



FIRAT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER DERGİSİ

Journal of Social Sciences

p-ISSN:1300-9702 e-ISSN: 2149-3243



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU KAYNAKLARINA ETKİSİ VE UYUM ÖNERİLERİ: KIRAZDERE HAVZASI ÖRNEĞİ

Climate Change Impact on Water Resources and Adaptation Strategies: The Case of Kirazdere Basin

Cüneyt AYVA¹, Ayşe ATALAY DUTUCU² ve Beyza USTAOĞLU³

¹Lisans Öğrencisi, Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, cuneyt.ayva@sakarya.edu.tr, orcid.org/0000-0001-9974-8745

²Dr. Öğr. Üyesi, Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, aatalay@sakarya.edu.tr, orcid.org/0000-0002-8602-8172

³Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, bustaoglu@sakarya.edu.tr, orcid.org/0000-0002-9876-3027

Araştırma Makalesi/Research Article

Makale Bilgisi

Geliş/Received:

15.06.2022

Kabul/Accepted:

07.12.2022

DOI:

10.18069/firatsbed.1131015

Anahtar Kelimeler

İklim Değişikliği, Kuraklık,
Uyum, Su Kaynakları,
Sürdürülebilirlik

Keywords

Climate Change,
Drought, Adaptation, Water
Resources, Sustainability

ÖZ

Çalışmada Kocaeli ilinin önemli su kaynaklarından birisi olan Yuvacık Barajı'nın alt havzalarından Kirazdere havzası ve çevresinde iklim değişikliğinin günümüzdeki etkisi ve gelecekteki olası etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Mann Kendall trend analizi sonuçlarına göre; 1975-2020 yılları arasında sıcaklığın artış trendinde olduğu, bu artışın belirgin olarak 2000'li yıllardan sonra olduğu, yağışta anlamlı bir trend olmadığı, akımın ise azalış trendinde olduğu gözlemlenmiştir. R Studio programı kullanılarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) analizi ile incelenen periyotta kuraklıkların olduğu saptanmıştır. Baraj gölünde kuraklığın da etkisiyle meydana gelen su seviyesindeki azalmalar, arazi çalışmalarında alınan drone görüntüleri ile de gözlemlenmiştir. HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modellerinden RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları ile elde edilen sonuçlara göre 2020-2098 periyodunda sıcaklıklarda artış trendi gözlemlenmiştir. Yağışlarda ise MPI-ESM-MR RCP8.5'e senaryosuna göre azalma yönünde bir trend olduğu gözlemlenmiş, ancak diğer model ve senaryolardan elde edilen sonuçlarda anlamlı bir trend gözlemlenmemiştir. İklim projeksiyonlarına bağlı olarak SYİ metoduyla elde edilen kuraklık analizi sonuçlarına göre; havzada gelecekte de kısa ve uzun dönemli kuraklıklar yaşanacağı, 2050 yılından sonra daha da şiddetleneceği öngörülmektedir. Bu sebeple su sıkıntısını en aza indirmek için Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları içerisinde yer alan "İklim Eylemi" ve "Temiz Su" ya erişim kapsamında suyu doğru kullanma teknolojilerinin yaygın hale getirilmesi gerekmektedir.

ABSTRACT

In the study, the impact of climate change and its possible future effects in the Kirazdere basin, one of the sub-basins of Yuvacık Dam, which is one of the important water resources of Kocaeli province, were tried to be determined. According to the results of Mann Kendall trend analysis, it was observed that the temperature was in an increasing trend after the 2000s, there was no significant trend in precipitation, and the flow data was in decreasing trend. It was determined that there was drought examined by the SPI analysis using the R Studio. The decrease in the water level of the dam lake was also observed with the drone images taken from the field during the field study. According to the results of the drought analysis obtained by the SPI method depending on the climate projections; It is predicted that there will be short and long-term droughts in the future in the basin, and it will become more severe after 2050. For this reason, in order to minimize water shortages, technologies for using water correctly should be made widespread within the scope of access to "Climate Action" and "Clean Water", which are included in the Sustainable Development Goals.

Atf/Citation: Ayva, C., Dutucu, A.A. ve Ustaoglu, B. (2023). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Önerileri: Kirazdere Havzası Örneği. *Firat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33, 1(47-64).

Sorumlu yazar/Corresponding author: Beyza USTAOĞLU, bustaoglu@sakarya.edu.tr

1. Giriş

İklim değişikliği, su kaynaklarında azalmaya, kurak ve yarı kurak alanların genişlemesine neden olmaktadır. Aşırı buharlaşma sonucu çölleşme, tuzlanma ve erozyon her geçen gün artış göstermektedir. İklim değişikliği ile ortaya çıkan su döngüsünün değişmesi ve su kaynaklarının kullanımında sorun yaşayan ülkelerin yaşadığı belirsizlik durumu su stresine neden olmaktadır (Ustaoğlu vd., 2021). 2018 yılında yayımlanan “Çölleşme ile Mücadele İlerleme Raporuna” göre Türkiye topraklarının %25,5’i yüksek, %53,2’si ise orta derecede çölleşme riski ile karşı karşıyadır. İklim değişikliğinin; çölleşme riskini, kuraklığın şiddetini ve süresini her geçen gün arttırmaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda Akdeniz Havzası’nda yer alan Türkiye de riskli ülkeler arasında yer almaktadır. Yağış ve sıcaklıklardaki değişimlere paralel olarak, kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli açısından hali hazırda su sıkıntısı çeken ülkeler arasında yer alan Türkiye’nin su kaynaklarının bu değişimlerden olumsuz yönde etkileneceği öngörülmektedir (Dabanlı vd., 2017; Cüceloğlu, 2019).

Akdeniz Havzası’nda iklim değişikliği, etkileri ve kuraklık ile ilgili yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Gomez vd. (2022)’ye göre İspanya başta olmak üzere Akdeniz Havzası’nın büyük bir bölümünde yağışta önemli bir azalma, sıcaklıkta bir artış ve kuraklıkların sayısı, süresi, yoğunluğu ve büyüklüğünde büyük artışlar öngörülmektedir. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık üzerindeki etki, daha yüksek rakımlı alanlar için (yağışın daha yoğun olduğu yerler) daha yüksek iken, tarımsal kuraklıklar üzerindeki etki, daha düşük kıyı bölgelerinde daha yüksektir. Avrupa’nın bazı bölgelerinde 2003 ve 2015 kuraklıkları, son 250 yılın en şiddetli kuraklıkları olarak kabul edilebilir (Hanel vd., 2018). Hertig ve Trambly (2017) SYİ kullanarak 2070-2100 döneminde ait Akdeniz’deki kuraklıkları RCP 8.5 senaryosu MPI-ESM-LR modelinin projeksiyon çıktılarına göre araştırmışlardır. Dubrovsky vd. (2014) Palmer Kuraklık Şiddet İndisi kullanarak A2 emisyon senaryosuna göre tüm Akdeniz’i incelemiştir. Heinrich ve Gobiet (2012), hem SYİ hem de PDSI kuraklık endeksleri ile RCM’leri kullanarak Akdeniz havzasının kuzey bölümünü kapsayan Avrupa üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalardan elde edilen ortak sonuç Akdeniz Havzası’nda sıcaklıkların artacağı ve yağış düzensizliklerinin olacağı, bu durumun kuraklık koşullarını etkileyeceği yönündedir. Türkiye’de de iklim değişikliği projeksiyonlarının temel sonuçlarını farklı senaryolara ve iklim modellerine göre inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. En son yayınlanan IPCC 6. Raporuna göre (2021) kuraklıkların önümüzdeki yıllarda da özellikle Türkiye’yi de olumsuz yönde etkileyeceği SSP senaryolarına göre elde edilen model sonuçlarıyla yayımlanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022a) tarafından Türkiye için İklim Projeksiyonları isimli yayınlanan raporda Türkiye için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel model veri setleri kullanarak RegCM4.3.4 Bölgesel Modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemiyle RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 1971-2000 referans periyotlu 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 gelecek periyotlu, 20 km çözünürlüklü Türkiye ve bölgesi için projeksiyon sonuçları elde edilmiştir. Her iki senaryo ve modellere göre sıcaklıkların artış, yağışların ise azalış yönünde bir trendi olduğu tespit edilmiştir. Türkeş vd. (2020)’ye göre Türkiye’de yağış tutarlarının genel olarak düşüş eğiliminde olduğu, kuraklık koşullarının daha da artacağı belirlenmiştir. Şen (2013)’e göre; Türkiye, iklim değişikliği açısından kırılganlığı yüksek bir bölgede yer almaktadır. Gelecekle ilgili iklim değişikliği projeksiyonları sıcaklıkların ülke genelinde yükselmesi ve yağışların özellikle ülkenin güney yarısında azalması şeklinde olacaktır. Bu değişimlerin ülkenin su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyerek su potansiyelini özellikle güney kısmındaki havzalarda azaltması kaçınılmaz olacaktır. Projeksiyonlar su potansiyelindeki azalmanın içinde bulunduğumuz yüzyılın ortalarına kadar Akdeniz havzalarında %37’lere, Konya havzasında %70’ler ve Fırat ve Dicle havzalarında ise %10’lara kadar ulaşabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca havza bazında yapılan örnek çalışmalar da mevcuttur (Mehr vd., 2019). 2021 yılında yayınlanan 1. Su Şurasından elde edilen bulgulara göre; Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Doğu Karadeniz, Çoruh, Batı Karadeniz ve Yeşilirmak Havzalarında su fazlası öngörülürken, tüm projeksiyon dönemlerinde Marmara, Susurluk, Kuzey Ege, Batı Karadeniz, Yeşilirmak, Antalya, Aras ve Van Gölü Havzalarında öngörülen net su miktarının, tahmini su kullanımları için yeterli olduğu gözlenmiştir. Önal ve Ünal (2012)’e göre gelecekteki simülasyondaki yağış sonuçları, sonbahar mevsimi hariç tüm mevsimlerde ve hemen hemen tüm bölgelerde yağışların azaldığını ortaya koymaktadır. Önal vd. (2014)’e göre sıcaklık simülasyonu açısından, yirmi birinci yüzyıl boyunca kademeli artışlar yaygın olarak öngörülmektedir. Ustaoğlu (2011) A2 senaryosuna göre Türkiye’de yağıştaki tutarlarındaki değişkenliği incelediği çalışmasında özellikle yağış tutarlarında bölgesel farkların ön plana çıktığı, Karadeniz Bölgesi’nde artan, Ege ve Akdeniz kıyıları boyunca azalan yönde bir eğilim öngörüldüğünü ifade etmiştir. Yağış tutarlarında Türkiye’nin güney kesimleri için azalan yönde, kuzey kesimleri için ise artan yönde bir değişim öngörülmektedir. Yağışlarda en önemli (mutlak) azalmalar Ege ve Akdeniz sahilinde gözlenecektir. Buna karşılık Doğu Karadeniz bölgesinin

daha fazla yağış alması beklenmektedir. İç Anadolu'da ise, yağış açısından çok az bir değişiklik öngörülmektedir.

İklim değişikliğinin meteorolojik ve hidrolojik etkilerini ele alan çalışmalar bulunmaktadır (Duvan vd.,2021; Özdemir, 2021). Yağışın ve sıcaklığın değişkenliğini hesaplamak için Mann Kendall analizinin uygulandığı çalışmalar mevcuttur (Ustaoğlu, 2012; Polat ve Sunkar, 2017; Arıtürk ve Ustaoğlu, 2020; Tokgöz ve Partal, 2020). Havzalarda kuraklığın SYİ metodu kullanılarak belirlendiği örnek çalışmalar yapılmıştır (Turgu vd.,, 2015; Gümüş vd., 2016; Gürler, 2017; Karadaş ve İmamoğlu, 2019; Bakanoğulları, 2019, 2020; Özgün vd., 2020).

Bu çalışmada iklim değişikliğinin Kirazdere Havzası ve çevresinde etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla analizler yapılmıştır. Kirazdere havzasının sıcaklık, yağış ve akımdaki değişimini gözlemleyebilmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) ve Devlet Su İşleri'nden (DSİ) çalışma alanında yer alan istasyonlara ait sıcaklık, yağış ve akım verileri elde edilmiştir. Günlük, aylık ve yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış verileri ile aylık akım verilerine Mann Kendall trend analizi uygulanmıştır. Böylelikle veri setinde iklim koşullarında değişimin başladığı yıl veya yıllar tespit edilmiştir. Parametrik olmayan sıra temelli Mann-Kendall istatistik testi, sıcaklık ve yağış verileri gibi iklim zaman serilerindeki trendlerin önem derecesini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Parametrik olmayan istatistiksel testlerin tercih edilmesinin nedeni, parametrik istatistiksel testlere göre iklim zaman serilerinde rastlanan normal dağılıma sahip olmayan veriler için daha uygun olduğunun düşünülmesidir (Sneyers, 1990; Arıtürk ve Ustaoğlu, 2020).

