0.15
Ekim		-4.04*	-0.067 ↓	-1.66	-0.34
Kasım		-3.58*	-0.061 ↓	-1.33	-0.331
Aralık		-4.15*	-0.040 ↓	-1.03	-0.207
İlkbahar		-3.96*	-0.059 ↓	-0.78	-0.160
Yaz		-2.60*	-0.052 ↓	-2.20*	-0.295 ↓
Sonbahar		-4.14*	-0.062 ↓	-1.78	-0.297
Kış		-3.97*	-0.045 ↓	-1.69	-0.292
Yıllık		-3.29*	-0.050 ↓	-1.90	-0.219

* 0.05 düzeyinde anlamlıdır. ↑ Artan trend, ↓ Azalan trend

Buraya kadar olan bölümde 2001-2021 yılları arasında ölçümü yapılan iklim parametrelerinin hem üçer yıllık ortalamalarının değişimleri incelendi hem de uzun yıllar aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin istatistiksel analizler ile değişimleri incelenmiştir. Bu bölümde ise aylık ortalama hâkim rüzgâr yönü ve ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 2000-2020 yılları arasında ölçülen beşer yıl aralıklı değerleri incelenmiştir. Tablo 9'dan görüldüğü üzere, 2000 yılında aylık hâkim rüzgâr yönü kış ve ilkbahar aylarında BKB, yaz aylarında ise KKB yönünde gerçekleşmiştir. 2005 yılının yaz ve sonbahar aylarında aylık hâkim rüzgâr yönü BKB olurken, 2010 yılının yaz ve sonbahar aylarında GD yönü olarak belirlenmişti. Diğer yandan, 2015 yılında yıl boyunca genellikle K ve BKB hâkim rüzgâr yön olarak gözlenirken, 2020 yılının kış ve ilkbahar aylarında BKB, yaz ve sonbahar aylarında ise K yönü hâkim yön olarak tespit edilmiştir. Ayrıca hâkim rüzgâr yönlerine karşılık gelen ortalama rüzgâr hızı değerleri incelendiğinde, yıllık ortalama rüzgâr hızı 2000 ve 2005 yıllarında 1.9 m/s, 2010 yılında 1.3 m/s, 2015 yılında 2.3 m/s ve 2020 yılında ise 1.1 m/s olarak elde edilmiştir.

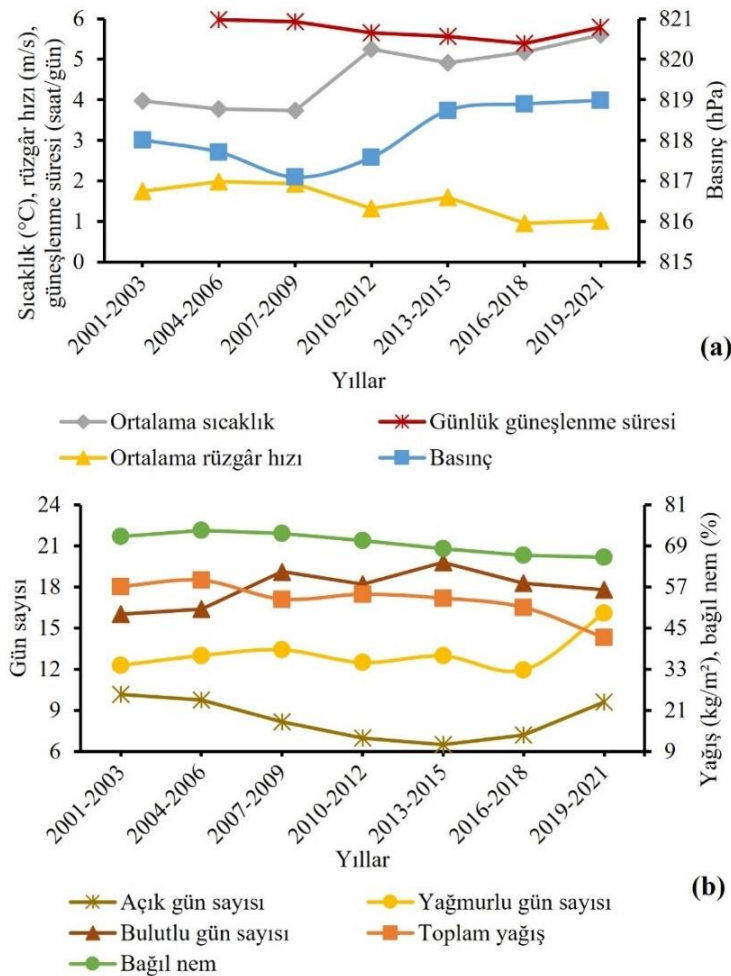
Tablo 9. Aylık hâkim rüzgâr yönü ve ortalama rüzgâr hızı (2000-2020)
Table 9. Monthly dominant wind direction and average wind speed

