



MANAVGAT ÇAYI KURAKLIK ANALİZİ

Drought Analysis of Manavgat Stream

Mustafa Murat KALE

*Çankırı Karatekin Üniversitesi
Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü*

mmuratkale@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6975-7069

*(Teslim: 31 Mart 2021; Son Düzeltme: 25 Mayıs 2021; Kabul: 28 Mayıs 2021)
(Received: March 31, 2021; Last Revised: May 25, 2021; Accepted: May 28, 2021)*

Abstract

This study, it was aimed to reveal the traces of hydrological drought in the Manavgat Stream. The possible trend on flow series was investigated for a better interpretation of the traces of hydrological drought. Hydrometric time series constitute the basic material of the study. In this context, the traces of hydrological drought were investigated using the stream flow drought index (SDI). The possible trend on flow series was investigated using the Mann-Kendall test and the Mann-Kendall rank correlation test statistics for a better interpretation of the SDI values. $u(t)$ and $u'(t)$ graphs drawn from the Mann-Kendall rank correlation test statistic were used to reveal the starting date of the trend. According to the SDI results, the traces of hydrological drought were detected at the selected stations in the Manavgat Stream at different time and class intervals. For the reference period $k = 4$, the hydrological drought that occurred in different class intervals in 49% of the hydrometric time series at the EİE0901 Homa station was determined. Moreover, for the reference period $k = 4$, the hydrological drought that occurred in different class intervals in 42% of the hydrometric time series at the EİE0912 Sinanhoca station was determined. Significant decreasing trend at 95% confidence interval was detected at EİE0901 Homa station for the reference period $k = 2$, $k = 3$, and $k = 4$. In the hydrometric time series of EİE0912 Sinanhoca station, no significant trend was detected at 95% confidence interval for the reference period $k = 2$, $k = 3$, and $k = 4$. The breakthrough point predicted by SDI calculations for the EİE0901 Homa station was clarified as 1948 by trend analyzes.

Keywords: Hydrological drought, SDI, Mann-Kendall

Öz

Bu çalışmada Manavgat Çayı'nda gerçekleşmiş olan hidrolojik kuraklığın araştırılması ve bulguların akarsu akımlarındaki olası eğilimler ile bir arada değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Hidrometrik zaman serileri çalışmanın temel materyalini oluşturmaktadır. Hidrolojik kuraklığa ait izler akarsu kuraklık indisi (SDI) kullanılarak araştırılmıştır. Hesaplanan SDI değerlerinin daha iyi yorumlanması amacıyla hidrometrik zaman serilerindeki olası eğilim araştırılmış ve bulgular SDI sonuçları ile bir arada değerlendirilmiştir. Eğilim analizleri için Mann-Kendall testi ve eğilimin başlangıç tarihini ortaya çıkartmak için Mann-Kendall sıra korelasyon test istatistiğinden itibaren çizilen $u(t)$ ve $u'(t)$ grafikleri kullanılmıştır. SDI yöntemi ile elde edilen bulgular her iki istasyonda farklı referans dönemlerde farklı süre ve sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklığın gerçekleştiğini göstermiştir. Su yılını temsil eden referans dönem ($k = 4$) için EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarına ait toplam gözlem süresinin sırası ile %49 ve %42'sinde farklı sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği belirlenmiştir. EİE0901 Homa istasyonunda $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemleri için %95 güven aralığında azalma eğilimi tespit edilmiştir. EİE0912 Sinanhoca istasyonunda $k = 1$, $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemleri için %95 güven aralığında anlamlı eğilim tespit edilememiştir. EİE0901 Homa istasyonu için SDI hesaplamaları ile öngörülen kırılma (dönüm) noktası tarihi eğilim analizleri ile 1948 yılı olarak netleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik kuraklık, SDI, Mann-Kendall

1. GİRİŞ

Kuraklık; zaman ve mekâna bağlı olarak, içinde bulunduğumuz dönemde küresel ölçekte etkilerini hissettiren ve afet olma ölçeğine ulaşan en büyük problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak belirli bir bölgedeki su varlığının, su varlığına ait normal miktarının altında olduğu dönemi ifade eden kuraklık kavramı; literatürde farklı araştırmacılar tarafından farklı biçimlerde açıklanmaktadır (Lloyd-Hughes, 2014; Tallaksen ve Lanen, 2004; Türkeş, 2012). Karşı karşıya olduğumuz kuraklık sorunsalı meteorolojik, tarımsal (toprak nemi), hidrolojik ve sosyoekonomik kuraklık biçimlerinde farklı sınıflara ayrılmaktadır (Mishra ve Singh, 2010; Sheffield ve Wood, 2011; Türkeş, 2012). Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın yaygın etkilerini ifade eden sosyoekonomik kuraklık her üç kuraklık sınıfı için ayrı ayrı ortaya çıkabilirken, hidrolojik kuraklığın gelişmesi için meteorolojik ve tarımsal kuraklığın ileri bir düzeye ulaşması gerekmektedir (Türkeş, 2020).

Yerküre su kaynakları su çevrim sistemi olarak adlandırılan doğal bir döngü ile denge halinde bulunmaktadır. Yerüstü ve yeraltı su kaynakları bütçelerinde negatif yönlü ve uzun süreli anomaliler olarak karşımıza çıkan hidrolojik kuraklık (Türkeş, 2010), belirli bir bölgede yer alan su kaynaklarının baskı altında olduğunu ifade eden en önemli göstergelerden biridir (Fleig vd., 2006; Hisdal vd., 2004; Smakhtin, 2001). Hidrolojik kuraklık nehirlerde ortalamasının altında düşük akım değerleri, sulak alanlarda alansal kayıplar, göl ve rezervuarlarda seviye düşmeleri ile birlikte yeraltı sularında kaydedilen seviye değişimleri şeklinde kendini gösterir (Van Loon, 2015). Hidrolojik kuraklık, özellikle suya duyarlı olan tüm ekosistem üyelerini farklı düzeylerde etkileyen ve doğrudan canlılığı tehdit eden bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

İlerleyen meteorolojik kuraklığın sonucunda ortaya çıkan hidrolojik kuraklık oldukça dinamik ve karmaşık bir yapıya sahiptir (Van Loon, 2015). Bunun temel nedeni kuraklığın sadece atmosferik parametrelere bağlı olmaması, atmosferik parametrelerdeki anomaliler ile birlikte akış, sızma, depolanma vb. farklı süreçlerle yakından ilişkili olmasıdır (Stahl ve Hisdal, 2004; Van Loon, 2015). Küresel ölçekte etkilerini hissettiren iklim değişikliği problemi meteorolojik kuraklığın gelişimi üzerinde çok büyük bir role sahiptir (Leng vd., 2015; Türkeş, 2012). Ortalama sıcaklık değerinde kaydedilen pozitif yönlü anomali ile birlikte yağış miktarında kaydedilen negatif yönlü anomalinin süresi ve büyüklüğü meteorolojik kuraklığı tetiklemekte ve hidrolojik

kuraklığın gelişimi üzerinde belirleyici olmaktadır (Hisdal ve Tallaksen, 2000; Wanders ve Wada, 2015).

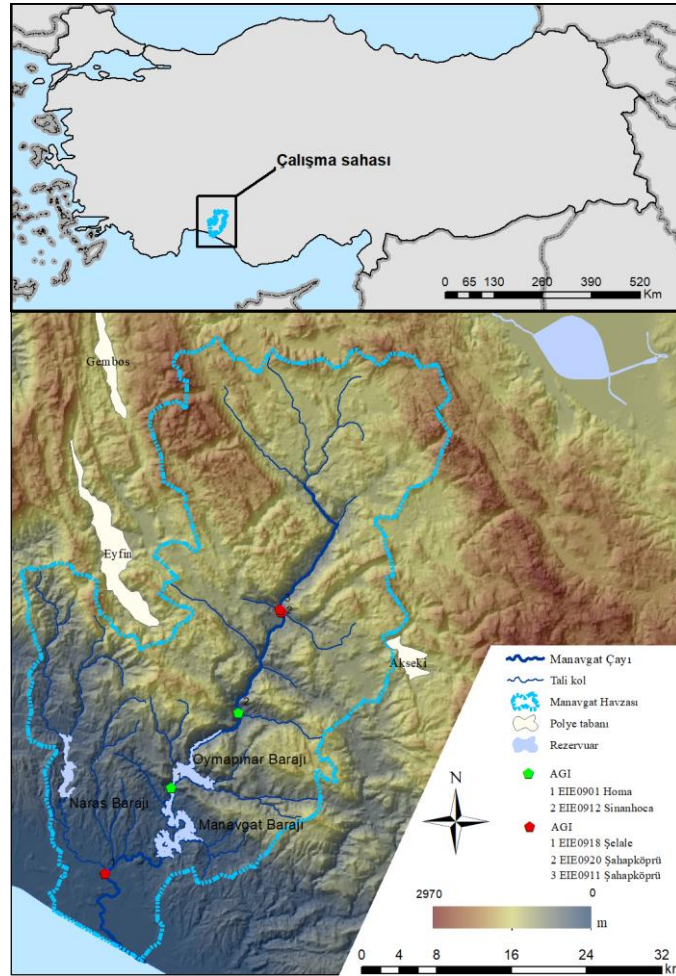
Anadolu'da küresel ölçekteki iklim değişikliğine bağlı olarak su havzalarına ait bütçelerin değişmesi (Bozkurt ve Şen, 2013; Fujihara vd., 2008; Kahya, 2011; Öno1 vd., 2009; Öno1 ve Semazzi, 2009; Türkeş, 2020), kurak yarı-kurak iklim bölgelerinde alansal büyümlerin gerçekleşmesi ve kurak yaz mevsimi sürelerinde artış gerçekleşmesi (Erlat ve Türkeş, 2013; Öno1 vd., 2009; Türkeş, 1998; Türkeş, 2020) öngörülmektedir. Sousa vd. (2011), Doğu Akdeniz Havzası'na düşen yağış miktarı ve su varlığında anlamlı azalma eğilimleri olduğu tespit etmiştir. Karabörk (2007), Anadolu genelinde farklı bölgelerde kuraklaşma eğilimlerinin olduğunu belirtmiştir. Akbaş (2014), içinde bulunduğumuz dönemde Türkiye genelinde kurak geçen yılların sayısında anlamlı bir artış olduğunu belirlemiştir. Türkeş ve Erlat (2003) ve Türkeş ve Tatlı (2011) farklı çalışmalarında Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan Türkiye için anlamlı kuraklaşma eğilimleri tespit etmiştir. Farklı araştırmalara bağlı olarak ortaya çıkan öngörü ve bulgular Anadolu'da yer alan su kaynaklarının iklim değişikliğinden farklı şekillerde etkileneceği ve beraberinde hidrolojik kuraklığa ait izlerin ortaya çıkabileceğini net bir şekilde ifade etmektedir.

