



Muğla'da yağış erozivitesinin mekânsal-zamansal dağılışı ve eğilimleri

Spatio-temporal distribution rainfall erosivity in Muğla and trends

Yıldız Güney^{a*} 

^aİzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir, Türkiye.

ORCID: Y.G. 0000-0002-0756-9246

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 02.11.2023
Kabul/Accepted: 02.02.2025

Anahtar Kelimeler:

Muğla
Erozyon
Yağış erozivitesi
İklim değişikliği

Keywords:

Muğla
Erosion
Rainfall erosivity
Climate change

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Y. Güney) yıldiz.guney@ikc.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1384961



Atıf/Citation:

Güney, Y. (2025). Muğla'da yağış erozivitesinin mekânsal-zamansal dağılışı ve eğilimleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (87), 39-52. <https://doi.org/10.17211/tcd.1384961>

ÖZ/ABSTRACT

Su erozyonunun etkili olduğu bölgelerde toprakların ve su kaynaklarının korunması için yağışın erozivitesinin zamansal ve mekânsal olarak değişiminin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı Türkiye'de yağış klimatolojisi anlamında özel bir yere sahip olan Muğla'da yağışların erozivitesinin mekânsal dağılışı ve 1965-2019 periyodunda yıllık ve aylık olarak değişimini değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda meteoroloji istasyonlarının verileri temin edilmiş, aylık ve yıllık niceliksel yağış erozivitesi değerleri hesaplanmış, aylık ve yıllık yağış erozivitesi haritalanmış, yağış erozivitelerindeki eğilimler istatistikî yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma alanında yağışın erozivitesinin mekânsal dağılışı önemli farklılıklar olup, en yüksek yıllık yağış erozivitesi Marmaris'te tespit edilmiştir. Araştırma alanında yağış erozivitesinin en yüksek olduğu aylar kış mevsimindedir. Onu sırasıyla sonbahar, ilkbahar ve yaz ayları izler. Araştırmada kullanılan istasyonların yağış erozivitelerindeki en belirgin artış eğilimleri sonbahar aylarında yaşanmıştır. Yaz kuraklığının ardından gerçekleşen yağışların eroziv gücündeki artış eğilimleri bölgedeki erozyonu şiddetlendirici özelliktedir. Bu nedenle doğal bitki örtüsünün insan tahribatından ve orman yangınlarından korunmasına, arazi kullanımı planlanmasına, havzaları erozyondan koruma tedbirlerine daha çok önem verilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Muğla'da yağışın erozivitesindeki yerel dinamiklerin daha iyi anlaşılması ve küresel iklim değişiklikleri kapsamında erozyonla mücadele stratejileri geliştirilmesine katkı sunabilir.

In regions, which water erosion is effective, having knowledge of the spatio-temporal change of rainfall erosivity regarding certain issues like protection of soil and water resources is crucial. The main objective of this study is to evaluate the spatial distribution of rainfall erosivity in Muğla, which has a special place in terms of precipitation climatology in Türkiye, and to examine its annual and monthly change in the period of 1965-2019. In line with this objective, data were obtained from weather stations, monthly and annual quantitative rainfall erosivity values were calculated, monthly-annual rainfall erosivity mapped, and trends in rainfall erosivity were evaluated by using statistical methods. There are significant differences in the spatial distribution of rainfall erosivity in the research area, and the highest annual rainfall erosivity was detected in Marmaris. The months with the highest rainfall erosivity in the study area occur during the winter season. It was followed by autumn, spring and summer, respectively. The most notable increasing trends in rainfall erosivity of the stations used in the study were observed in autumn months. The increasing trends in the erosive power of rainfall observed following the summer drought intensify the erosion in the region. Therefore, natural vegetation should be protected from human destruction and forest fires, effective planning of land use should be carried out, and measures should be taken to protect basins from erosion. The results of this study may contribute to a better understanding of the local dynamics in rainfall erosivity in Muğla and to the development of strategies for combating erosion within the scope of global climate changes.

Extended Abstract Introduction

One of the most important and possible consequences of changes in climate in many regions of the world is the intensification of the global hydrological cycle (Huntington, 2006). Warmer weather has the potential to hold more water vapor and provide more water for precipitation (Pumo et al., 2019). This change would then take effect on the erosive power of rainfall and soil erosion rates (Nearing, 2001).

Muğla is a highly important region in Türkiye in terms of precipitation amount, intensity, and frequency due to its specific geographical conditions (Koçman, 1993; Erat, 1996; Çiçek, 2001a). One of the problems caused by the high rainfall erosivity in Muğla is the change in the sea's color following torrential rainfall (TEMA, 2014; Akkır, 2017; Kesen, 2018).

Although rainfall erosivity is a serious problem in the region and substantially affects the economic sectors of the region, such as agriculture and tourism, no specific scientific study subsists in the literature concentrating on rainfall erosivity in Muğla. Therefore, the present study was conducted to determine rainfall erosivity in Muğla province through seasonal and annual scales and to put forward the observed change trends from the 1960s until today, accordingly.

Data and Method

In the study area, observation data covering a 55 years from 1965 to 2019 were included in the analysis to ensure equal observation durations. Precipitation amounts of Marmaris, Muğla, Köyceğiz, Dalaman, Fethiye, Bodrum, Datça, Milas, and Yatağan weather stations used within the scope of the study were demanded from the Turkish State Meteorological Service. In the selection of the weather stations used in the study, attention was paid to ensuring that the records of precipitation measurements were at least 55 years old and there were no missing data.

Considering the limited availability of hourly and minute rainfall data in the research area, the rainfall erosivity formula developed by Diodato (2006) was adapted and used for the research area. Even though there are various analysis methods to be used for rainfall erosivity, Diodato (2006), which is one of the current formulas developed for the Mediterranean ecosystem as was also covered in the study, was adopted. By taking the average of the calculated monthly and annual rainfall erosivity values, the monthly and annual status of the rainfall erosivity in the study area for each year was determined.

Results and Discussion

The relationship between rainfall erosivity values calculated within the scope of the study and the amount of precipitation was also examined. The annual total precipitation of the weather stations in the study area varies between 690 mm and 1182 mm. The rainfall erosivity values at these stations were calculated in values ranging from 1610 to 3897 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹. These results reflect the spatially variable character of rainfall erosivity in Muğla. These large differences in rainfall erosivity in short distances can be explained by the movement

route of the fronts and the relief of the region.

The reasons that increase rainfall erosivity are the combination of frontal and orographic effects in the area. At this point, the stations with the highest rainfall erosivity are the stations located on the slopes of the mountains which lie perpendicular to the direction of movement of the fronts. In the study area, there can be significant changes in rainfall erosivity in short distances with local geographical factors.

The rainfall with the highest erosivity in the study area is seen in Marmaris. Accordingly, this region is a highly risky area in terms of meteorological disasters caused by high erosion energy and extreme precipitation. This high-energy precipitation is essential in terms of hydrological, geomorphological, and environmental processes in Marmaris.

In Muğla, as in other regions with typical Mediterranean climate regime, the most precipitation falls in winter; in addition, the season with the highest rainfall erosivity is winter. There is a harmony between the distribution of rainfall erosivity and the precipitation amounts in the study area throughout the year.

According to the precipitation data covering the period 1965-2019 in the study area, statistically significant increasing trends were not detected in annual rainfall erosivity. Yet, there are statistically significant decreasing trends in the annual rainfall erosivity of Dalaman station.

In Muğla, it is not possible to prevent high-erosive rainfall triggered by the global climate change. At this point, the presence of vegetation, which is an important advantage of the study area against this precipitation, should be preserved. Protecting the vegetation from fires and human-induced destructions through land use decisions is of great importance for areas with high rainfall erosivity such as Muğla. Erosion control efforts especially in the upper basins should be supported; rehabilitation activities should be carried out for burned forest areas while preserving the existing vegetation. Moreover, while making land use decisions such as quarry, mining activities, and touristic site construction, rainfall-runoff relationships in the region should be taken into consideration. Wrong land use decisions, vegetation destruction, and forest fires will inevitably cause new environmental disasters due to the characteristics of the precipitation in the region.

1. Giriş

Dünyanın pek çok bölümünde ısınan iklimlerin en önemli olası sonuçlarından biri küresel su döngüsünü kuvvetlendirmesidir (Huntington, 2006). Daha sıcak hava, daha fazla su buharı tutma potansiyeline sahip olduğu için yağışların şiddet ve miktarını artırabilir (Pumo vd., 2019). Nitekim sıcaklıklardaki her 1 °C'lık artışa karşılık atmosferin su tutma kapasitesini % 7 oranında artırması (Trenberth, 2011) ve bu durumun da aşırı yağışları artırması beklenmektedir (Held ve Soden, 2006). Bu sebeple şiddetli yağışların frekansının ve şiddetli yağışların toplam yağış içerisindeki oranının 21. yüzyılda dünyanın birçok bölgesinde artması muhtemeldir. Bu durum özellikle tropikal bölgelerde ve orta enlemlerde geçerlidir. Hatta bazı bölgelerde toplam yağış miktarlarında öngörülen düşüşlere rağmen şid-

detli yağışlarda artış olacağına dair orta düzeyde güven vardır (Seneviratne vd., 2012). Bu değişikliğin yağışların aşındırıcı gücünü diğer bir deyişle erozivitesini ve dolayısıyla toprak erozyonu oranlarını etkilemesi beklenmektedir (Nearing, 2001).

Muğla, yağış klimatolojisi açısından Türkiye’de özel bir alandır. Zira, bu bölge sahip olduğu iklim özellikleri sebebiyle Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bir alan olmasına rağmen, yıl boyunca her mevsim yağışlı Karadeniz Bölgesi’nde olduğu gibi 1200 mm’lerde yıllık toplam yağış miktarına sahip lokasyonlara sahiptir (Koçman, 1993; Çiçek, 2001a). Erlat (1996) Türkiye’de yağış şiddetinin en yüksek olduğu alanların araştırma alanının da içinde bulunduğu Akdeniz yağış rejimine sahip istasyonlar olduğunu belirtmiştir. Araştırma alanında batı ve güneybatıdan gelen siklonik depresyonlar bilhassa kıyı bölgesinde orografik etki ile güçlü sağanaklara sebep olmaktadır. Nitekim araştırma alanındaki istasyonlardan biri olan Marmaris Meteoroloji İstasyonu’nda günlük 400 mm’nin üzerinde rekor yağışlar kaydedilmektedir (Erlat, 1996). Oldukça fazla miktar yağışın yılın belli mevsimlerine toplanması yağış şiddetinin fazla olmasına ve dolayısıyla yağışın erozivitesinin fazla olmasına yol açmıştır.