Aylar	2000		2005		2010		2015		2020	
	Yön	Hız (m/s)	Yön	Hız (m/s)	Yön	Hız (m/s)	Yön	Hız (m/s)	Yön	Hız (m/s)
1	BKB	1.5	KKB	1.0	GGD	1.2	B	0.9	B	1.0
2	BKB	1.2	KB	1.1	BKB	1.3	BKB	0.9	BKB	1.1
3	BKB	1.9	BKB	2.4	GD	1.9	BKB	1.4	BKB	1.2
4	BKB	2.2	KKB	2.8	BKB	1.6	GD	1.6	BKB	1.3
5	G	2.6	KKB	2.6	BKB	1.5	BKB	1.6	BKB	1.5
6	KKB	2.4	KKB	2.3	GD	1.4	DKD	7.0	KKD	1.3
7	KKB	2.2	BKB	2.2	GD	1.4	GB	9.2	K	1.1
8	KKB	2.2	BKB	1.6	GD	1.3	K	1.1	K	1.1
9	KKB	1.8	BKB	1.7	GD	1.3	K	0.9	K	1.0
10	GGD	1.6	BKB	2.2	GD	1.4	K	0.8	K	0.8
11	G	1.3	BKB	1.5	B	0.8	KKB	0.9	KB	1.0
12	G	1.3	BKB	1.1	GGD	0.9	K	0.9	KKB	0.7
Ortalama	-	1.9	-	1.9	-	1.3	-	2.3	-	1.1



Hazırlanan bu araştırmada doğru ve güncel ölçüm verileri kullanılarak rüzgâr hızı değerlerinin eğilimlerinin tespit edilmesi ve hâkim rüzgâr yönlerinin belirlenmesi sayesinde önemli kazanımlar elde edilebilir. Öyle ki, ilgili bölgede yapılması düşünülen binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik olarak rüzgâr etkinliğinin hesaplanması ile kayıp enerji değerlerinin belirlenmesi ve rüzgâr enerji santrallerinin kurulum çalışmaları için ihtiyaç duyulması halinde veri desteği sağlanması noktasında önemli katkıda bulunulabilir.

Bu çalışmada 2001-2021 yılları arasındaki ölçüm periyodu için Ardahan iline ait her bir iklim parametresinin üçer yıllık ortalamaları ve uzun yıllar ortalamalarının aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin değişim analizleri detaylıca irdelenmiştir. Şekil 9'da seçilen bazı iklim parametrelerinin değişimleri bir arada gösterilmiştir. Şekil 9.a'da ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, günlük güneşlenme süresi ve basınç parametrelerinin değişimleri ve Şekil 9.b'de açık, bulutlu ve yağmurlu gün sayıları, toplam yağış miktarı ve bağıl nem parametrelerinin değişimleri gösterilmiştir. Ortalama sıcaklık ve ortalama rüzgâr hızının değişimleri incelendiğinde iki parametrenin yıllar boyunca olan etkileşimleri belirgin bir şekilde zıt yönlerde ilerlemiştir. Öyle ki, sıcaklık değerlerinde artan yönde eğilimler gözlenirken, ortalama rüzgâr hızı değerlerinde azalan bir eğilim görülmektedir. Benzer bir değişim açık ve bulutlu gün sayıları arasında gerçekleşmiştir. Öyle ki, açık gün sayısında azalan yönde eğilimler ve bulutlu gün sayısında artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Bağıl nem ve günlük güneşlenme süresi değerlerinde azalan eğilimler, ortalama basınç değerlerinde artış eğilimleri gözlenmiştir. İklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden olan ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinde ise beklendiği üzere son yıllarda ortalama sıcaklık belirgin bir şekilde yükselirken toplam yağış değerlerinde ise azalan eğilimler tespit edilmiştir. Bu durum, olası kuraklık tehlikesinin derecesi hakkında önemli bir bilgi vermektedir. Yağmurlu gün sayısı ve yağış miktarı arasındaki etkileşim incelendiğinde her iki parametre de azalan yönde eğilim göstermiştir. Ancak bu parametrelerin üçer yıllık ortalamalarının değişim grafikleri incelendiğinde özellikle 2019-2021 döneminde yağmurlu gün sayısında artış yaşanmasına rağmen, yağış miktarı için aynı durum söz konusu olmamıştır.