Kuraklık doğal bir afet olup, atmosferin kaotik yapısından ötürü tahminine ve alınacak önlemlere yönelik çalışmalar her geçen gün daha da artmaktadır. Kuraklık, Türkiye'de de tekrar eden bir olgu olup, etkileri ekonomik, çevresel ve sosyal yönlerden hem mekânsal hem de zamansal ölçekte değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, her toplum kuraklıkla ilişkili etkileri azaltmak için kuraklıkla mücadele planına sahip olmalıdır (Karabulut, 2020). Farklı kuraklık türlerini değerlendirmek için çeşitli indeksler önerilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları, Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) (Palmer, 1965), Standardize Yağış İndeksi (SYİ) (McKee vd, 1993), Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) (Vicente-Serrano vd, 2009) dir. SPI indeksi farklı kuraklık türlerinin özelliklerinin çoğunu analiz etmek için genelleştirilebilir (McKee vd, 1993; Zhai vd, 2010). Kuraklık analizi kapsamında bölgeye ait elde edilen yağış verilerine Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) metodu uygulanmıştır. Genel olarak kuraklık, bir yörede yağışın, yer altı veya yüzey sularının, iklim olarak beklenen miktardan (ortalamadan) daha az olduğu süreler olarak tanımlanmaktadır. Kuraklık sıcaklık artışı ile doğru, yağış artışı ile ters orantılıdır (Çaldağ vd., 2004). Kuraklık diğer afetlere göre başlangıç ve bitiş sürelerinin belirsizliği ve artan etkisiyle birçok doğal ve beşeri kaynakları olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Kuraklık yağış ve buharlaşma ile doğrudan ilişkilidir. Yağış bölgesel ve zamansal olarak büyük ölçüde değişimler gösterdiğinden birçok sistem için su varlığını etkileyen ana faktör durumundadır. Bu nedenle, birçok kuraklık indisi esas olarak yağış koşullarına dayanmaktadır (Pamuk vd., 2004). Kuraklık; meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık olarak sınıflandırılmaktadır (Wilhite ve Pulwarty, 2017). SYİ meteorolojik kuraklığın şiddetini belirlemek için genel olarak kullanılmaktadır. SYİ, uzun dönem yağış kayıtlarının normal dağılıma dönüştürülmesi ve uygulanması temeline dayanmakta ve bu indeks ile farklı zaman dilimlerinde kurak ve nemli süreler hesaplanmaktadır (Dai, 2011). Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde SYİ indeksleri kullanılarak kuraklığın yersel ve zamansal dağılımının analizi farklı zaman dilimlerinde (1-3-6-9-12-24) kuraklık şiddetleri belirlenmiş ve analizi yapılmıştır.

IPCC 5. Değerlendirme Raporunda (AR5) yayınlanan küresel iklim projeksiyonlarında Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP: Representative Concentration Pathways) RCP2.6 ile 32, RCP4.5 ile 42, RCP6.0 senaryosu ile 25, RCP8.5 senaryosu ile 39 farklı küresel model çalışması yapılmıştır. Küresel ölçekte en fazla tercih edilen senaryolar RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları olmuştur (Demircan vd., 2017). RCP 4.5 (iyimser), geniş ölçüde önceden tanımlanmış zorlama stabilizasyon kısıtlamaları ile orta düzeyde sera gazı konsantrasyonlarının uzun vadeli seviyesini varsayarken, RCP 8.5 (kötümser), sera gazı emisyonlarının 21. Yüzyılda zamanla artacağını ve 2100 yılına kadar çok yüksek seviyelere yaklaşacağını kabul etmektedir (Özdemir, 2021).

İklim değişikliğine uyum; iklim olaylarının (risklerinin) etkileriyle mücadele etmek, fayda sağlamak ve etkileri yönetebilmek için stratejilerin güçlendirilmesi, geliştirilmesi ve uygulanması sürecidir. İklim değişikliğine uyum konusunun önemi, iklim değişikliği etkilerinin ne yaparsak yapalım devam edeceği gerçeğinden doğmuştur. İklim değişikliğine neden olan faktörleri (sera gazı salımları, ormansızlaşma vb.) şu anda ortadan kaldırsak bile etkileri devam edecektir. Bu yüzden iklimi değiştiremeyeceğimize göre, kendimizi değişen iklime uydurmak zorundayız (Ustaoğlu, 2021; T.C.Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

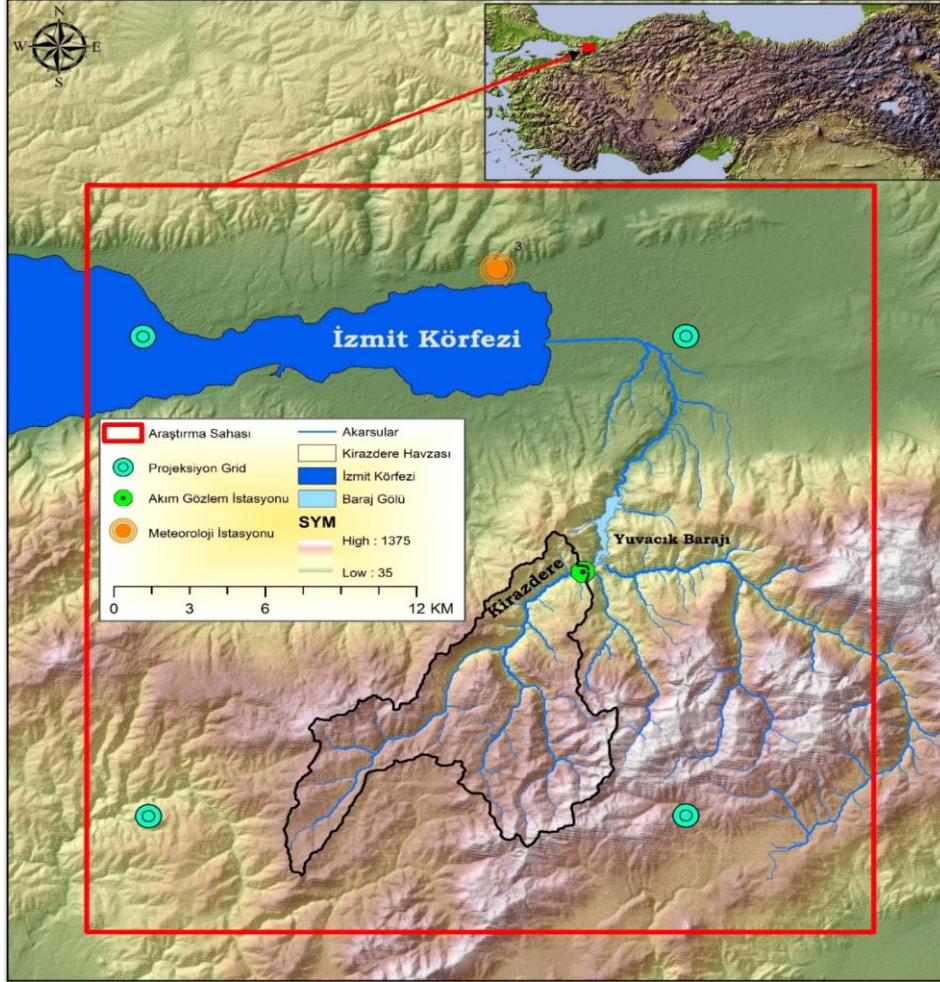
Bu çalışmada veri olarak, hem Mann Kendall trend analizi hem de SYİ metodu için MGM'den (2022a) elde edilen günümüz iklim koşullarının değerlendirilmesinde 1975-2020 meteorolojik gözlem verileri, gelecek iklim koşullarının öngörüsü için, RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim değişikliği senaryolarına göre HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR modellerinden üretilen bölgeye ait gelecek projeksiyon grid verileri kullanılmış (2020-2098)

ve böylece Türkiye'nin su ihtiyacının en fazla olduğu ve en yoğun nüfuslanmış bölgesinde yer alan havzanın gelecekteki durumu da belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Veri ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı

Kirazdere havzası $40^{\circ} 34' - 40^{\circ} 41' K$ enlemleri ve $29^{\circ} 52' - 29^{\circ} 59' D$ boylamları arasında; İzmit Körfezi'nin güneydoğusunda ve Marmara Havzası'nın sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası

Yuvacık barajını besleyen en büyük havza olan çalışma alanı 83 km^2 lik bir alan kaplamaktadır. Kocaeli'ne içme suyu temini için yapılan barajın toplam beslenme alanı 257 km^2 'dir. Havza'nın büyük bir bölümü Kocaeli ili Başiskele ilçesi sınırları içerisinde kalırken, bir kısmı ise Bursa ili İznik ilçesi sınırları içerisinde kalmaktadır (Mutlu, 2014). Çiçek ve Ataol (2009) çalışmalarında DMİ tarafından işletilen 252 istasyonun uzun yıllık ortalama yağış tutarlarını hesaplamış ve Türkiye'nin topografyası dikkate alınarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile yeni bir yağış dağılım haritası yapmışlardır. Bu yeni hesaba göre Türkiye'nin yıllık ortalama yağış tutarı 727 mm , toplam yağışı 567 milyar m^3 ve yıllık kullanılabilir su potansiyeli 127 milyar m^3 olarak bulunmuştur. Bu yeni hesaplamaya göre Kirazdere Havzası'nın da içerisinde bulunduğu Marmara Denizi Havzası'nın ortalama yağış miktarı 743.9 mm 'dir. Çalışma alanında yağışların değişkenlik katsayısı fazla olmayıp (%17-19) Türkiye ortalamasının altındadır (Ölgen, 2010).

Havzada yağışların fazla olduğu kış aylarında ve kar erimelerinin yaşandığı bahar ayları olan Şubat, Mart ve Nisan döneminde akım maksimum seviyeye çıkar. Yağışların azaldığı genellikle yaz ve sonbahar aylarında (Ağustos – Eylül döneminde) akım minimum seviyeye düşer. Akım değerlerinin en yüksek olduğu ay Mart ayıdır (Ort. $10,10 \text{ m}^3/\text{sn}$). Mayıs ayı sonu itibarı ile yağışların azalması ile birlikte akım düşmeye başlar ve sırasıyla Ağustos ve Eylül aylarında akım en düşük seviyeye ulaşır (Ort. $0,62- 0,60 \text{ m}^3/\text{sn}$). Kışın akım

miktarının maksimum seviyelere ulaştığı, yazın ise minimuma indiği Kirazdere'nin akarsu rejim tiplerinden "Yağmurlu Akdeniz" rejim özelliklerini yansıttığı söylenebilir (Hoşgören, 2004; Mutlu, 2014). Ancak özellikle son yıllarda yağış yetersizliği ve ekstrem sıcaklıklar havzada hidrolojik kuraklık koşullarını ortaya çıkarmıştır. Havzadaki yağış-buharlaşma ve sıcaklık-buharlaşma arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ortaya koyabilmek için Thorntwaite yöntemi ile su bilançosu hesaplanmış ve iklim tipi belirlenmiştir. Thorntwaite iklim sınıflandırması'na göre yağışın buharlaşmadan fazla olduğu yerler su fazlalığı olan ve nemli iklime sahip alanlar iken yağışın buharlaşmadan az olduğu yerler ise su noksanı dolayısıyla kurak iklim görülen alanlardır. Analiz sonuçlarına göre Aralık-Nisan dönemindeki 5 ayda Kocaeli de su fazlalığı varken, Haziran-Eylül aylarını kapsayan sıcak dönemde ise su noksanı vardır. Yarı nemli bir iklime sahip olan Kocaeli'de potansiyel evapotranspirasyon değeri 717,6 iken gerçekleşen evapotranspirasyon değeri ise 562,3'dür (Tablo 1). Kocaeli'nin Thorntwaite yöntemine göre iklim tipi C2 B'2 s b'4' dir. Buna göre Kocaeli'de yarınemli, ikinci dereceden mezotermal, yaz mevsiminde orta derecede su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipi görülmektedir.

