

İklim değişikliğinin buhar basıncı açığı ve yağışın günlük zamanlaması üzerindeki etkisi: Isparta örneği (2005–2024)

Mehmet S. Özçelik^a 

Öz: İklim değişikliği, küresel ölçekte sıcaklık, yağış ve buharlaşma süreçlerinde değişimlere yol açarak hem insan yaşamını hem de ekosistem işleyişini etkilemektedir. Akdeniz Bölgesi, bu değişimlerden en fazla etkilenen alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, Isparta ve çevresinde yer alan sekiz meteoroloji istasyonuna (Aksu, Eğirdir, Isparta, Senirkent, Sütçüler, Şarkikaraağaç, Uluborlu ve Yalvaç) ait 2005–2024 yılları arasındaki saatlik meteorolojik veriler kullanılarak, Buhar Basıncı Açığı (BBA) ve yağışın günlük zamanlamasında meydana gelen değişimleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Veriler, iki on yıllık döneme (2005–2014 ve 2015–2024) ayrılarak değerlendirilmiş; BBA ve yağışın gün içi dağılımları gündüz (06:00–18:00) ve gece (18:00–06:00) saat dilimleri için karşılaştırılmıştır. Senirkent istasyonu hariç tüm istasyonlarda, özellikle gündüz saatlerinde olmak üzere, ikinci on yıllık dönemde BBA değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar saptanmıştır. Öte yandan, yağışın saatlik zamanlamasında sınırlı ve istasyona özgü değişimler gözlenmiştir. Senirkent istasyonunda öğleden sonra 14:00 ve 16:00 saatlerinde yaklaşık 0.01 mm’lik artışlar kaydedilmiştir. Şarkikaraağaç istasyonunda sabah–öğle (06:00–14:00) saatleri arasında yağış miktarı 0.03–0.05 mm arasında yükselmiştir. Uluborlu istasyonunda 10:00, 14:00 ve 15:00 saatlerinde artışlar belirlenmiş, en belirgin artış ise 15:00’te 0.05 mm olmuştur. Yalvaç istasyonunda ise öğleden sonra 17:00–23:00 saatleri arasında yaklaşık 0.01 mm düzeyinde artışlar görülmüştür. Ancak bu değişimler bölgesel ölçekte tutarlı bir eğilim göstermemiştir. Çalışma bulguları, artan BBA’nın bölgede buharlaşma potansiyelini yükselttiğini ve buna bağlı olarak yağışın hidrolojik etkinliğini azalttığını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Doygunluk açığı, Meteorolojik gözlemler, Yağış zamanlaması

Impact of climate change on the diurnal distribution of vapor pressure deficit and precipitation: A case study from Isparta (2005–2024)

Abstract: Climate change alters temperature, precipitation and evaporation processes on a global scale, affecting both human life and ecosystem functioning. The Mediterranean region is considered one of the most vulnerable areas to climate change. This study investigates the impacts of climate change on vapor pressure deficit (VPD) and the diurnal timing of precipitation using hourly data from eight meteorological stations in Isparta Province (Aksu, Eğirdir, Isparta, Senirkent, Sütçüler, Şarkikaraağaç, Uluborlu, and Yalvaç) between 2005 and 2024. The dataset was divided into two decades (2005–2014 and 2015–2024) and changes in the diurnal patterns of VPD and precipitation were evaluated separately for daytime (06:00–18:00) and nighttime (18:00–06:00) periods. Results showed statistically significant increases in VPD during the second decade at all stations except Senirkent, with the most pronounced changes occurring during daytime hours. In terms of precipitation, only localized and station-specific shifts were observed. At Senirkent, increases of about 0.01 mm were recorded in the afternoon at 14:00 and 16:00. At Şarkikaraağaç, precipitation increased by 0.03–0.05 mm during the morning to midday hours (06:00–14:00). At Uluborlu, increases were identified at 10:00, 14:00, and 15:00, with the most pronounced increase of 0.05 mm at 15:00. At Yalvaç, increases of about 0.01 mm were observed between 17:00 and 23:00. Overall, the findings indicate that increasing VPD has enhanced evaporative demand in the region, which in turn may reduce the hydrological effectiveness of precipitation.

Keywords: Atmospheric evaporative demand, Meteorological observations, Rainfall timing

1. Giriş

Sanayi Devrimi’nden bu yana insan faaliyetleriyle artan sera gazı emisyonlarının, sanayi öncesi döneme kıyasla iklimde önemli değişikliklere yol açtığına dair çok sayıda bilimsel kanıt bulunmaktadır (Oreskes, 2004; Forster vd., 2024; Ali vd., 2022). İklim değişikliği; küresel sıcaklık artışları, buharlaşma süreçlerinde hızlanma ve yağış rejimlerinde düzensizlik gibi etkiler yaratarak hem doğal ekosistemlerin işleyişini hem de su döngüsünü doğrudan etkilemektedir (IPCC, 2021). Su; tarım, enerji, sanayi ve evsel kullanım açısından vazgeçilmez bir kaynak olup,

varlığı ekosistemlerin, ekonomik faaliyetlerin ve insan geçim kaynaklarının şekillenmesinde kritik rol oynamaktadır (Forrest vd., 2018; Tarroja vd., 2018; Padrón vd., 2020).