Şekil 9. İklim parametrelerinin değişimi
Figure 9. Change of climate parameters

Ardahan ili iklim parametrelerinin dönemsel bazda değişimlerinin genel bir özeti Tablo 10'da verilmiştir. 2001-2021 yılları arası veri aralığında ölçümleri gerçekleştirilen 17 farklı iklim parametresi ait verilerin her üçer yıllık ortalamalarına ait değişimler birlikte bir bütün olarak incelenmesi ve anlaşılması amacıyla tek bir tabloda bütünleştirilmiş halde sunulmuştur.

Tablo 10. İklim parametrelerinin değişimlerinin özeti
Table 10. Summary of changes in climate parameters

İklim parametresi	Dönemsel bazda yıllık ortalamalar							
	2001	2004	2007	2010	2013	2016	2019	
	2003	2006	2009	2012	2015	2018	2021	
Maksimum sıcaklık (°C)	18.22	17.71	17.52	18.93	18.91	19.11	19.82	
Minimum sıcaklık (°C)	-10.61	-10.29	-9.93	-7.75	-8.91	-8.39	-8.01	
Ortalama sıcaklık (°C)	3.98	3.77	3.73	5.25	4.91	5.18	5.59	
Günlük güneşlenme süresi (saat/gün)	-	5.97	5.93	5.65	5.56	5.39	5.79	
Aylık güneşlenme süresi (saat/ay)	-	180.58	180.93	172.41	172.34	164.65	176.66	
Basınç (hPa)	818.01	817.71	817.09	817.58	818.74	818.9	818.99	
Bağıl nem (%)	71.74	73.59	72.66	70.6	68.24	66.27	65.65	
Açık gün sayısı	10.17	9.75	8.17	7.00	6.50	7.20	9.60	
Bulutlu gün sayısı	16.03	16.39	19.11	18.20	19.78	18.28	17.81	
Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günler	4.34	4.84	4.21	6.00	5.79	5.93	4.41	
Yağmurlu gün sayısı	12.28	13.00	13.42	12.49	12.97	11.94	16.11	
Toplam yağış kg/m ²	57.11	58.93	53.44	54.84	53.71	51.01	42.23	
Maksimum yağış kg/m ²	15.08	16.42	14.21	14.78	16.81	15.76	12.68	
Toprak sıcaklığı (5 cm, °C)	7.19	7.66	6.87	6.96	6.40	6.63	7.62	
Toprak sıcaklığı (100 cm, °C)	7.6	7.68	7.44	7.84	7.87	7.3	7.47	
Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	1.74	1.98	1.93	1.32	1.59	0.95	1.02	
Maksimum rüzgâr hızı (m/s)	12.92	17.52	22.18	16.83	14.18	12.26	12.27	

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada iklim parametrelerinin değişimleri iki aşamalı olarak irdelenmiştir. Öncelikle, Ardahan Meteoroloji İstasyonu tarafından 2001-2021 yılları arasında ölçümü gerçekleştirilen 19 farklı meteorolojik parametrenin (Tablo 1) üçer yıllık ortalamalarının değişimleri ayrı ayrı incelenmiştir. Ardından, tüm meteorolojik ölçüm parametrelerine parametrik olmayan Mann Kendall ve Şen eğimi metotları uygulanarak ölçüm verilerinde istatistiksel açıdan anlamlı eğilimler araştırılmıştır. Eğilim analizleri Minitab programında her bir parametrenin aylık, mevsimlik ve yıllık değerleri için uygulanmıştır. Böylece, Ardahan ilinde yapılması düşünülen ısıl enerji uygulamaları için veri kaynağı sağlanması ve bölgedeki iklim değişiminin eğilimleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Ardahan ilinin maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerinde artış yönünde değişimler görülmüştür. 2001-2003 dönemine kıyasla 2019-2021 döneminde maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla %8.78, %24.50, ve %40.45 oranında artmıştır. 2001-2021 ölçüm yılı aralığına uygulanan trend testi sonuçlarına göre maksimum sıcaklık verilerinin Haziran ayı, yaz mevsimi ve yıllık değerinde artış eğilimleri görülmüştür. Minimum sıcaklık verilerinde Ekim ve Aralık ayları, ilkbahar ve yaz mevsimi ile yıllık değerinde artış eğilimleri tespit edilmiştir. Ortalama sıcaklık parametresinin ilkbahar ve yaz ayları ile yıllık değerinde artan yönde eğilimler belirlenmiştir. Şen eğimi sonuçlarına göre ortalama sıcaklık parametresinin artan yöndeki eğilim değerleri arasında en büyük artış miktarı 0.252 °C/yıl ile Ocak ayında ve 0.104 °C/yıl ile yıllık değerinde görülmüştür.