Tablo 1. Kocaeli'nin Thorntwaite Su Bilançosu (1975-2020)

AYLAR	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YILLIK
Sıcaklık	6,3	6,8	8,9	13,1	17,6	22,0	24,0	24,1	20,7	16,2	11,9	8,3	15,0
Sıcaklık İndeksi	1,4	1,6	2,4	4,3	6,7	9,4	10,8	10,8	8,6	5,9	3,7	2,2	67,8
Pt.Evapotr.(mm)	14,3	16,1	24,5	44,8	71,1	100,8	115,4	116,2	91,6	62,4	38,6	22,0	717,6
Enlem Düz. Katsayısı	0,8	0,8	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	
Düz Pe (mm)	11,9	13,3	25,2	49,7	88,7	126,7	146,6	138,0	95,3	59,9	31,7	17,6	804,6
Yağış (mm)	97,1	74,2	70,4	53,8	52,0	56,8	45,5	49,6	49,0	89,2	80,4	108,5	826,5
Birikmiş Değ.(mm)	Su 0,0	0,0	0,0	0,0	-36,7	-63,3	0,0	0,0	0,0	29,3	48,7	22,1	
Birikmiş Su (mm)	100,0	100,0	100,0	100,0	63,3	0,0	0,0	0,0	0,0	29,3	78,0	100,0	
G.Evapotr.(mm)	11,9	13,3	25,2	49,7	88,7	120,1	45,5	49,6	49,0	59,9	31,7	17,6	562,3
Eksik Su (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	101,1	88,4	46,3	0,0	0,0	0,0	242,3
Fazla Su (mm)	85,2	60,9	45,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,8	264,2
Akış (mm)	77,0	73,0	53,0	24,6	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	264,2
Nemlilik Oranı	7,2	4,6	1,8	0,1	-0,4	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	0,5	1,5	5,2	

2.2 Veri

2.2.1 Meteorolojik Gözlem ve Akım Verisi

Çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen günümüz aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış verileri ve Devlet Su İşleri'nden temin edilen Kirazdere aylık ortalama akım verileri ile analizler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bölgeye en yakın ve periyod olarak en uzun (1975-2020) süreli veri bulunduğu için meteoroloji istasyonu olarak Kocaeli seçilmiştir. Mann Kendall trend ve SYİ kuraklık analizlerinde zamansal çözünürlük olarak aylık veriler kullanılmıştır. İlgili istasyonların detay bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kocaeli Meteoroloji ve Kirazdere Akım İstasyon Bilgileri

İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon Konum Bilgileri	Rasat Dönemi
17066	KOCAELİ / Meteoroloji Gözlem İstasyonu	Enlem: 40.76 K, Boylam: 29.91 D	Sıcaklık ve Yağış 1975 - 2020 / 46 Yıl
D02A006	KIRAZDERE / Akım Gözlem İstasyonu	Enlem: 40.41 K Boylam 29.58 D	Akım 1975 - 2015 / 40 Yıl

2.2.2 İklim Projeksiyon Verisi

Gelecek senaryoları ile ilgili analizler de Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri ile yapılmıştır. Projeksiyon gridlerinin çözünürlük değeri 20 km'dir. Çalışmada 3021, 3022, 3121, 3122 numaralı 4 adet projeksiyon grid verisi kullanılmıştır. Rasat dönemi 79 yıldır. Grid koordinat bilgileri; 3021 Enlem: 40.55 K Boylam 29.75 D, 3022 Enlem: 40.55 K Boylam 29.30

D, 3121 Enlem: 40.74 K Boylam 29.75 D, 3122 Enlem: 40.74 K Boylam 29.30 D.'dir.

Bu çalışmada kullanılan modeller; HadGEM2-ES, İngiltere Meteoroloji Servisi'ne (Met Office) bağlı bir araştırma kuruluşu olan Hadley Merkezi tarafından geliştirilen 2. nesil bir Yer Sistemi Modelidir (ESM/Earth System Model). Bu modelin benzer fiziksel özelliklere sahip fakat farklı yapılar da birçok sürümü bulunmaktadır. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus yapılandırması ile içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının bulunduğu bir kara-sistem yapılandırması da içermektedir. HadGEM2 serisi IPCC 5. Raporu hazırlıklarında kullanılan modellerden bir tanesidir. Standart atmosfer birleşimi, 40 km'ye kadar yükselen 38 seviyeden oluşmaktadır. HadGEM2 serisinde HadGEM2-A, HadGEM2-O, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-CCS, HadGEM2-ES sürümleri bulunmaktadır (MGM, 2015). Çalışmada HadGEM2 serisinin en kapsamlı sürümü olan HadGEM2-ES'in küresel iklim modeli ve RCP4.5, RCP8.5 senaryoları tercih edilmiştir (MGM, 2022a).

MPI-ESM-MR, ECHAM5 atmosfer modeli ile MPIOM okyanus genel sirkülasyon modelleri kullanılarak geliştirilmiş yeni nesil Yer Sistemi Modelidir (ESM/Earth System Model). MPI-ESM'nin ECHAM5 ve MaxPlank Meteoroloji Enstitüsü Okyanus Modeline (MPIOM) göre en büyük farklılıkları atmosferdeki yeni ışınimsal transfer şeması, yeni bir aerosol klimatolojisinin kullanımı, karbon döngüsünün (okyanus biyojeokimyası dahil) ve yüzeyde interaktif ile dinamik vejetasyon şemasının dahil edilmesidir. MPI-ESM enerji, momentum, su ve karbondioksit gibi önemli iz gazlar arasındaki alışverişi değerlendirerek; atmosfer, okyanus ve kara yüzeyini model içerisinde kullanmaktadır. Modelin 3 farklı sürümü geliştirilmiştir; MPI-ESM-LR (düşük çözünürlüklü), MPI-ESM-MR (orta-karma ölçekli düşük çözünürlüğe göre daha yüksek çözünürlüğe sahiptir), MPI-ESM-P as LR (düşük çözünürlükteki sürümün tarihsel seçimi olan) (MGM, 2015). Çalışmada atmosferin katmanlarını daha detaylı bir şekilde ele alan sürüm olan MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ve RCP4.5, RCP8.5 senaryoları tercih edilmiştir (MGM, 2022a). Havzanın ve çevresinin uzun yıllar sıcaklık ve yağış eğilimini kesintisiz olarak belirlemek amacıyla 2020-2098 periyodu tek dönem olarak kullanılmıştır. Gelecek projeksiyon analizlerinin zamansal çözünürlüğü yıllıktır. Çalışmada kullanılan küresel iklim modeli ve senaryolar ile ilgili detaylar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan İklim Modelleri ve Senaryolar

Küresel İklim Modeli	Senaryo	Değişken	İncelenen Dönem	Referans Dönem	Çözünürlük
HadGEM2-ES	RCP 4.5	Yıllık toplam yağış (mm) Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	2020-2098	1971-2000	20 km
HadGEM2-ES	RCP8.5	Yıllık toplam yağış (mm) Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	2020-2098	1971-2000	20 km
MPI-ESM-MR	RCP4.5	Yıllık toplam yağış (mm) Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	2020-2098	1971-2000	20 km
MPI-ESM-MR	RCP8.5	Yıllık toplam yağış (mm) Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	2020-2098	1971-2000	20 km

2.3 Yöntem

Çalışmada metot olarak Mann Kendall trend analizi ve Standart Yağış İndeksi kuraklık analizi kullanılmıştır. Ayrıca bölgede yer alan Yuvacık Barajına ait seviye değişimleri farklı tarihlerde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında proje kapsamında alınan drone ile görüntülenmiştir.

2.3.1 Mann Kendall Trend Analizi

Mann-Kendall testi test rastgele değişkenin dağılımından bağımsız olup parametrik olmayan bir testtir. Bu özelliğinden dolayı Mann Kendall testi özellikle hidrometeorolojik veriler üzerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teste göre H₀ hipotezi bir zaman serisinde trend olmadığını, H₁ karşıt hipotezi ise trend olduğunu kabul etmektedir (Bayazıt, 1996; Tokgöz ve Partal, 2020). Sınama örneklem değerinin ardışık analiz, gözlem dizisinde anlamlı bir eğilimin bulunması durumunda, eğilimin başlangıcını ve genel olarak gözlem dizisindeki değişiklik noktasını ya da noktalarını bulmak için kullanılır (Türkeş ve Acar Deniz, 2011). Mann Kendall analizinden elde edilen u(t) ve u'(t) değerleri kullanılarak dizilerdeki eğilimler grafiksel olarak kullanılmıştır. Trend analizden elde edilen u(t) eğrisi gözlem dizisindeki eğilimin gidişini gösterir ve u(t) ve u'(t) eğrilerinin birkaç kez üst üste gelişi dizide önemli bir eğilimin olmadığını, eğrilerin birbirlerine yaklaşarak ya da keserek ayrıldıkları noktalar bir azalma veya artma eğiliminin başlangıcını belirlememizi sağlar (Türkeş, 1995).

Zaman serisinde $x_1, x_2, \dots, x_n, x_i$ ve x_j çiftleri iki gruba ayrılır. $i < x_j$ olan çiftlerin sayısı P, ve $i < j$ için $x_i < x_j$ olan çiftlerin sayısı M ile gösterilirse test istatistiği (S), aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S = P - M \quad (1)$$

Kendall korelasyon katsayısı τ ;

$$\tau = S / [n(n-1)/2] \quad (2)$$

$n \geq 10$ için S asimtotik olarak ortalaması sıfır, standart sapması ;

$\sigma_s = n(n-1)(2n+5)/18$ olan normal dağılım gösterir. Dolayısıyla,

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_s} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma_s} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

olarak tanımlanan Z istatistiğinin dağılımı standart normal dağılımdır. Eğer seride birbirine eşit olan değerler varsa Varyans S aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\sigma_s = \sqrt{[n(n-1)(2n+5) - \sum_i t_i(t_{i-1})(2t_i+5)]/18} \quad (4)$$

Burada t_i , sayısal değeri eşit olan eleman sayılarını göstermektedir. Z'nin mutlak değeri seçilen α anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ kritik değeri ile karşılaştırılır. Eğer bulunan değer kritik Z değerinden küçükse sıfır hipotezine göre incelenen zaman serisinde trend olmadığı aksi halde trend olduğu kabul edilmektedir. Buna göre trend belirlenmişse ve S değeri pozitif ise trendin artan yönde, negatifse azalan yönde olduğu sonucuna varılmaktadır (Bayazit ve Önöz, 2004; Tokgöz ve Partal, 2020).









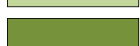

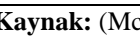
2.3.2 Kuraklık Analizi / Standart Yağış İndeksi (SYİ)

Kuraklık Analizi için uygulanan Standart Yağış İndeksi (SYİ), belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilmektedir (McKee vd., 1993; Liu vd., 2021; Dehghani vd., 2022; Docheshmeh Gorgij vd., 2022).

$$SYI_{ij} = \frac{x_{i,j} - x_j^{ort}}{\sigma_j} \quad (5)$$

$x_{i,j}$ i yılının j ayındaki yağışı (mm), x_j^{ort} j ayındaki uzun yıllar ortalama yağışı (mm) ve σ_j ise yine j ayındaki yağışın standart sapmasını göstermektedir. Gerçekte indeksin hesaplanması yağışın 12 ay ve daha az periyotlarda normal dağılıma uymaması sebebiyle karmaşıktır ve bu sebeple yağış dizileri öncelikle normal dağılıma uygun hale getirilir. Sonuçta elde edilen SYİ değerleri yağış eksikliği ile lineer olarak artan ve azalan bir eğilim gösterir. SYİ değerlerinin normalize edilmesi sonucu seçilen zaman dilimi içerisinde hem kurak ve hem de nemli dönemler aynı şekilde temsil edilmiş olur. SYİ değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirmesinde indeksin sürekli olarak negatif olduğu zaman periyodu kurak dönem olarak tanımlanır. İndeksin sıfırın altına ilk düştüğü ay kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken indeksin pozitif değere yükseldiği ay kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir. Bu yöntemle kuraklık şiddeti Tablo 4'de gösterilen kategorilere göre sınıflandırılır (McKee vd., 1993; Giddins vd., 2005). Çalışmada SYİ analizi için MS Excel ve R Studio programları kullanılmıştır.

Tablo 4. SYİ'ye Göre Kuraklık ve Nemlilik Sınıflandırması.

	1 - Olağanüstü Kurak (Exceptionally Dry)	-2.00 dan küçük
	2 - Çok Şiddetli Kurak (Extremly Dry)	SYİ > -2.00 ile SYİ <= -1.60 arasında
	3 - Şiddetli Kurak (Severely Dry)	SYİ > -1.60 ile SYİ <= -1.30 arasında
	4 - Orta Kurak (Moderately Dry)	SYİ > -1.30 ile SYİ <= -0.80 arasında
	5 - Hafif Kurak (Abnormaly Dry)	SYİ > -0.80 ile SYİ <= -0.50 arasında
	6 - Normal Civarı (Near Normal)	SYİ > -0.50 ile SYİ <= 0.50 arasında
	7 - Hafif Nemli (Abnormaly Moist)	SYİ > 0.50 ile SYİ <= 0.80 arasında
	8 - Orta Nemli (Moderately Moist)	SYİ > 0.80 ile SYİ <= 1.30 arasında
	9 - Çok Nemli (Very Moist)	SYİ > 1.30 ile SYİ <= 1.60 arasında
	10 - Aşırı Nemli (Extremly Moist)	SYİ > 1.60 ile SYİ <= 2.00 arasında
	11 - Olağanüstü Nemli (Exceptionally Moist)	+2.00 dan büyük

Kaynak: (McKee vd.,1999; MGM, 2022b; NOAA, 2022).