İklim değişikliğine yönelik yapılan analiz ve projeksiyonlar genellikle sıcaklık ve yağıştaki değişime odaklanmaktadır (IPCC, 2021). Bu yaklaşım iklim değişikliğinin etkilerini ortaya koymada genel kabul görse de, özellikle kuraklık ve iklim değişikliği-ormanlar arasındaki ilişkinin anlaşılmasında atmosferin buharlaştırma etkisinin de (atmospheric evaporative demand-AED) iklim değişikliğinin etkileri arasında önemli bir etken olduğu vurgulanmaktadır. Örneğin Gebrechorkos vd. (2025),

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta

[@] **Corresponding author** (İletişim yazarı): mehmetozcelik@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.06.2025, **Accepted** (Kabul tarihi): 19.07.2025



Citation (Atıf): Özçelik, M.S., 2025. İklim değişikliğinin buhar basıncı açığı ve yağışın günlük zamanlaması üzerindeki etkisi: Isparta örneği (2005–2024). Turkish Journal of Forestry, 26(3): 262-268.
DOI: [10.18182/tjf.1731350](https://doi.org/10.18182/tjf.1731350)

atmosferin buharlaştırma etkisinin 1981–2017 yılları arasında küresel kuraklık şiddetini %40 artırdığını, bu etkinin 2017–2022 döneminde %74'e ulaştığını bildirmektedir. Noguera vd. (2022) ise İspanya'da meydana gelen ani kuraklıkları, atmosferin buharlaştırma etkisindeki artışla ilişkilendirmiştir. Atmosferin buharlaştırma etkisi, özellikle yağışın ve toprak neminin düşük olduğu koşullarda kuraklığı şiddetlendirmektedir (Padrón vd., 2020). Novick vd. (2016), vejetasyon için atmosferin buharlaştırma etkisinin diğer iklimsel faktörlerden daha belirleyici hale geldiğini ortaya koymaktadır. Ormanların iklim parametrelerindeki değişimle ilişkilerine yönelik çalışmalarda atmosferin buharlaştırma etkisi önemli bir parametre olarak görülmekte ve analizlerde yer almaktadır (Grossiord vd., 2017; Mirabel vd., 2023; Özçelik ve Poyatos, 2025).

Buhar basıncı açığı (BBA), İngilizce literatürde “vapor pressure deficit” (VPD) olarak adlandırılan ve Türkçede kimi çalışmalarda “doygunluk açığı” şeklinde de kullanılan, atmosferin buharlaştırma etkisini gösteren en yaygın ölçütlerden biridir (Massman vd., 2019; Li vd., 2023). Artan hava sıcaklıkları, havanın doygunluk buhar basıncını artırarak bağıl nemin azalmasına ve bunun sonucunda BBA'nın yükselmesine neden olmaktadır (Novick vd., 2016). Yükselen BBA değerleri ise evapotranspirasyonu artırarak hem tarımsal üretimde hem de orman ekosistemlerinde su stresini şiddetlendirmekte; bu durum hidrolojik dengeyi bozmakta ve su kaynaklarının yönetimini daha karmaşık hale getirmektedir (Novick vd., 2024). Ayrıca orman yangınlarının tahmini ve haritalanmasında BBA, giderek daha önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar, BBA'nın sıcaklık ve bağıl nem gibi iklim değişkenlerine kıyasla orman yangınlarının küresel ölçekte modellenmesinde daha yüksek başarı sağladığını göstermektedir (Rodrigues vd., 2024). Nitekim, ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz Bölgesi ormanlarında meydana gelen yangınların BBA ile güçlü bir ilişki gösterdiği ve bu yangınların genellikle yüksek BBA koşullarında ortaya çıktığı rapor edilmiştir (Resco de Dios vd., 2021).

Bir alandaki su varlığının temel kaynağını yağış oluşturmaktadır (Meran vd., 2021). Hidrolojik analizlerde yalnızca yağışın toplam miktarı değil, aynı zamanda yağış etkinliği de önemli bir göstergedir. Yağış etkinliği, miktardan çok yağışın faydaya dönüşme kapasitesine odaklanmaktadır (Erinç, 1965; Aydın vd., 2019). Yağışların gün içi dağılımı da bu noktada belirleyici olup, özellikle günün sıcak saatlerinde meydana gelen yağışlar yüzey buharlaşmasını artırarak toprağa sızan etkili su miktarını azaltmakta; bu da yağışın hidrolojik etkinliğini düşürmektedir (Guo vd., 2015; Yang vd., 2023).

Akdeniz Bölgesi, iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi öngörülen bölgelerden biridir (Ali vd., 2022). Yapılan analizler, bu bölgenin küresel ortalamaya göre %20 daha fazla ısınacağını ortaya koymaktadır (Lionello ve Scarascia, 2018). Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Isparta ili ve çevresi hem tarımsal faaliyetlerin

sürdürülebilirliğinin hem de orman ekosistemlerinin devamlılığının suya yüksek bağımlılık gösterdiği bir coğrafyada yer almaktadır. Bu nedenle, bölgedeki iklimsel değişkenliklerin izlenmesi ve etkilerinin analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak, Isparta ve çevresine yönelik iklim değişikliği çalışmalarının sayısı sınırlıdır. Yapılan çalışmalar arasında; sıcaklık ve yağışın geleceğe dönük değişim projeksiyonları (Bahadır ve Saraçlı, 2010), meteorolojik kuraklık değerlendirmeleri (Şener ve Davraz 2021; Baykal vd., 2023), iklimsel parametrelerdeki uzun dönemli trend analizleri (Soydan, 2025) ve yağış verilerinin aylık/yıllık trend analizi (Kır ve Güldal, 2022) yer almaktadır. Bu çalışmaların çoğu aylık veya yıllık ölçekte verileri değerlendirmekte olup, atmosferin buharlaştırma etkisindeki değişim ile yağış zamanlamasında meydana gelen kaymaları saatlik çözünürlükte ele alan bölgesel çalışmalar sınırlıdır.