Günlük güneşlenme süresi 2004-2006 döneminden 2016-2018 dönemine kadar sürekli bir azalma eğiliminde olurken, son üç yıllık ortalama kısmen bir artış göstermiştir. Aylık toplam güneşlenme süresi 2016-2018 dönemine kadar sürekli azalan yönde bir değişim sergilerken 2019-2021 döneminde bir miktar artmıştır. Toplam güneşlenme süresi verilerinin trend analiz sonuçları incelendiğinde Haziran ve Temmuz ayları ile yaz mevsiminde 0.05 anlamlılık düzeyinde azalan yönde eğilimin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Aylık ortalama açık gün sayısı ise 2001-2003 döneminden itibaren başlayarak 2012-2018 dönemine kadar sürekli azalma eğilimi göstermiş ve sonraki dönemlerde artmaya başlamıştır. 2013-2015 döneminde aylık ortalama bulutlu gün sayısı son 21 yılın en yüksek değerine ulaşmış ancak sonraki her üçer yıllık dönemde sırasıyla %7.58 ve %2.57 oranında azalmıştır. Gökyüzünün bulutla kapalı olduğu günler genellikle sürekli artan bir değişim sergilerken, 2019-2021 döneminde belirgin bir oranda azalma göstermiştir. Açık gün sayısı trend analizi sonuçlarına göre sadece Haziran ayında azalan yönde bir eğilim görülürken, bulutlu gün sayısı için Haziran ayında artış eğilimi elde edilmiştir. Diğer aylarda ise istatistiksel açıdan anlamlı eğilimler görülmemiştir.

21 yıllık ölçüm periyodu boyunca ilin yıllık ortalama basınç değeri 818 hPa seviyelerinde seyretmiştir. 2004-2006 döneminde %73.59 olan yıllık ortalama bağıl nem sürekli azalma eğilimine girerek 2019-2021 döneminde %10.79 azalarak %65.65 seviyesine kadar düşmüştür. Trend analiz sonuçlarına göre bağıl nem parametresi için yılın sekiz ayında azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Yıllık ve kış mevsimi hariç diğer mevsimlik periyotlarda da azalan yönde eğilimler görülmüştür. Basınç verilerinde Nisan, Mayıs ve Kasım aylarında artan yönde eğilimler belirlenirken diğer aylarda anlamlı bir eğilim tespit edilmemiştir.

İlde gerçekleşen en yüksek toplam yağış miktarı 2004-2006 döneminde olmuştur. Daha sonraki dönemlerde yağış miktarı sürekli azalma göstermiş ve 2019-2021 dönemine gelindiğinde %28.34 oranında azalma kaydedilmiştir. Diğer yandan ilin aylık ortalama yağmurlu gün sayısında azalmalar yaşanmış ancak 2019-2021 dönemine gelindiğinde ani bir artış göstererek son 21 yıllık süreçteki en yüksek değerine ulaşmıştır. Özellikle son 10 yıllık periyot için ilin yıllık toplam yağış değerlerinde azalmalar yaşanırken diğer taraftan yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde artan yönde değişimler gerçekleşmiştir. 2016-2018 döneminde toplam yağış miktarı 612.12 kg/m² seviyesinde iken, 2019-2021 döneminde %17.21 azalarak 506.76 kg/m² seviyesine kadar gerilemiştir. Trend testi sonuçlarına göre toplam yağış değerlerinde ilkbahar mevsiminde ve maksimum yağış değerlerinde ise yaz mevsiminde azalan yönde eğilimler belirlenmiştir. Toplam yağışlı gün sayısı parametresi için sadece Şubat ayı ve kış mevsiminde anlamlı düzeyde azalan eğilimler tespit edilmiştir. Şen eğimi sonuçlarına göre toplam yağış miktarı değerlerinin ilkbahar mevsiminde toplam 3.233 mm/yıl ve maksimum yağış miktarı değerlerinin ise yaz mevsiminde toplam 0.357 mm/yıl kadar azaldığı belirlenmiştir.