2.3.3 Drone Görüntüleri

Arazideki değişimi zamansal ve mekânsal olarak belirleyebilmek Aralık 2020 ayında ve Haziran 2021-Aralık

2021 döneminde her ay drone ile Kirazdere Havzasında yer alan Yuvacık Barajı incelenmiştir ve su seviyesi ile ilgili görseller kaydedilmiştir. Seviyenin en yüksek ve en düşük olduğu dönemler görüntülenmiştir. Elde edilen görüntüler ile güncel durum hakkında değerlendirme yapılmıştır.

3. Bulgular

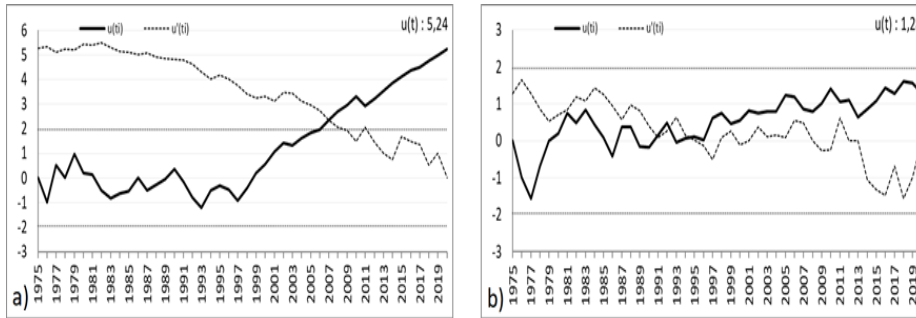
3.1 Mann Kendall Trend Analizi

Ortalama sıcaklık verileri ile ilgili analiz sonuçlarına göre; günümüz ortalama sıcaklık verilerine yapılan analizde sıcaklık değerlerinin artış trendinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2a). Türkeş (2012)'e göre bölge için sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu, çalışmamız kapsamında da son güncel verilere göre bu artışın günümüzde de devam ettiği belirlenmiştir. Gelecek senaryolarına göre ise tüm senaryolarda artış gözlemlenirken 21. yy. ilk yarısından sonra iklim koşullarındaki değişimin başlayacağı, artış trendinde en yüksek sonuçların ise HadGEM2-ES RCP8.5 senaryosunda olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4c). Bu sonuçlara göre iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık artışının devam edeceği, buna bağlı kuraklıkların artacağı ve baraj göl yüzeyinde aşırı buharlaşma gibi olumsuz etkileri olacağı söylenebilir (Şekil 2a, Şekil 4). Toplam yağış verileri ile ilgili analiz sonuçlarına göre; günümüz yağış değerlerinde ve gelecek senaryoları yağış değerlerinde MPI-ESM-MR RCP8.5 senaryosu hariç artış ya da azalış yönünde anlamlı bir trend tespit edilememiştir (Şekil 2b, Şekil 5). Genel olarak yağış değişimleri günümüz değerlerinde de olduğu gibi uzun süreli eğilimler olarak değil, dönemsel olarak ekstrem değişimler (artış ya da azalış), kurak ve nemli dönemlerin sıklık ve süre bakımından değişiklikleri şeklinde olacağı öngörülmektedir. Ancak MPI-ESM-MR RCP8.5 senaryosuna göre ise yağışların azalacağı öngörülmektedir (Şekil 5d). Bu senaryoya ait analiz sonucu Gürkan vd. (2017) tarafından yapılan çalışmadaki analiz sonuçlarına göre Türkiye geneli ve bölge için öngörülen yağışlarda azalış yönünde olacak trend sonuçları ile de örtüşmektedir.

Ortalama akım verileri incelendiğinde; akım değerlerinin düşüş trendinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3). Akım değerlerinin 2013-2014 yıllarında $0 \text{ m}^3/\text{sn}$ seviyelerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Buna göre günümüz verileri analiz sonuçlarına göre düşüş trendinde olan akım, gelecek senaryolarına göre de yağışların düşeceği öngörüldüğünden yağış eksikliğine bağlı olarak düşüşün şiddetleneceği gelecekte ekstrem kuraklıklar olacağı düşünülmektedir (Şekil 3, Şekil 5). Ayrıca Özdemir (2021) tarafından havzada yapılan başka bir çalışmada hem RCP4.5 hem de RCP8.5 gelecek senaryolarına göre akımın düşüş trendinde olacağı öngörülmektedir.

3.1.1 Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Mann Kendall Trend Analizi

MGM'nin Kocaeli istasyonuna ait sıcaklık ölçümlerinden elde edilen 1975-2020 veri setinden 1975 yılından başlayıp 2020 yılında sonlanan yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış veri seti hazırlanmıştır. Elde edilen veri setine Mann Kendall metodu uygulandığında bölge için zaman serisinde %95 güven aralığında sıcaklığın artış eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak iklim koşullarındaki değişkenliğin başladığı yıl 2007 yılı olarak tespit edilmiştir (Şekil 2a). Bu değer çalışma alanının yakın çevresinde yer alan Adapazarı için 2000 yılı, Geyve için 2007 yılı olarak Ustaoglu (2019)'da da tespit edilmiştir. Yağış değerleri için ise bölge için zaman serisinde %95 güven aralığında anlamlı artış veya azalış gözlemlenmemiştir (Şekil 2b).

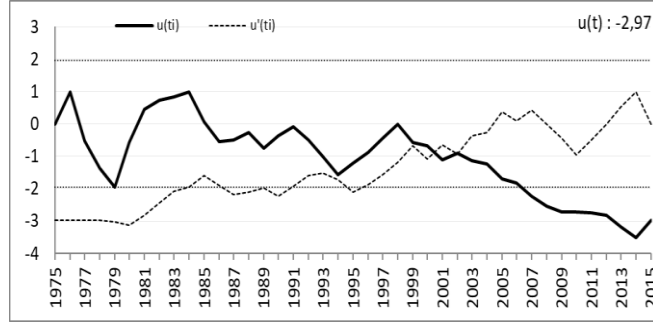


Şekil 2. a) Yıllık ortalama sıcaklık verileri Mann Kendall grafiği b) Yıllık toplam yağış verileri Mann Kendall grafiği

3.1.2 Akım Verilerinin Mann Kendall Trend Analizi

DSİ'nin Kirazdere AĞİ istasyonunda yapılan akım ölçümlerinden elde edilen 1975 yılı Ekim ayından başlayıp 2015 yılı Eylül ayında sonlanan yıllık ortalama akım veri seti analiz edilmiştir. Yıllık ekstrem değerler en yüksek 1981 yılında $9,63 \text{ m}^3/\text{sn}$ akım ile en düşük 2014 yılında $0,05 \text{ m}^3/\text{sn}$ akım olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen veri setine Mann Kendall trend analizi uygulandığında zaman serisinde %95 güven aralığında akımın

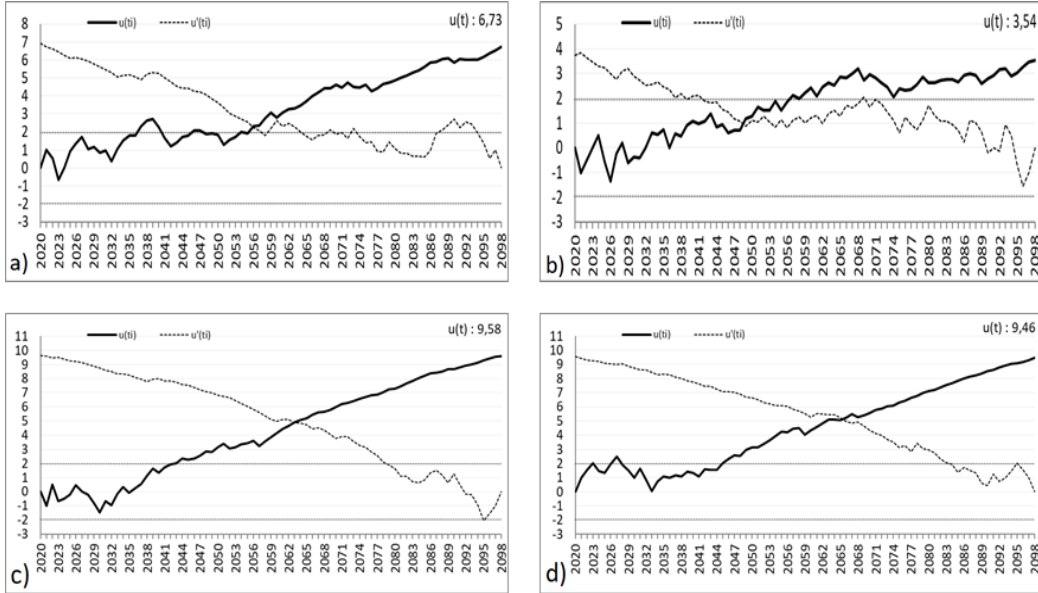
azalış eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Yıllık ortalama akım verileri Mann Kendall grafiği

3.1.3 İklim Değişikliği Senaryolarına Göre Sıcaklık Trendleri

MGM'nin 3021, 3022, 3121, 3122 grid alanı için yaptığı hesaplamalarla elde edilen 2020-2098 periyodu iklim projeksiyonu veri setine Mann Kendall trend analizi uygulanmıştır. Tüm senaryolarda bölge için zaman serisinde %95 güven aralığında sıcaklıkların artacağı gözlemlenmiştir. Değişimin yüzyıl yarısından itibaren (HadGEM2-ES RCP4.5 2056, HadGEM2-ES RCP8.5 2063, MPI-ESM-MR RCP4.5 2049, MPI-ESM-MR RCP8.5 2066) başlayacağı tespit edilmiştir (Şekil 4).

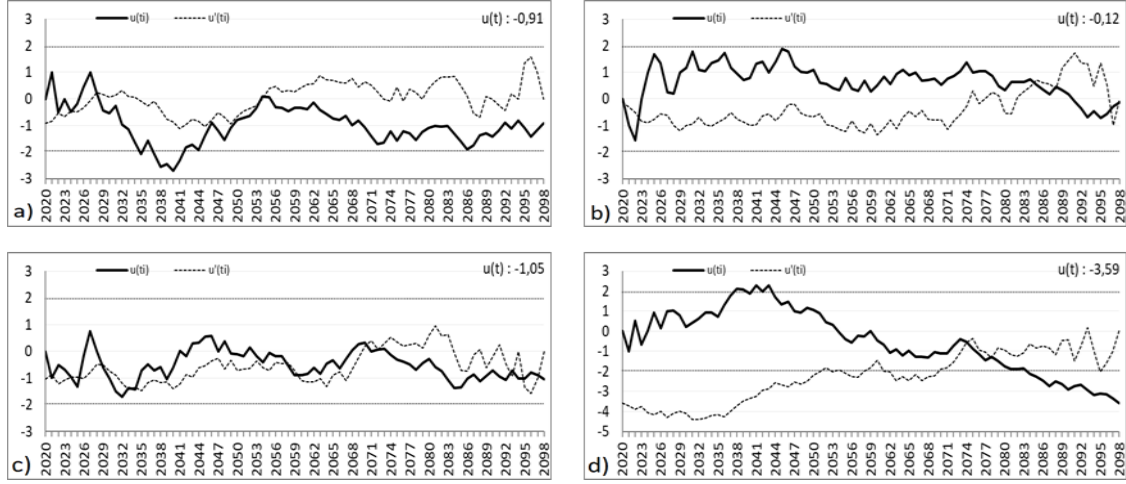


Şekil 4. a) HadGEM2-ES RCP4.5 Senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık verileri Mann Kendall grafiği, b) MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık verileri Mann Kendall grafiği, c) HadGEM2-ES RCP8.5 Senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık verileri Mann Kendall grafiği, d) MPI-ESM-MR RCP8.5 Senaryosuna göre yıllık ortalama sıcaklık verileri Mann Kendall grafiği.