Türkiye’nin yıllık ortalama yağış erozivitesini gösteren harita incelendiğinde en yüksek yağış erozivite değerlerinin araştırma alanının da içerisinde bulunduğu Güneybatı Anadolu’nun bir kesimi ile Doğu Karadeniz Bölümü’nde olduğu dikkati çeker. Türkiye’de Akdeniz iklim rejimine sahip alanlar içerisinde en yüksek yağış erozivitesi, araştırma alanı olarak seçilen Muğla ilindedir (Çölleşme ve Erozyon Mücadele Genel Müdürlüğü, 2018). Lolis ve Türkeş (2016) Türkiye’de ekstrem yağışların kıyı kuşağında, özellikle de araştırma alanının içinde olduğu Güneybatı Anadolu, Batı Akdeniz, Doğu Karadeniz kıyı kuşağı ile ardındaki dağlık alanlarda görüldüğünü belirtmişlerdir. Gerçekten de araştırma alanı saatlik hatta dakikalık zaman birimlerinde ekstrem olarak nitelendirilebilecek miktarlarda yağış alabilmektedir (Çelik vd., 2008; Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019). Kendine özgü bir takım coğrafi şartları sebebiyle Türkiye’de yağış miktarı, şiddeti vs. konusunda özel bir alan olan Muğla’da şiddetli yağışlardan kaynaklanan sel, taşkın, erozyon, sedimentasyon gibi çevresel bazı problemler sıklıkla yaşanmaktadır (Özçelik & Benli, 2020). Muğla’da yağış erozivitesinin yüksek olmasının yol açtığı önemli sorunlardan biri de sağanak yağışlardan sonra denizin renginin değişmesidir. Nitekim 2014 yılında sonbaharda Marmaris’te görülen sağanak yağışlardan sonra denize ulaşan derelerin getirdiği yoğun sediment yükü sebebiyle körfezin kızıl renge bürünmesi, TEMA (Türkiye Erozyonla Mücadele Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı) yetkililerini harekete geçirmiştir. Marmaris Belediyesi’nin isteği ile TEMA Vakfı tarafından Marmaris’te “Erozyon, Doğal Ekosistem Hizmetleri ve İklim Değişikliği: Marmaris Örneği” paneli yapılmıştır (Milliyet, 2014; TEMA, 2014). Mavi turkuaz renkleri ile insanların görmeye alışkın oldukları denizlerin çamur tabakasıyla kaplanmış kahverengi tonlarındaki hali özellikle çevre duyarlılığı yüksek olan insanların endişelenmesine yol açabilmektedir. Bu durum araştırma alanının temel geçim kaynakları olan turizm ve tarım için de problem oluşturmaktadır. Zira, deniz suyu kalitesini düşüren bu durum deniz turizmi için bir tehlike oluştururken, erozyon oranlarındaki muhtemel artış da tarım sektörü için bir tehlikedir. Dolayısıyla yağışın erozivitesinin araştırma alanındaki mekansal ve zamansal değişimi sosyal, çevresel, turizm ve tarım gibi pek çok sektörü de etkileyen önemli bir konudur.

Araştırma alanı bilim çevreleri tarafından iklim değişikliğinin sıcak noktalarından biri olarak kabul edilen Akdeniz Havzası’nda bulunduğu için iklim değişikliğinin etkilerinden kaynaklanan sorunların artması beklenmektedir (Giorgi, 2006; Sarkar vd., 2022). Intergovernmental Panel on Climate Change (2023)’ün ortaya koyduğu gibi iklim değişikliği nedeniyle ekstrem yağışların sıklığının ve yoğunluğunun artması beklenmektedir. İklim değişikliği kıyı bölgelerinde sel, fırtına ve kıyı erozyonuna bağlı hasarları da arttırabilir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Yoğun antropojenik baskı altındaki Akdeniz Havzası’nda tahribatlar sonucu gerçekleşen ormansızlaşma, sık gerçekleşen orman yangınları, dik yamaçlardaki tarımsal faaliyetler ve aşırı otlatma gibi bir dizi faktör sebebiyle Akdeniz topraklarının değişen koşullar altında erozyona, bozulmaya ve çölleşmeye maruz kalması durumu daha da kötüleştirmektedir (Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change, 2020).

Yağışların erozivitesi bölgede ciddi bir sorun olup tarım, turizm gibi bölge için önemli ekonomik sektörleri etkilese de Muğla’da yağışların erozivitesi özelinde bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut araştırmalar daha çok Muğla’nın genel iklim özellikleri (İkiel, 1997; İkiel, 2004; Güçlü, 2004; Kayan, 1971; Kara, 1998; Kum & Gönençgil, 2018), kuraklık (İrvem & Özbuldu, 2019; Oğuz vd., 2021), yağış şiddeti ve değişkenliği (İkiel, 2000; Çelik vd., 2008; Sarış vd., 2021), iklim değişimlerinin ve orman yangınlarının yöredeki doğal çevreye etkileri (Türkeş & Altan, 2013) üzerine yoğunlaşmış olup, yağışların erozivitesi özelinde bir araştırma yapılmamıştır. Bu sebeple çalışmada Muğla’da yağışların mevsimlik ve yıllık ölçekte erozivitelerini niceliksel olarak değerlendirmek, aylık ve yıllık erozivitelerinde 1960’lı yıllardan günümüze ne gibi değişim eğilimleri olduğunu ortaya koyabilmek amaçlanmıştır.

Bu kapsamda bu çalışmada Muğla’da yağışların erozyon oluşturma gücünün zamansal ve mekansal olarak nasıl değişmiş olduğu araştırılmıştır. Araştırma kapsamında şu soruların cevapları aranmıştır: (1) Muğla’da yağışın erozivitesinin yıllık ve mevsimlik olarak mekansal dağılışı nasıldır? (2) Muğla’da meteoroloji istasyonları arasında yağışın erozivitesi konusunda önemli farklılıklar var mıdır ve bu mekansal farklılığı yaratan sebepler nelerdir? (3) Muğla’da yağışın erozivitesi yıllık ve mevsimlik ölçekte zamansal olarak nasıl değişmiştir? (4) Muğla’da yağışların erozivitesindeki eğilimler son yıllarda endişe yaratan denizin renginin değişmesi, erozyonun artması gibi çevre sorunlarını açıklamak konusunda yeterli midir?

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma Alanı ve Veri

Araştırmaya konu olan Muğla, Türkiye’nin güneybatısında yer alıp Bodrum, Marmaris, Datça ilçeleri Ege Bölgesi içindeyken, Fethiye, Dalaman, Köyceğiz ilçeleri Akdeniz Bölgesi içinde kalır. Batısında Ege Denizi, güneyinde Akdeniz yer almaktadır. Araştırma alanının kuzeyinde Gökbel Dağı (1422 m), Oyuklu Dağı (1892 m), Bayancık Tepe (1110 m); kuzeydoğusunda Sandıras Dağı (2295 m), Göktepe (2407 m), Yaylacık Dağı (2141 m); doğusunda Dumanlı Dağı (1973 m), Güntutan Dağı (2414 m), Akdağ (3024 m) gibi kütleler bulunmaktadır (Şekil 1). Alanda tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Araştırma konumuz olan yağış özellikleri ise rölyefin etkisi ile farklılaşmaktadır. Ya-

ğışın mevsimlere dağılımı Akdeniz yağış rejimine uymasına rağmen cephelerin geliş yönüne dik uzanan yüksek dağlar nedeni ile yağış miktarı ve şiddeti artış göstermektedir (Kayan, 1971; İkiel, 2004).

Genel hava sirkülasyonu sonucu oluşan cepheler ve bunlara bağlı gezici orta enlem depresyonları araştırma alanında yağışın oluşmasına neden olurlar. Nitekim araştırma alanı Polar Cephe ile Akdeniz Cephesi ve buna bağlı depresyonların geçiş güzergahındadır. Cephesel etkilerle orografya, yükselti, bakı ve denizellik gibi fiziki coğrafya faktörlerinin birleşmesi alanda çok şiddetli yağışların oluşmasına neden olurken, yağışın erozivitesinin alansal olarak da farklılaşmasına neden olur. Batıdan ve güneyden denizlerle çevrili araştırma alanının kuzeyinde ve doğusunda, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu dağlar yer almaktadır. Araştırma alanındaki dağların yükselteleri 2300 metrelere kadar ulaşmaktadır. Dolayısıyla batıdan doğuya doğru yer değiştiren cepheler bu yönde ilerlerken araştırma alanındaki dağlarla karşılaşarak duraklar ve yağış süresi uzar. Sıcak cephenin ilerlemesi dağlarla engellendiği için soğuk cephe hızla ilerleyerek cephenin seklüzyona uğramasına neden olur. Araştırma alanının denize yakın oluşu nedeniyle etkili olan hava kütleleri deniz üzerinden geçerken nem kazanırlar ve bol yağışlara neden olurlar. Ayrıca alanda ortalama sıcaklıkların yüksek oluşu nedeni ile hava kütlelerinin nem taşıma kapasiteleri daha da artmakta, bu da birim zamanda düşen yağış miktarını ve yağışın şiddetini arttırmaktadır (Koçman, 1993; Aydın & Çiçek, 2013; Temuçin, 1990; Erat, 1996; Çiçek, 2001b; Kafalı, 1998; Kayan, 1971).

Araştırma kapsamında sahada bulunan, düzenli, sürekli ve uzun yıllar rasatlarına sahip meteoroloji istasyonları seçilmiştir. Sahada bu nitelikte olan istasyonlar Marmaris, Muğla, Köyceğiz, Dalaman, Fethiye, Bodrum, Datça ve Milas meteoroloji istasyonlarıdır. İlgili meteoroloji istasyonlarına ait günlük ve saatlik yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden araştırma amaçlı olarak talep edilmiştir. Talep edilen saatlik yağış verilerinin düzensiz ve kısa bir periyodu kapsamı sebebiyle çalışmada günlük yağış verileri kullanılmıştır (Meteoroloji Genel

Tablo 1. Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler.
Table 1. Information regarding the weather stations used in the study

Meteoroloji İstasyonu	Analize Katılan Veri Süresi	Yükseklik (m)	Enlem	Boylam
Marmaris	1965-2019	16	36° 83' N	28° 24' E
Muğla	1965-2019	646	37° 20' N	28° 36' E
Köyceğiz	1965-2019	24	36° 97' N	28° 68' E
Dalaman	1965-2019	12	36° 77' N	28° 79' E
Fethiye	1965-2019	3	36° 62' N	29° 12' E
Bodrum	1965-2019	26	37° 03' N	27° 43' E
Datça	1965-2019	28	36° 70' N	27° 69' E
Milas	1965-2019	57	37° 30' N	27° 78' E

Müdürlüğü, 2020). Araştırmada birliği sağlayabilmek için analize katılan istasyonların 1965-2019 yılları arasındaki dönem verileri analiz edilmiştir (Tablo 1).

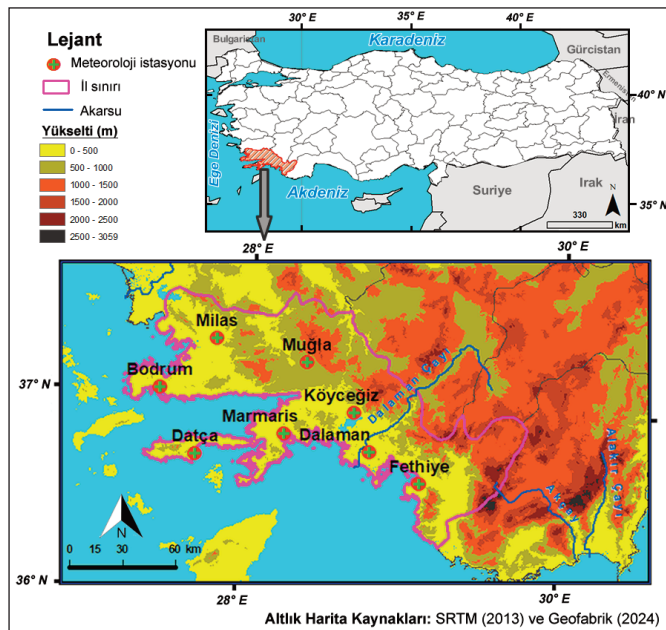
2.2. Yöntem

Yağış erozivitesi, yağışın toprak erozyonuna neden olma gücüdür ve yağış yoğunluğunun, süresinin ve büyüklüğünün birleşik etkilerini hesaba katar (Wischmeier & Smith, 1978). "R faktör" olarak da ifade edilen bu yağış erozivitesini hesaplamak için yüksek zamansal çözünürlüğe (<60 dakika) sahip uzun vadeli yağış verilerine gereksinim duyulmaktadır. Pek çok lokasyonda bu yüksek zamansal çözünürlüğe sahip yağış verilerinin eksikliği sorun olmaktadır. Bunun için R faktörü daha kolay erişilebilir aylık ve yıllık yağış verileriyle ilişkilendiren denklemler geliştirilmiştir (Panagos vd., 2015). Genel olarak saatlik, dakikalık ayrıntılı yağış verilerinin mevcut olmadığı durumlarda, yağış erozivitesini tahmin etmek için kullanılan yöntem, benzer iklim koşullarına sahip ve detaylı verilerin bulunduğu bölgelerdeki uygulamalara başvurmaktır. Bu bölgelerde detaylı veriler mevcuttur ve yağış erozivitesi ile daha az detaylı iklim göstergeleri arasındaki ilişkiler kalibre edilebilir (Longobardi vd., 2016). Araştırma alanında da yağış erozivitesi hesaplayabilmek için saatlik, dakikalık yağış verilerinin sınırlı erişilebilirliği göz önüne alındığında, daha önce Diodato (2006) tarafından geliştirilmiş yağış erozivitesi formülü araştırma alanı için uyarlanarak kullanılmıştır.