Yüzeye daha yakın noktada ölçülen yıllık ortalama toprak sıcaklığı 100 cm derinliğe inildiğinde artış göstermiştir. 5 cm derinlikte ki ortalama toprak sıcaklığı değerlerinde dalgalı bir değişim görülürken, yüzeyden 100 cm derinlikte iklimsel değişimlerin etkisi zayıflamakta ve ortalama toprak sıcaklık değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Öyle ki, trend testi sonuçları kapsamında, 5 cm derinlikte toprak sıcaklığı için yılın üç ayında azalan yönde ve üç ayında ise artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. 100 cm derinlikte sadece Şubat ve Mart ayları ile kış mevsiminde artan yönde eğilim gözlenirken, diğer beş aylık dönemde (Haziran ve Ekim aralığında) ve yaz mevsiminde azalan yönde eğilimler elde edilmiştir.

İlin rüzgâr hızı değerlerinin sürekli azalma eğiliminde olduğu ve özellikle en düşük ortalama rüzgâr hızlarının 2016-2018 ve 2019-2021 dönemlerinde olduğu belirlenmiştir. Aylık hâkim rüzgâr yönü 2000 ve 2005 yıllarında çoğunlukla BKB, 2015 ve 2020 yıllarında çoğunlukla K ile BKB ve 2010 yılında ise çoğunlukla GD olarak gerçekleşmiştir. Ortalama rüzgâr hızı parametresinin eğilim analiz sonuçlarına göre aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerin tamamında azalan yönde kuvvetli eğilimler tespit edilmiştir. Ancak maksimum rüzgâr hızı için sadece yaz aylarında azalan bir eğilim gözlenmiştir.

Sonuçta, ortalama sıcaklık ve ortalama rüzgâr hızı değerleri birbirlerinin aksi yönde eğilimler göstermiştir. Bağıl nem, açık gün sayısı ve günlük güneşlenme süresi değerlerinin aynı eğilimlere sahip olduğu görülmüştür. Gün geçtikçe küresel ısınma ile birlikte iklim değişikliğinin değiştirilemez etkileri kendisini daha belirgin bir şekilde göstermeye devam etmektedir. Zira ilin 21 yıllık ölçüm periyodu için iklim parametrelerinin yıllık değişimleri incelendiğinde, küresel ısınma ve iklim değişikliği birlikteliğinin sıcaklık değerlerinde belirgin bir artışa ve yağış miktarlarında kısmen de olsa azalmalara sebep olduğu söylenebilir.

Ayrıca iklim verilerinin analizleri ışığında hazırlanan bu çalışma binalarda enerji verimliliği, zirai uygulamalar, kuraklık ve su kaynaklarının geleceğinin korunmasına yönelik çeşitli ısı enerjisi projeleri, güneş enerjisi destekli elektrik üretimi ile ısıtma ve soğutma uygulamaları, iklimlendirme sistemleri ve rüzgâr enerjisi sistemleri gibi çok sayıda projelerin ortaya çıkarılmasında önemli katkılar sunabilir. Ayrıca bu çalışmayla birlikte iklim değişikliği konusunda yapılması düşünülen sonraki çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Teşekkür

Acknowledgement

Yazar, sağladıkları meteorolojik verilerden dolayı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