Mevcut çalışmada, Isparta çevresindeki otomatik meteoroloji istasyonlarına ait son yirmi yılın saatlik sıcaklık, bağıl nem ve yağış verileri kullanılarak; iklim değişikliğinin buhar basıncı açığı (BBA) ve yağışın gün içi zamanlaması üzerindeki etkileri istasyon bazında analiz edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, hem atmosferin buharlaştırma etkisindeki değişimleri hem de yağışın hidrolojik etkinliği açısından kritik öneme sahip olan gün içi zamanlamayı birlikte ele alarak literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.

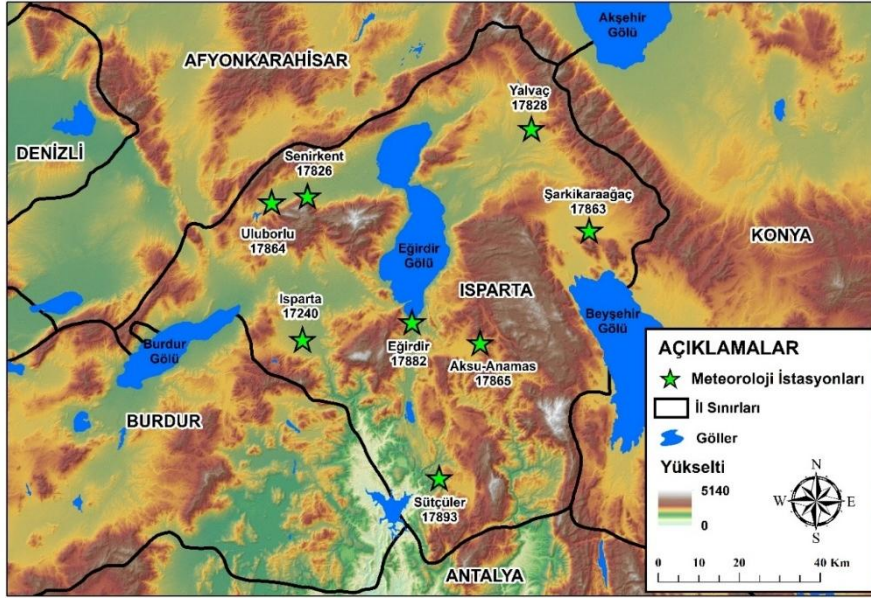
2. Materyal ve yöntem

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışma, Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Isparta il merkezi ve yakın çevresini kapsamaktadır. Analizlerde, Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) bağlı Aksu, Eğirdir, Isparta, Senirkent, Sütçüler, Şarkikaraağaç, Uluborlu ve Yalvaç olmak üzere sekiz otomatik meteoroloji istasyonuna ait saatlik veriler kullanılmıştır (Şekil 1).

Bu istasyonların seçiminde, Isparta çevresini farklı yönlerden kuşatarak bölgeyi temsil etmeleri ile bölgedeki topoğrafik ve iklimsel çeşitliliği yansıtmaları göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin, Eğirdir istasyonu göl ekosistemine yakın konumlanırken, Sütçüler istasyonu Akdeniz ikliminin etkili olduğu Antalya sınırında; Yalvaç ve Şarkikaraağaç istasyonları karasal etkinin baskın olduğu kuzeydoğuda, Konya sınırında; Uluborlu ve Senirkent istasyonları ise yine karasal etkinin belirgin olduğu kuzeybatıda, Afyonkarahisar sınırında yer almaktadır.

Çalışmada verisi kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait bazı bilgiler Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu istasyonlar arasında Isparta il merkezine kuş uçuşu en yakın olanı Eğirdir, en uzak olanı ise Yalvaç istasyonudur. İstasyonların rakımları 922 m ile 1227 m arasında değişmektedir.



Şekil 1. Çalışmada verisi kullanılan meteoroloji istasyonlarının coğrafi konumları
Figure 1. Geographical locations of the meteorological stations provided data in the study

Çizelge 1. Çalışmada verisi kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler

Table 1. Characteristics of the meteorological stations provided data in the study

İstasyon adı	İstasyon kodu	İstasyon koordinatı	Rakım (m)	Isparta il merkezine (kuş uçuşu) uzaklık (km)
Aksu-Anamas	17865	37°47'59.6"N ; 31°03'57.6"E	1227	45
Eğirdir	17882	37°50'15.6"N ; 30°52'19.3"E	922	27
Isparta	17240	37°47'05.4"N ; 30°34'04.5"E	1000	-
Senirkent	17826	38°06'17.0"N ; 30°33'27.7"E	965	36
Sütçüler	17893	37°29'38.0"N ; 30°58'19.6"E	970	49
Sarıkaraağaç	17863	38°03'46.9"N ; 31°21'20.8"E	1160	76
Uluborlu	17864	38°05'09.8"N ; 30°27'29.4"E	1020	35
Yalvaç	17828	38°16'58.8"N ; 31°10'40.3"E	1103	78

2.2. Veri seti ve zamansal sınıflandırma

İklimsel değişimleri zamansal olarak değerlendirebilmek amacıyla veri seti, 2005–2014 ve 2015–2024 olmak üzere iki on yıllık alt döneme ayrılmıştır. Bu dönemsel ayrım, küresel iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hale geldiği son on yıla odaklanmak amacıyla taşımaktadır (WMO, 2025). Ayrıca gün içindeki değişimleri analiz edebilmek için gece-gündüz ayrımı yapılmıştır. Çalışmada gündüz 06:00-18:00 saatleri arasını, gece ise 18:00-06:00 saatleri arasını ifade etmektedir.