Anlamlı kuraklaşma eğilimlerinin tespit edildiği Akdeniz Havzası'nda yer alan Türkiye, bölgede yer alan diğer ülkelerin su kaynakları kökenli problemlerini barışçıl yollarla çözmeyi amaçlayan birçok proje geliştirmiş ve projelerin bir kısmını uygulamaya almıştır. Söz konusu projelerin bir kısmının merkezinde ise kaynağını Türkiye sınırlarından alarak Akdeniz'e boşan Manavgat Çayı yer almaktadır. Çay, Akdeniz'e deşarj ettiği yaklaşık 2236 hm³/yıl su miktarı ile Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan önemli tatlı su kaynaklarından biridir. *Manavgat Çayı Su Temin Projesi* kapsamında, Manavgat Çayı'na ait suyun mevcut ekosistem öğelerine zarar verilmeden Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan ülkelere deniz yolu ile iletimi planlanmaktadır (Yıldız, 2003). Oldukça kapsamlı bir su iletim projesine ev sahipliği yapan Manavgat Çayı, Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan diğer su kaynakları gibi iklim değişikliği baskısı ile karşı karşıyadır. Norrant ve Douguédroit (2006), Doğu Akdeniz Havzası'nda Aralık ve Ocak aylarında kaydedilen yağış miktarında anlamlı azalma eğilimi olduğunu belirlemiştir. Türkeş ve Tatlı (2008), Manavgat Çayı ve yakın çevresinin aşırı kurak SPI sınıfında yer aldığını açıklamıştır. Altın ve Barak (2014), Manavgat ve yakın çevresinde özellikle yaz ve ilkbahar mevsimlerinde yüksek oranda yağış

değişkenliği olduğunu belirleyerek, mevsimlerdeki değişimin kuraklığa neden olabileceğini belirtmiştir. Manavgat Çayı üzerinde gelişen hidrolojik kuraklığın varlığı, varsa ne zaman gerçekleştiği ve hangi boyuta ulaştığı sorularının cevapları ise net olarak bilinmemekte ve çayın önemli sorunsalları arasında yer almaktadır.

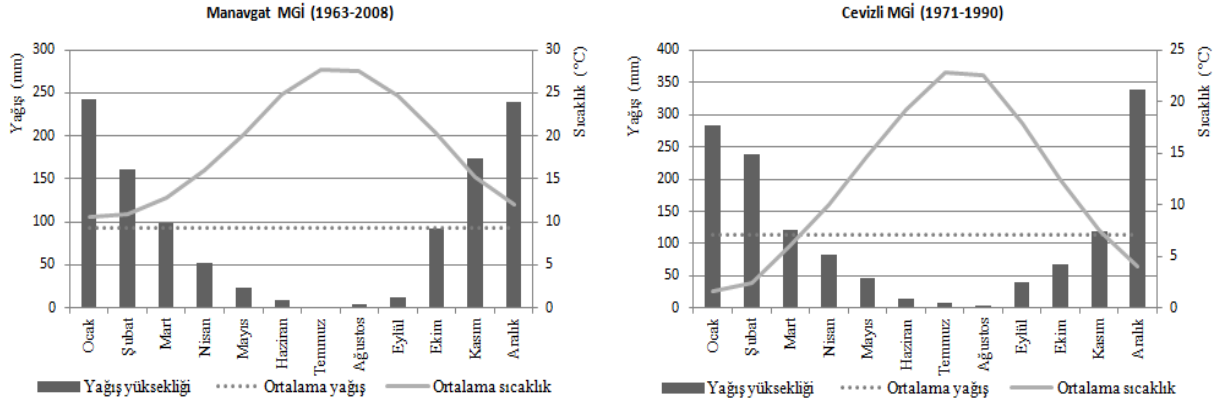
Yaklaşık olarak 1675 km² drenaj alanına sahip olan Manavgat Çayı ana kol uzunluğu 93 km'dir. Gemboş Polyesi'nin doğusunda yer alan Toros Dağları'ndan kaynağını alan Manavgat Çayı ilk önce kuzeybatı-güneydoğu yönünde hareket eder. Karapınar mevkiinde yön değiştirir ve denizle buluştuğu noktaya kadar kuzeydoğu-güneybatı aksında hareketine devam eder (Şekil 1). Manavgat Çayı'nın ortalama yatak eğimi %5.3'dür (Akyol, 1947). Çayın en önemli kolları membadan mansaba doğru sırası ile Yazı Deresi, Aygır Deresi ve Kargıçayı (Naras)'dır. Manavgat Çayı, Oymapınar (Homa) köyü kuzeyine kadar gerçekleşen akışı boyunca oldukça dar ve derin kanyonlar içerisinde hareket ederken bu noktadan sonra görece daha geniş bir vadi tabanı boyunca hareket ederek denize dökülür.

Manavgat Çayı Havzası Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Csa (kış mevsimi ılık, yaz mevsimi çok sıcak ve kurak-Akdeniz iklimi) sınıfında yer almaktadır (Türkeş, 2010). Manavgat Çayı'nın membasında yer alan Cevizli meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) ve Manavgat Çayı'nın mansabında yer alan Manavgat MGİ'ye ait uzun dönem aylık ortalama yağış miktarı ve ortalama sıcaklık değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Akarsuyun memba ve mansabı arasında yağış ve sıcaklık değerleri açısından büyük farklılıklar bulunmaktadır. Cevizli MGİ'de kaydedilen uzun dönem ortalama sıcaklık 11.8°C ve yağış miktarı 1367.4 mm'dir. Manavgat MGİ'de kaydedilen uzun dönem ortalama sıcaklık 18.6°C ve yağış miktarı 1108.2 mm'dir. Genel olarak membadan mansaba doğru yağış miktarı azalmakta ve ortalama sıcaklık değeri artmaktadır. Yaz mevsimi havza genelinde en az yağışın kaydedildiği mevsim ve kış mevsimi ise havza genelinde en yüksek yağışın kaydedildiği mevsimdir. İklim özelliklerine bağlı olarak yaz aylarında havza genelinde neredeyse hiç yağış kaydedilmemektedir.



Şekil 1- Çalışma sahasına ait lokasyon haritası.

Figure 1- The location map of the study area.



Şekil 2- Manavgat ve Cevizli meteoroloji gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık rejimi.

Figure 2- Monthly average precipitation and temperature regime of the Manavgat and Cevizli meteorology observation stations.

Manavgat Çayı su bütçesindeki ana girdiler yüzeysel drenaj ve karstik yeraltı suyu kaynaklarıdır. Manavgat Çayı su toplama alanı içerisinde yer alan eski drenaj ağına ait izler Orta Miyosen yaşlı olup yaklaşık olarak 1500 m yükselti basamağı ve üzerinde yer almaktadır (Doğan, 2002). Çay, derine kazma faaliyeti ile birlikte akifer sistemlerine ait su tablalarına ulaşmış ve Üst Miyosen-Pliyosen dönemindeki eski havzasının drenaj alanındaki suları karstik kaynaklar aracılığıyla tekrar su bütçesine dâhil eden bir yapı kazanmıştır (Doğan, 2002). Manavgat Çayı yatağında, yağıştan akışa geçebilecek su miktarının üç-dört misli daha fazla su taşımaktadır (Günay, 1986). Manavgat Çayı'nda taşınan toplam su miktarı yüzeysel drenaja kıyasla çok daha fazla miktarda karstik kaynaklardan sağlanmaktadır. Özellikle yağışın çok az kaydedildiği yaz aylarında bile büyük oranda karstik akiferlerden gerçekleşen beslenme nedeniyle akarsu yatağındaki akış devam etmektedir (Altuğ, 1969). Manavgat Çayı yüzeysel drenaj sahasına dâhil olmayan Beyşehir, Gempos, Eyfın, Akseki ve Çobankara gibi komşu kapalı havzalar; karstik akifer sistemleri ile Manavgat Çayı havzasına bağlantılıdır (Ekmekçi, 1993; Kazancı vd., 2003; Yurtsever, 1979). Özellikle Beyşehir Gölü güneyinden geçerek Gembos ve Eynif ovalarına uzanan kuzey-güney doğrultulu büyük bir fay boyunca Manavgat Çayı'nı besleyen farklı kaynaklara su boşalımı gerçekleşmektedir (Ayhan vd., 1996; Kazancı vd., 2003). Farklı noktalardan akarsuya katılan karstik yeraltı suyu kaynakları akarsu toplam akımının yaklaşık olarak %66'sını oluşturmaktadır (Günay, 1986). Debileri 1–50 m³/s aralığında değişen kırk kadar karstik kaynak akarsuyun besleniminde önemli bir yere sahiptir (Karanjac ve Günay, 1980). Karstik kaynaklardan bazıları membadan mansaba doğru sırası ile Subaşı (Kayadibi) Mağarası, Kara

Pınar, Soğuk Pınar, Süleyman Pınarı, Sivrisu Kaynağı, Altınbeşik Mağarası ve Dumanlı Kaynağı'dır (Hadimli, 2008).

Dumanlı Kaynağı, Manavgat Çayı toplam akım yükünün %33'ünü tek başına oluşturmaktadır (Günay, 1986). Akseki Polyesi ve kuzeyindeki Çobankara kapalı havzalarından itibaren beslenen akifer sistemine üye olan Dumanlı Kaynağı, tek gözeden çıkan akım miktarı açısından dünya üzerindeki sayılı kaynaklar arasında yer almaktadır (Karanjac ve Günay, 1980). Dumanlı Kaynağı günümüzde 1984 yılında su tutma işlemi tamamlanan Oymapınar baraj rezervuarı altındadır. Altınbeşik Mağarası, Manavgat Çayı besleniminde söz sahibi olan bir diğer karstik kaynaktır. Altınbeşik Mağarası, Manavgat Çayı'nın kuzeybatısında yer alan Gembos ve Eyfın polyeleri ve çevresinden beslenen karstik akifer sisteminin bir üyesidir (Günay, 1981; Günay, 1986). Akifer sistemi tarafından taşınan su, Altınbeşik Mağarasında yüzeyleyerek Manavgat Çayı'na katılmaktadır. Akarsu membasında yer alan Kara Pınar, Süleyman Pınarı ve Soğuk Pınar karstik kaynakları ise kaynak noktalarına yaklaşık olarak 4.5 km mesafede ve kuzeyde bulunan Dündencik Mağarasından itibaren gelişen akifer sistemine üye karstik kaynaklar olarak Manavgat Çayı'nı beslemektedir (Hadimli, 2008).