R faktörü hesaplamak için yağış erozivitesi formülleri dünyada pek çok lokasyonda günlük, aylık, yıllık gibi farklı zaman ölçekleri için geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Richardson vd., 1983; Diodato & Bellocchi, 2007; Grauso vd., 2010; D'Asaro vd., 2007). Aylık ölçek incelendiğinde Longobardi vd. (2016), Diodato ve Aronica (2014)'ü referans göstererek Denklem 1'deki ifade ile özetlenebileceğini belirtmiştir:

$$EI_{30-month} = \alpha \cdot Pm^{\beta} \quad (1)$$

Bu formülde, " $EI_{30-month}$ " aylık erozivite ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ month^{-1}$), Pm aylık ölçekteki yağışı temsil ederken, α ve β modelin kalibre edilmesi gereken parametreleridir. Özellikle α , mevsimsel olarak yoğun erozyona neden olan fırtınaların sebep olduğu yıllık değişkenliği karakterize eder (Longobardi vd., 2016). Aylık yağış erozivitesi denklemlerinin Diodato (2006) tarafından Akdeniz Bölgesi için geliştirilmiş bir örneği şu şekildedir (Denklem 2):



Şekil 1. Araştırma alanının lokasyon haritası ve kullanılan meteoroloji istasyonları.

Figure 1. Location map of the study area and used weather stations.

$$EI_{30-month} = 0.1174 \cdot (\sqrt{m} \cdot d^{0.53} \cdot h^{1.18}) \quad (2)$$

Formüldeki “ $EI_{30-month}$ ” aylık erozivite ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), “ m ” aylık yağış miktarı (mm), “ d ” ay içerisindeki günlük maksimum yağış (mm), “ h ” ay içerisindeki saatlik maksimum yağış (mm) miktarıdır. “ m ” parametresi zayıf erozyona neden olan yağışları temsil eder. Çarpma ifadesi ($d \cdot h$), farklı mevsimlerde farklı fırtına tiplerinin olasılığını hesaba katmak için tanımlanmıştır. Bu ifade belirli bir yağış miktarı için erozivitenin mevsimsel olarak değişmesine izin verir. Formülde yer alan sabitler ve üsler aylık yağış erozivitesini ($EI_{30-month}$) hesaplamak için geliştirilmiştir. Dört sabit (0.1174, $\sqrt{.}$, 0.53 ve 1.18), gerçek yağış erozivitesi değerleri de kullanılarak hata karelerinin toplamının (sum squared errors) en aza indirgenmesi yoluyla tahmin edilmiştir (Diodato, 2006).

Araştırma alanına özel geliştirilmiş bir yağış erozivitesi formülü olmadığı için sahanın coğrafi özelliklerine benzer başka lokasyonda geliştirilmiş formül kullanılmıştır. Bunun için Akdeniz Havzası’nda bir lokasyonda geliştirilen, güncel formüllerden biri olan Diodato (2006)’nın Denklem 2’de sunulan formülü tercih edilmiştir. Diodato (2006), Akdeniz Havzası’nda veri elde etme sıkıntısı olan bir bölgede aylık yağış miktarı (mm), ilgili aydaki günlük maksimum yağış miktarı (mm) ve ilgili aydaki maksimum saatlik yağış miktarını kullanarak, aylık yağış erozivitesini niceliksel olarak ortaya konulabilmesi için bölgeselleştirilmiş bir ilişki elde ettiğini belirtmiştir (Denklem 2). Diodato (2006)’nın Denklem 2’de sunulan orijinal formülünde saatlik yağış parametresi olmasına rağmen araştırma alanı için saatlik yağış verilerine kapsamlı bir şekilde ulaşılamamıştır. Denklem 2’nin, saatlik verilerin kapsamlı bir şekilde mevcut olmadığı durumlarda aylık yağış erozivitesi için bir değerlendirme sağlamak üzere düzenlenmesi gerekmiştir. Formül, Panagos vd. (2017) ve Bezak vd. (2020)’nin çalışmalarından araştırma alanı için elde edilen gerçek erozivite verileri kullanılarak araştırma alanına uyarlanmıştır. Tahmin edilen aylık erozivite değerleri (R_m) bu uyarlanmış formülle hesaplanmıştır. Formülün araştırma alanına uyarlanmış ve çalışmada kullanılan hali şu şekildedir:

$$R_m = 0.8 \cdot (\sqrt{m} \cdot \sqrt{d} \cdot \sqrt{d \cdot f(m)}) \quad (3)$$

Aylık maksimum saatlik yağış, $f(m)$ fonksiyonuyla ayarlanan aylık maksimum günlük yağış fonksiyonu ($d \cdot f(m)$) ile değiştirilmiştir. Yağışlar sırasında mevsim içi fırtına şiddetini temsil eden $f(m)$, benzer yaklaşımla saatlik yağış verilerinin eksikliğinden dolayı Diodato vd. (2014) ile Longobardi vd. (2016) tarafından da kullanılmıştır. Burada kullanılan Denklem (4)’deki kosinüs fonksiyonu, Akdeniz bölgeleri de dahil olmak üzere dünyanın geniş bölgelerinde yaygın olan yağış erozyonundaki mevsimsel dalgalanmalara yaklaşıp (Yu vd., 2001; Yu, 2002; Petkovšek & Mikoš, 2004; Davison vd., 2005). Diodato vd. (2014)’ün Davison vd. (2005)’ten de yararlanarak zamansal ölçek faktörü olarak belirlediği $f(m)$, aylar (m : 1 (Ocak), ..., 12 (Aralık)) itibarıyla şu şekilde değişir (Diodato vd., 2014):

$$f(m) = \left[1 - a \cos \left(2\pi \frac{m-b}{c-m} \right) \right] \quad (4)$$

Burada m , yılın ayını temsil eder (Ocak için 1’den Aralık için 12’ye kadar). a , b ve c deneysel katsayılarıdır. Bu çalışmada “ $f(m)$ ” olarak belirtilen değerler aralık, ocak için 0.50; şubat için 0.51; mart için 0.55; nisan için 0.61; mayıs için 0.84; haziran için 1.12; temmuz için 1.40; ağustos için 1.58; eylül için 1.53; ekim için 1.16; kasım için 0.61’dir. Saatlik maksimum yağış pa-

rametresi, belirtilen aylık değerlerin ilgili ayda gerçekleşen günlük maksimum yağış miktarıyla çarpılması sonucu elde edilmiştir. $f(m)$, benzer modellerde gerçek aylık maksimum saatlik yağış olmadığında temel bir rol üstlenir (Diodato vd., 2014). Bununla birlikte sonuçlar değerlendirilirken araştırmada kullanılan saatlik yağışların ölçülen değil, tahmin edilen değerler olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Denklem 3 bütün yıllardaki aylara uygulanmış, ilgili yılların aylık yağış eroziviteleri böylece elde edilmiştir. Aylık yağış erozivitelerinin toplanması sonucu da ilgili yılların yıllık yağış eroziviteleri elde edilmiştir. 1965-2019 yılı için hesaplanan aylık ve yıllık yağış erozivitelerinin ortalaması alınarak, uzun yıllar aylık ve yıllık yağış eroziviteleri ortalamaları hesaplanmıştır.

Bu süreç sonunda türetilen yağış erozivitesi değerleri, yağış erozivitesi tahminlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi için referans olarak seçilen küresel yağış erozivite veritabanı (GloREDA) tahminleriyle karşılaştırılmıştır. GloREDA, küresel ölçekte saatlik ve saatlik altı yağış kayıtlarının birleşimine dayanan yağış erozivite verilerinin ilk açık erişimli veri tabanıdır. 3625 istasyondan R faktörleri olarak sağlanan erozivite değerlerini içerir (Panagos vd., 2023). GloREDA’nın (Panagos vd., 2023) araştırma alanını ilgilendiren verileri sadece Marmaris, Bodrum ve Fethiye meteoroloji istasyonları için 2005-2014 yılları arasını içerdiği için bu kapsamda değerlendirme yapılabilmıştır.

Hesaplanan aylık ve yıllık yağış erozivitesi değerlerinin ortalaması alınıp, harita ve grafikler yapılmıştır. Ayrıca eğilim analizleri ile yağış erozivitesinin geçmişten günümüze değişimi ortaya konulmuştur. Muğla’da yağış erozivitesinin aylık ve yıllık alansal dağılımını ortaya koyabilmek için istasyonların ortalama yağış erozivitesi değerleri IDW enterpolasyon ile ArcGIS 10.2 yazılımı kullanılarak haritalanmıştır. Enterpolasyon tekniklerinin hepsinin belli bir hata payı olmakla birlikte, IDW enterpolasyon yönteminin yağış erozivitesi haritalama konusunda güncel çalışmalarda sık kullanılan yöntemlerden biri olması (Xin vd., 2011; Huang vd., 2013; Sadeghi vd., 2017) ve literatürde bu yöntemin iyi sonuçlar verdiğini ortaya koyan çalışmalar (Santosa vd., 2010; Angulo-Martínez vd., 2009) olması sebebiyle bu çalışmada da IDW enterpolasyon yöntemi tercih edilmiştir.

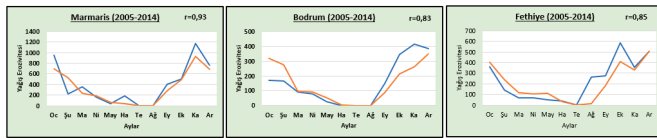
Araştırmada kullanılan istasyonların aylık ve yıllık yağış erozivitelerinde meydana gelen zamansal eğilimleri belirlemek amacıyla parametrik olmayan yöntemlerden Mann-Kendall eğilim testi (Mann, 1945; Kendall, 1975) uygulanmıştır. Mann-Kendall eğilim testi verilerin normal dağılmasını gerektirmediğinden ve aykırı değerlere karşı daha az duyarlı olduğundan hidrometeorolojik verilerin analizinde en çok kullanılan yöntemdir ve zaman serilerinde eğilim tespiti için çok iyi bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Burn & Hag Elnur, 2002; Hamed, 2008). Hidrometeorolojik zaman serilerindeki eğilimlerin istatistiksel açıdan anlamlılığını (önemini) ölçmek için pek çok çalışmada kullanılmış Mann-Kendall eğilim testinin ayrıntıları için Hamed (2008)’in çalışmasına bakılabilir. Çalışmada Mann-Kendall eğilim testi $\alpha = 0.1$ (%10), $\alpha = 0.05$ (%5), $\alpha = 0.01$ (%1) olmak üzere üç farklı anlamlılık düzeyinde uygulanmıştır. $u(t)$ ve $u'(t)$ sıfıra yaklaştıkça zaman serilerinde herhangi bir eğilim olmadığını ifade eder. Zaman serilerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir eğilimin olup olmadığı Mann-Kendall testi $u(t)$ ile tespit edilmektedir. Analizler sonucu oluşturulan grafikte (Şekil 6) $u(t)$ ile $u'(t)$

kesiştikleri yer değişimin başladığı yerdir. Eğer zaman serisi içinde $u(t)$ ve $u'(t)$ birbirlerine pek çok defa yaklaşıp, paralel şekilde ilerleyip, yakın salınım yaparlarsa bu durum seri içerisinde eğilimin olmadığına işaret eder. Pozitif $u(t)$ değeri, zamanla bir artış eğiliminin olduğunu, negatif $u(t)$ değeri bir azalma eğiliminin olduğunu gösterir. Hesaplanan $u(t)$ değerinin ± 1.64 kritik değerine ulaşması, %10 anlamlılık düzeyinde (%90 güven düzeyi) istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimi; ± 1.96 değerine ulaşması, %5 anlamlılık düzeyinde (%95 güven düzeyi) anlamlı bir eğilimi; ± 2.58 değerine ulaşması ise, %1 anlamlılık düzeyinde (%99 güven düzeyi) anlamlı bir eğilimi ifade eder (Sneyers, 1990; Chrysoulakis vd., 2001; Toros, 2011; Toros, 2012).

Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yağış erozivitelerindeki eğilimin büyüklüğü Sen'in eğim metodu (Sen, 1968) ile belirlenmiştir. Sen'in eğim metodu da hidrometeorolojik zaman serilerinde eğim ya da değişim oranının tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır (Yue & Hashino, 2003; Partal & Kahya, 2006; Tabari vd., 2011; Bari vd., 2016, Lu vd., 2016). Parametrik olmayan ve veri eksikliklerinden etkilenmeyen bir yöntemdir. Zaman serisindeki eğilimin eğimi, serideki veri çiftleri arasındaki bütün eğimlerin medyanı kullanılarak hesap edilir. Pozitif eğim değeri, yukarı doğru diğer bir deyişle artan bir eğilimi gösterir iken; negatif eğim değeri, zaman serilerinde aşağı doğru diğer bir deyişle azalan bir eğilimi gösterir (Gocic & Trajkovic, 2013; Mondal vd., 2012; Gümüş vd., 2022).

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada kullanılan yağış erozivitesi modelinin amacına hizmet ettiğinden emin olmak için yağış erozivitesinin aylık değişimi ile yarı-nicel bir doğrulama yapılmıştır. Şekil 2'deki grafiklerde bu çalışmada kullanılan yağış erozivitesi modelinin sonuçları ile yüksek zamansal çözünürlüklü verilerden üretilmiş GloREDA'nın (Panagos vd., 2023) sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 2, araştırmada kullanılan yağış erozivitesi modelinin performansını göstermektedir. Grafiklerde bazı aylarda bu araştırmada tahmin edilen yağış erozivitesi değerleriyle GloREDA verileri arasında farklar olmakla birlikte, benzer değişimler sunmaktadır. Zira, araştırmada tahmin edilen yağış erozivitesi değerleri, GloREDA değerlerinden bazı aylarda farklılaşsa bile genel olarak birlikte artış veya azalış göstermektedir. Hatta bazı aylarda grafikteki çizgiler çakışmıştır. Ayrıca, Marmaris için 0.93; Bodrum için 0.83; Fethiye için 0.85 olarak hesaplanan korelasyon katsayıları (r) da modelin GloREDA (Panagos vd., 2023) sonuçlarıyla güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Dolayısıyla Şekil 2, araştırmada elde edilen aylık yağış erozivitesi değerlerinin RUSLE tabanlı eroziviteler verileriyle genel anlamda uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu da tahmin edi-



Şekil 2. Marmaris, Bodrum ve Fethiye meteoroloji istasyonları (2005-2014) için bu araştırmada hesaplanan aylık yağış erozivitesi ve GloREDA (Panagos vd., 2023) yağış erozivitesi

Figure 2. Marmaris, Bodrum, and Fethiye meteorological stations (2005-2014), the monthly rainfall erosivity calculated in this study and the GloREDA (Panagos et al., 2023) rainfall erosivity

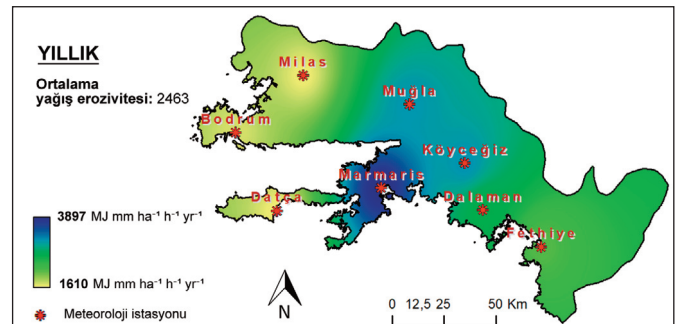
len yağış erozivitesi verileriyle gerçek yağış erozivitesi verileri arasında tatmin edici bir performansı yansıtmaktadır.

3.1. Yağış Erozivitesinin Mekânsal-Zamansal Dağılışı

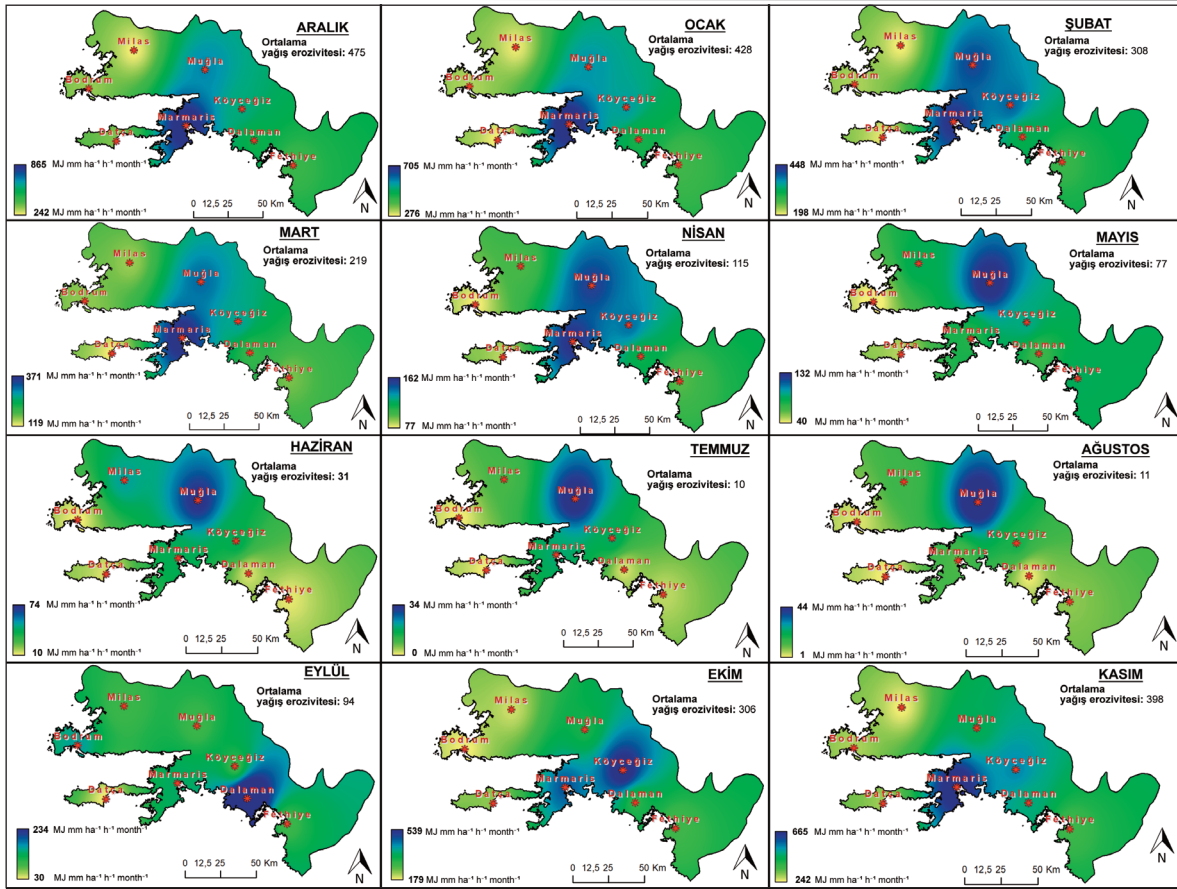
Muğla'da yağışın erozivitesinin dağılışında kısa mesafelerde dahi önemli alansal farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Şekil 3). Araştırma alanında yağışın erozivitesinin alansal dağılışını belirleyen faktörler başta hava kütleleri ve cepheler olmakla birlikte; orografik özellikler, denize yakınlık gibi yerel fiziki coğrafya faktörleri de bu dağılışın kısa mesafelerde dahi oldukça farklılaşmasında etkilidir. Araştırma alanındaki istasyonların yağış miktarları, süresi, şiddeti istasyonların bulunduğu yerin yerel fiziki coğrafya özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterdiği için yağış eroziviteler de farklılaşmaktadır. Nitekim araştırma alanında yıllık yağış erozivitesi 1610 ile 3897 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{yr}^{-1}$ arasında değişmektedir. Yıllık yağış erozivitesi en yüksek istasyon, 3897 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{yr}^{-1}$ ile Marmaris'tir. Araştırma alanında tespit edilen bu sonuç, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2019)'nın yayınladığı "Standart Zamanlardaki Maksimum Yağışlar ve Tekerrür Analizi" sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Çünkü Marmaris, Türkiye'de standart zamanlarda ölçülen en yüksek yağış miktarları konusunda rekorlara sahiptir. Türkiye'nin 18 saatlik (10-11 Aralık 1992'de 464.8 mm) yağış rekorları Marmaris istasyonuna aittir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019). Dolayısıyla aslında Marmaris sadece Muğla ilinde değil, Türkiye'de yağış klimatolojisi açısından özel bir yere sahiptir.

Araştırma alanında dağların özellikle batıya bakan yamaçlarında yağışın erozivitesi artmakta, orografik etkinin azaldığı yerlerde veya yağış gölgesinde kalan alanlarda yağışın eroziviteler değeri azalmaktadır. Fiziki coğrafya faktörlerinden denizellik etkisi de alandaki yağış erozivitesi üzerinde etkili önemli bir faktördür (Şekil 3).

Araştırma alanında Marmaris istasyonu kasımdan nisana kadar 6 ay boyunca yağış erozivitesi değerlerinin en yüksek olduğu yer olarak dikkat çekmektedir. Mayıs ayıyla birlikte ise Muğla istasyonu yağış erozivitesi değerlerinin en yüksek olduğu yer olmakta ve yaz mevsimi boyunca alandaki yağış erozivitesinin odağı Muğla olarak devam etmektedir. Eylül ayında Dalaman, ekimde ise Köyceğiz istasyonları yağış erozivitesinin en yüksek olduğu yerlerdir. Yılın yarısında yağış erozivitesinin en yüksek olduğu yer olması, erozyon ve iklim değişikliği panelinin (TEMA, 2014) de yapıldığı Marmaris'te yağış erozivitesi yüksekliğinin önemli, güncel bir problem olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. Araştırma alanının yıllık ortalama yağış erozivitesi dağılımı
Figure 3. Mean annual rainfall erosivity during the period 1965-2019.



Şekil 4. Araştırma alanının aylık ortalama yağış erozivitesi dağılımı.