Veri setinin analizlerde güvenilir biçimde kullanılabilmesi amacıyla kapsamlı bir veri kontrol süreci uygulanmıştır. İlk olarak, her bir istasyon için 2005–2024 yılları arasındaki saatlik sıcaklık, bağıl nem ve yağış verileri eksiklik ve tutarsızlık açısından taranmıştır. Eksik veri kontrolünde, ardışık boşlukların süresi ve veri kaybı oranı dikkate alınmış; her istasyonun veri setinin, o istasyonun toplam veri miktarının %10'undan fazla eksiklik içermemesine dikkat edilmiştir. Ayrıca, meteorolojik ekstrem değerler (örneğin 60 °C üzerinde sıcaklık ya da 100 mm/saat üzerinde sürekli yağış) belirlenerek bu değerler veri setinden elimine edilmiştir.

2.3. Buhar basıncı açığının (BBA) hesaplanması

Buhar basıncı açığı (BBA), belirli bir sıcaklıktaki havanın gerçek buhar basıncı ile aynı sıcaklıktaki havanın

tutabileceği maksimum (doymuş) buhar basıncı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır (Lou et al. 2025). Bu çalışmada buhar basıncı açığı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Campbell ve Norman, 1998):

$$BBA = 0,611 \times \exp \frac{17,502T}{240,97+T} (I - BN) \quad (1)$$

Denklem 1'de BBA, buhar basıncı açığını (Pa), T hava sıcaklığını (°C), BN ise bağıl hava nemini (%) temsil etmektedir.

2.4. İstatistiksel analizler

İki on yıllık dönem arasındaki farkların istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla, her istasyon ve değişken özelinde öncelikle Shapiro–Wilk normallik testi uygulanmış; normallik varsayımı sağlanan veri gruplarında bağımsız örneklemeler için t-testi, normallik varsayımı sağlanmayanlarda ise Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi tüm analizlerde $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

Tüm analizler, R programı (R Core Team, 2023, 4.3.2 sürümü) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri işleme, analiz ve görselleştirme süreçlerinde tidyverse (Wickham vd., 2019), ggplot2 (Wickham, 2016), ggpubr (Kassambara, 2020) ve rstatix (Kassambara, 2023) paketlerinden yararlanılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. 2005–2014 ve 2015–2024 dönemlerinde buhar basıncı açığı değişimi ve saatlik dağılımı

Yapılan analizler sonucunda Senirkent dışındaki tüm istasyonlarda BBA değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$) artışlar saptanmıştır (Şekil 2). Bu artışlar özellikle gündüz saatlerinde (06:00–18:00) belirginleşmiş, en yüksek farklar ise öğle saatlerine yakın zaman dilimlerinde gözlenmiştir. Bu bulgular, sıcaklık artışı ve bağıl nemdeki azalmaların atmosferin su buharı taşıma kapasitesini artırarak BBA'yı yükselttiğine dair mevcut literatürle örtüşmektedir (Massman vd., 2019; Li vd., 2023).

Artan BBA değerleri, atmosferin evapotranspirasyon yoluyla su talebinin güçlendiğini ve bu nedenle buharlaşma baskısının arttığını göstermektedir. Bu durum, özellikle su stresi altındaki alanlar için kritik öneme sahiptir. Nitekim çalışma alanının da yer aldığı Göller Yöresi'nde son yıllarda önemli su kayıpları yaşandığı bildirilmiş ve bölgedeki 36 gölden 20'sinin tamamen kuruduğu, geri kalanların ise yüzeysel alan kaybı yaşadığı rapor edilmiştir (Tulan Işıldar ve Yalçın Ercoşkun, 2021). Örneğin kapalı havza özelliği taşıyan Burdur Gölü'nün yüzey alanında önemli azalmalar olduğu (Sabuncu, 2020), yapılan projeksiyonlarda bu azalmanın 2033 yılına kadar 17 km²'ye ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Alevkayalı vd., 2023). Benzer şekilde, çalışma sahası içerisinde yer alan Eğirdir Gölü'nün yüzey alanında son 30 yılda %3 ila %6 arasında azalma rapor edilmiştir (Tulan Işıldar ve Yalçın Ercoşkun, 2021; Kale ve Erişmiş, 2024). Bu bulgular, artan atmosferin buharlaştırma etkisinin bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından ciddi bir risk oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

BBA değerleri her iki dönemde de gündüz saatlerinde geceye kıyasla daha yüksek seyretmiş, ancak ikinci on yıllık dönemde bu farkın daha da belirginleştiği görülmüştür. Gündüz-gece BBA farkındaki bu artış, gün içinde buharlaşmadaki eşitsizliğin büyüdüğünü göstermektedir. Bu durum, özellikle su stresi altındaki tarım ve orman ekosistemleri için oldukça kritiktir. Novick vd. (2016) ve Lou vd. (2025), BBA'nın son yıllarda ekosistemlerde baskın bir sınırlayıcı faktör haline geldiğini ortaya koyarken, Grossiord vd. (2017) ve Mirabel vd. (2023) artan BBA'nın vejetasyonun büyümesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığını belirtmektedir. Flo vd. (2022) artan BBA'nın, bitki terlemesi üzerinde etkili faktörlerden biri olduğunu ifade etmektedir. Yüksek BBA terleme miktarını artırarak terlemenin bitkilerin köklerden aldığı su miktarını aşmasına neden olmakta, bitkilerde su stresi ve kuruma meydana getirebilmektedir. Bu koşullarda bitkiler, hidrolik bütünlüğü korumak amacıyla stomalarını kapatma eğilimi göstermektedir (Grossiord vd., 2020). Stomaların kapanması, fotosentez sürecini sınırlayarak bitki büyümesi ve genel ekosistem üretkenliği üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Öte yandan, artan BBA yalnızca ekosistem üretkenliği üzerinde etkili olmayıp, orman yangınları açısından da ciddi riskler oluşturmaktadır. Artan BBA seviyeleri ormanlık alanlarda kuru bitki materyalinin (ot, yaprak, dal) nem içeriğini doğrudan etkileyerek yangın riskini artırmaktadır (Rodrigues vd., 2024). Akdeniz Bölgesi'nde meydana gelen orman yangınlarının çoğunlukla yüksek BBA koşullarında