Yağıştan akışa geçen su miktarından çok daha fazlasına sahip olan Manavgat Çayı, kaynağını Türkiye sınırları içerisinde alarak Doğu Akdeniz'e dökülen en büyük tatlı su kaynakları arasında yer almaktadır. Manavgat Çayı sahip olduğu su potansiyeli nedeni farklı amaçlar için geliştirilmiş projelere ev sahipliği yapmaktadır. Çayın sahip olduğu hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi amacı ile baraj veya nehir tipi hidroelektrik santraller (HES) aracılığı ile elektrik enerjisi üretimi

gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda dünyanın en yüksek beton kemer tipi barajları arasında yer alan Oymapınar Baraj (185 m) ve HES'i 1984 yılında devreye alınmıştır. 1987 yılında ise Oymapınar Barajı'nın mansabında yer alan Manavgat Baraj ve HES'i tamamlanarak devreye alınmıştır. Söz konusu iki HES Türkiye hidroelektrik enerjisi toplam kurulu gücünün %2.6'sı gibi yüksek bir oranını oluşturmaktadır (DSİ, 2014). Özellikle doğu Akdeniz Havzası'nda iklim değişikliğine bağlı olarak su kaynakları üzerinde oluşan baskı, bölgedeki mevcut su kaynaklarının stratejik önemini daha da arttırmaktadır. Bölgedeki suya erişim probleminin barışçıl amaçlar ile çözülmesi odağında, Türkiye tarafından geliştirilen en önemli projelerden biri olan *Manavgat Suyu Temin Projesi* kapsamında hem Türkiye'nin sahil bölgelerine hem de doğu Akdeniz'de yer alan İsrail, Malta, Libya, Lübnan gibi su kaynaklarına erişimde sorun yaşayan ülkeler başta olmak üzere tüm havza ülkelerine ve adalara su transferi gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir (Gürer ve Ülger, 2007). Sahip olduğu su potansiyeli ve Doğu Akdeniz Havzası'nda artan suya erişim problemleri nedeni ile Manavgat Çayı'nın jeopolitik önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Bu çalışmaya konu olan Manavgat Çayı gerek konumu, gerekse drenaj alanına oranla taşıdığı yüksek akım miktarı (Günay, 1986) nedeni ile Doğu Akdeniz Havzası'nda stratejik öneme sahip su kaynakları arasındadır. İklim değişikliği ile birlikte Doğu Akdeniz Havzası genelindeki yağış ve sıcaklık anomalilerinin Manavgat Çayı su varlığı üzerinde ne ölçüde bir baskı oluşturduğu önemli sorunsallar arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, Manavgat Çayı'na ait hidrometrik verilerden itibaren, akarsuda gerçekleşmiş olan hidrolojik kuraklığa ait izlerinin araştırılması ve

bulguların akarsu akımlarındaki olası eğilimler ile bir arada değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Hidrolojik kuraklık ile meteorolojik kuraklık ve karstik kaynaklar arasındaki matematiksel ilişki bu çalışma kapsamında yer almamaktadır.

2. VERİ VE YÖNTEM

Manavgat Çayı'nda gerçekleşmiş olan hidrolojik kuraklığa ait izlerin akarsu kuraklık indisi (SDI) aracılığıyla ortaya çıkartılmasının amaçlandığı bu çalışmanın temel materyalini hidrometrik zaman serileri oluşturmaktadır. Çalışma genelinde hesaplanan SDI değerlerinin daha iyi yorumlanması amacıyla hidrometrik zaman serilerindeki olası eğilim araştırılmış ve bulgular SDI sonuçları ile bir arada değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada gerek SDI değerlerinin hesaplanması gerekse eğilimin belirlenmesi için hidrometrik zaman serileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan zaman serileri aylık ortalama akarsu akımlarından oluşmaktadır. Akım verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından kurulmuş ve güncel olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne (DSİ) devredilmiş olan istasyonlara aittir. Hidrometrik zaman serileri kullanılacak istasyonların belirlenmesi için, istasyonun birtakım istekleri karşılması şartı aranmıştır. Bu istekler; (i) istasyondaki akım ölçümlerinin hidrometrik çalışmalarda asgari süreyi temsil eden en az otuz yıllık bir dönemi kapsamı (Kahya ve Kalaycı, 2004), (ii) istasyondaki akım verilerinin kesintisiz veya en az kesintiye sahip olması ve (iii) istasyonun antropojen faaliyetlerden etkilenmeyecek veya en az düzeyde etkilenecek konuma sahip olmasıdır. Çalışma sahasında yer alan istasyonların konumları Şekil 1'de ve istasyonlara ait temel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1- Manavgat Çayı üzerinde yer alan akım gözlem istasyonlarına ait genel bilgiler.
Table 1- General information of stream gauging stations at Manavgat River.

Numara	Adı	Koordinatlar		Yükseklik (m)	Drenaj alanı (km ²)	Zaman serisi		
		Enlem (K)	Boylam (D)			Başlangıç tarihi	Bitiş tarihi	Süre (yıl)
EİE0901	Homa	36°56'51"	31°31'01"	25	928	1941	1984	43
EİE0911	Şahapköprü	37°04'27"	31°39'26"	437	438	1964	1974	10
EİE0912	Sinanhoca	36°58'46"	31°36'31"	245	626	1964	2016	51
EİE0918	Şelale	36°49'00"	31°27'06"	4	1325	1972	2016	43
EİE0920	Şahapköprü	37°04'28"	31°39'29"	432	438	1992	2012	20

EİE0911 ve EİE0920 Şahapkörü istasyonu hidrometrik zaman serisi bu çalışmanın seçim kıstasları arasındaki ilk iki isteri karşılamadığı için SDI ve eğilim analizlerinde kullanılmamıştır. Akarsu akımları üzerinde belirleyici olan antropojenik etkenlerin en önemlisi farklı amaçlar için akarsu üzerine inşa edilen baraj, rezervuar veya regülâtörlerdir. Söz konusu su yapıları, yatakta gerçekleşen su akışına kontrollü bir şekilde izin vererek akarsu yatağındaki doğal akım koşullarını değiştirmektedir (Gierszewski vd., 2020; Isık vd., 2006; Petts ve Gurnell, 2005). Bu çalışmada, doğal akım koşullarındaki antropojen etkinin en az düzeyde olması için AGİ'lerin baraj ve büyük hacimli rezervuarların mansabında olmamasına veya rasat verilerinin baraj ve rezervuar öncesi dönemi kapsamına özen gösterilmiştir. Sahada yer alan gözlem istasyonunun baraj dışında, farklı amaçlarla inşa edilmiş gölet ve benzeri yapıların mansabında olması durumunda ise gölet öncesi ve sonrası döneme ait akım verileri karşılaştırılarak bir sıçrama olup olmadığı araştırılmıştır. Sıçrama olmaması durumunda istasyon verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. EİE0918 Şelale istasyonu konumu gereği Oymapınar, Manavgat ve Naras barajlarının akış aşağısında yer almaktadır. Barajların su tutma tarihleri ve istasyona ait rasat süresi dikkate alındığında; istasyonun özellikle Oymapınar ve Manavgat barajlarının akım üzerindeki düzenleyici etkisi altında kaldığı öngörülmektedir. EİE0918 Şelale istasyonu veri setine en uygun dağılım fonksiyonunun Gumbel olduğu belirlenmiş ve Gumbel dağılım fonksiyonundan itibaren Oymapınar ve Manavgat barajları öncesi ve sonrası dönemler için taşkın debileri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2- EİE0918 istasyonu için beklenen taşkın debisi.
Table 2- Expected maximum flooding at the EİE0918 gauging station.

Dönüş periyodu (yıl)	Baraj öncesi (1972-1983) (m ³ /s)	Baraj sonrası (1986-2016) (m ³ /s)	Değişim (%)
5	425.10	376.01	11.55
10	512.77	458.63	10.56
50	705.72	640.45	9.25
100	787.29	717.32	8.89

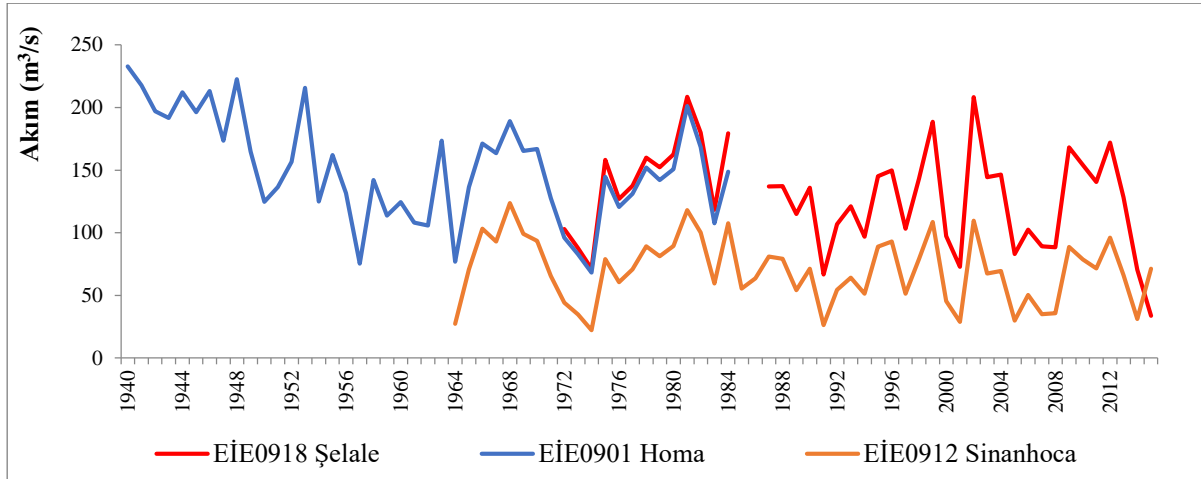
Baraj öncesi dönemde 5, 10, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için beklenen taşkın debileri sırası ile 425.10 m³/s, 512.77 m³/s, 705.72 m³/s ve 787.29 m³/s

olarak hesaplanmıştır. Baraj sonrası dönemde ise 5, 10, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için beklenen taşkın debileri sırası ile 376.01 m³/s, 458.63 m³/s, 640.45 m³/s ve 717.32 m³/s olarak hesaplanmıştır. Beklenen taşkın debileri barajların inşasından sonraki dönemde azalma eğilimi sergilemiştir. Bu durum barajların inşası sonrasında akarsu akımının kontrol altına alındığını net bir şekilde göstermesi açısından önemlidir. Bu kapsamda; EİE0918 Şelale istasyonu hidrometrik zaman serisi çalışmanın birinci ve üçüncü istelerini karşılamadığı için SDI ve eğilim analizlerinde kullanılmamıştır.

Bu çalışmada, aranan isterleri karşılaması nedeni ile EİE0901 Homa AGİ'ye ait 1941–1983 su yıllarını kapsayan ve EİE0912 Sinanhoca AGİ'ye ait 1964–2016 su yıllarını kapsayan uzun dönem hidrometrik zaman serileri SDI hesaplamaları ve eğilim analizleri için kullanılmıştır.