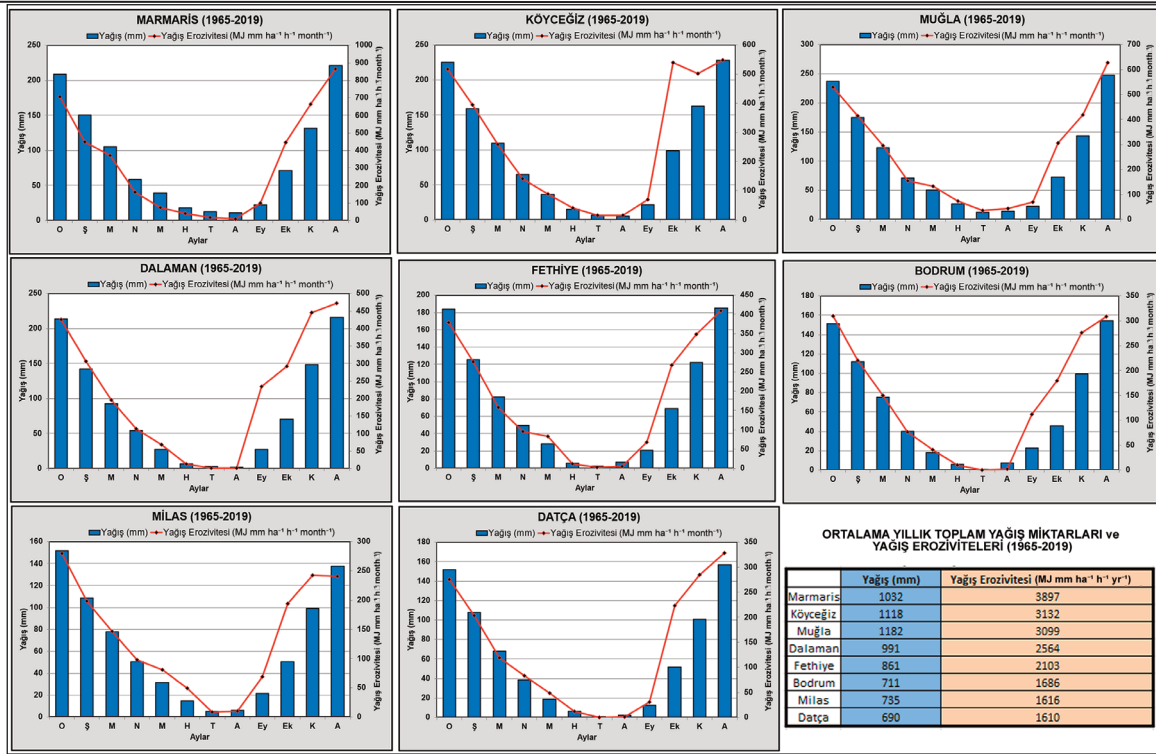
Figure 4. Monthly average rainfall erosivity distribution of the research area.

Araştırma alanında yıl içerisinde yağışın aylara dağılışı gibi yağış erozivitesinin de aylara ve mevsimlere dağılışı arasında önemli farklılıklar söz konusudur. Yıl boyunca cephesel faaliyetlere bağlı olarak sonbahar ve kış mevsiminde yağış erozivitesinin arttığı, ilkbahar ve yazda ise azaldığı görülmektedir (Şekil 4). Araştırma alanında depresyonların geçmeye başladığı eylül, ekimden itibaren yağışlar başlayıp, nisan'a kadar sürmektedir. Araştırma alanında aylık yağış erozivitesi değerlerinin yıl içerisindeki değişimi büyük ölçüde yağış rejimi ile uyumludur. Bu uyumluluğu kısmen bozan sonbahar aylarıdır. Zira, Şekil 5'de sunulan grafikler incelendiğinde diğer mevsimlerden farklı olarak, sonbahar aylarında yağış erozivitesini gösteren çizgi aynı ayların yağış sütunlarının üstünde kalmıştır. Örneğin Köyceğiz istasyonunda ekim ayı aralık ayının aldığı yağış miktarının yarısı kadar yağışa sahip olmamasına rağmen, aralık ayı ile hemen hemen aynı yağış erozivitesi değerine sahiptir. Bu da sonbahar aylarının yağışlarının yağış miktarına rağmen, yağış erozivite-lerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumun sebebi, ekim ayından itibaren bölgede etkisini artıran gezici alçak basınçlarla gelen, sonbaharda hâlâ sıcak olan hava kütlelerinin deniz üzerinden geçerken nem içeriğini artırması ve bunun sonucunda şiddetli yağışlara yol açmasıdır (Temuçin, 1990; Erlat, 1996; Erlat, 2003).

Araştırma alanında yağışın erozivitesinin en yüksek olduğu ay aralıktır (Şekil 5) ve bu durum konuyla ilgili daha önce yapılmış araştırma sonuçlarıyla da uyumludur. Nitekim Lolis ve Türkeş (2016) da Türkiye'deki ekstrem yağış olaylarının genellikle sonbahar sonu kış başında toplandığını belirtmişlerdir. Yağış erozivitesinin en yüksek olduğu mevsim kıştır ve onu sonbahar takip eder. Çiçek (2001b) Türkiye'de yağış şiddetlerinin mevsimlik durumunu incelediği çalışmasında eroziv potansiyeli yüksek ola-

rak değerlendirebileceğimiz şiddetli yağışların en çok sonbahar mevsiminde görüldüğünü ortaya koymuştur. Maksimum yağış erozivitelerinin görüldüğü sonbahar ve kış başlangıcından sonra yağış eroziviteleri düşmeye başlar. Özellikle nisan ayından itibaren yağışlarda ve yağış erozivitelerinde düşüş belirgindir (Şekil 4-5). Bunun sebebi ilkbahar mevsimiyle birlikte havaların ısınması, cephe oluşturan hava kütleleri arasındaki farklılıkların azalması ve cephe sistemlerinin zayıflayarak, kuzeye çekilmesidir (Temuçin, 1990).

Yaz, araştırma alanında yağış erozivitesinin en düşük olduğu ayların olduğu mevsimdir. Subtropikal yüksek basıncın yaz mevsiminde araştırma alanının da içinde bulunduğu Akdeniz Havzasını etkisi altına alması, yağış ihtimalini neredeyse ortadan kaldırmakta, yaz mevsimini temsil eden haziran, temmuz, ağustos ayları yılın en kurak ayları olmaktadır (Temuçin, 1990; Erlat, 2003). Yıl içindeki minimum yağış miktarlarının görüldüğü yaz aylarında yağış erozivitesinin de azalması normaldir. Yaz aylarında en yüksek yağış erozivitesine sahip istasyon, Muğla'dır (Şekil 4-5). Bunun başlıca sebebi, yazın diğer istasyonlara göre Muğla'da yağış miktarlarının da daha fazla olmasına sebep olan orajlardır. Diğer istasyonlara nispeten orajlı günler Muğla istasyonunda daha fazladır ve genellikle yaz aylarına isabet etmektedir (Kayan, 1971). Balcıoğlu (2021) de Muğla istasyonunun diğerlerine göre yükselti değerinin daha fazla olması ve denizden uzak olması sebebiyle daha karasal koşullara sahip olduğunu ve bu durumun yaz mevsiminde konveksiyonel yağışları arttırdığını belirtmiştir. Dolayısıyla Muğla'da yaz aylarında gözlemlenen konvektif orajlar, bu istasyonda yaz aylarında yağış erozivitesi değerlerinin diğer istasyonlara göre daha yüksek olmasına sebep olmuştur.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan istasyonların aylık toplam yağış (mm) ve aylık yağış erozivitesi (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ month⁻¹).

Figure 5. Monthly total precipitation (mm) and monthly erosivity (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ month⁻¹) of the weather stations used in the study.

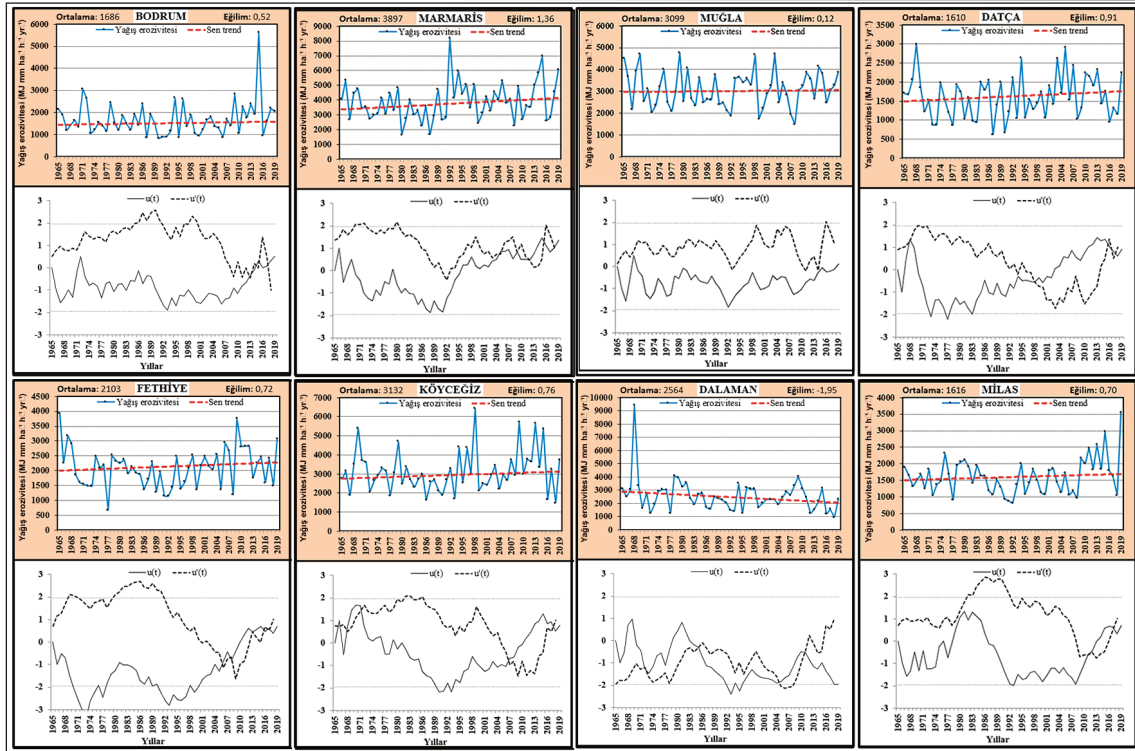
3.2. Yıllık ve Mevsimlik Yağış Eroziyitesinde Gözlenen Eğilimler

Araştırma alanı Türkiye’de yağış değişkenliğinin oldukça yüksek olduğu alanlardan biridir. Türkiye’de araştırma alanının içinde bulunduğu Akdeniz yağış rejimine dahil alanlarda Akdeniz üzerinden gelen depresyon sayı ve yolları atmosfer salınımlarına bağlı olarak yıllar arasında önemli değişkenlik gösterdiği için araştırma alanının yıllık yağış değişkenliği yüksektir (Kafalı, 1998; Ölgün, 2010). Yağış miktarlarında görülen değişkenlik yağışın erozivitesinin de her yıl farklılaşmasına yol açmıştır (Şekil 6). Muğla ilindeki meteoroloji istasyonları için tespit edilen kurak yıllar (Oğuz vd., 2021; İrvem & Özbül, 2019; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018; Türkeş & Altan, 2013) ile istasyonların yıllık yağış erozivitelerinin düşük olduğu yıllar arasında uyum vardır. İrvem ve Özbül (2019) standart yağış indeksi ile yaptıkları çalışmada Muğla’da son 30 yıllık dönemde kuraklık görülme sıklığının ve kuraklık görülen ay sayısının arttığını ortaya koymuşlardır. Muğla ilini içine alan çalışmalar, yıllık yağış miktarlarında azalma eğilimlerinin olduğunu göstermiştir (Partal & Kahya, 2006; Bacanlı, 2017; Türkeş vd., 2007; Çiçek & Duman, 2015). Bunların sonucunda araştırma alanının yıllık yağış erozivitelerinde istatistiksel açıdan anlamlı pozitif eğilim tespit edilememiştir. Bu sebeple Muğla’da yıllık yağış erozivitesinde istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimi olmadığını söyleyebiliriz. İstatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte en fazla artış eğilimi, cephesel yağışlarla birlikte orografyanın yağış erozivitesini arttırdığı ve araştırma alanında en yüksek yıllık yağış erozivitesine sahip istasyon olan Marmaris istasyonunda gözlemlenmiştir (Şekil 6).