oluştugu ve yangınlarla BBA arasında güçlü bir doğrusal ilişki bulunduğu belirtilmektedir ($r = 0.93$; Resco de Dios vd., 2021). Bu çerçevede, çalışma alanında da artan BBA'nın yalnızca su kaynakları üzerinde değil, aynı zamanda yangın riski üzerinde de önemli etkiler doğurabileceği öngörülmektedir.

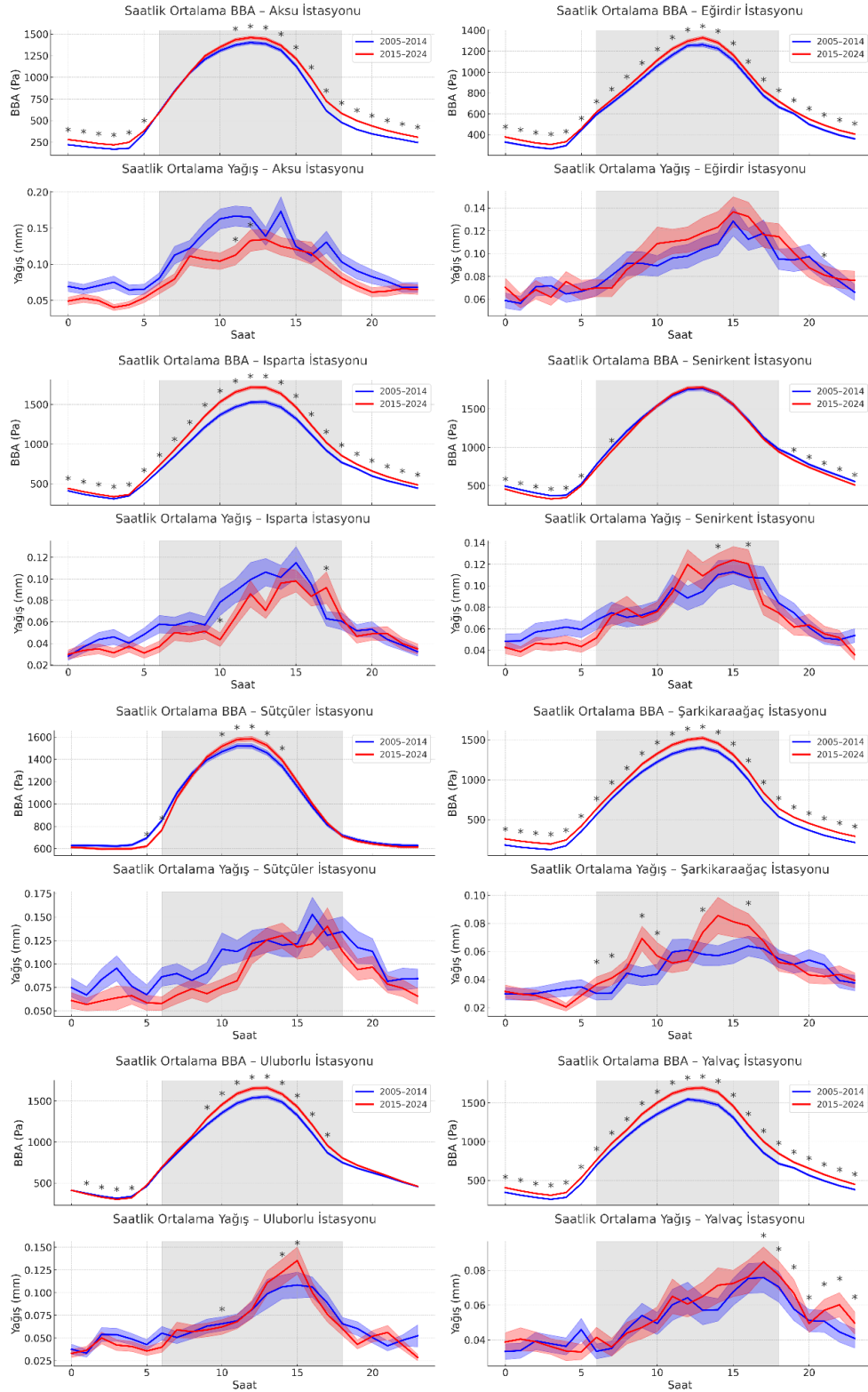
3.2. 2005–2014 ve 2015–2024 dönemlerinde yağış değişimi ve saatlik dağılımı

Yağışın saatlik dağılımı incelendiğinde, BBA'da gözlenen belirgin ve tutarlı artışlara kıyasla daha sınırlı ve istasyona özgü değişimler tespit edilmiştir. Senirkent, Şarkikaraağaç, Uluborlu ve Yalvaç istasyonlarında bazı gündüz saatlerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar belirlenmiştir. Buna karşılık, Aksu'da öğle saatlerinde azalmalar görülmüş, Isparta'da ise bazı saatlerde artış, bazı saatlerde ise azalış gözlenmiştir. Eğirdir ve Sütçüler istasyonlarında gündüz anlamlı bir fark saptanmamıştır (Şekil 2). Genel olarak değerlendirildiğinde, yağış zamanlamasında bölgesel ölçekte tutarlı bir eğilim ortaya çıkmamakta; değişimlerin daha çok lokal ve saatlik bazda sınırlı kaldığı görülmektedir. İstasyonlar arasındaki bu farklılıklar, istasyonların topoğrafik konumu ve yerel iklimsel koşulların yarattığı mikroklimatik farklılıklarla ilişkilendirilebilir.