Manavgat Çayı üzerinde yer alan EİE0918 Şelale, EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarına ait yıllık ortalama akımlar Şekil 3'de verilmiştir.

İstasyonlar akarsu ağzından kuş uçuşu olarak sırasıyla 8 km, 17 km ve 28 km akış yukarıda bulunmaktadır. Oymapınar Barajı su tutma işlemi (1983 Ağustos) öncesi EİE0918 Şelale, EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarına ait on bir su yılı (1972–1983) incelendiğinde; akarsu ağzına çok yakın olan EİE0918 Şelale istasyonunda kaydedilen yıllık akım verileri ile EİE0901 Homa istasyonunda kaydedilen yıllık akım verileri arasında büyük bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Akımların artış ve azalış yönleri aynı olmakla birlikte EİE0918 Şelale AGİ, EİE0901 Homa AGİ'den maksimum %9, minimum %3.5 ve ortalama olarak %6 daha yüksek akım değerine sahiptir. Aynı dönemde EİE0918 Şelale ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarında kaydedilen akım verileri arasında ise oldukça büyük farklılık olduğu belirlenmiştir. Akımların artış ve azalış yönleri benzer olmakla birlikte EİE0918 Şelale AGİ, EİE0912 Sinanhoca AGİ'den maksimum %69 minimum %43 ve ortalama olarak %51 daha yüksek akım değerine sahiptir. Bu durum, EİE0901 Homa AGİ'nin akarsu ağzının 17 km akış yukarısında olmasına rağmen, EİE0912 Sinanhoca AGİ'ye oranla akarsu tarafından taşınan toplam su yükünü daha büyük oranda temsil etme yetisine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3- EİE0912, EİE0901 ve EİE0918 numaralı AGİ'lere ait ortalama yıllık akımlar (m³/s).

Figure 3- Average monthly streamflows at EIE0912, EIE0901, and EIE0918 (m³/s).

EİE0912 Sinanhoca istasyonu ile EİE0901 Homa istasyonu akım verileri 1964–1983 dönemi boyunca karşılaştırıldığında iki istasyon tarafından kaydedilen akım verileri arasındaki farkın 1972–1983 dönemine benzer olduğu belirlenmiştir. İstasyonlarda akım değerlerindeki artış ve azalış yönlerinin birbirine benzer olduğu buna karşın akarsu yatağında taşınan su miktarında büyük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. On dokuz su yılı boyunca EİE0901 Homa istasyonunda ölçülen akım değeri, EİE0912 Sinanhoca istasyonunda kaydedilen akım değerinden maksimum %68 minimum %35 ve ortalama olarak %47 daha yüksektir. Ortalama yıllık akım değerleri arasındaki farkların frekans dağılımı incelendiğinde yüksek akım değerlerinin %42–%51 aralığında kümelendiği belirlenmiştir. Bir başka ifade ile EİE0901 Homa istasyonu, EİE0912 Sinanhoca istasyonundan yaklaşık %47 oranında daha yüksek akıma sahiptir. Kuş uçuşu 11 km mesafe bulunan iki istasyon arasında, yüksek akım değerine sahip yan kollar bulunmamaktadır. Bu durum dikkate alındığında akarsuyun yeraltı suyu tarafından beslendiği ve akarsu tarafından taşınan su yükünün çok büyük bir kısmının EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonları arasında kalan sahadan Manavgat Çayı'na katıldığı önceki çalışmalara (Günay, 1981; Günay, 1986; Yurtsever, 1979) uyumlu bir şekilde tespit edilmiştir.

Manavgat Çayı tarafından denize deşarj edilen toplam su miktarı, konumu nedeni ile EİE0918 Şelale AGİ tarafından temsil edilmektedir. Bu bağlamda; EİE09018 Şelale istasyonu ile EİE0901 Homa ve EİE0918 Sinanhoca istasyonlarına ait akım değerleri her üç istasyonda da rasat alınan ortak su yılları boyunca karşılaştırılmıştır. Oymapınar ve Manavgat barajların akım üzerinde etkisinin olmadığı su yılları boyunca yapılan karşılaştırma sonucunda; EİE0901

Homa AGİ'nin akarsu tarafından taşınan toplam su miktarını daha iyi temsil ettiği ve EİE0912 Sinanhoca AGİ ile arasında oldukça büyük akım farklılığı olduğu belirlenmiştir. EİE0912 Sinanhoca istasyonu ile EİE0901 Homa istasyonu akım verilerinin uzun dönem boyunca karşılaştırılması da iki istasyon arasındaki yüksek akım farkı bulgusunu desteklemiştir. Bir başka ifade ile EİE0918 Sinanhoca AGİ konumu ve akarsuyun beslenme özellikleri nedeni ile Akarsu tarafından taşınan toplam su yükünü EİE0901 Homa AGİ kadar iyi yansıtamamaktadır.

SDI; kümülatif akış hacimlerini kullanarak kuraklık başlangıcını ve süresini tahmin etmek için gerçek zamanlı akarsu akım ölçümlerinden itibaren Nalbantis ve Tsakiris (2009) tarafından geliştirilmiş olan bir indistir. Su yılı içerisinde farklı dönemler boyunca hesaplanabilen indise ait kümülatif akış hacmi eşitlik 1 kullanılarak bulunur (Nalbantis ve Tsakiris, 2009).

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, \dots \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

Eşitlikte, i ; hidrolojik yılı, j ; hidrolojik yıla ait ayı, $Q_{i,j}$ akımı, k ; referans dönemi, $V_{i,k}$ ise k referans dönem için kümülatif akış hacmini ifade etmektedir. Referans dönem bir değerini aldığımda ekim–aralık ayları arası ($k = 1$); referans dönem iki değerini aldığımda ekim–mart ayları arası ($k = 2$); referans dönem üç değerini aldığımda ekim–haziran ayları arası ($k = 3$) ve referans dönem dört değerini aldığımda tüm su yılı ($k = 4$) için kümülatif akış hacmi hesaplanır.

SDI değeri, $V_{i,k}$ 'nin hesaplanmasından itibaren, eşitlik 2 yardımı ile bulunur (Nalbantis ve Tsakiris, 2009).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

Burada, \bar{V}_k ; referans periyoda ait kümülatif akarsu akımlarının ortalamasını, S_k ; referans periyoda ait kümülatif akarsu akımlarının standart sapmasını $SDI_{i,k}$ ise referans periyod içerisinde yer alan hidrolojik aya ait akarsu kuraklık indisini ifade etmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). İndis değerlerinin negatif olması hidrolojik kurak dönemleri, pozitif olması ise hidrolojik kuraklığın olmadığı dönemleri ifade etmektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). Bu çalışmada dört farklı referans dönem ($k = 1, 2, 3, 4$) için istasyon bazlı olarak SDI değerleri hesaplanmıştır.

Genel olarak literatürde, SDI değerleri dikkate alınarak hidrolojik kuraklık beş farklı sınıf altında incelenmektedir (Altın vd., 2020; Nalbantis, 2008; Nalbantis ve Tsakiris, 2009). Sınıflandırmaya ait aralıklar Tablo 3'de verildiği gibidir.

Tablo 3- SDI değerlerine-göre hidrolojik kuraklık sınıfları.
Table 3- Description of streamflow drought classes based on SDI.

Sınıf	Kriter	Tanım
0	$SDI \geq 0.0$	Kuraklık yok
1	$-1.0 \leq SDI < 0.0$	Hafif kurak
2	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	Orta derece kurak
3	$-2 \leq SDI < -1.5$	Şiddetli kurak
4	$SDI \leq -2.0$	Aşırı kurak

Çalışmada hesaplamalar ile elde edilen SDI değerlerinin daha iyi yorumlanması için hidrometrik verilerinin gösterdiği olası eğilim araştırılmıştır. Hidrometrik veriler genel itibari ile klasik istatistiksel yaklaşımlara uyum göstermezler (Bayazit, 1995). Bir hidrometrik zaman serisinde eğer akarsu akımı değişken ise değişkenin zaman içerisinde aldığı değerler birbirinden bağımsız değildir (Bayazit, 1995). Normallik, bağımsızlık ve homojenlik gibi parametrik yöntemlerin temel varsayımları akım ölçümlerine dayalı veri setlerinde genel olarak karşılanamaz (Kahya ve Kalaycı, 2004; Lins, 1985). Bu nedenle parametrik olmayan istatistiksel yöntemler, hidrometrik veri setleri üzerinden gerçekleştirilen çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Altın vd., 2020; Esen, 2021; Irvem vd., 2012; Kalaycı ve Kayya, 1998; Lins ve Slack, 1999; Önöz ve Bayazit 2003; Özdemir ve Bahadır, 2011; Tağil ve Alevkayalı, 2014; Tekkanat ve Sarış, 2015; Yu, vd., 1993).

Bu çalışmada akarsu akımlarındaki olası eğilimin araştırılması için hidrometrik verilerin karakteristik özellikleri göz önüne alınarak normallik, bağımsızlık ve homojenlik varsayımlarının aranmak

zorunda olmadığı parametrik olmayan istatistiksel yöntemler tercih edilmiştir. Çalışmada, zaman serisinde herhangi bir eğilimin olup olmadığını belirlemek için Mann-Kendall (M-K) testi ve eğilimin başlangıç tarihini ortaya çıkartmak için Mann-Kendall sıra kolelesyon test istatistiği kullanılmıştır.

M-K testine ait test istatistik değeri eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır (Hirsch vd., 1982).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3)$$

Burada S ; M-K test istatistik değeri olmak üzere n ; veri uzunluğu, sgn ; işaret fonksiyonu, x_j ve x_k ; j ve k yıllarına ait seri değerleridir ($j > k$ koşuluyla sağlanarak şartıyla). İşaret fonksiyonu x_j ve x_k değerlerinin kıyaslanmasına dayanan eşitlik 4 yardımı ile bulunur (Hirsch vd., 1982).

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} x_j > x_k \Rightarrow 1 \\ x_j = x_k \Rightarrow 0 \\ x_j < x_k \Rightarrow -1 \end{cases} \quad (4)$$

Asimptotik normal bir dağılıma sahip ve ortalaması sıfır olan M-K test istatistiğinin varyansı eşitlik 5 yardımı ile bulunur (Hirsch vd., 1982).