Mann-Kendall eğilim analizi sonuçlarına göre, yıllık yağış erozivitelerinde bazı istasyonlarda artış, bazı istasyonlarda ise azalış yönünde eğilimler olduğu tespit edilmiştir. Ancak yıllık yağış erozivitelerindeki bu artış ya da azalış eğilimleri çok belirgin olmadığı gibi Dalaman istasyonu dışında istatistiksel olarak anlamlı da değildir. Dalaman’da yıllık yağış erozivitesinde, %10

anamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalış eğilimi tespit edilmiştir (Şekil 6; Tablo 2). Dalaman istasyonunun yıllık yağış erozivitelerindeki anlamlı azalış eğilimi kuraklık koşullarıyla ilişkilendirilebilir. Zira, standart yağış indeksi kullanılarak yapılan çalışma sonuçlarına göre Muğla ilinde en fazla kurak dönem görülen istasyon 24 dönem ile Dalaman olmuştur (İrvem & Özbül, 2019).

Araştırma alanında aylık yağış erozivitelerinde, yıllık yağış erozivitelerine göre çok daha belirgin artış ya da azalış eğilimleri vardır. Sonbahar ayları, araştırma alanında en belirgin pozitif yağış erozivitesi eğilimlerinin görüldüğü dönemdir. Sonbaharda, Fethiye (kasım) ve Dalaman (ekim, kasım) istasyonları hariç çalışmada kullanılan istasyonların yağış erozivitesi eğilimleri artış yönündedir. Bu pozitif eğilimler; eylülde Marmaris ve Milas istasyonunda %10 anlamlılık düzeyinde, Bodrum’da ise %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer sonbahar aylarında da istasyonlarda, kış ve ilkbahar aylarına nispeten daha kuvvetli artış eğilimleri söz konusudur. Hatta ekimde Köyceğiz ve Milas’ta; kasımda Datça’da olduğu gibi istatistiksel anlamlılığa yakın artış eğilimleri söz konusudur. Bu da zaten araştırma alanında yağış erozivitesi yüksek olan sonbahar aylarının yağışlarının, önümüzdeki yıllarda daha da erozivitesini arttırabileceği şeklinde değerlendirilebilir (Tablo 2). Araştırma alanında yağış erozivitelerinde sonbahar aylarında tespit edilen belirgin artış eğilimleri Akdeniz Havzası’nda konuyla ilgili yapılan diğer araştırma sonuçlarıyla da uyumludur. Nitekim Akdeniz Havzası’nda yapılan çalışmalar yağışın erozivitesinde mevsimsel olarak en yüksek artışın genellikle sonbaharda gözlemlendiğini ortaya koymuştur (Çelik vd., 2008; Ramos & Durán, 2014; Fumière, 2020). Akdeniz Havzası’nda sonbahar (eylül-kasım), son zamanlarda daha şiddetli yağışların görüldüğü en tehlikeli mevsim olarak kabul edilmektedir (Diodato & Bellocchi, 2010). Bunun sebebi Pumo vd. (2019)’un da belirttiği gibi, giderek artan özellikle yaz sıcaklıkları sonucu havanın nem taşıma kapasitesinin artması ve yağış olaylarına daha fazla su sağlama po-



Şekil 6. Çalışmada kullanılan istasyonların yıllık yağış erozivitesinin zaman serileri, Sen'in Eğim Tahmincisi Testi ve Mann-Kendall istatistikleri
Figure 6. Time series of annual rainfall erosivity of the stations used in the study, Sen's Slope Estimator Test and Mann-Kendall statistics

tansiyeline sahip olmasıdır. Uzun bir kurak yaz mevsiminin ardından zayıflamış bitki örtüsüne, kırılgan topraklara sahip zemine düşen sağanak yağışların meydana gelmesi nedeniyle yarıkurak Akdeniz iklimi bölgeleri, özellikle erozyona karşı çok hassastır (Karydas vd., 2009). Akdeniz koşullarında yapılan çalışmalar, toprak kaybının en yüksek değerlerinin yoğun sağanak yağışlar nedeniyle yağış erozivitesinin zirveye ulaştığı sonbaharda gerçekleşme olasılığının daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Ferreira & Panagopoulos, 2014). Dolayısıyla halihazırda erozyon, sel-taşkın gibi afetler açısından sorun olan sonbahar yağış erozivitesi değerleri, artış eğiliminde olması sebebiyle bölgede gelecekte daha büyük problemlere yol açma potansiyeline sahiptir.

Kış aylarında, yağış erozivitelerinde Dalaman ve Köyceğiz hariç istatistiksel açıdan anlamlı bir eğilim tespit edilememiştir. Dalaman istasyonunun aralık ayı yağış erozivitesinde %5 anlamlılık düzeyinde, Köyceğiz istasyonunun ise yine aralık ayı erozivitesinde %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı azalış eğilimi vardır. Araştırma alanında yıl içindeki yağış erozivite-

sinin en yüksek değerlere ulaştığı aralık ayında; Bodrum, Marmaris, Muğla, Milas ve Datça istasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalış eğilimleri vardır. Ayrıca ocak ayında Bodrum, Muğla, Dalaman; şubat ayında Köyceğiz, Muğla, Dalaman, Fethiye istasyonlarında yağış erozivitelerinde istatistiksel olarak anlamlı olmayan azalış eğilimi vardır (Tablo 2).

İlkbahar aylarında, yağış erozivitelerinde araştırma alanındaki istasyonlarda istatistiksel açıdan anlamlı eğilimler tespit edilememiştir. Mart ayında, Köyceğiz ve Fethiye hariç tüm istasyonlarda istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmamakla birlikte azalma eğilimleri vardır (Tablo 2).

Yaz ayları, araştırma alanında yağış erozivitesinin en düşük olduğu dönem olmakla birlikte, bazı istasyonlarda yağış erozivitesinde istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Temmuz ve ağustosta Muğla'da; ağustosta Milas'ta yağış erozivitesinde %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Bu durumun, Muğla'da yazın görülen orajlarla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Nitekim Balcıoğlu (2021), 1990'ların ortalarından itibaren artan sıcaklıkların, havanın nem ihtiva etme kapasitesini de arttırdığını, doyma noktasına ulaşılması durumunda yaz yağışlarının miktarını Muğla'da artırdığını belirtmektedir. Aynı çalışmada, 2000 yılından itibaren konvektif orajlara bağlı yağışların belirgin şekilde arttığı vurgulanmıştır. Bu durum, yaz aylarında yağış erozivitesindeki artış eğilimlerini açıklayan önemli bir faktör olarak değerlendirilebilir. Marmaris, Bodrum, Dalaman, Fethiye'de ise bazı yaz aylarında istatistiksel olarak anlamlı olmamak ile birlikte negatif yönlü eğilimler vardır (Tablo 2).

3.3. Muğla'da Çevre Sorunları ve Yağış Erozivitesi

Muğla'da orman alanlarının oranı %56, açıklık alanların oranı ise %44'tür. Türkiye arazisinin %27'sinin orman olduğu göz önünde bulundurulursa Muğla ilinin sahip olduğu bu orman

Tablo 2. Mann-Kendall eğilim analizi sonuçları (**0.01 düzeyinde anlamlı, **0.05 düzeyinde anlamlı, *0.1 düzeyinde anlamlı)

Table 2. Mann-Kendall trend analysis results (significant at **0.01 level, significant at **0.05 level, significant at *0.1 level)

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	Ey	Ek	K	A	Yıllık
Bodrum	-0.51	0.13	-0.89	0.8	1.38	-1.55	-0.73	-0.44	2.02**	0.73	0.65	-1.25	0.51
Marmaris	0.41	0.13	-0.49	0.86	-0.72	-0.86	0.99	-0.6	1.84*	0.07	1.03	-0.22	1.35
Köyceğiz	0.22	-1.12	0.35	0.52	0.9	-1.17	0.6	1.14	0.7	1.62	1.32	-1.81*	0.75
Muğla	-0.42	-0.32	-0.96	-0.28	0.67	0.64	1.95*	1.77*	1.51	0.79	0.55	-1.61	0.12
Milas	0.83	0.19	-0.41	0.07	0.05	-0.97	0.41	1.91*	1.86*	1.44	0.87	-0.83	0.7
Datça	0.33	0.01	-0.78	0.17	0.68	0.44	0.33	-0.11	1.32	0.86	1.5	-0.14	0.9
Dalaman	-0.98	-1.39	-1.35	1.06	0	-1.28	0.13	-0.7	0.28	-0.78	-0.74	-2.06**	-1.95*
Fethiye	0.9	-0.29	0.22	-0.17	0.46	-0.3	1.09	-0.23	0.97	0.7	-0.1	0.86	0.71

varlığı Türkiye ortalamasının 2 katından fazladır (Orman Genel Müdürlüğü, 2006). Bu durum aslında yağışların erozivitesinin zemindeki etkisini azaltma konusunda Muğla için büyük bir avantajdır. Fakat Muğla aynı zamanda Türkiye’de en fazla orman yangını görülen ildir (Çelik vd., 2018). Özellikle yaz mevsiminde birçok yeşil alan yangınlarla yok olmaktadır. Bölgenin uzun süren sıcak ve kurak bir yaz mevsimine sahip olması, sıcak hava dalgaları, bitki örtüsü özellikleri, engebeli topografik yapısı gibi coğrafi özellikleri bu yangınları arttırıcı niteliktedir (Altan, 2011; Türkeş & Altan, 2012; Türkeş & Altan, 2013; Alkayış vd., 2022). 2009-2018 döneminde Muğla’da gerçekleşen orman yangınlarının yıllık ortalama sayılarının en yüksek olduğu ilçeler; Milas, Menteşe ve Marmaris’tir. Orman yangınlarının en çok gerçekleştiği bu üç ilçede ilgili yıllarda yanan alan miktarları yıllık ortalama olarak Milas 116.2 hektar, Menteşe (Muğla Merkez) 36.1 hektar ve Marmaris 32.5 hektardır. 2018 yılında Muğla’da meydana gelen 3 büyük yangından ikisinin Marmaris ve Milas’da olması da konuyla ilgili dikkat çekici rakamlardır (Alkayış vd., 2022). Dolayısıyla Marmaris, Bodrum, Fethiye, Datça gibi kıyı kesimleri etkileyen ve endişe yaratan denizin renginin değişmesi gibi dikkat çekici çevre olaylarının (Akkır, 2017; Kesen, 2018; Ersoy, 2023) temelinde yağışın erozivitesinde görülen artış eğilimlerinin yanında araştırma alanındaki orman yangınları, bitki örtüsü tahribatları hatta madencilik faaliyetlerinin etkisi de sorgulanmalıdır. Zira, bu bölge Türkiye’de yağışın erozivitesinin yüksek olduğu, günlük yağış rekorlarının kırıldığı bir bölge (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019) olmakla birlikte, bu durum yeni değildir. İklim değişikliği ve erozyon konusunda araştırma alanının odağı durumundaki Marmaris’te gerçekten de çok şiddetli, erozivitesi yüksek yağışlar görülebilmektedir. Nitekim Marmaris istasyonu uzun yıllar Türkiye’nin günlük yağış rekorunu elinde bulunduran istasyon (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019) olarak araştırma alanı içerisinde yağış klimatolojisi açısından özel bir yere sahiptir. Ancak bu durum son yıllarda haberlerde çok görülen ve dikkat çekici boyutlara varan denizin renginin değişmesi gibi çevresel olayları açıklamak konusunda yetersiz kalmaktadır. Çünkü bölgede geçmişten günümüze erozivitesi yüksek yağışlar görülmesine rağmen, son yıllarda bu yağışların sebep oldukları çevresel problemler dikkat çekmektedir. Bu problemler hemen her yıl haberlere (Kesen, 2018; Efecik, 2024) konu olmakta, hatta yetkilileri harekete geçirerek TEMA (2014) paneli gibi etkinlikler düzenlettirmektedir. Bu durumda buradaki orman yangınlarının, bitki örtüsü tahriplerinin, madencilik faaliyetlerinin, arazi kullanımı değişimlerinin boyutları ve bu sürece etkisinin ortaya konulması ile daha doğru değerlendirme yapılabilir. Ayrıca Marmaris’te eylül ayı hariç yağış erozivitesi konusunda istatistiksel açıdan anlamlı artış eğilimi bulunmadığı gibi, yıl içerisinde bazı ayların yağış eroziviteleri küçük ve istatistiksel açıdan anlamsız da olsa azalış eğilimindedir.