Yazar katkısı

Author contribution

Çalışmada bir başka yazarın katkısı yoktur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve /veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Acar, Z., Gönençgil, B., & Gümüšoğlu, N. K. (2018). Long-term changes in hot and cold extremes in Turkey. *Coğrafya Dergisi*, 37, 57–67. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2018-0002>
- Ardahan Belediyesi. (2022). *Ardahan hakkında*. (2022, 22 Kasım). <https://www.ardahan.bel.tr/ardahan-hakkinda>
- Ardahan Valiliği. (2022). *Ardahan'ın coğrafi konumu*. (2022, 22 Kasım). <http://ardahan.gov.tr/ardahan-in-cografik-konumu>
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M., & Erdoğan, S. (2006). Erzurum ili enerji çalışmaları için iklim ve meteoroloji verileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 9(5), 19–26.
- Büyükyıldız, M., & Berktaş, A. (2004). Parametrik olmayan testler kullanılarak sakarya havzası yağışlarının trend analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(2), 23–38.
- Çelik, M. A., Kopar, İ., & Bayram, H. (2018). Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1741–1761.
- Duman, N., & İrcan, M. R. (2021). Şanlıurfa ilinin yağış-sıcaklık eğilimleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 54, 515–536. <https://doi.org/10.53568/yyusbed.1052821>
- Durmuş, B., Bulut, İ., & Gönençgil, B. (2021). Antalya bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 78, 91–108. <https://doi.org/10.17211/tcd.1009270>
- Esen, F. (2022). Tunceli iklim parametrelerine ait zaman serilerinin farklı istatistiksel analiz yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 81, 7–22. <https://doi.org/10.17211/tcd.1151639>
- Fosso, L. C., & Karahalil, U. (2020). Some important parameters to display the effects of climate change on forest: a case study in Cerle planning unit, Antalya, Turkey. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 45–58. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.527802>
- Gönençgil, B., & İçel, G. (2010). Türkiye'nin doğu akdeniz kıyılarında yıllık toplam yağışlarda görülen değişimler (1975-2006). *Türk Coğrafya Dergisi*, 55, 1–12.
- Gümüş, V., Yeşiltaş, Y., & Şimşek, O. (2021). Yapay zekâ yöntemleri ile Adıyaman ve Diyarbakır istasyonlarının aylık tava buharlaşmalarının tahmin edilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 112–122. <https://doi.org/10.46810/tdfd.893630>

- İlker, A., & Terzi, Ö. (2021). Sıcaklık verilerinin trend analizi: Çankırı ve Kastamonu örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. <https://doi.org/10.21923/jesd.939707>
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası'ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 80, 39–52. <https://doi.org/10.17211/tcd.1079628>
- Kamal, N., & Pachauri, S. (2019). Mann-Kendall and Sen's Slope estimators for precipitation trend analysis in north-eastern states of India. *International Journal of Computer Applications*, 177(11), 7–16
- Karakuş, C. B., & Güler, Ü. A. (2022). Mann-Kendall trend analizi ile Sivas ilindeki sıcaklık ve yağış trendlerinin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.1104140>
- Karaoğlu, M. (2011). Ziraî meteorolojik açıdan Iğdır iklim etüdü. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(1), 97–104
- Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N., & Dalkılıç, H. Y. (2022). Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 422–442. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1026893>
- Kaya, M. (2011). Erzincan iklim ve meteoroloji verileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 34–42.
- Keskin, M. E., Çakto, İ., Çetin, V., & Bektaş, O. (2018). Doğu Anadolu Bölgesi sıcaklık ve yağış trend analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 294–300. <https://doi.org/10.21923/jesd.397353>
- Kılıç, B., & Kumaş, K. (2019). Burdur ili güneşlenme değerlerinin yapay sinir ağı metodu ile tahmini. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1)
- Kılıç, H. (2022). *Çıldır Gölü Havzası'nda (Ardahan-Kars) uygulamalı klimatoloji* [Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- MGM (2022, 19 Kasım). *İklim istatistikleri metaverisi*. https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/2022_iklim_metaverisi.pdf
- Oğuz, E., & Oğuz, K. (2020). Şanlıurfa ili yağış ve sıcaklık trend analizi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 5(1), 13–17.
- Okuroğlu, M., Yağanoğlu, A. V., & Yardımcı, N. (2015). *Meteoroloji-I* (II. Baskı). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi.
- Öztürk, M. ., & Kılıç, H. (2018). Ardahan'da iklim parametrelerindeki değişimin zamansal analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 37–43. <https://doi.org/19.17211/tcd.364239>
- Şeker, M. (2021). Yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak meteorolojik verilere dayalı solar radyasyon tahmini. *Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236920>
- Şen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635–642. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000811](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811)
- Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesi'nde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1107–1118. <https://doi.org/10.21597/jist.633368>
- Turan, E. S. (2018). Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.213247/dacd.357384>
- Türkes, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26–37
- Ülke, A., & Özkoca, T. (2018). Sinop, Ordu ve Samsun illerinin sıcaklık verilerinde trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 455–463. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.351294>