3.1.4 İklim Değişikliği Senaryolarına Göre Yağış Trendleri

MGM'nin 3021, 3022, 3121, 3122 grid alanı için yaptığı hesaplamalarla elde edilen 2020-2098 periyodu iklim projeksiyonu veri setine Mann Kendall trend analizi uygulanmıştır. Bölge için zaman serisinde %95 güven aralığında yağışlarda MPI-ESM-MR RCP8.5 senaryosu hariç anlamlı artış ya da azalış gözlemlenmemiştir (Şekil 5). MPI-ESM-MR RCP8.5 senaryosuna göre ise yağışların azalacağı öngörülmüş, değişimin 2074 yılı itibarıyla başlayacağı tespit edilmiştir. Gürkan vd. (2016) tarafından GFDL-ESM2M küresel dolaşım modelinin çıktıları kullanılarak RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonlarının araştırıldığı çalışmanın sonuçlarına göre ortalama sıcaklıkta RCP4.5 senaryosuna göre ortalama 1,5°C, RCP8.5 senaryosuna göre ise ortalama 2,5°C artış ön görülmektedir. Yağış miktarlarında RCP4.5 senaryosuna göre ortalama olarak 10-15 mm/yıl, RCP8.5 senaryosuna göre ortalama olarak 105-110 mm/yıl civarında azalışlar öngörülmektedir. Araştırma sahasının da içerisinde yer aldığı Marmara Bölgesi'nde

2041-2070 döneminde yağışlarda artış beklenmektedir.



Şekil 5. a) HadGEM2-ES RCP4.5 Senaryosuna göre yıllık toplam yağış verileri Mann Kendall grafiği, b) MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryosuna göre yıllık toplam yağış verileri Mann Kendall grafiği, c) HadGEM2-ES RCP8.5 Senaryosuna göre yıllık toplam yağış verileri Mann Kendall grafiği, d) MPI-ESM-MR RCP8.5 Senaryosuna göre yıllık toplam yağış verileri Mann Kendall grafiği

3.2 Kuraklık Analizi / Standart Yağış İndeksi (SYİ)

3.2.1 Günümüz İklim Koşulları ile SYİ Analizi

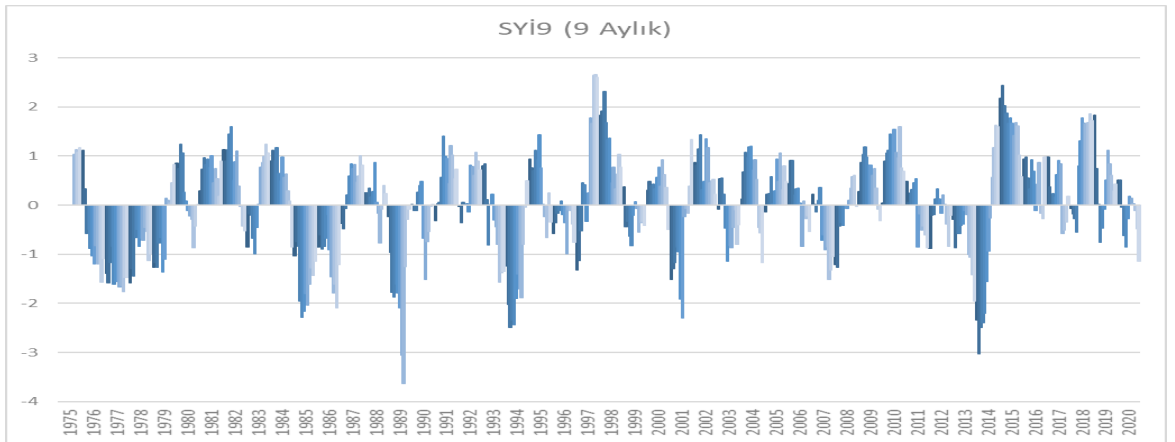
Kuraklık analizi için Kocaeli istasyonuna ait 1975-2020 yılları arasında ölçülmüş aylık ve yıllık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Aylık analizlere ek olarak 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için R Studio programı kullanılarak SYİ zaman serileri elde edilmiştir. Meteorolojik kuraklığı daha çok temsil etmesi sebebiyle 1 aylık veya 3 aylık SYİ analiz sonuçları değerlendirilmektedir. Kolay kullanım ve yorumlama yetisi vermesi nedeniyle 6 aylık ve 9 aylık SYİ analiz sonuçları tarımsal kuraklık yorumlarında en çok kullanılan analiz yöntemidir. 12, 24 aylık SYİ zaman serileri sonuçlarına göre hidrolojik kuraklık analizi yapılabilmektedir (Gürler, 2017). Günümüz verileriyle yapılan kuraklık analizi sonuçlarına göre; 1976 ve 1977 yıllarında çok şiddetli kurak, 1997 yılında olağanüstü nemlilik görülmüştür. Zaman serisinde en şiddetli kurak ay 1986 Mart ayı olmuştur. Gözlem periyodunda Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ekim ayları 16 kez olmak üzere en fazla kurak geçen aylar olmuştur. Bu aylar arasında en şiddetli kuraklıklar 1 kez (1995) Mayıs ayında, 2 kez de (2001, 2003) Haziran ayında gerçekleşmiştir. 1989 ilkbaharı periyod içerisindeki en kurak mevsimdir. Son 10 yıllık periyotta (2011-2020) Mart-Ekim ayları arasında kuraklık değerlerinin önceki yıllara göre daha az şiddetli seyrettiği görülmektedir. Özellikle son 7 yılın Haziran periyodunda kesintisiz olarak kuraklığın yerini nemliliğin aldığı görülmektedir. Kuraklığın en az görüldüğü ay Şubat ayıdır (Tablo 5). 1996 yılına kadar 3' er yıllık (75-78, 83-86, 87-90, 92-95) periyotlar halinde kuraklıklar yaşanmış, 1997 yılından itibaren kuraklıklarda bir azalış süreci yaşanmıştır. 2014 yılı itibariyle en uzun nemlilik sürecine girilmiştir (Şekil 7). Akbaş (2014) tarafından Palmer Kuraklık İndeksine göre yapılan Türkiye genelindeki belirli yıllara ait kuraklık analizinde de bölge için birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Dabanlı (2018)'in 1971-2010 yılları arasındaki dönemin SYİ değerlerini kullanarak hesapladığı kuraklık tehlike indeksi sonuçlarına göre Türkiye'nin 73 ilinde düşük, 6 ilde orta derecede, 1 ilde (Konya) yüksek kuraklık riski varken 1 ilde (Artvin) ise kuraklık riski bulunmamaktadır. Kelebek vd. (2021) Avrupa-Akdeniz alanı içerisinde günümüz iklim şartlarında günlük sıcaklık/yağış ve kuraklık indekslerini birleştirerek aşırı iklim olaylarını incelediği makalesinde, bölgesel farklılıklar olmakla birlikte aşırı sıcaklıklarda ve kuraklık koşullarında artış eğilimi olduğu ve ayrıca aşırı yağış indekslerinde de artış olduğunu tespit etmişlerdir. Turoğlu (2014)'de yaptığı çalışmada İstanbul ve yakın çevresi için uzun süreli günlük sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak Thornthwaite, De Martonne, Erineç, UNESCO kuraklık index ve iklim sınıflaması analizleri, yıllık ve mevsimlik yağış-sıcaklık dağılışı, şiddet ve frekans analizleri yapmıştır. Sonuç olarak ise özellikle son 1999-2013 yıllarını kapsayan 15 yıllık dönemde yıllık toplam yağış miktarlarında azalma, yıllık ortalama sıcaklıklarda ise artışla beraber meteorolojik ve hidrolojik kuraklık derecesinin giderek arttığını tespit etmiştir. Turoğlu (2019) İstanbul'un su yönetim risklerini ele aldığı, yağış ve sıcaklık eğilimlerini araştırdığı çalışmasının sonuçlarına göre; İstanbul'un su potansiyelinde gelecek her yıl azalma olacağı öngörülmektedir. Aydın vd.'nin (2017) Türkiye'deki 26 akarsu havzasını Falkenmark su stres indisine göre sınıflandırdıkları çalışmanın sonucuna göre; çalışma sahasının da

Klim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Önerileri: Kirazdere Havzası Örneği

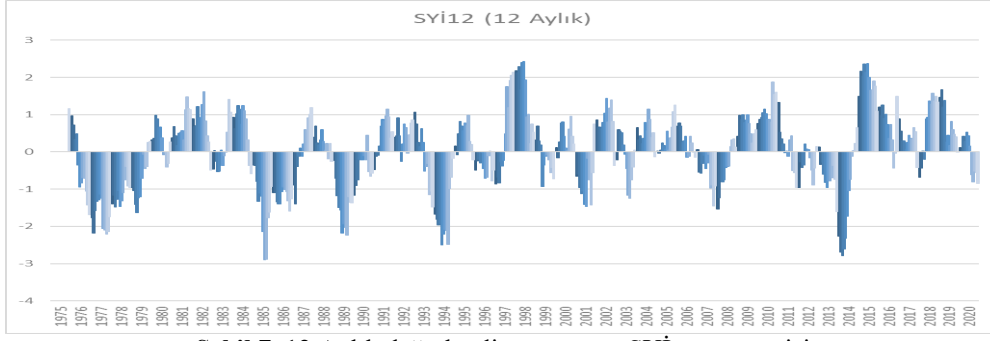
içerisinde yer aldığı Marmara Havzası mutlak su kıtlığı, Küçük Menderes Havzası su kıtlığı ve Sakarya Havzası ise su sıkıntısı yaşamaktadır. Bu üç havza dışında kalan diğer 23 havza ise “su baskısı yok” kategorisine girmektedir.

Tablo 5. SYİ Aylık ve Yıllık Kuraklık Şiddetleri (Renklendirme Tablo 4 teki SYİ sınıflandırmalarına göre yapılmıştır).