Elde edilen sonuçlar, önceki bölgesel çalışmalara paralellik göstermektedir. Örneğin, Coşkun (2020), Eğirdir, Senirkent, Uluborlu ve Yalvaç istasyonlarını kapsayan analizinde 1970–2025 döneminde yağışta artış veya azalış yönünde istatistiksel olarak anlamlı bir trend saptamamıştır. Benzer şekilde, Alevkayalı vd. (2023) Burdur, Tefenni ve Keçiözü istasyonlarını kapsayan çalışmada 1940–2021 döneminde yağışta istatistiksel olarak anlamlı bir değişim tespit etmemiştir. Soydan (2025) ise Isparta istasyonuna ait 1929–2024 verilerini kullanarak yaptığı analizde yağışta belirgin bir artış ya da azalış bulamamış; ancak yıllar arasında düzensizlikler ve ani değişimlerin öne çıktığını belirtmiştir.

Her ne kadar yağış zamanlamasında iki on yıllık dönem arasında çalışma alanı genelinde tutarlı bir değişim gözlenmemiş olsa da, Şekil 2 incelendiğinde tüm istasyonlarda yağışların gündüz saatlerinde geceye oranla daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Yağışın gün içindeki zamanlaması, yalnızca klimatolojik bakımdan değil; aynı zamanda hidrolojik açıdan da önemli bir etmendir. Gündüz saatlerinde meydana gelen yağışlar, yüksek sıcaklık ve yüksek buharlaşma nedeniyle yüzeyden daha hızlı kayba uğramakta; bu da yağışın toprağa sızarak yer altı su kaynaklarını besleme kapasitesini düşürmektedir. Sonuç olarak, yağışın hidrolojik etkinliği düşmekte ve etkili yağış ile toprağa infiltre olan su miktarı azalmaktadır (Aydın vd., 2019).

Literatürde, yağış zamanlamasının ekosistem süreçleri üzerindeki rolüne de dikkat çekilmektedir. Guo vd. (2015) ve Yang vd. (2023), yağışın gün içindeki düşme saatlerinin evapotranspirasyon ve büyüme gibi süreçleri doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır. Özellikle gündüz saatlerinde gerçekleşen yağışların fotosentezi artırıcı etkisi olduğu ifade edilmekte; ancak bu etkinin yalnızca su stresinin düşük olduğu koşullarda geçerli olduğu belirtilmektedir (Yang vd., 2023).



Şekil 2. Isparta ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarında, 2005–2014 (mavi çizgi) ve 2015–2024 (kırmızı çizgi) dönemlerine ait saatlik buhar basıncı açığı (BBA) ve yağış değerlerinin günlük değişimi (00:00–23:00). Grafiklerde gri alan gündüz saatlerini (06:00–18:00) göstermektedir. İki dönem arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar * ile belirtilmiştir ($p < 0.05$). Kırmızı ve mavi renkli gölgeler $\pm$ standart hatayı ifade etmektedir.

Figure 2. Diurnal variation of (00:00–23:00) hourly vapor pressure deficit (VPD) and precipitation values for the periods 2005–2014 (blue line) and 2015–2024 (red line) at meteorological stations in Isparta province. The gray shaded area represents daytime hours (06:00–18:00). Statistically significant differences between the two periods are indicated with * ($p < 0.05$). Shaded areas in red and blue denote $\pm$ standard error.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışma, Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Isparta ve çevresindeki sekiz otomatik meteoroloji istasyonundan elde edilen saatlik verilerle, 2005–2024 dönemine ait buhar basıncı açığı (BBA) ve yağış zamanlamasındaki değişimleri ortaya koymuştur. Bulgular, çalışma alanında atmosferin buharlaştırma etkisini temsil eden BBA'nın özellikle gündüz saatlerinde belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Bu artış, atmosferin su buharı talebinin yükseldiğine işaret etmekte ve ekosistemlerde su stresi riskini artırabilecek bir gelişme olarak değerlendirilmektedir.

BBA'daki yükseliş, yalnızca orman ve tarım sistemlerini değil, aynı zamanda yüzey suyu kaynaklarının sürdürülebilirliğini de etkileyebilir. Eğirdir ve Burdur Gölleri'nde gözlenen alan kayıpları artan atmosferin buharlaştırıcı etkisi ile birlikte dikkate alındığında, bölgesel su güvenliği açısından önleyici tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir. Ayrıca artan BBA, bitki örtüsünün kurumasını hızlandırarak orman yangını riskini artırabilecek bir etken olarak öne çıkmaktadır.

Yağış zamanlamasında BBA kadar tutarlı bir değişim gözlenmemiştir. Bazı istasyonlarda gündüz saatlerine yönelik istatistiksel farklar bulunsa da genel eğilim, istasyona özgü ve sınırlı düzeydedir. Ancak her iki dönemde de yağışlar çoğunlukla gündüz gerçekleştiğinden, bu durum artan buharlaşma koşulları altında hidrolojik etkinliği düşürecektir.