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^k t_i(t_i-1)2(t_i+5)] \quad (5)$$

Burada $\text{var}(S)$; M-K test istatistiği varyansı olmak üzere k ; veri setindeki benzer grupların sayısını, t_i ; i uzunluğundaki bir seride benzer olan gözlemleri ifade etmektedir. $n \geq 10$ koşulu altında M-K test istatistiğinin teorik olasılık dağılımı normal dağılıma benzemektedir (Hirsch vd., 1982). Buna göre kritik Z değeri eşitlik 6 yardımı ile belirlenir.

$$Z = \begin{cases} S > 0 \Rightarrow \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \\ S = 0 \Rightarrow 0 \\ S < 0 \Rightarrow \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \end{cases} \quad (6)$$

Bu çalışmada 0.05 anlamlılık düzeyi ($\alpha = 0.05$) için eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bir eğilimin olup olmadığına; kritik Z değeri ve istenen anlamlılık seviyesine göre normal dağılım tablosundan tespit edilen $Z_{\alpha/2}$ değerinin karşılaştırılması ile karar verilir. Kritik Z 'nin mutlak değeri, $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük ($|Z| > Z_{\alpha/2}$) ise zaman serisinde anlamlı bir eğilim bulunmaktadır. Aksi durumda eğilimin varlığından söz edilemez. Eğilimin yönü M-K test istatistik değeri ile belirlenir. Elde edilen değer M-K test istatistik değerinin pozitif olması artan bir eğilimin, negatif olması ise azalan bir eğilimin göstergesidir.

Parametrik olmayan M-K sıra korelasyon testi, zaman serisinde yer alan her bir verinin nümerik değerinden (x_i) ziyade veri sırasını (y_i) dikkate alır. M-K sıra korelasyon testi eğilimin istatistiksel büyüklüğünü hesaplayarak yönü hakkında bilgi verir (Türkeş, 1996; Türkeş vd., 2002). M-K sıra korelasyon testinde x_i yerine y_i kullanılır. M-K sıra korelasyon testinde her bir y_i değeri için ($i > j$ koşulunu sağlaması şartıyla) kendisinden önce gelen veri kümesi elemanlarının (y_j) sayısı (n_i) bulunur. Toplam n_i değerlerinin bulunması ile test istatistiği değeri (t) elde edilir. Orijinal veri kümesi için test istatistiği eşitlik 7 yardımıyla hesaplanır (Sneyers, 1990; Toros, 2012; Türkeş, 1996).

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (7)$$

M-K sıra korelasyon test istatistiği eşitlik 8 yardımı ile hesaplanır (Sneyers, 1990; Toros, 2012; Türkeş, 1996).

$$u(t) = \frac{t-E(t)}{\sqrt{var(t)}} \quad (8)$$

Burada, $u(t)$; M-K sıra korelasyon test istatistiği değeri, t ; test istatistik değeri; $E(t)$; test istatistiği ortalamasını ve $var(t)$; test istatistiği varyansını ifade eder (Sneyers, 1990; Türkeş 1996). Test istatistiğine ait ortalama ve varyans değerleri ise sırasıyla eşitlik 9 ve 10 yardımı ile hesaplanır (Sneyers, 1990; Toros, 2012; Türkeş, 1996).

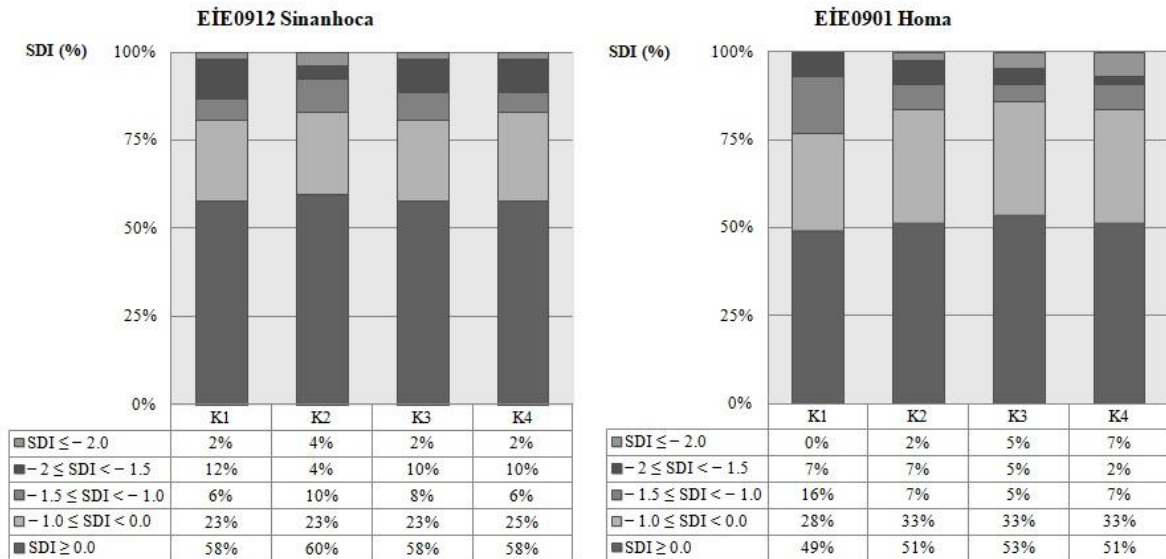
$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (9)$$

$$var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (10)$$

Elde edilen $u(t)$ değerinin sıfıra yaklaşması zamana göre eğilim olmadığı varsayımını doğrular (Sneyers, 1990). $u(t)$ değerinin sıfırdan uzaklaşması ise bir eğilimin olduğu savını destekler. Sıfırın üzerinde nümerik değere sahip $u(t)$ değeri artan bir eğilimin, sıfırın altında nümerik değere sahip $u(t)$ değerleri ise azalan bir eğilimin göstergesidir (Sneyers, 1990). M-K sıra korelasyon test istatistiği grafiksel olarak eğilimi sunar. Test istatistiği $u(t)$ ve geriye doğru test istatistiği $u'(t)$, eğilimin başladığı yerde birbirine yaklaşır, birbirlerini keser ve daha sonra birbirlerinden uzaklaşır. Eğer herhangi bir eğilim yoksa $u(t)$ ve $u'(t)$ birbirlerine defalarca yaklaşarak uzaklaşan yakın bir salınım geometrisi sergiler (Sneyers, 1990). Belirtilen kurallar dâhilinde $u(t)$ ve $u'(t)$ kesişim noktası eğilimin başlangıç tarihini verir.

3. BULGULAR

Genel olarak SDI hesaplamaları sonucunda elde edilen değerlerin sıfırdan küçük olma koşulu ($SDI < 0$), akarsu akımındaki azalma ile birlikte farklı sınıf aralıklarında hidrolojik kuraklığın varlığını göstermektedir (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonları için hesaplanan SDI değerlerinin sınıf aralıklarına göre dağılımı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4-SDI değerlerinin sınıf aralıklarına göre dağılımı.

Figure 4-Distribution of SDI values by class.

EİE0901 Homa istasyonu için $k = 1, 2, 3, 4$ referans dönemlerinde $SDI < 0$ koşulunu sağlayan kurak yıllar; toplam gözlem süresinin sırası ile %51, %49, %47 ve %49'unu oluşturmaktadır (Şekil 4). Benzer şekilde EİE0912 Sinanhoca istasyonu için $k = 1, 2, 3, 4$ referans dönemlerinde $SDI < 0$ koşulunu sağlayan kurak yıllar; toplam gözlem süresinin sırası ile %42, %40, %42 ve %42'sini oluşturmaktadır (Şekil 4). İstasyonlarda gerçekleştirilen SDI hesaplamalarına göre farklı referans dönemlerde farklı sınıf aralıklarında olmak üzere her iki istasyonda toplam gözlem süresinin oldukça büyük bir bölümünde hidrolojik kuraklık yaşandığı tespit edilmiştir.

$k = 1$ referans dönemi genel olarak havzaya düşen yağışlardaki artışın başladığı sonbahar mevsiminde yer alan ayları temsil etmektedir. EİE0901 Homa istasyonunda $SDI < 0$ koşulunu sağlayan en fazla sayıda su yılı $k = 1$ referans döneminde kaydedilmiştir. Söz konusu istasyonda $k = 1$ referans döneminde *aşırı kuraklığa* ait herhangi bir ize rastlanmamıştır. Buna karşın $SDI < 0$ koşulunu sağlayan su yıllarının *hafif kurak* ve *orta derece kurak* sınıf aralıklarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Aynı referans dönemde EİE0912 Sinanhoca istasyonunda ise *aşırı kurak* ve *şiddetli kurak* sınıf aralığına giren su yıllarının sayısının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

$k = 2$ referans dönemi genel olarak havzaya düşen yağışların artış eğilimi sergilediği son bahar ayları ile yağış miktarının en yüksek düzeyde olduğu kış aylarının dahil olduğu periyodu temsil etmektedir. EİE0912 Sinanhoca istasyonunda $SDI < 0$ koşulunu sağlayan en az sayıdaki su yılı $k = 2$ referans döneminde kaydedilmiştir. Bununla birlikte EİE0912 Sinanhoca istasyonunda *şiddetli kurak* sınıf aralığına giren en fazla sayıdaki su yılının aynı referans dönemde olduğu belirlenmiştir. EİE0901 Homa istasyonunda $k = 2$ referans döneminde $SDI < 0$ koşulunu sağlayan kurak yıl sayısının bir önceki referans döneme göre azaldığı ve kurak yılların *hafif kurak* sınıf aralığında kümелendiği tespit edilmiştir.

$k = 3$ referans dönemi genel olarak havzaya düşen yağışların artış eğilimi sergilediği son bahar ayları, en yüksek yağışların kaydedildiği kış ayları, yağış miktarının düşmeye başladığı ilk bahar ayları ve oldukça düşük yağış kaydedilen haziran ayının dahil olduğu periyodu temsil etmektedir. EİE0901 Homa istasyonunda $SDI < 0$ koşulunu sağlayan en az sayıda su yılı $k = 3$ referans döneminde kaydedilmiştir. Söz konusu istasyonda $SDI < 0$ koşulunu sağlayan su yıllarının *hafif kurak* sınıf aralığında kümелendiği tespit edilmiştir. Aynı referans dönemde EİE0912 Sinanhoca istasyonunda $SDI < 0$ koşulunu sağlayan su yıllarının $k = 1$ referans dönemine benzer olduğu

belirlenmiştir. Söz konusu istasyonda $SDI < 0$ koşulunu sağlayan su yıllarının *hafif kurak* ve *şiddetli kurak* sınıf aralıklarında kümелendiği tespit edilmiştir.