Araştırma alanında son yıllarda endişe yaratan bir konu olan sağanak yağışlardan sonra gerçekleşen denizin renginin değişmesi gibi olaylardaki artış, iklim değişimini ilk gündeme getirebilmektedir (TEMA, 2014). Fakat bu makalenin yazıldığı 27 Haziran 2021 tarihinde bile Marmaris’te içmeler mevkiinde büyük bir orman yangını gerçekleşti ve denize bakan büyük bir dağ yamacı tamamen yandı (BBC News, 2021). Muğla Orman Bölge Müdürlüğü’nün son 45 yıllık orman yangını sayısı ve yanan alan büyüklüğü ile ilgili rakamları (Erdemli, 2023) da yaşanan çevre felaketlerinin sadece yağış karakterindeki değişmeden kaynaklanamayacağını kanıtlar niteliktedir. Dolayısıyla

Muğla’da sel, taşkın, erozyon, akarsuların taşıdığı sediment miktarındaki artış, denizin renginin değişmesi gibi problemlerin sadece iklim değişikliği perspektifinden değerlendirilmesi, çevresel sorunların karmaşık yapısını tam yansıtmayabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Türkiye’de yağış klimatolojisi açısından özel bir yere sahip olan Muğla’nın yağış erozivitesinin aylık ve yıllık mekânsal dağılışı ile yağış erozivitesinde görülen eğilimler ilk defa araştırılmıştır.

Araştırma alanındaki meteoroloji istasyonlardaki yıllık yağış erozivitesi değerleri, 1610 ile 3897 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹ arasında değişen değerlerde hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Muğla’da yağış erozivitesinin mekânsal olarak oldukça değişken karakterini yansıtmaktadır. Araştırma alanında en yüksek yıllık yağış erozivitesi Marmaris’te tespit edilmiştir. Bu yüksek enerjili yağışlar Marmaris’teki hidrolojik, jeomorfolojik ve çevresel süreçler açısından önemlidir.

Muğla’da diğer tipik Akdeniz iklim rejiminin görüldüğü bölgelerdeki gibi en fazla yağış kış aylarında düşmektedir ve yağışın erozivitesinin en yüksek olduğu aylar (aralık, ocak) da kış mevsimindedir. Araştırma alanında yağış erozivitesinin yıl içerisindeki dağılışı ile yağış miktarlarının yıl içerisindeki dağılışı arasında genel bir uyum olmakla birlikte, bu uyum kısmen sonbahar aylarında bozulmaktadır.

Araştırma alanında 1965-2019 dönemini kapsayan yağış verilerine göre, yıllık yağış erozivitesinde istatistiksel açıdan anlamlı artış eğilimleri tespit edilmemiştir. Buna karşılık, özellikle sonbahar ve yaz aylarında bazı istasyonlarda aylık yağış erozivitelerinde istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimleri dikkat çekmektedir. Araştırma alanına en fazla yağışın düştüğü kış aylarında ise, bazı istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı azalış eğilimleri gözlemlenmiştir. Araştırma alanında en yüksek yağış erozivitesine sahip ay olan Aralık, aynı zamanda yağış erozivitesinde en belirgin azalış eğilimlerinin görüldüğü ay olmuştur.

Muğla’da küresel iklim değişikliği süreciyle de desteklenen yüksek erozivitedeki yağışları engellemek mümkün değildir. Fakat araştırma alanının bu yağışlara karşı aslında önemli bir avantajı olan bitki örtüsü varlığı korunmalıdır. Arazi kullanım kararlarıyla bitki örtüsünü yangınlardan ve insan kaynaklı tahribatlardan korumak Muğla gibi yüksek erozivitede yağışlara sahip yerler için ciddi derecede önem taşımaktadır. Özellikle üst havzadaki erozyon koruma çalışmaları desteklenmeli, mevcut bitki örtüsü korunurken, yanan orman alanları için rehabilitasyon çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca taş ocağı, madencilik faaliyetleri ve turistik site yapımı gibi arazi kullanımı kararları verilirken bölgedeki yağış akış ilişkileri göz önünde bulundurularak verilmelidir. Bölgedeki yağışların karakterinden dolayı alınacak yanlış arazi kullanımı kararları, bitki örtüsü tahribatları, orman yangınlarının sonuçlarını yeni çevre felaketleriyle ödemek kaçınılmazdır.

Bundan sonraki çalışmalarda bölgenin dakikalık ve saatlik yağış verileri temin edilebilirse günlük yağış eroziviteleri hesaplanabilir ve daha gelişmiş aylık yağış erozivitesi formülleri uygulanabilir.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması söz konusu değildir. *Author declare that there is no conflict of interest in this study.*

Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval: Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

Yazar Katkısı /Author Contribution: Yazar, çalışmayı tek başına oluşturmıştır. *The author contributes the study on his own.*

Teşekkür ve Katkı Belirtme / Acknowledgement: Çalışmada yağış erozivitesi hesaplamasında kullanılan yöntemle ilgili teknik desteği için Dr. Nazzareno Diodato'ya (Met European Research Observatory-International Affiliates' Program 594 of the University Corporation for Atmospheric Research) teşekkür ederim. Değerlendirme, yapıcı eleştiri ve katkılarıyla makalenin çok daha iyi bir hale gelmesini sağlayan hakemlere teşekkür ederim. *I would like to thank Dr. Nazzareno Diodato for his technical support with the method used to calculate rainfall erosivity in this study. I would like to thank the anonymous reviewers for their helpful comments which greatly strengthened the manuscript*

Kaynakça

- Akkır, A.R. (2017, Aralık 30). *Fethiye'de denizin rengi değişti*. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri/fethiyede-denizin-rengi-degisti/0#>
- Alkayış, M. H., Karşlıoğlu, A., & Onur, M. İ. (2022). Muğla ili Mentеше yöresi orman yangını risk potansiyeli haritasının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Geomatik*, 7(1), 10-16. <https://doi.org/10.29128/geomatik.791545>
- Altan, G. (2011). *Muğla ve Çanakkale illerinde 2000-2008 döneminde gerçekleşen büyük orman yangınlarının iklimolojik ve meteorolojik analizi* (Yayın No. 308966) [Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Angulo-Martínez, M., López-Vicente, M., Vicente-Serrano, S. M., & Beguería, S. (2009). Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(10), 1907-1920. <https://doi.org/10.5194/hessd-6-417-2009>
- Aydın, O., & Çiçek, İ. (2013). Ege Bölgesi'nde yağışın mekânsal dağılımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 101-120. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000145
- Bacanlı, Ü. G. (2017). Trend analysis of precipitation and drought in the Aegean region, Turkey. *Meteorological Applications*, 24(2), 239-249. <https://doi.org/10.1002/met.1622>
- Balcıoğlu, Y. E. (2021). *Bodrum, Marmaris, Köyceğiz ve Muğla'da sıcaklık ve yağış değişkenlerinin analizi ve ekstrem olaylar* (Yayın No. 674206) [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Bari, S. H., Rahman, M. T. U., Hoque, M. A., & Hussain, Md. M. (2016). Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. *Atmospheric Research*, 176-177, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.008>
- BBC News. (2021, Haziran 27). *Marmaris'te bir kişinin hayatını kaybettiği orman yangını kontrol altına alındı*. BBC NEWS Türkçe. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-57628620>
- Bezak, N., Ballabio, C., Mikoš, M., Petan, S., Borrelli, P., & Panagos, P. (2020). Reconstruction of past rainfall erosivity and trend detection based on the REDES database and reanalysis rainfall. *Journal of Hydrology*, 590, 125372. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125372>
- Burn, D. H., & Hag Elnur, M. A. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255(1-4), 107-122. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00514-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00514-5)
- Chrysoulakis, N., Proedrou, M., & Cartalis, C. (2003). Variations and trends in annual and seasonal means of precipitable water in Greece as deduced from radiosonde measurements. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 84(1-4), 1-6. <https://doi.org/10.1080/02772240309818>
- Çelik, S., Yayvan, M., Bacanlı, H., Görgeç, H., & Deniz, A. (2008). 16 Kasım 2007 Tekirdağ, 18 Kasım 2007 Marmaris, Bodrum ve Dalaman'da meydana gelen şiddetli yağışların sinoptik analizi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/marmaris-sel.pdf>
- Çelik, M. A., Bayram, H., & Özüpekçe, S. (2018). An assessment on climatological, meteorological and hydrological disasters that occurred in Turkey in the last 30 years (1987-2017). *International Journal of Geography and Geography Education*, (38), 295-310. <http://dx.doi.org/10.32003/iggei.424675>
- Çölleşme ve Erozyon Mücadele Genel Müdürlüğü. (2018). *DEMİS Türkiye su erozyonu istatistikleri, teknik özet*. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/d-nam-k-erozyon-model-ve-izleme-s-stem-demis-tek-n-k-ozet_k-2021111092719.pdf
- Çiçek, İ. (2001a). Türkiye'de mevsimlere göre yağış şiddetleri ve sıklıkları. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8(1), 1-26.
- Çiçek, İ. (2001b). Türkiye'de günlük yağış şiddetleri ve frekansları. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8, 27-48.
- Çiçek, İ., & Duman, N. (2015). Seasonal and annual precipitation trends in Turkey. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10(2), 77-84.
- Davison, P., Hutchins, M. G., Anthony, S. G., Betson, M., Johnson, C., & Lord, E. I. (2005). The relationship between potentially erosive storm energy and daily rainfall quantity in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 344(1-3), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.002>
- D'Asaro, F., D'Agostino, L., & Bagarello, V. (2007). Assessing changes in rainfall erosivity in Sicily during the twentieth century. *Hydrological Processes*, 21(21), 2862-2871. <https://doi.org/10.1002/hyp.6502>
- Diodato, N. (2006). Predicting RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) monthly erosivity index from readily available rainfall data in Mediterranean Area. *The Environmentalist*, 26(1), 63-70. <https://doi.org/10.1007/s10669-006-5359-x>
- Diodato, N., & Bellocchi, G. (2007). Estimating monthly (R)USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *Journal of Hydrology*, 345(3-4), 224-236. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.08.008>
- Diodato, N., & Bellocchi, G. (2010). Storminess and environmental changes in the Mediterranean Central Area. *Earth Interactions*, 14(5), 1-16.