Bu bulgular doğrultusunda, bölgede iklim değişikliğine uyum sağlamak amacıyla; tarım uygulamalarında suyu daha verimli kullanan teknikler teşvik edilmeli, buharlaşmanın arttığı saatlerde sulama yapılmamalıdır. Ağaçlandırma çalışmalarında kuraklığa dayanıklı orijinler tercih edilmeli ve yangın yönetim planlarında buharlaşma basıncı açığına yer verilmelidir. Ayrıca, saatlik çözünürlükte meteorolojik verilerin yaygınlaştırılması ve bölgesel düzeyde izlenmesi, gelecekteki etki analizlerinin hassasiyetini artıracaktır.

Kaynaklar

Alevkayalı, Ç., Atayeter, Y., Yala, O., Bilgin, T., Akpınar, H., 2023. Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 82: 37-50.

Ali, E., Cramer, W., Carnicer, J., Georgopoulou, E., Hilmi, N.J.M., Le Cozannet, G., and Lionello, P., 2022. Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (Eds: Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B.), Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 2233–2272. doi:10.1017/9781009325844.021

Aydın, S., Şimşek, M., Çetinkaya, G., Öztürk, Z.M., 2019. Erinc Yağış Etkinlik İndisi'ne Göre Belirlenen Türkiye İklim Bölgelerinin Rejim Karakteristikleri. I. İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi, 20-22 Haziran, İstanbul, s.752-760.

Bahadır, M., Saraçlı, S., 2010. Isparta'da ARIMA modeline göre sentetik iklim verilerinin analizi. *Nature Sciences*, 5(3): 4A0027.

Baykal, T., Taylan, D., Terzi Ö., 2023. Isparta ili için gelecekteki olası meteorolojik kuraklık değerlendirmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1): 90-100. DOI: 10.21324/dacd.1165500

Campbell, G.S., Norman, J.M., 1998. *An introduction to environmental biophysics* (second ed). Springer-Verlag, New York.

Coşkun, S., 2020. Göller Yöresi'nde sıcaklık, yağış ve akım değerlerinde meydana gelen eğilimler (Akdeniz Bölgesi-Türkiye). *International Social Sciences Studies Journal*, 6 (66):3142-3155.

Erinc, S., 1965. Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, İstanbul.

Flo, V., Martínez-Vilalta J., Granda, V., Mencuccini M., Poyatos, R., 2022. Vapour pressure deficit is the main driver of tree canopy conductance across biomes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 322: 109029. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109029>

Forrest, K., Tarroja, B., Chiang, F., AghaKouchak, A., Samuelsen, S., 2018. Assessing climate change impacts on California hydropower generation and ancillary services provision. *Climatic Change*, 151: 395–412.

Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hall, B., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N. P., Palmer, M. D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Trewin, B., Allen, M., Andrew, R., Betts, R. A., Borger, A., Boyer, T., Broersma, J. A., Buontempo, C., Burgess, S., Cagnazzo, C., Cheng, L., Friedlingstein, P., Gettelman, A., Gütschow, J., Ishii, M., Jenkins, S., Lan, X., Morice, C., Mühle, J., Kadow, C., Kennedy, J., Killick, R. E., Krummel, P. B., Minx, J. C., Myhre, G., Naik, V., Peters, G. P., Pirani, A., Pongratz, J., Schleussner, C.-F., Seneviratne, S. I., Szopa, S., Thorne, P., Kovilakam, M. V. M., Majamäki, E., Jalkanen, J.-P., van Marle, M., Hoesly, R. M., Rohde, R., Schumacher, D., van der Werf, G., Vose, R., Zickfeld, K., Zhang, X., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., 2024. Indicators of Global climate change 2023: Annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Sciences Data*, 16: 2625–2658. <https://doi.org/10.5194/essd-16-2625-2024>

Gebrechorkos, S.H., Sheffield, J., Vicente-Serrano, S.M., Funk, C., Miralles, D.G., Peng, J., Dyer, E., Talib, J., Beck, H.E., Singer, M.B., Dadson, S.J., 2025. Warming accelerates global drought severity. *Nature*, 642: 628–635. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09047-2>

Grossiord, C., Sevanto, S., Borrego, I., Chan, A. M., Collins, A. D., Dickman, L. T., Hudson, P. J., McBranch, N., Michaletz, S. T., Pockman, W. T., Ryan, M., Vilagrosa, A., McDowell, N. G., 2017. Tree water dynamics in a drying and warming world. *Plant, Cell & Environment*, 40(9): 1861–1873. <https://doi.org/10.1111/pce.12991>

Grossiord, C., Buckley, T.N., Cernusak, L.A., Novick, K.A., Poulter, B., Siegwolf, R.T.W., Sperry, J.S., McDowell, N.G., 2020. Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist*, 226: 1550-1566. <https://doi.org/10.1111/nph.16485>

Guo, Q., Hu, Z., Li, S., Yu, G., Sun, X., Zhang, L., Mu, S., Zu, X., Wang, Y., Li, Y., Zhao, W., 2015. Contrasting responses of gross primary productivity to precipitation events in a water-limited and a temperature-limited grassland ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215: 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.251>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (Eds: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B.), Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 3–32. doi:10.1017/9781009157896.001

Kale, M.M., Erişmiş, M., 2024. Eğirdir Gölü alansal değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analizi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 52: 122-140. <https://doi.org/10.32003/igge.1380588>