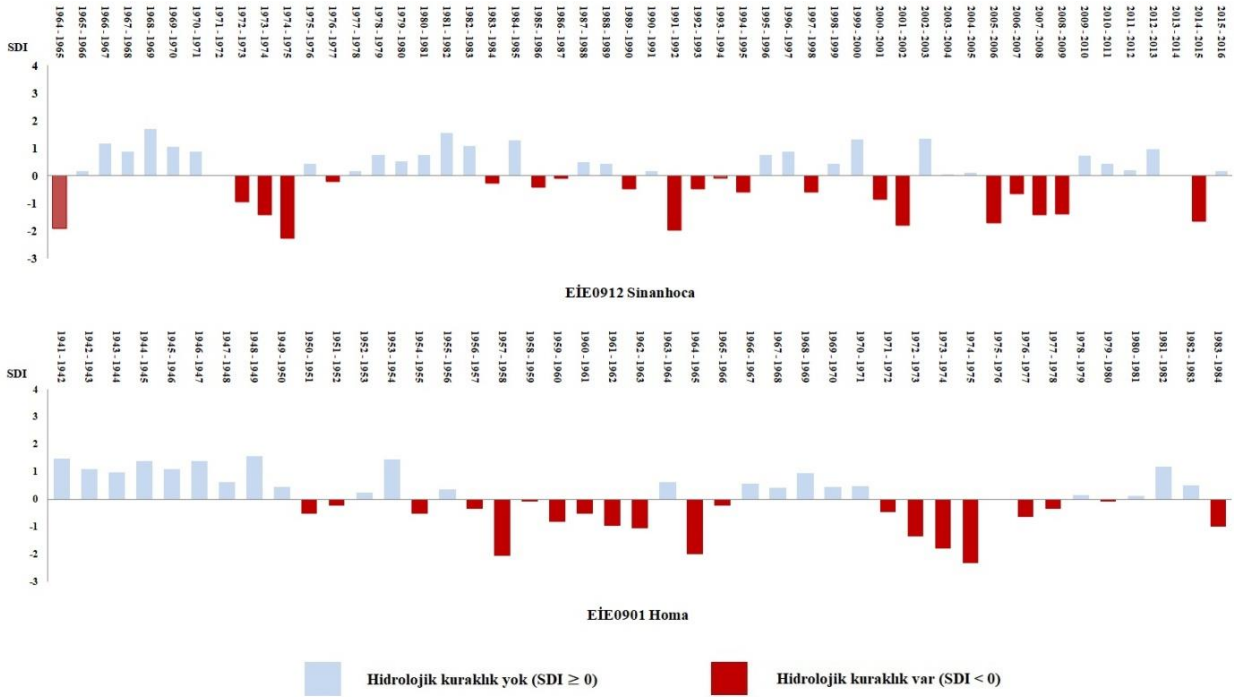
$k = 4$ referans dönemi tüm su yılını kapsamaktadır. Söz konusu referans dönem için gerçekleştirilen SDI hesaplamaları sonucunda Manavgat Çayı üzerinde yer alan EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarında hidrolojik kuraklığın gerçekleştiği su yılları tespit edilmiştir (Şekil 5). EİE0912 Sinanhoca istasyonunda 1964–2016 dönemi boyunca yirmi iki su yılında ve EİE0901 Homa istasyonunda 1941–1983 dönemi boyunca yirmi su yılında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği belirlenmiştir. 1964–1983 dönemi her iki istasyona ait akım verilerinin kesiştiği su yıllarını kapsamaktadır. Söz konusu dönemde EİE0901 Homa istasyonunda on su yılında ve EİE0912 Sinanhoca istasyonunda ise yedi su yılında hidrolojik kuraklık gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 5). $k = 4$ referans dönemi için hesaplanan SDI değerleri, EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarında sırası ile %7 ve %2 gibi yüksek bir oranla *aşırı kurak* sınıf aralığına giren su yıllarının varlığını göstermektedir. Bu durum gerek yağıştan doğrudan akışa geçen gerekse yeraltı suyu kökenli beslenimi etkileyecek ölçekte önemli bir kuraklık ile akarsuyun karşı karşıya kalmış olmasına bağlı olarak açıklanabilir.

Sadece SDI değerleri dikkate alındığında EİE0901 Homa AGİ'de $SDI < 0$ koşulunu sağlayan kurak yılların 1949–1950 su yılından itibaren arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5). Benzer şekilde tüm referans dönemler için $SDI \geq 0$ koşul değerini sağlayan yılların çok büyük bir kısmının özellikle 1949–1950 su yılı öncesine kümелendiği tespit edilmiştir (Şekil 5). Söz konusu bulgulara bağlı olarak EİE0901 Homa AGİ için 1940'ların sonunda bir kırılma (dönüm) noktası gerçekleştiği ve bu tarihten itibaren hidrolojik kuraklığın baskın olduğu düşünülmektedir. EİE0901 Homa AGİ'ye ait uzun dönem zaman serilerinde $k = 4$ referans dönemi için *aşırı kuraklık* ($SDI \leq -2$) koşulunun gerçekleştiği üç su yılı bulunmaktadır. Bu su yılları sırasıyla; 1957–1958, 1964–1965 ve 1975–1975'dir. Söz konusu su yıllarının kırılma noktası olarak tanımlanan tarihten sonraki süreçte yer alması ilgili çıkarım ile birlikte hidrolojik kuraklık bulgusunu desteklemekte ve hidrolojik kuraklığın artan şiddetinin bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır.

Sadece SDI değerleri dikkate alındığında EİE0912 Sinanhoca AGİ'de tüm referans dönemler için $SDI < 0$ koşulunu sağlayan kurak yıl sayılarının tümüyle artmaya başladığı bir kırılma noktası tespit edilememiştir. İstasyonda hidrolojik kuraklığa ait izler tespit edilmekle birlikte kırılma (dönüm) noktası olarak nitelendirilecek bir tarihe rastlanmamıştır.

Çalışmada EİE0901 Homa istasyonuna ait 1941–1983 su yıllarını kapsayan ve EİE0912 Sinanhoca istasyonuna ait 1964–2016 su yıllarını kapsayan uzun dönem hidrometrik zaman serileri kullanılarak gerçekleştirilen eğilim analizlerine ait sonuçlar Tablo 4’de, $u(t)$ ve $u'(t)$ grafikleri Şekil 6

ve Şekil 7’de verilmiştir. Her iki istasyonda farklı referans dönemler için hesaplanan M-K test istatistiğine ait Z ve M-K korelasyon test istatistiğine ait $u(t)$ değerleri beklendiği şekilde birbirine çok yakın veya aynıdır.



Şekil 5- EİE0901 ve EİE0912 numaralı AGİ’ler için hidrolojik kurak yıllar.

Figure 5- Hydrological drought years for EIE0901 and EIE0912.

Tablo 4- Eğilim analizleri ve başlangıç tarihleri (%95 güven aralığında ± 1.96 kritik değere göre).
Table 4- Trends and dates. (critical significance value of ± 1.96 at 95% confidence interval).

İstasyon	k	Z	$u(t)$	Eğilim	Yön	Başlangıç tarihi
EİE0901 Homa	1	-1.19	-1.20	yok	---	---
	2	-2.32	-2.33	var	↓	1948
	3	-2.72	-2.73	var	↓	1948
	4	-2.68	-2.69	var	↓	1948
EİE0912 Sinanhoca	1	-0.59	-0.60	yok	---	---
	2	-0.73	-0.74	yok	---	---
	3	-1.18	-1.18	yok	---	---
	4	-1.40	-1.40	yok	---	---

EİE0901 Homa AGİ’de $k = 1$, $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemlerine ait Z değerleri sırası ile -1.19, -2.32, -2.72 ve -2.68 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde $k = 1$, $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$

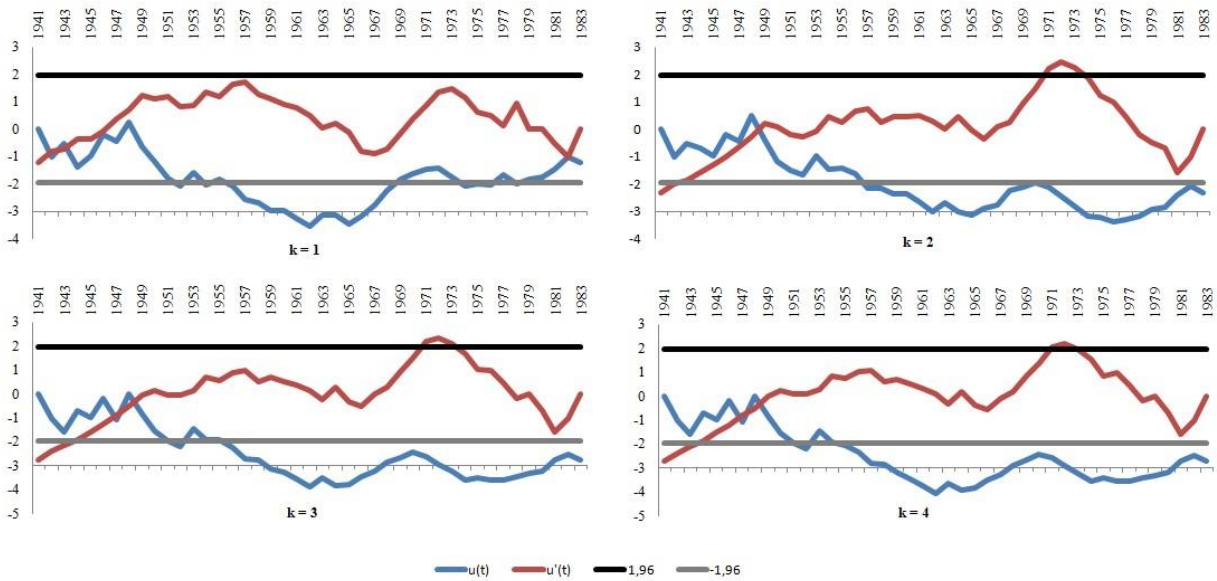
referans dönemlerine ait $u(t)$ değerleri sırası ile -1.20, -2.33, -2.73 ve -2.69 olarak hesaplanmıştır. M-K test sonuçlarına göre EİE0901 Homa istasyonunda $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemleri için %95 güven

aralığında ($\alpha = 0.05$) anlamlı eğilimlerin olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen eğilimlerin tümü negatif değerlikli olup bu durum eğilimlerin azalma yönünde olduğunu göstermektedir. Aynı istasyon için $k = 1$ referans dönemine ait %95 güven aralığında eğilim tespit edilememiştir. M-K sıra korelasyon test istatistiğinin hesaplanmasından itibaren tüm referans dönemler için $u(t)$ ve $u'(t)$ grafikleri çizilerek belirlenen eğilimlerin başlangıç tarihleri bulunmuştur (Şekil 6). EİE0901 Homa AGİ'de $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemlerine ait eğilimlerin başlangıç tarihleri 1948 yılı olarak belirlenmiştir. Eğilim tespit edilen tüm referans dönemler için $u(t)$ ve $u'(t)$ grafikleri dikkate alındığında 1948 yılı itibari ile başlayan eğilimlerin özellikle 1950'lerin ortasından itibaren şiddetini arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 6).