- <https://doi.org/10.1175/2010ei306.1>
- Diodato, N., Chirico, G. B., & Romano, N. (2014). Monthly erosive storm hazard within river basins of the Campania region, Southern Italy. In N. Diodato & G. Bellocchi (Eds.), *Storminess and environmental change* (pp. 117-129). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7948-8_8
- Diodato, N., & Aronica, G. (2014). Finding simplicity in storm erosivity modelling. In N. Diodato & G. Bellocchi (Eds.), *Storminess and environmental change* (pp. 53-64). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7948-8_4
- Efecik, V. (2024, Aralık). *Marmaris'te rekor yağış: altyapı felaketi önledi deniz kahverengiye döndü. Marmaris Manşet Gazetesi.* <https://marmarismanset.com/haber/22699687/marmariste-rekor-yagis-altyapi-felaketi-onledi-deniz-kahverengiye-dondu>
- Erdemli, F. (2023). *2023 yılı orman yangınları değerlendirme raporu.* T.C. Orman Genel Müdürlüğü Muğla Orman Bölge Müdürlüğü.
- Erlat, E. (1996). Türkiye'de günlük yağışların şiddeti üzerine bir inceleme. *Ege Coğrafya Dergisi*, 9(1), 159-184.
- Erlat E. (2003). *İzmir'in hava tipleri klimatolojisi.* Ege Üniversitesi Basımevi.
- Ersoy, E. (2023, Kasım 18). *Datça'da sağanağın ardından denizin rengi değişti.* Demirören Haber Ajansı. <https://www.dha.com.tr/gundem/datcada-saganagin-ardindan-denizin-rengi-degisti-2345777>
- Ferreira, V., & Panagopoulos, T. (2014). Seasonality of soil erosion under Mediterranean conditions at the Alqueva dam watershed. *Environmental Management*, 54, 67-83. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0281-3>
- Fumière, Q., Déqué, M., Nuissier, O., Somot, S., Alias, A., Cailaud, C., Laurantin, O., & Seity, Y. (2020). Extreme rainfall in Mediterranean France during the fall: added value of the CNRM-AROME Convection-Permitting Regional Climate Model. *Climate Dynamics*, 55(1), 77-91. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04898-8>
- GeoFabrik (2024). Geofabrik: Download server for openstreetmap data, Web Based Download Application: <http://download.geofabrik.de/> (Son erişim: 08.04.2024).
- Grauso, S., Diodato, N., & Verrubbi, V. (2010). Calibrating a rainfall erosivity assessment model at regional scale in Mediterranean area. *Environmental Earth Sciences*, 60(8), 1597-1606. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0294-z>
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8). <https://doi.org/10.1029/2006gl025734>
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Güçlü, Y. (2004). Thornthwaite ve Erinc indislerine göre Köyceğiz-Fethiye yöresinin iklim tipleri. *Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7, 216-225.
- Gümüş, V., Şimşek, O., & Açar, M. K. (2022). Artvin ve Rize istasyonlarına ait aylık toplam yağış verilerinin trendinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 204-216. <https://doi.org/10.46578/humder.1207593>
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- Held, I. M., & Soden, B. J. (2006). Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming. *Journal of Climate*, 19(21), 5686-5699. <https://doi.org/10.1175/jcli3990.1>
- Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., & Xu, C.-Y. (2012). Spatial and temporal variations in rainfall erosivity during 1960-2005 in the Yangtze River basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(2), 337-351. <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0607-8>
- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee & J. Romero (eds.)]. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- İkiel, C. (1997). *Muğla ve çevresinin iklimi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Fırat Üniversitesi.
- İkiel, C. (2000). Muğla ve çevresinin yağış şiddeti bakımından özellikleri. *Sakarya Üniversitesi Fen-Edebiyat Dergisi*, 2, 96-100.
- İkiel, C. (2004). Muğla ilinin coğrafi özellikleri. İçinde A. A. Çınar (Ed.), *Muğla kitabı (arkeoloji - tarih - coğrafya, ağız özellikleri, halk kültürü)* (ss. 15-25).
- İrvem, A., & Özbülü M. (2019). Türkiye'nin Muğla ili için SYİ yöntemi ile kurak dönem analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24, 142-148.
- Kafalı, F. (1998). *Datça yarımadasında doğal ortam ve insan ilişkileri* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Kara, H. (1998). Muğla'nın iklim özellikleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1, 123-136.
- Karydas, C. G., Sekuloska, T., & Silleos, G. N. (2009). Quantification and site-specification of the support practice factor when mapping soil erosion risk associated with olive plantations in the Mediterranean island of Crete. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 19-28. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0179-8>
- Kayan, İ. (1971). Gökova ve çevresinde fiziki coğrafya araştırmaları. *Ankara Üniversitesi DTFC Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 3-4, 295-336.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation measures.* Charles Griffin.
- Kesen, S. (2018, Kasım 28). *Marmaris'te denizin rengi değişti.* Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/marmariste-denizin-rengi-degisti/1324133>
- Koçman, A. (1993). *Türkiye iklimi.* Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Kum, G. & Gönençgil, B. (2018). Türkiye'nin güneybatı kıyılarında turizm iklim konforu. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(1), 70-87. <https://doi.org/10.21547/jss.341541>
- Lolis, C. J., & Türkeş, M. (2016). Atmospheric circulation characteristics favouring extreme precipitation in Turkey. *Climate Research*, 71(2), 139-153. <https://dx.doi.org/10.3354/cr01433>
- Longobardi, A., Diodato, N., & Mobilia, M. (2016). Historical storminess and hydro-geological hazard temporal evolution

- in the solofrana river basin—Southern Italy. *Water*, 8(9), 398. <https://doi.org/10.3390/w8090398>
- Lu, X., Wang, L., Pan, M., Kaseke, K. F., & Li, B. (2016). A multi-scale analysis of Namibian rainfall over the recent decade—comparing TMPA satellite estimates and ground observations. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.07.003>
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change. (2020). *Climate and environmental change in the Mediterranean Basin – current situation and risks for the future* (W. Cramer, J. Guiot, & K. Marini, Eds.), First Mediterranean Assessment Report. Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2019). *Standart zamanlardaki ekstrem yağışlar*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (Son erişim: 10.10.2019) <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/maksimum-yagislar.aspx>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2020). Muğla, Bodrum, Milas, Fethiye, Köyceğiz, Datça, Marmaris, Dalaman meteoroloji istasyonu rasat verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Mondal, A., Kundu, S., & Mukhopadhyay, A. (2012). Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: A case study of north-eastern part of Cuttack district, Orissa. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2(1), 70-78.
- Milliyet. (2014, Kasım). *Marmaris'te erozyon iklim değişikliği paneli*. <https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/mugla/marmaris-te-erozyon-iklim-degisikligi-paneli-10483068>
- Nearing, M. A. (2001). Potential changes in rainfall erosivity in the U.S. with climate change during the 21st century. *Journal of Soil and Water Conservation*, 56(3), 229–232.
- Orman Genel Müdürlüğü. (2006). *Orman varlığımız*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü.
- Oğuz, K., Pekin, M.A., & Çamalan, G. (2021). Muğla ilinde 1960-2018 dönemi kuraklık analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7 (1), 89-100. <https://doi.org/10.21324/dacd.774955>
- Ölgen, K. (2010). Türkiye'de yıllık ve mevsimsel yağış değişkenliğinin alansal dağılımı. *Ege Coğrafya Dergisi*, 19 (1), 85-95.
- Özçelik, C., & Benli, K. (2020). 22-23 Eylül 2015 Bodrum sel felaketi. *Teknik Dergi*, 31 (3), 10013-10032. <https://doi.org/10.18400/tekderg.503017>
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis isn Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20, 2011-2026. <https://doi.org/10.1002/hyp.5993>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rosseseva, S., Tadić, M. P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., & Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment*, 511, 801-814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., Yang, J. E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G. A., Krasnov, S. F., Gorobets, A. V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., ... Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7(1), 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- Panagos, P., Hengl, T., Wheeler, I., Marcinkowski, P., Rukeza, M. B., Yu, B., Yang, J. E., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S. H., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Oliveira, P. T. S., Bonilla, C. A., Nel, W., Al Dashti, H., Bezak, N., ... Borrelli, P. (2023). Global rainfall erosivity database (GloREDA) and monthly R-factor data at 1 km spatial resolution. *Data in Brief*, 50, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109482>
- Petkovšek, G., & Mikoš, M. (2004). Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of south-west Slovenia. *Hydrological Sciences Journal*, 49(5). <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.869.55134>
- Pumo, D., Carlino, G., Blenkinsop, S., Arnone, E., Fowler, H., & Noto, L.V. (2019). Sensitivity of extreme rainfall to temperature in semi-arid Mediterranean regions. *Atmospheric Research*, 225, 30-44. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.036>
- Ramos, M.C., & Durán, B. (2014). Assessment of rainfall erosivity and its spatial and temporal variabilities: Case study of the Penedès area (NE Spain). *Catena*, 123, 135-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.015>
- Richardson, C. W., Foster, G. R., & Wright, D. A. (1983). Estimation of erosion index from daily rainfall amount. *Transactions of the ASAE*, 26(1), 0153–0156. <https://doi.org/10.13031/2013.33893>
- Sadeghi, S. H., Zabihi, M., Vafakhah, M., & Hazbavi, Z. (2017). Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. *Natural Hazards*, 87, 35-56. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2752-3>
- Sarkar, N., Rizzo, A., Vandelli, V., & Soldati, M. (2022). A literature review of climate-related coastal risks in the Mediterranean, a climate change hotspot. *Sustainability*, 14(23), 15994. <https://doi.org/10.3390/su142315994>
- Sarış, F., Keserci, F. & Bayrakdar, C. (2021). Yerel yağış değişkenliğine bir örnek: Fethiye- Söğütlüdere karşılaştırması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 87-98
- Santosa, P. B., Mitani, Y., & Ikemi, H. (2010). Estimation of RUSLE EI 30 based on 10 min interval rainfall data and GIS-based development of rainfall erosivity maps for Hitotsuse basin in Kyushu Japan. In *2010 18th International Conference on Geoinformatics* (pp. 1–6). IEEE
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., & Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, & P. M. Midgley (Eds.), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation* (pp. 109–230). Cambridge University Press.
- Sneyers, R. (1990). *On the statistical analysis of series of observations*. WMO.
- SRTM. (2013). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global. Distributed by OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9445JDF>. (Son erişim: 08.04.2024)
- Tabari, H., Somee, B. S., & Zadeh, M. R. (2011). Testing for long-term trends in climatic variables in Iran. *Atmospheric Research*, 100(1), 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.01.005>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2018). *Batı Akdeniz havzası kuraklık*

- yönetim planı nihai rapor (Rev.1). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- TEMA. (2014, Kasım 17–23). *Erozyon, doğal ekosistem hizmetleri ve iklim değişikliği: Marmaris örneği*. TEMA Vakfı Paneli, Marmaris.
- Temuçin, E. (1990). Aylık değişme oranlarına göre Türkiye’de yağış rejimi tipleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, 5, 160-183.
- Toros, H. (2011). Spatio-temporal precipitation change assessments over Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(9), 1310-1325. <https://doi.org/10.1002/joc.2353>
- Toros, H. (2012). Spatio-temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(7), 1047-1055. <https://doi.org/10.1002/joc.2325>
- Trenberth, K.E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1), 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Türkeş, M., Koç, T., & Sarış, F. (2007). Türkiye’nin yağış toplamı ve yoğunluğu dizilerindeki değişikliklerin ve eğilimlerin zamansal ve alansal çözümlemesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Türkeş, M., & Altan, G. (2012). Muğla Orman Bölge Müdürlüğü’ne bağlı orman arazilerinde 2008 yılında çıkan yangınların kuraklık indisleri ile çözümlenmesi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 9(1), 912-931.
- Türkeş, M., & Altan, G. (2013). İklimsel değişimlerin ve orman yangınlarının Muğla yöresindeki doğal çevre, doğa koruma alanları ve biyotaya etkilerinin bir ekolojik biyocoğrafya çözümlemesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22(2), 57-75.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Xin, Z., Yu, X., Li, Q., & Lu, X. X. (2010). Spatiotemporal variation in rainfall erosivity on the Chinese Loess Plateau during the period 1956–2008. *Regional Environmental Change*, 11(1), 149–159. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0127-3>
- Yu, B., Hashim, G. M., & Eusof, Z. (2001). Estimating the R-factor with limited rainfall data: a case study from peninsular Malaysia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 56(2), 101-105.
- Yu, B. (2002). Using CLIGEN to generate RUSLE climate inputs. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 993.
- Yue, S., & Hashino, M. (2003). Temperature trends in Japan: 1900–1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 75(1), 15-27. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0717-1>