- Kassambara, A., 2020. ggpubr: "ggplot2" based publication ready plots. R Package version 0.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>, Accessed:05.05.2025
- Kassambara A., 2023. rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests. R package version 0.7.2. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>, Accessed:06.05.2025
- Kır, E.G., Güldal, V., 2022. Antalya ve Isparta yağış verilerinin trend analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3): 899-907. <https://doi.org/10.21923/jesd.1105485>
- Li, S., Wang, G., Chai, Y., Miao, L., Hagan, D.F.T., Sun, S., Huang, J., Su, B., Jiang, T., Chen, T., Lu, C., Guan, Z., 2023. Increasing vapor pressure deficit accelerates land drying. Journal of Hydrology, 625(A): 130062. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130062>
- Lionello, P., Scarascia, L., 2018. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. Regional Environmental Change, 18:1481-1493.
- Lou, J., Joh, Y., Delworth, T., Jia, L., 2025. Identifying source of predictability for vapor pressure deficit variability in the southwestern United States. Npj Climate and Atmospheric Science, 8:139. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01028-6>
- Massmann, A., Gentine, P., Lin, C., 2019. When does vapor pressure deficit drive or reduce evapotranspiration? Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 11: 3305-3320. <https://doi.org/10.1029/2019MS001790>
- Meran, G., Siehlow, M., von Hirschhausen, C., 2021. Water Availability: A Hydrological View. In: The Economics of Water, (Ed: Kostianoy, A.), Springer, Cham., pp. 9-21. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48485-9_2
- Mirabel, A., Girardin, M.P., Metsaranta, J., Way, D., Reich, P., 2023. Increasing atmospheric dryness reduces boreal forest tree growth. Nature Communications, 14: 6901. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42466-1>
- Noguera, I., Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., 2022. The rise of atmospheric evaporative demand is increasing flash droughts in Spain during the warm season. Geophysical Research Letters, 49: e2021GL097703. <https://doi.org/10.1029/2021GL097703>
- Novick, K.A., Ficklin, D.L., Stoy, P.C., Williams, C.A., Bohrer, G., Oishi A.C., Papuga, S.A., Blanken P.D., Noormets, A., Sulman, B.N., Scott, R.L., Wang, L., Phillips, R.P., 2016. The increasing importance of atmospheric demand for ecosystem water and carbon fluxes. Nature Climate Change, 6: 1023-1027. <https://doi.org/10.1038/nclimate3114>
- Novick, K.A., Ficklin, D.L., Grossiord, C., Konings, A.G., Martínez-Vilalta, J., Sadok, W., Trugman, A.T., Williams, A.P., Wright, A.J., Abatzoglou, J.T., Dannenberg, M.P., Gentine, P., Guan, K., Johnston, M.R., Lowman, L.E.L., Moore, D.J.P., McDowell, N.G., 2024. The impacts of rising vapour pressure deficit in natural and managed ecosystems. Plant, Cell & Environment, 47: 3561-3589. <https://doi.org/10.1111/pce.14846>
- Oreskes, N., 2004. The scientific consensus on climate change. Science, 306 (5702): 1686.
- Özçelik, M.S., Poyatos, R., 2025. Water-use strategies in pines and oaks across biomes are modulated by soil water availability. Tree Physiology, 45(4): tpaf031. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaf031>
- Padrón, R.S., Gudmundsson, L., Decharme, B., Ducharne, A., Lawrance, D.M., Mao, J., Peano, D., Krinner, G., Kim, H., Seneviratne, S.I., 2020. Observed changes in dry-season water availability attributed to human-induced climate change. Nature Geoscience, 13: 477-481. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0594-1>
- Resco de Dios, V., Hedo, J., Cunill Camprubí, À., Thapa, P., Martínez del Castillo, E., Martínez de Aragón, J., Bonet, J.A., Balaguer-Romano, R., Díaz-Sierra, R., Yebra, M., Boer, M.M., 2021. Climate change induced declines in fuel moisture may turn currently fire-free Pyrenean mountain forests into fire-prone ecosystems. Science of The Total Environment, 797: 149104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149104>
- Rodrigues, M., Resco de Dios, V., Sil, À., Cunill Camprubí À., Fernandes, P.M., 2024. VPD-based models of dead fine fuel moisture provide best estimates in a global dataset. Agricultural and Forest Meteorology, 346: 109868. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109868>
- Sabuncu, A., 2020. Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20: 623-633.
- Soydan, E., 2025. Assessing long-term climatic shifts in a transitional zone: Isparta, Turkey (1929-2024). International Journal of Environmental Trends, 9(1): 15-24.
- Şener, E., Davraz, A. 2021. Yağış tabanlı farklı indisler kullanılarak meteorolojik kuraklık analizi: Isparta örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12: 404-418. <https://doi.org/10.29048/makufebed.960857>
- Tarroja, B., Chiang, F., AghaKouchak, A., Samuelsen, S., 2018. Assessing future water resource constraints on thermally based renewable energy resources in California. Applied Energy, 226: 49-60.
- Tulan Işıldar, H., Yalçiner Ercoşkun, Ö., 2021. Göller yöresinde sürdürülebilirlik ve dirençlilik. Journal of Management Theory and Practices Research, 2(2): 89-116.
- Wickham, H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York, U.S.A. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4_9
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., D'Agostino McGowan, L., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T.L., Miller, E., Milton Bache S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D.P., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C., Woo, K., Yutani H., 2019. Welcome to the Tidyverse. Journal of Open Source Software, 4(43): 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- World Meteorological Organization (WMO), 2025. State of the Global Climate 2024. WMO report no: 1368, Geneva, Switzerland.
- Yang, M., Liu, J., Wang, Y., Chen, J.M., Cui, Z., Zhang, Z., Chen, Z., Cheng, X., 2023. Prominent impact of diurnal rainfall variations on evapotranspiration and gross primary productivity in forests over low latitudes. Agricultural and Forest Meteorology, 342: 109740. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109740>