EİE0912 Sinanhoca AGİ'de $k = 1$, $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemlerine ait Z değerleri sırası ile -0.59, -0.73, -1.18 ve -1.40 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde $k = 1$, $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemlerine ait $u(t)$ değerleri sırası ile -0.60, -0.74, -1.18 ve -1.40 olarak hesaplanmıştır. M-K test sonuçlarına göre EİE0912 Sinanhoca istasyonunda hiç bir referans dönem için %95 güven aralığında ($\alpha = 0.05$) anlamlı bir eğilimin varlığı

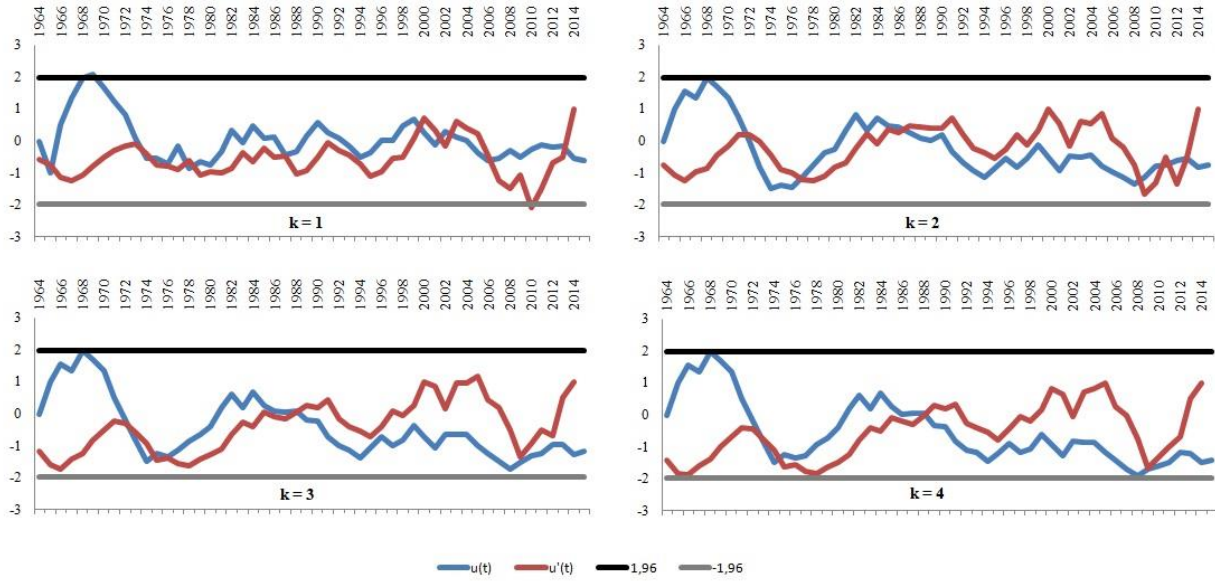
tespit edilememiştir. Söz konusu bulgu $u(t)$ ve $u'(t)$ grafikleri ile açıkça desteklenmektedir (Şekil 7). İlgili grafiklerde $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin birbirlerini defalarca kesmesi ile birlikte yakın bir salınım geometrisi çizmeleri net bir şekilde herhangi bir eğilimin olmadığını göstermektedir (Şekil 7).

SDI hesaplamaları ve eğilim analizleri ile elde edilen bulgular bir arada değerlendirildiğinde anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır. Negatif yönlü anlamlı eğilimin tespit edildiği EİE0901 Homa istasyonu için eğilim başlangıç tarihi olan 1948 yılı aynı zamanda SDI hesaplamalarına göre dönüm noktası olarak tanımlanan ve 1940'ların sonuna tarihlenen kırılma noktası ile kesişmektedir. Bu durum akarsu yatağında 1948 yılından itibaren hidrolojik kuraklığın artan bir eğilim ile gerçekleştiğini göstermektedir. SDI hesaplamaları bulguyu desteklemektedir. $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemlerinde anlamlı azalış eğiliminin başladığı 1948 yılından sonraki zamanın sırası ile %60, %57 ve %60'ında hidrolojik kuraklık ($SDI < 0$) tespit edilmiştir. Aynı zamanda $k = 2$, $k = 3$ ve $k = 4$ referans dönemlerinde tespit edilen hafif kurak, orta derece kurak, şiddetli kurak ve aşırı kurak sınıfına giren su yıllarının tamamının dönüm noktası olan 1948 sonrasında yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 6- EİE0901 istasyonu için M-K sıra korelasyon test istatistiği grafikleri (%95 güven aralığında ± 1.96 kritik değere göre).

Figure 6- Graphs of M-K rank correlation test statistic for the EİE0901 station (critical significance value of ± 1.96 at 95% confidence interval).



Şekil 7- EİE0912 istasyonu için M-K sıra korelasyon test istatistiği grafikleri (%95 güven aralığında ± 1.96 kritik değere göre).

Figure 7- Graphs of M-K rank correlation test statistic for the EİE0912 station (critical significance value of ± 1.96 at 95% confidence interval).

EİE0912 Sinanhoca istasyonu için gerçekleştirilen SDI hesaplamaları sonucunda varlığı ortaya konulamayan dönüm (kırılma) noktası aynı istasyon için gerçekleştirilen eğilim analizleri sonucunda da tespit edilememiştir. Eğilim analizleri sonucunda %95 güven aralığında ($\alpha = 0.05$) anlamlı bir eğilimin varlığı tespit edilememiş olmasına karşın hesaplanan tüm Z değerleri negatif yönlü olup, bu durum akarsu akımındaki azalmayı işaret etmesi açısından önemlidir. EİE0912 Sinanhoca istasyonunda eğilim analizleri ile belirlenen azalma yönü, SDI hesaplamaları ile belirlenen hidrolojik kuraklık izleri ile uyumludur.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Manavgat Çayı'nda gerçekleşmiş olan hidrolojik kuraklığa ait izlerin SDI yöntemi kullanılarak belirlenmesi ve SDI bulgularının eğilim analizleri ile birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen ön koşulları sağlayan EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarına ait hidrometrik zaman serilerinden itibaren gerekli hesaplama ve analizler gerçekleştirilmiştir.

Akarsu tarafından denize boşaltılan su yükü referans alınarak, EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarının akarsuyu temsil etme yetisi araştırılmıştır. Uzun dönem akım verilerine göre EİE0901 Homa istasyonunun EİE0912 Sinanhoca istasyonuna göre daha yüksek oranda akarsuyu temsil etme yetisine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çalışma bulgularına göre elde edilen sonuçlar iki ana grup altında toplanabilir.

(i) SDI hesaplamalarından elde edilen bulgulara göre her iki istasyonda farklı referans dönemlerde farklı oranlarda olmak üzere hidrolojik kuraklık izine rastlanmıştır. Özellikle su yılını temsil eden referans dönem boyunca $SDI < 0$ koşulunu sağlayan sınıf aralıklarındaki kurak yılların sayısı toplam gözlem süresinin EİE0901 Homa istasyonunda %49'unu ve EİE0912 Sinanhoca istasyonunda %42'sini oluşturmaktadır. Bu durum hidrolojik kuraklığın EİE0901 Homa ve EİE0912 Sinanhoca istasyonlarına ait zaman serilerin sırası ile %49'unda ve %42'sinde gerçekleştiğini net bir şekilde göstermektedir. Özellikle $SDI \leq -2$ koşulunu sağlayan su yıllarının her iki istasyonda da yer alması aşırı kuraklık sınıf aralığının geliştiğini ve akarsuda ciddi boyutlara ulaşan bir hidrolojik kuraklığın gerçekleştiğini işaret etmektedir. SDI değerleri EİE0901 Homa istasyonunda 1940'ların sonundan itibaren bir kırılma (dönüm) noktası gerçekleştiğini göstermektedir. Söz konusu tarihten itibaren çalışma dönemi sonuna kadar hidrolojik kurak yıl sayısında ciddi bir artış kaydedilmiştir.

(ii) Eğilim analizleri sonucunda hesaplanan Z ve $u(t)$ değerleri tüm istasyonlar için tüm referans dönemlerde negatif yönlü olup, bu durum akım değerlerindeki azalmayı göstermektedir. Su yılını temsil eden referans dönem ($k = 4$) için %95 güven aralığında ($\alpha = 0.05$) anlamlı azalma eğilimi EİE0901 Homa istasyonunda tespit edilmiş olup

EİE0912 Sinanhoca istasyonu için %95 güven aralığında ($\alpha = 0.05$) anlamlı bir eğilim tespit edilememiştir. M-K sıra korelasyon test istatistiği grafiğine göre 1948 yılı EİE0901 Homa istasyonundaki negatif yönlü eğilimin başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir. EİE0901 Homa istasyonu için SDI hesaplamaları ile öngörülen kırılma (dönüm) noktasına ait tarih eğilim analizleri ile 1948 yılı olarak netleştirilmiştir. EİE0901 Homa istasyonunda 1948 yılından çalışma dönemi sonu olan 1983 yılına kadar hidrolojik kuraklık artan bir eğilim sergilemiştir. Eğilimin özellikle 1950'lerin ortasından itibaren şiddetini arttırdığı tespit edilmiştir.

EİE0901 Homa istasyonunun EİE0912 Sinanhoca istasyonuna göre akarsu tarafından taşınan su yükünü daha iyi yansıttığı bulgusu dikkate alındığında, EİE0901 Homa istasyonunda tespit edilmiş olan dönüm noktası ve hidrolojik kurak su yıllarının Manavgat Çayı'nda ciddi boyutlara ulaşan hidrolojik kuraklığı yansıttığı anlaşılmaktadır.

Sahip olduğu su potansiyeli ve Doğu Akdeniz Havzası genelinde yaşanan suya erişim problemleri nedeni ile jeopolitik önemi gün geçtikçe artan Manavgat Çayı hidrolojik kurak dönemler geçirmiştir. Artan iklim değişikliği baskısı ile sonraki dönemlerde hidrolojik kuraklığın büyüklüğünün azalmayacağı tahmin edilmektedir. Gerek jeopolitik önemi gerekse akarsu üzerinde geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan projeler açısından Manavgat Havzası su kaynakları yönetimi üzerinde hassasiyetle durulması gerekmektedir. Bu kapsamda, Manavgat Havzası su

kaynakları yönetimi üzerinde söz sahibi olan karar alıcılara hidrolojik kuraklığa ait izleri dikkate alan, entegre bir şekilde havza su kaynaklarını komşu kapalı havzalar ile bir arada değerlendiren yönetsel bir model geliştirmeleri tavsiye edilir.