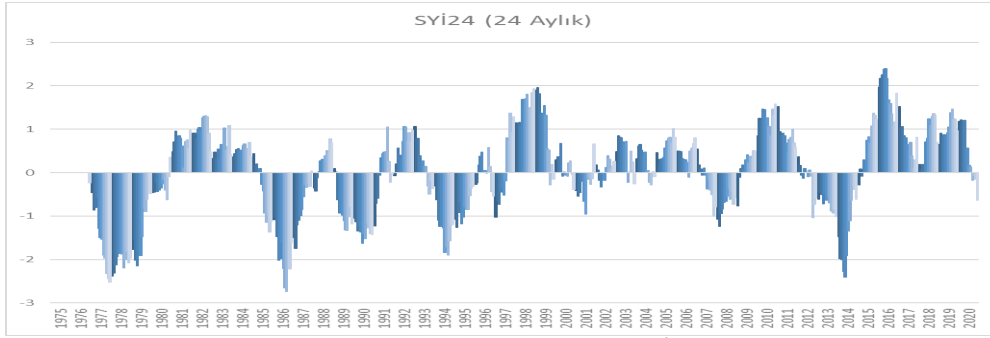
Yıl / Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
1975	0,075	0,876	0,274	-1,157	1,759	1,321	-0,166	0,611	0,105	0,405	0,247	0,652	1,215
1976	-0,750	-0,236	-2,254	-0,108	-0,772	-0,463	-0,063	0,964	0,130	-0,593	-0,554	-0,244	-1,613
1977	-0,916	-1,609	0,650	0,693	-1,446	0,263	-1,897	-1,411	0,147	-1,092	0,200	0,262	-1,657
1978	0,281	-0,186	-0,271	1,203	-0,593	-1,664	-1,416	0,178	1,024	0,115	-1,872	-0,023	-0,977
1979	0,354	-0,307	-2,330	0,492	0,314	-0,966	0,637	1,491	-0,051	0,226	0,817	0,128	0,234
1980	0,532	-0,167	1,016	0,135	-0,510	-1,173	-0,424	0,596	0,120	-1,058	1,109	1,422	0,208
1981	0,916	0,876	0,020	-1,644	0,804	-1,058	0,001	-0,399	1,991	0,362	-0,291	1,567	1,175
1982	0,123	-0,023	0,126	1,303	-0,090	-1,191	1,393	0,627	-0,153	-1,185	-1,232	-0,168	-0,546
1983	0,298	1,469	-1,399	0,366	-0,313	1,142	0,281	1,155	0,210	0,649	1,560	-1,171	1,096
1984	-0,155	0,395	0,601	1,335	-0,413	-0,590	1,808	0,678	-1,669	-1,411	-0,256	-2,769	-0,643
1985	0,667	0,399	-1,140	-0,785	-0,044	-0,741	-1,075	-1,324	-1,025	1,085	0,514	-0,231	-0,955
1986	0,296	0,563	-3,029	-1,346	-0,605	0,651	-0,845	-1,563	-1,397	0,609	0,154	0,258	-1,252
1987	1,278	-1,147	1,687	0,266	0,294	-0,166	0,645	0,538	-1,998	1,346	0,245	0,986	1,240
1988	-2,033	0,216	0,157	-0,027	0,733	0,848	-0,711	-0,329	-0,264	0,466	1,300	-0,218	-0,313
1989	-1,742	-2,254	-2,296	-2,687	0,194	-0,986	-0,397	-0,243	-1,145	1,990	1,228	-0,568	-1,340
1990	-0,682	-0,343	-0,994	0,838	0,028	-0,898	0,035	-0,919	1,270	0,036	1,077	-0,481	-0,630
1991	-0,175	0,894	-0,788	1,616	1,563	-0,002	0,119	-0,261	1,580	-0,752	-1,138	0,181	0,515
1992	-0,790	0,968	1,184	-0,288	-0,533	1,421	1,665	-1,712	-0,420	0,770	0,043	0,611	0,858
1993	0,183	-0,423	-0,959	-0,981	1,174	0,226	-0,821	-0,307	-0,013	-2,700	0,583	-0,752	-1,436
1994	-0,286	-0,617	-1,508	-0,992	-0,949	1,088	-1,532	0,010	-2,019	1,536	1,403	0,571	-0,238
1995	0,838	-2,279	1,040	0,853	-2,438	0,649	0,374	-0,623	0,154	-0,178	1,180	-0,613	-0,278
1996	0,096	-0,445	1,161	0,486	-0,098	-1,432	-1,546	-0,270	1,507	0,138	-1,232	0,065	-0,547
1997	-1,205	0,332	0,786	2,067	-0,906	-0,312	1,466	2,294	-0,546	1,928	-1,576	0,890	2,406
1998	-0,865	-0,526	1,236	-0,475	2,182	-0,775	0,440	0,145	-0,267	0,287	0,529	0,470	0,493
1999	-1,977	0,813	-0,362	-1,243	-0,855	1,279	1,014	0,276	-1,196	-0,801	0,966	-0,488	-0,769
2000	1,241	-0,097	1,201	1,329	-0,340	-0,106	0,043	0,031	1,114	0,421	-1,348	-1,254	0,153
2001	-1,854	0,213	0,174	0,782	-0,585	-2,191	-0,827	2,165	-0,752	-2,244	1,419	2,084	0,734
2002	-0,984	-0,900	0,070	0,696	0,386	-0,184	1,271	1,018	0,755	-0,562	-0,878	-0,687	-0,429
2003	-0,220	1,778	-0,209	0,598	-1,464	-2,449	0,158	-1,546	0,623	0,669	0,459	0,602	-0,006
2004	1,611	0,819	0,230	-0,292	-0,367	0,521	-0,940	1,002	-0,791	-0,931	0,709	-1,578	-0,193
2005	1,943	0,691	0,574	0,612	-0,830	0,175	1,120	-0,787	0,611	0,126	1,556	-0,277	1,315
2006	0,435	0,837	0,134	-2,572	-0,541	0,571	-1,897	-0,497	1,736	-0,515	1,004	-0,739	-0,204
2007	1,046	-1,743	0,088	-0,304	0,237	-0,991	-0,507	0,422	-0,550	-0,309	-0,100	0,410	-0,940
2008	-0,623	0,014	1,504	-0,606	0,162	0,543	-0,560	0,484	1,132	0,242	-0,073	-0,188	0,067
2009	0,548	1,639	1,106	0,215	-0,545	0,676	0,469	-0,836	0,334	-0,609	0,622	0,313	0,577
2010	1,072	1,804	1,222	0,848	0,321	0,006	0,153	-1,712	0,006	2,123	-1,754	0,870	1,742
2011	0,154	-1,660	0,613	0,303	-0,855	0,123	-0,525	0,678	0,370	0,360	-1,812	-0,200	-0,976
2012	0,225	1,129	0,123	0,548	1,114	-0,583	-0,607	0,086	-1,351	-0,906	0,338	1,192	0,090
2013	0,255	-0,433	0,363	-1,099	0,373	-1,226	-0,131	0,217	-0,582	0,158	-0,793	-1,165	-1,536
2014	-2,086	-1,737	0,274	-0,462	0,507	1,012	1,291	0,959	1,272	0,555	-0,068	0,444	0,627
2015	1,550	1,225	-0,701	1,355	0,296	1,515	0,682	-1,348	1,212	1,207	-1,872	-1,979	1,133
2016	1,845	0,332	0,478	-0,069	0,871	0,609	-1,099	0,520	-0,059	-0,863	0,171	2,491	1,598
2017	0,066	-1,707	-0,752	-0,062	0,182	1,137	0,259	0,197	-0,242	0,275	-0,416	0,738	-0,475
2018	-0,796	-0,253	0,998	-1,485	2,555	1,157	1,718	-0,606	0,763	-0,439	-0,382	0,683	1,427
2019	-0,180	0,315	-1,694	0,001	0,182	1,575	1,174	1,259	-0,065	-0,941	-0,924	-0,408	-0,069
2020	0,339	0,103	0,227	-0,731	0,999	1,306	0,448	-1,372	-1,104	0,000	-0,854	-1,834	-0,882



Şekil 6. 9 Aylık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi



Şekil 7. 12 Aylık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi



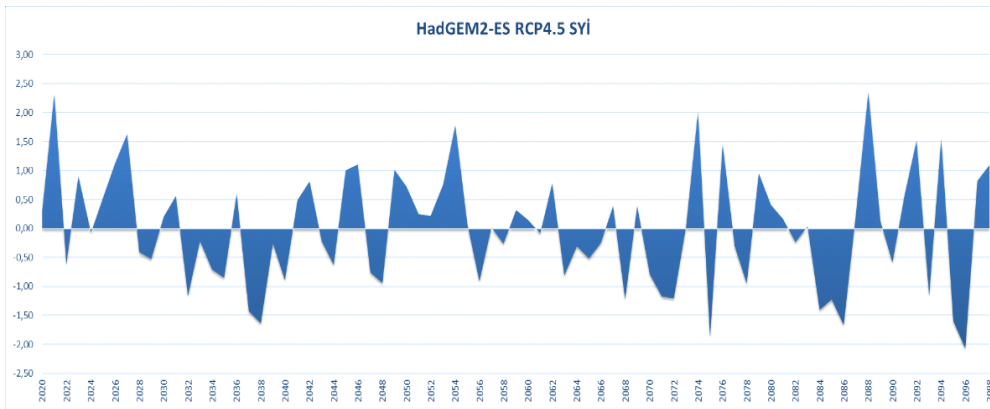
Şekil 8. 24 Aylık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi

Bölgede tarımsal kuraklık değerlendirmesi için 9 aylık SYİ değerlerine bakıldığında en uzun kesintisiz kuraklık döneminin 1976 Mart ayı ile 1979 Temmuz ayları arasında 41 ay süresince gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En yüksek nemlilik 97 Ağustos - 98 Nisan periyodunda görülmüştür. Son yıllarda 2014 Eylül ayı itibariyle yağışlarda bir artış gözlemlenmiş olup en yüksek kuraklık -1,13 değeri ile orta şiddetli kuraklık olarak Aralık 2020' de yaşanmıştır. Periyod süresince ise en şiddetli ekstrem kuraklık 1989 yılında görülmüş, sonrasında 1994, 2001 ve 2014 yılları olarak kuraklık tekrarları arası geçen süre artarak devam etmiştir (Şekil 6).

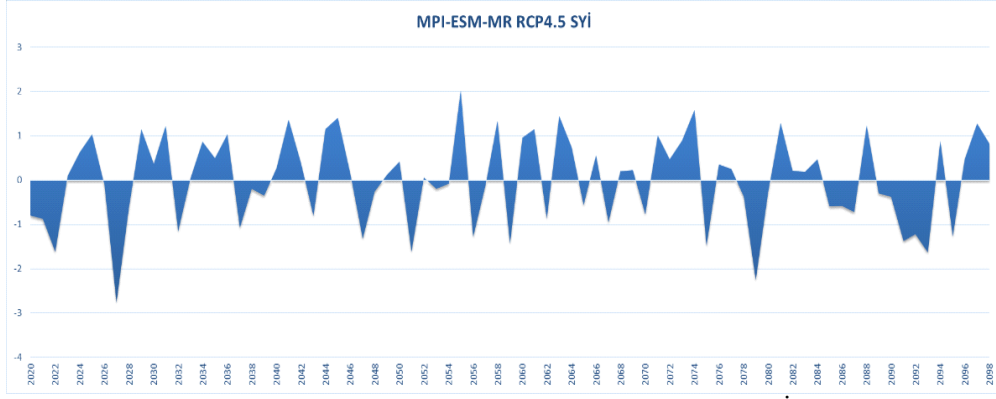
Bölgede hidrolojik kuraklık değerlendirmesi için 24 aylık SYİ değerlerine bakıldığında en uzun kuraklık döneminin 1985 Mart ayı ile 1991 Ekim ayları arasında olduğu gözlemlenmiştir. En şiddetli kuraklık 86 yılında olmuştur. En yüksek nemlilik oranları Mayıs 2015-Ağustos 2020 periyodunda görülmüştür, son yıllarda hidrolojik kuraklık gözlemlenmemiştir (Şekil 8).

3.2.2 Gelecek İklim Koşulları ile SYİ Analizi

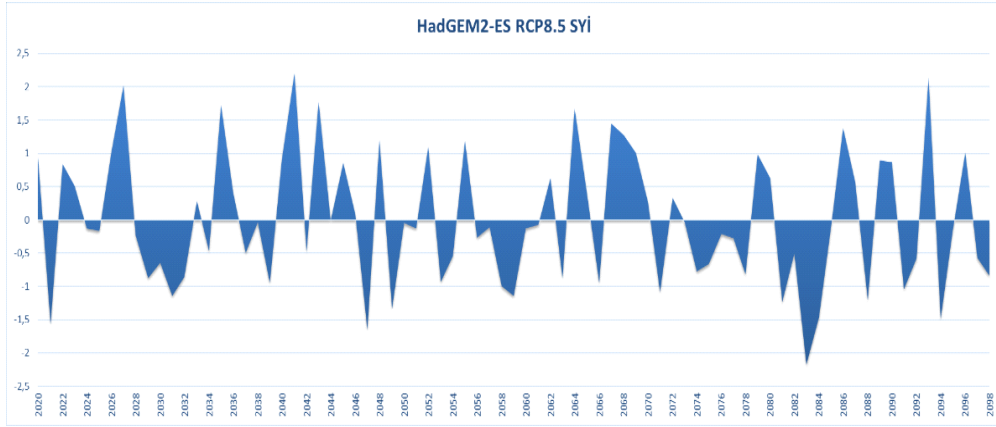
Kuraklık analizi için MGM' den alınan HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR gelecek senaryolarına ait grid verilerinden havzayı içerisine alan 3021, 3022, 3121, 3122 no'lu gridler kullanılarak 2020-2098 periyodu için veri üretilmiş ve hesaplamalar MS Excel programı üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 9, 10, 11, 12).



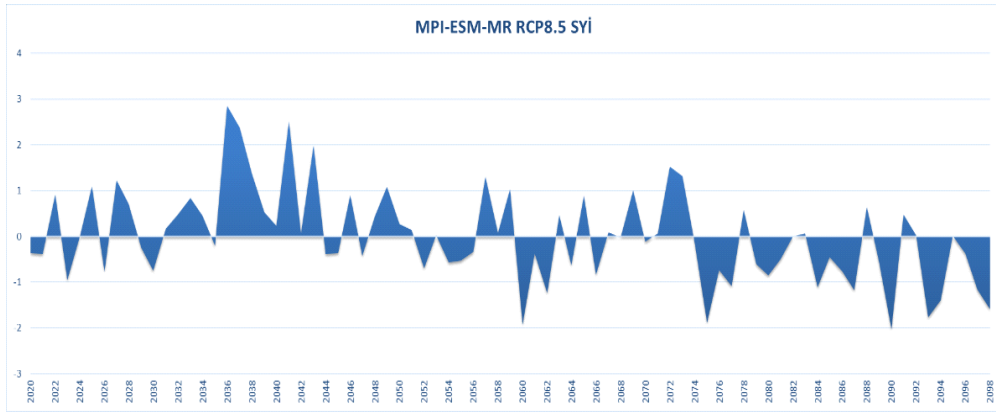
Şekil 9. HadGEM2-ES RCP4.5 Yıllık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi



Şekil 10. MPI-ESM-MR RCP4.5 Yıllık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi



Şekil 11. HadGEM2-ES RCP8.5 Yıllık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi



Şekil 12. MPI-ESM-MR RCP8.5 Yıllık değerlendirme sonucu SYİ zaman serisi

Gelecek verileri kuraklık analizi sonuçlarına göre; 4 farklı senaryoda belirgin olarak öne çıkan MPI-ESM-MR RCP8.5 senaryosuna göre 2030-2050 yılları arasındaki 20 yıllık nemli dönemden sonra 2074-2098 yılları arasında 24 yıllık bir periyotta neredeyse kesintisiz bir kuraklık yaşanacağı öngörülmektedir. En uzun nemli dönem ve en uzun kurak dönem yine bu senaryoda bulunmaktadır. Senaryoya göre en nemli yıl 2036, en kurak yıl ise 2089 yılı olacaktır (Şekil 12). 79 yıllık periyod içerisinde 29 yıl ile en fazla kuraklık yaşanacak senaryo ise HadGEM2-ES RCP8.5 senaryosudur (Şekil 11). En ekstrem kuraklık ise MPI-ESM-MR RCP4.5 senaryosuna göre 2027 yılında yaşanacaktır (Şekil 10). HadGEM2-ES RCP4.5 senaryosuna göre yüzyılın yarısından itibaren kurak dönemlerin süresi ve sıklığı artacak, nemli dönemlerin ise azalacaktır. Periyod süresince en uzun kuraklık döneminin 2055-2073 yılları arasında, en şiddetli kuraklığın ise 2096 yılında oluşacağı öngörülmektedir (Şekil 9). HadGEM2-ES RCP8.5 senaryosuna göre ise en yakın olağanüstü kuraklığın 2083 yılında görülmesi beklenmektedir. Bu senaryoda 2046 yılından sonra kurak dönemlerin sayısı 2020-2046 periyoduna göre artacaktır (Şekil 11).