Akarsu tarafından denize boşaltılan su yükünü büyük oranda temsil etme yetisine sahip olan EİE0901 Homa istasyonunda, istatistiksel açıdan anlamlı negatif yönlü eğilim ve hidrolojik kurak su yılları tespit edilmiştir. Özellikle dolaşım süresi on yıl ve üzerinde olan Dumanlı karstik kaynağı (Günay vd., 2015) başta olmak üzere farklı karstik akifer sistemlerinden itibaren gelişen kaynakların akarsu su bütçesindeki önemli rolü (Baran vd., 1987) dikkate alınırca, Manavgat Çayı'nda tespit edilen hidrolojik kurak yılların sadece çay drenaj alanına düşen yağış miktarındaki değişim ile açıklanmasının doğru olmadığı düşünülmektedir. Bu çalışmanın kapsamında yer almadığı için matematiksel olarak hidrolojik kuraklık ile meteorolojik kuraklık ve karstik kaynaklar arasındaki ilişki kurulmasa da, EİE0901 Homa istasyonunda kaydedilen hidrolojik kuraklığın büyük oranda karstik akifer sistemlerine bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda, sonraki araştırmacılara başta Dumanlı Karstik kaynağı olmak üzere Manavgat Çayı su bütçesinde söz sahibi olan karstik akifer sistemlerinin beslenme, dolaşım ve hareket özelliklerinin dikkate alındığı bir modelle hidrolojik kuraklık ve akifer sistemleri arasındaki matematiksel ilişkinin kurulması önerilir.

REFERANSLAR

- Akbaş, A. 2014. Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(2), 101-118.
- Akyol, İ. 1947. Türkiye'de akarsu sistemleri ve rejimleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 9-10, 1-35.
- Ayhan, A., Güzel, A., Küçüköyük, M., Durak, Y., Obalı, O., Tütüncü, T. 1996. Beyşehir Gölü'nün Su Kaynaklarının Korunması, Kimyasal ve Bakteriyolojik Kirliliğin Araştırılması. TÜBİTAK DEBAG-31/DPT Nolu Proje Sonuç Raporu.
- Altın, T.B., Barak, B. 2014. Changes and trends in total yearly precipitation of the Antalya district, Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 120, 586-599.
- Altın, T.B., Sarış, F., Altın, B.N. 2020. Determination of drought intensity in Seyhan and Ceyhan River Basins, Turkey, by hydrological drought analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1), 95-107.
- Altuğ, S. 1969. Batı Toroslar'da tektonik ile karstlaşma arasındaki ilgiye bir örnek: Manavgat Oymapınar Baraj yeri. *Türk Jeoloji Kurumu Bülteni*, 12, (1-2), 77-85.
- Baran, T., Harmancıoğlu, N., Öziş, Ü. 1987. Türkiye'nin akarsu havzalarına karst pınarı katkıları. *Türkiye İnşaat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 299-312, Ankara.
- Bayazıt, M. 1995. *Hidroloji*. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bozkurt, D., Şen, O.L. 2013. Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161.

- DSİ. 2014. *Türkiye'deki Barajlar*. Devlet Su İşleri Vakfı Yayınları No:2004/1, Ankara.
- Doğan, U. 2002. Manavgat nehri havzasının jeomorfolojik evrimi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 51-65.
- Ekmekçi, M. 1993. A conceptual model for the Beyşehir Lake karst system. In: Hydrogeological processes in Karst Terranes (proceedings of the antalya symposium and field seminar, October 1990), 245-251, IAHS Publication No. 207.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2013. Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1909-1916.
- Esen, F. 2021. Göynük Çayı Havzası'nın (Bingöl) hidroklimatolojik analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 31(1), 25-40.
- Fleig, K., Tallaksen, L.M., Hisdal, H., Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 535-552.
- Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T. 2008. Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations. *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 33-48.
- Gierszewski, P.J., Habel, M., Szymańska, J., Luc, M. 2020. Evaluating effects of dam operation on flow regimes and riverbed adaptation to those changes. *Science of The Total Environment*, 710.
- Günay, G., 1981, *Manavgat Havzası ve dolayının karst hidrojeolojisi incelemesi*, Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü.
- Günay, G., 1986. Karst Groundwater Studies in Manavgat River Basin, Turkey In Günay, G., Johnson A.I. (Eds), *Karst Water Resources*, 333-341, International Association of Hydrological Sciences Publication no:161.
- Günay, G., Güner, N., Törk, K. 2015. Turkish karst aquifers. *Environmental Earth Sciences*, 74(1), 217-226.
- Gürer, İ., Ülger, M. 2007. Manavgat River Water: A Limited Alternative Water Resource for Domestic Use in the Middle East. In Hillel Shuval, H., Dweik, H. (Eds.), *Water Resources in the Middle East*, 175-184, Springer, Würzburg.
- Hadimli, H. 2008. *Akseki ilçesinin coğrafyası*. Yayınlanmamış Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107-121.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. 2000. *Drought event definition*. Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe Technical Report No. 6, University of Oslo, Oslo.
- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E., Gustard, A. 2004. Hydrological Drought Characteristics. In Tallaksen, L.M. Van Lanen, H.A.J. (Eds.) *Developments in Water Science*, vol. 48. 139-198, Elsevier Science, Amsterdam.
- Irvem, A., Topaloglu, F., Ozfidaner, M. 2012. Trends in Turkish monthly mean streamflow. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(3-4), 900-904.
- Isik, S., Sasal, M., Dogan, E. 2006. Investigation on downstream effects of dams in the Sakarya River. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(3), 401-408.
- Kahya, E. 2011. The Impacts of NAO on the Hydrology of the Eastern Mediterranean. In *Hydrological, Socioeconomic and Ecological Impacts of the North Atlantic Oscillation in the Mediterranean Region*, 57-71, Springer, Dordrecht.
- Kahya, E., Kalaycı, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289(1-4), 128-144.
- Kalaycı, S., Kahya, E. 1998. Susurluk havzası nehirlerinde su kalitesi trendlerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22, 503-514.
- Karabörk, M.Ç. 2007. Trends in drought patterns of Turkey. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(1), 45-52.
- Karanjac, J., Günay, G. 1980. Dumanli spring, Turkey - The largest karstic spring in the world?. *Journal of Hydrology*, 45(3-4), 219-231.
- Kazancı, N., Oğuzkurt, D., Dügel, M. 2003. Beyşehir Gölü'nün Limnolojisi, Çevre Kalitesi, Biyolojik Çeşitliliği ve Korunması, Türkiye İç Suları Araştırma Dizisi: VII, İmaj Yayınevi: Ankara.
- Leng, G., Tang, Q., Rayburg, S. 2015. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Global and Planetary Change*, 126, 23-34.

- Lins, H.F. 1985. Streamflow variability in the United States: 1931– 1978. *Journal of Climate and Applied Climatology*, 24, 463-471.
- Lins, H.F., Slack, J.R. 1999. Streamflow trends in the United States. *Geophysical Research Letters*, 26(2), 227-230.
- Lloyd-Hughes, B. 2014. The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 607-611.
- Mishra, K., Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *European Water* 23(24), 67-77.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897.
- Norrant, C., Douguédroit, A. 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology*, 83(1), 89-106.
- Önol, B., Semazzi, F.H.M. 2009. Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22(8), 1944-1961.
- Önol, B., Ünal, Y.S., Dalfes, H.N. 2009. İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/d Mühendislik*, 8(5),169-177.
- Önöz, B., Bayazıt, M. 2003. The power of statistical tests for trend detection, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 27, 247-251.
- Özdemir, M.A., Bahadır, M. 2011. Eber ve Akşehir göllerinin hidro-klimatik trend analizi. *Fiziki Coğrafya Araştırmaları Sistemik ve Bölgesel*, 181–198, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, İstanbul.
- Petts, G.E., Gurnell, A.M. 2005. Dams and geomorphology: research progress and future directions. *Geomorphology*, 71(1-2), 27-47.
- Sheffield, J., Wood, E.F. 2011. Drought: Past problems and future scenarios. *Earthscan*, London and Washington DC.
- Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: A review. *Journal of Hydrology*, 24,147-186.
- Sneyers, R. 1990. *On the statistical analysis of series of observations*, World Meteorological Organization Technical Note 143, World Meteorological Organization, Geneva.
- Sousa, P.M., Trigo, R.M., Aizpurua, P., Nieto, R., Gimeno, L., Garcia-Herrera, R. 2011. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(1), 33-51.
- Stahl, K., Hisdal, H. 2004. Hydroclimatology. In Tallaksen, L.M. Van Lanen, H.A.J. (Eds.), *Developments in Water Science*, vol. 48. 19-51, Elsevier Science, Amsterdam.
- Tağlı, Ş., Alevkayalı, Ç. 2014. Eğirdir gölüne kuzeyden dökülen akarsularda akım trendi ve yağış ilişkisi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(32), 211-229.
- Tallaksen, L.M. Van Lanen, H.A.J. 2004. Drought as a Natural Hazard. In Tallaksen, L.M. Van Lanen, H.A.J. (Eds.) *Developments in Water Science*, vol. 48. 3-15, Elsevier Science, Amsterdam.
- Tekkanat, İ., Sarış, F. 2015. Porsuk Çayı Havzasında akarsu akımlarında gözlenen uzun dönemli eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 64, 69-83.
- Toros, H. 2012. Spatio-temporal precipitation change assessments over Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(9),1310-1325.
- Türkeş, M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057-1076.
- Türkeş, M. 1998. Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 18(6), 649-680.
- Türkeş, M. 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Kriter Yayınevi, İstanbul.
- Türkeş, M. 2012. Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi, Çevre Özel Sayısı*, 20, 7-56.
- Türkes M. 2020. Climate and Drought in Turkey. In Harmancioglu N., Altinbilek, D. (Eds.) *Water Resources of Turkey*. 85-125, World Water Resources, vol 2. Springer, Cham.

- Türkeş, M., Erlat, E. 2003. Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000. *International Journal of Climatology*, 23(14), 1771-1796.
- Türkeş, M., Sümer, U.M., Demir, İ. 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999, *International Journal of Climatology*, 22(8), 947-977.
- Türkes, M., Tatlı, H. 2008. Türkiye’de kuraklık olasılıklarının standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kullanılarak saptanması ve iklimsel değişkenlik açısından değerlendirilmesi. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 55-62, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- Türkeş, M., Tatlı, H. 2011. Use of the spectral clustering to determine coherent precipitation regions in Turkey for the period 1929-2007. *International Journal of Climatology*, 31(14), 2055-2067.
- Van Loon, A.F. 2015. Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359-392.
- Wanders, N., Wada, Y. 2015. Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. *Journal of Hydrology*, 526, 208-220.
- Yıldız, D. 2003. *Akdeniz Havzası’nda su sorunları ve Türkiye*. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara.
- Yu, Y.S., Zou, S., Whittemore, D. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-80.
- Yurtsever, Y. 1979. Environmental isotopes as a tool in hydrogeological investigations of southern karst regions of Turkey. In *Proceedings of International Seminar on Karst Hydrogeology (Oymapınar-Antalya)*, 269-293, Ankara.