3.3 Drone Görüntüleri

2020 Aralık ayı ve 2021 Haziran –2021 Aralık döneminde her ay drone ile Kirazdere Havzasında yer alan Yuvacık Barajı havadan incelenmiştir. Su seviyesi ile ilgili görseller alınmıştır. Seviyenin en dolu ve en boş olduğu dönemler fotoğflanmıştır (Foto 1, 2).

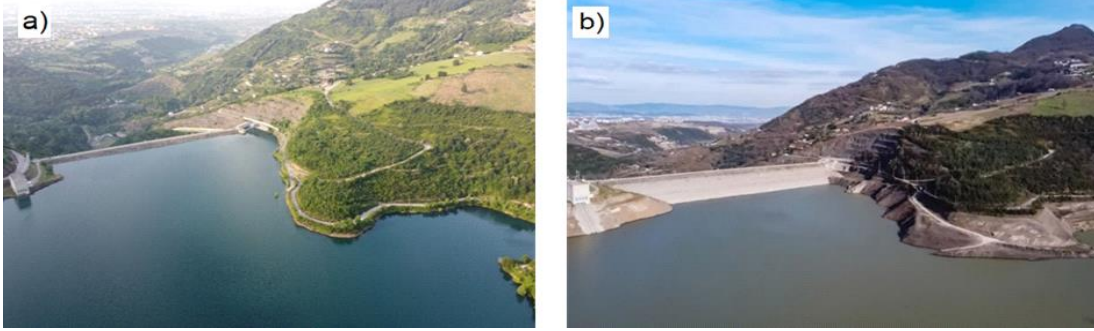


Foto 1. a) 2021 Haziran, b) 2021 Aralık aylarına ait Yuvacık Barajı drone görüntüsü.

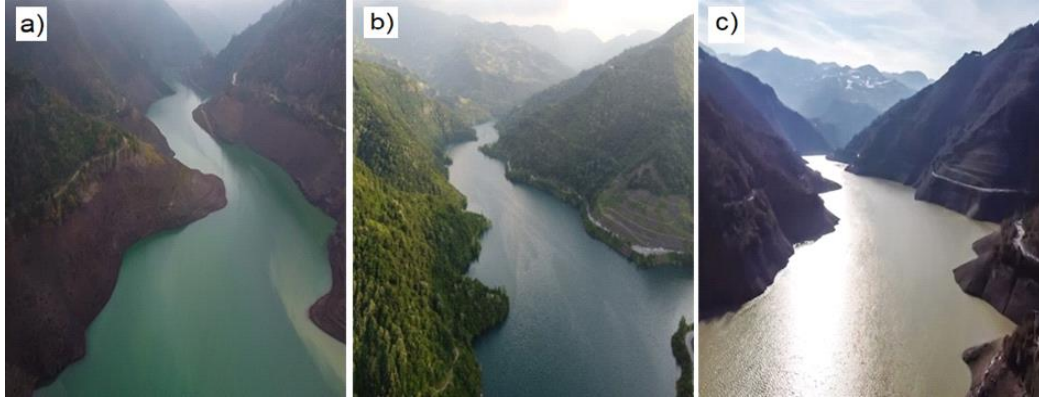
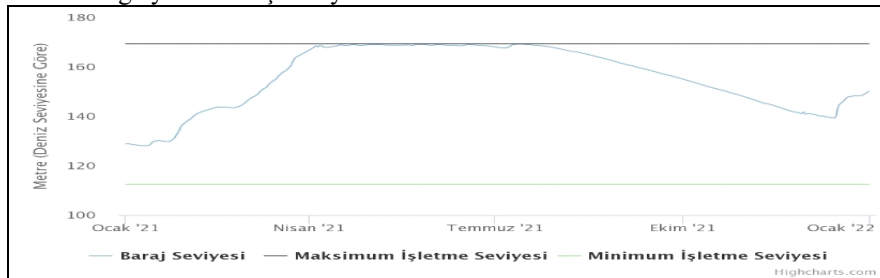


Foto 2. a) 2020 Aralık, b) 2021 Haziran, c) 2021 Aralık aylarına ait Yuvacık Barajı drone görüntüsü

Mayıs ayı itibariyle en yüksek seviyesine ulaşan Yuvacık Baraj Gölü'nün su seviyesi, yaz aylarında azalan yağışlarında etkisiyle Ağustos ayı itibariyle düşüşe geçmektedir. SYİ metoduyla elde ettiğimiz kuraklık sonuçlarına göre son 10 yılda sonbahar aylarında kuraklıkların artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Aralık 2020 ve Aralık 2021 görsellerinden de anlaşılacağı üzere baraj gölü Aralık ayında en düşük seviyesine düşmektedir. İSAŞ' tan alınan 2021 yılına ait su seviye grafiğinde de görseller ile doğru orantılı bir eğilim gözükmemektedir (Şekil 13). Thornthwaite su bilançosu ve iklim tipi analizinden elde edilen sonuçlara göre havzada yarı nemli iklim tipi özellikleri görülmektedir. Özdemir (2021) tarafından yapılan çalışmaya göre Yuvacık Barajı alt havzalarında bulunan Kirazdere ile beraber Serindere ve Kazandere'nin de gelecek projeksiyonları analiz sonuçlarına göre akım değerlerinde düşüş gözlemleneceği öngörülmektedir. Bu duruma göre günümüzde özellikle sonbahar ve kış aylarında oluşan talebe karşılık yeterli arzı sağlayamayan, bu aylarda debileri düşen akarsuların gelecekte daha çok yetersiz kalacağı öngörülmektedir. Sıcaklıkların artışı, yağışlardaki düzensizlik ve düşüş eğilimi ve buna bağlı yaşanacak kuraklıkta göz önüne alındığında her ne kadar iklim değişikliğini engellemede yetersiz kalsak da bu değişime karşı gerekli önlemleri almamız gelecekteki su temini sağlayabilmek için büyük önem arz etmektedir.



Şekil 13. Yuvacık Barajı Su Seviyesi (İSAŞ, 2021).

4. Sonuç

Su kaynakları iklim değişikliğinden en fazla etkilenen doğal unsurların başında gelmektedir. Dünyada hızla artan nüfusa bağlı olarak tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesine ihtiyaç vardır. Küresel ısınmaya bağlı olarak sıcaklıklardaki artış, sanayi devrimi (18. yy.) öncesi döneme kıyasla 1.2 °C'ye ulaşmış durumdadır ve bu değerin giderek daha da artacağı öngörülmektedir (IPCC, 2021). Dünya'nın pek çok bölgesinde iklim koşulları önceki dönemlere göre çok daha sıcak ya da daha kurak geçmektedir ve bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre çalışma alanında önümüzdeki yıllarda daha da kurak dönemler yaşanacağı öngörülmektedir. Bu amaçla bu çalışmada Marmara Bölgesi'nin en kalabalık ve sanayileşmiş şehirlerinden birisi olan Kocaeli'ne içme suyu sağlayan Yuvacık Baraj Gölü ve barajı besleyen Kirazdere Havzası içerisinde yer alan akarsuların güncel ve gelecek durumu değerlendirilmiş ve iklime uyum kapsamında öngörülerde bulunulmuştur. Çalışmada kullanılan sıcaklık, yağış ve akım verilerinden elde edilen istatistiksel sonuçlara göre; incelenen 46 yıllık dönemde (1975-2020) sıcaklık değerlerinin artan yönde trend gösterdiği, yağış değerlerinin anlamlı bir trendinin olmadığı; akım değerlerinin ise azalan yönde bir trend gösterdiği tespit edilmiştir. Akım değerlerindeki azalmanın, artan sıcaklıklara bağlı olarak buharlaşma şiddetinin ve kuraklık derecelerinin artması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Kuraklığın etkisiyle ortaya çıkan su seviyesindeki azalmalar, arazi çalışmasında sahadan alınan drone görüntüleri ile de gözlemlenmiştir. Sahadaki güncel durum tespit edildikten sonra iklim modelleri ve farklı senaryolardan elde edilen sonuçlara göre önümüzdeki 79 yıl süresince (2020-2098) sıcaklıklarda artış trendi gözlemlenmiştir. Yağışlarda ise MPI-ESM-MR RCP8.5'e senaryosuna göre azalma yönünde bir trend olduğu gözlemlenmiş, ancak diğer model ve senaryolarda istatistiksel olarak anlamlı bir trend gözlemlenmemiştir. İklim projeksiyonlarına bağlı olarak yapılan kuraklık analizlerinde havzada gelecekte de kısa ve uzun dönemli kuraklıklar yaşanacağı beklenmektedir. Bu durum içme suyu temini için kullanılan barajın gelecek yıllarda ihtiyacı karşılayamama olasılığını arttırmaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda baraj gölünü besleyen Kirazdere havzasında sıcaklık artışı, yağış ve akımın azalmasından dolayı oluşacak olan su sıkıntısına yönelik "iklime uyum" kapsamında "su kaynakları ve yönetimi" konusunda önlemler alınmalıdır. Kocaeli' de nüfus TÜİK verilerine göre 2021 yılında yüzde 1,81 oranında artmış ve binde 17,95 oranında artış hızı olmuştur. Gelecek yıllarda nüfus artışı bu şekilde devam ederse suya olan talep artacak, ancak iklim değişikliği sebebiyle suyun arzı azalacaktır. Bu sebeple gelecek ile ilgili su sıkıntısını en aza indirmek için kişiler ve kurumlar bazında su tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri içerisinde yer alan "Temiz Su"ya erişim başlığı altında yer alan Su Ayak İziminin hesaplanarak en aza indirilmesi, suyu doğru kullanma teknolojilerinin (yağmur suyu hasadı vb.) yaygın hale getirilmesi, sanayi kuruluşlarının kullandığı su miktarlarının daha sıkı kontrol edilmesi ve bu kuruluşlarda su kullanımını gerektirmeyecek ya da en aza indirecek yöntemler geliştirilmesi gerekmektedir.

Katkı Belirtme

Bu yayını, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu), BİDEB (Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı) tarafından 2209-A programı kapsamında "1919B012004745 nolu proje" ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK-BİDEB'e ve çalışmada kullandığımız iklim verileri için MGM'ye teşekkür ederiz. Ayrıca makalenin değerlendirme sürecindeki görüş ve önerileri için sayın editöre ve değerli hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akbaş, A. (2014). Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12 (2), 101-118. DOI: 10.1501/Cogbil_0000000155
- Arıttürk, S.K. ve Ustaoglu, B. (2020). Salda Gölü Havzası'nda İklim Koşullarındaki Değişikliğin Etkilerinin Belirlenmesi. *ANKAD E-ISSN:2587-0491*, 4(3) 233-249. <https://doi.org/10.15659/ankad.v4i3.132>
- Aydın, O., Ünalı, Ü.E., Duman, N., Çiçek, İ., Türkoğlu, N. (2017). Türkiye'de su kıtlığının mekânsal ölçekte değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* 68 (2017) 11-18.
- Bakanoğulları, F. (2019). Kırsal Havzalarda Kuraklığın İki Yöntem (SPEI ve SPI) Kullanılarak Belirlenmesi: Kumdere Havzası Örneği, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(1): 146-156. <https://doi.org/10.30910/turkjans.680037>
- Bakanoğulları, F. (2020). SPEI ve SPI İndisleri Kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında Kuraklık Şiddetlerinin Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9 (1), 1-10. DOI: 10.21657/topraksu.566693
- Bayazit M. (1996). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 245.
- Bayazit M., Önöz B. (2004). Trend Analizi. *IV Ulusal Hidroloji Kongresi Hidrolojide Yeni Yöntemler Seminer Kitabı*, İstanbul, 79-84.
- Cüceloğlu, G. (2019). *İklim Değişikliğinin İstanbul'un Yüzeysel Su Kaynaklarına Etkisi ve Kuraklık Dirençli*

- Bütünleşik Su Yönetimi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 501122710
- Çaldağ, B., Şaylan, L., Toros, H. ve Bakanoğulları, F. (2004). Drought Analysis in northwest Turkey. *Agroenvironment*, 169-179, 20-24 October, Udine, Italy.
- Çiçek, İ., Ataol, M. (2009). Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım. *Coğrafi Bilimler Dergisi CBD* 7 (1), 51-64.
- Dabanlı, I., Mishra, A.K. ve Sen, Z. (2017). Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *J. Hydrol.* 552, 779–792.
- Dabanlı, İ.(2018). Drought hazard, vulnerability, and risk assessment in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 538. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3867-x>
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdiscip. Rev. Climate. Change.*, 2, 45–65.
- Dehghani, F., Khalili, D., Zand-Parsa, S. and Kamgar-Haghighi, A. A (2022). Influence of climatic variability on detected drought spatio/temporal variability and characteristics by SPI and RDI. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng.* <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00879-w>
- Demircan, M., Gürkan H., Arabacı H. ve Coşkun M. (2017). Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.
- Doeshemeh Gorgij, A., Alizamir, M., Kisi, O. and Elshafie, A. (2022). Drought modelling by standard precipitation index (SPI) in a semi-arid climate using deep learning method: long short-term memory. *Neural Comput & Applic*, 34, 2425–2442. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06505-6>
- Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P. et al. Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Reg Environ Change* 14, 1907–1919 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0562-z>
- Duvan, A., Aktürk, G. ve Yıldız, O. (2021). Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, Sakarya Havzası Örneği . *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3 (2) , 207-217 . DOI: 10.46387/bjesr.961816
- Giddins, L., Soto, M., Rutherford, B. M. (2005). Standardized precipitation index zones for Mexico. *Atmosfera*, 18(1): 33-56.
- Gümüş, V., Başak, A. ve Oruç, N. (2016). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Yöntemi ile Şanlıurfa İstasyonunun Kuraklık Analizi . *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1 (1) , 36-44 .
- Gürkan H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioğlu, O., Şensoy, S., Yazıcı, B. (2016). GFDL-ESM2M modeli temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları. *Coğrafi Bilimler Dergisi CBD*, 14 (2), 77- 88.
- Gürkan, H., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Yazıcı, B., Demircan, M., Kocatürk, A., Akçakaya, A. (2017). MPI-ESM-MR Modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları, VII. *Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 28-30 Nisan 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi / İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul
- Gürler, Ç. (2017). *Beyşehir ve Konya-Çumra-Karapınar Alt Havzalarında Standartlaştırılmış İndis Yaklaşımı İle Hidrolojik Kuraklık Değerlendirilmesi*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi.
- Gomez-Gomez, J.-d.-D., Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A.-J., Fernandez-Chacon, F. (2022). The impact of climate change scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean basin. A useful approach for planning adaptation strategies. *Sci. Total Environ.* 820, 153128
- Hanel, M., Rakovec, O., Markonis, Y., Máca, P., Samaniego, L. , Kyselý, J., Kumar R. (2018). Revisiting the recent European droughts from a long-term perspective *Sci. Report.*, 8, p. 9499, 10.1038/s41598-018-27464-4
- Heinrich, G. and Gobiet, A. (2012), The future of dry and wet spells in Europe: a comprehensive study based on the ENSEMBLES regional climate models. *Int. J. Climatol.*, 32: 1951-1970. <https://doi.org/10.1002/joc.2421>
- Hertig E.,Tramblay, Y.(2017). Regional downscaling of Mediterranean droughts under past and future climatic conditions. *Global and Planetary Change* 151: 36–48
- Hoşgören, M. Y. (2004). *Hidroğrafya'nın Ana Çizgileri I*, Çantay Kitapevi, İstanbul.
- IPCC, (2019). *Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli*, İklim Değişikliği ve Arazi Özel Raporu.
- IPCC, (2021). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> Son Erişim Tarihi: 01 Ağustos 2022
- İSAŞ (2021). *İzmit Su A.Ş. Yuvacık Barajı Su Seviyesi*, <https://www.izmitsu.com.tr/sayfa.asp?ID=53&PID=8> Son Erişim Tarihi 14 Nisan 2022.
- Karabulut M. (2020). Standart Yağış İndeksi Kullanılarak Sivas İl' inde Kuraklık Analizi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt: 13 Sayı: 71 Haziran 2020

- Karadaş, S. ve Imamoglu, A. (2019). Standart yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Gaziantep istasyonu'nun kuraklık analizi. B. Gonencgil, T. A. Ertek, I. Akova ve E. Elbasi (Ed.), *1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book* (s. 1119-1126) Istanbul University Press. <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.104>
- Kelebek, M.B., Batibeniz, F., Önal, B. (2021). Exposure Assessment of Climate Extremes over the Europe–Mediterranean Region. *Atmosphere* 2021, 12, 633. <https://doi.org/10.3390/atmos12050633>
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q. and Wang, J. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, *China. Sci Rep.*, 11, 1280. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, *8 th. Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA, 179-184.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1999). *Historical Dry and Wet Periods in Colorado* (Part A: Technical Report). Climatology Report No 99-1 A. Colorado Climate Center Atmospheric Science Department Colorado State University.
- Mehr A.D., Sorman A.U., Kahya E., Afshar M.H. (2019). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), 254–268. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691218>
- MGM (2015). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği* TR-2015CC. <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-degisikligi-projeksiyon2015.pdf> Son Erişim Tarihi: 09 Haziran 2022
- MGM (2022a). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, *Türkiye İçin İklim Projeksiyonları*, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=projeksiyonlar> Son Erişim Tarihi: 02 Ağustos 2022
- MGM (2022b). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, *Kuraklık Analizi*, <https://bit.ly/3BAkfhm> Son Erişim Tarihi: 01 Ağustos 2022
- Mutlu, Y. E. (2014). *Kirazdere Havzası (Kocaeli) ve Çevresinin Jeomorfolojisi*, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- NOAA (2022). Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, *Kuraklık İndisleri ve Verisi*, <https://bit.ly/3bm7ps9>, <https://bit.ly/3OOMBar> Son Erişim Tarihi: 01 Ağustos 2022
- Ölgen, M.K. (2010). Türkiye’de yıllık ve mevsimsel yağış değişkenliğinin alansal dağılımı. *Ege Coğrafya Dergisi*, 19/1, 85-95.
- Önal, B. and Ünal, Y.S. (2012) Assessment of Climate Change Simulations over Climate Zones of Turkey. In: *Regional Environ Change*. Springer-Verlag, Berlin. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10113-012-0335-0#page-1> <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-012-0335-0>
- Önal, B., Bozkurt, D., Turuncoglu, U.U. et al. (2014). Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region. *Clim Dyn* 42, 1949–1965 <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1966-7>
- Özdemir, A. (2021). İklim Değişikliğinin Havza Ölçeğinde Akım ve Sediman Miktarına Etkilerinin Değerlendirilmesi: Yuvacık Baraj Gölü Havzası, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45, 129-154.
- Özgün, G., Vaheddoost, B. ve Aras, E. (2020). Standart Yağış İndeksi(SPI) Metodu Kullanılarak Kuraklık Analizi ve Bursa Doğancı Barajı ile İlişkilendirilmesi. *Academic Perspective Procedia*, 3 (2), 876-885. DOI: 10.33793/acperpro.03.02.23
- Palmer W.C. (1965). Palmer Meteorological Drought Office of Climatology, US Weather Bureau
- Pamuk, G., Özgürel, M. ve Topçuoğlu, K. (2004). Standart yağış indeksi (SYİ) ile Ege Bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1), 99106.
- Polat, P. ve Sunkar, M. (2017). *Rize'nin İklim Özellikleri ve Rize Çevresinde Uzun Dönem Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Trend Analizi*, F.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:27, Sayı:1, Sayfa:1-23, Elazığ.
- Sneyers, R. (1990). *On the Statistical Analysis of Series Observations*, WMO, Technical Note, 143.
- Şen, Ö. L. (2013). Türkiye’de iklim değişikliğinin bütünsel resmi. Öztopal, A., Yerli, B., Şen, Z. (Ed.), *Türkiye’de İklim Değişikliği Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde, İstanbul: Su Vakfı Yayınları
- T.C.Tarım ve Orman Bakanlığı, 1. Su Şurası (2021). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Ve Uyum Çalışma Grubu* https://cdn.nys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/iklim_degisikliginin_su_kaynaklarina_ etkisi_ve_uyum_calisma_grubu_raporu.pdf Son Erişim Tarihi: 19 Temmuz 2022
- Tokgöz, S. ve Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 1107-1118, DOI: 10.21597/jist.633368

- Turgu, E., Eskioğlu, O., Öz, Ö. ve Uğurlu, A. (2015). Farklı Zaman Ölçeklerindeki Standart Yağış İndekslerinin Havza Bazında Değerlendirilmesi. *VII. Uluslararası Katımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*.
- Turoğlu, H. (2014). İklim değişikliği bağlamında İstanbul'da su yönetimi problemleri. *TÜCAUM*, 8, 97-107.
- Turoğlu, H. (2019). *İstanbul'un su yönetimi riskleri*. B. Gonencgil, T. A. Ertek, I. Akova ve E. Elbasi (Ed.), 1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book (s. 535-547) içinde. İstanbul, Türkiye: Istanbul University Press. <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.052>
- Türkeş, M. (1995). Türkiye'de Yıllık Ortalama Hava Sıcaklıklarındaki Değişim ve Eğilimlerin İklim Değişikliği Açısından Analizi, *Çevre ve Mühendis Dergisi*, 9, 9-15.
- Türkeş, M. ve Acar Deniz Z. (2011). Climatology of hot days of the 2010 summer in Turkey and analysis of its atmospheric causes. In: *Proceedings of the National Geographical Congress with International Participation* (CD-R), ISBN 978-975-6686-04-1, 7-10 September 2011, Türk Coğrafya Kurumu – İstanbul University.
- Türkeş, M. (2012). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2) , 1-32 . DOI: 10.1501/Csaum_0000000063
- Türkeş, M., Turp, M.T., An, N., Öztürk, T., Kurnaz, M.L. (2020). *Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Turkey*. In: Harmancıoğlu, N., Altınbilek, D. (eds) Water Resources of Turkey. World Water Resources, vol 2. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11729-0_14
- Ustaoğlu, B. (2011). *Türkiye'de A2 Emisyon Senaryosuna Göre Ortalama Yağış Tutarlarının Olası Değişimi, (2010-2099)*. Fiziki Coğrafya Araştırmaları Sistematik ve Bölgesel. Prof. Dr. M.Y. Hoşgören'e Armağan Kitabı, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları Sayı:6, Sayfa: 473-484 İstanbul
- Ustaoğlu, B. (2012). *Matlab'da iklim veri analizi ve uygulamaları* (climate data analysis and applications in Matlab). İstanbul: Anka Matbaa.
- Ustaoğlu, B. (2019). *Sakarya'nın İklim Özellikleri* (Kitap bölümü). SAÜ yayın no: 190, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-2238-05-9
- Ustaoğlu, B., İkiel, C., Atalay Dutucu, A. ve Kılıç, D. (2021). Erosion Susceptibility Analysis in Datça and Bozburun Peninsulas, Turkey. *Iran J Sci Technol Trans Sci*. <https://doi.org/10.1007/s40995-020-01053-5>
- Ustaoğlu, B. (2021). Türkiye'de İklim Değişikliği ve Etkileri: Su kaynakları, Tarım ve Gıda Güvenliği. *ARGE Dergisi*, Sayı:31.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería, S., López-Moreno J.I. (2009). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index *J. Clim.*, 23 (2009), pp. 1696-1718, 10.1175/2009JCLI2909.1
- Wilhite, D. , Pulwarty, R.S. (Eds.) (2017). *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy*, CRC Press.
- Zhai, J., Su B., Krysanova, V. Vetter, T. Gao, C., Jiang T. (2010). Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China. *J. Clim.*, 23 (2010), pp. 649-663, 10.1175/2009JCLI2968.1 33, 130.

Etik, Beyan ve Açıklamalar

1. Etik Kurul izni ile ilgili;

Bu çalışmanın yazar/yazarları, Etik Kurul İznine gerek olmadığını beyan etmektedir.

2. Bu çalışmanın yazar/yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedir.

3. Bu çalışmanın yazar/yazarları kullanmış oldukları resim, şekil, fotoğraf ve benzeri belgelerin kullanımında tüm sorumlulukları kabul etmektedir.

4. Bu çalışmanın benzerlik raporu bulunmaktadır.
