

ÇORUH HAVZASINDA METEOROLOJİK KURAKLIKTAN HİDROLOJİK KURAKLIĞA YAYILIMININ ANALİZİ

Tolga Barış Terzi¹, Bihrat Önöz²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, tolgabaristerzi@ktu.edu.tr

²Işık Üniversitesi, bihrat.onoz@isikun.edu.tr

ÖZET

Kuraklık geniş bir alanı etkileyen, sosyal ve ekolojik yaşamın çeşitli yönlerine zarar veren bir doğal afettir. İklim değişikliğinin artan etkisi ile kuraklık gibi doğal afetlerin etkileri de şiddetlenmektedir. Bu nedenle, etkili ve güvenilir kuraklık izleme ve kuraklık önleme sistemleri daha da önemli hale gelmektedir. Meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa yayılmanın belirlenmesi, kuraklık izleme ve önleme açısından kuraklık karakteristiklerini belirlemek kadar önemlidir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında Çoruh Havzası'nda hem meteorolojik kuraklığı hem de hidrolojik kuraklığı incelemek adına Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI) kullanılmıştır. Çoruh Havzası'nda seçilen 5 farklı istasyona ait yağış ve akım verileri kullanılarak 1989 ile 2011 yılları arasında standartlaştırılmış indisler 1, 3, 6, 9 ve 12-aylık zaman ölçeklerinde hesaplanmıştır. Hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklıklar için kuraklık karakteristikleri belirlenmiştir. Kuraklık karakteristikleri belirlendikten sonra hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığa tepki süresi, standartlaştırılmış indisler arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan bağımlılıkları göz önünde bulunduran iki aşamalı bir yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki doğrusal bağımlılığın incelenmesinde Pearson korelasyon katsayısı kullanılırken, doğrusal olmayan bağımlılığın incelenmesinde ortak bilgi (MI) kullanılmıştır. Sonuç olarak, Çoruh Havzası'nda hidrolojik kuraklıkların meteorolojik kuraklıklara tepki süresi 9 ay olarak elde edilmiştir. Kuraklık karakteristiklerinin incelenmesi ile meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa evrilen kuraklıkların sıklığı azalırken uzunluk ve şiddetinde artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

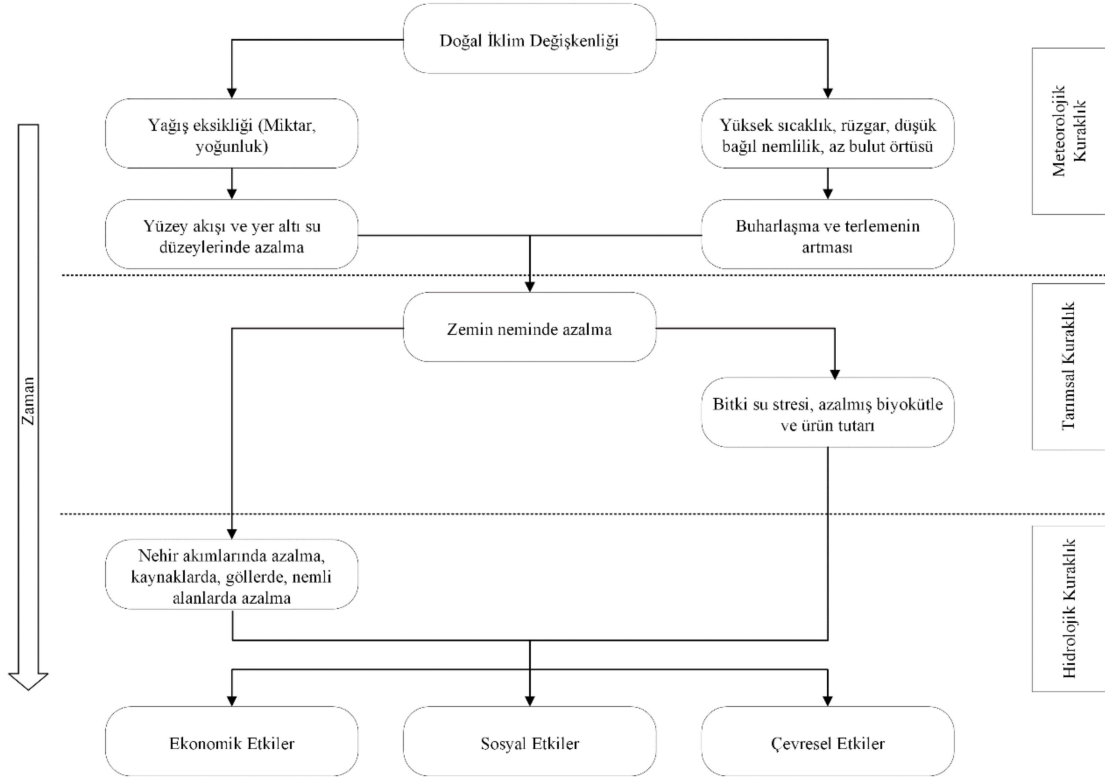
Anahtar kelimeler: Meteorolojik Kuraklık, Hidrolojik Kuraklık, Standartlaştırılmış Yağış İndisi, Standartlaştırılmış Akım İndisi, Ortak Bilgi.

GİRİŞ

Günümüzde, iklim değişikliğinin giderek şiddetini arttırmasıyla kuraklık gibi doğal afetlerin etkilerinde önemli ölçüde artışlar gözlemlenmektedir. Yapılan iklim modelleri, bu etkilerin daha da şiddetleneceğini öngörmektedir (Reidmiller vd., 2018). Kuraklığın karmaşık yapısı, kesin bir tanımının yapılmasını zorlaştırmakta ve farklı disiplinlerin kuraklığı farklı şekillerde tanımlamasına neden olmaktadır (Glantz ve Katz, 1977). Kuraklık, genel olarak, yağış seviyesinin kaydedilmiş normal değerlerin önemli derecede altına düştüğü ve arazi kaynaklarını etkileyen çeşitli hidrolojik dengesizliklere neden olduğu zaman ortaya çıkan doğal bir afet olarak tanımlanabilir (UNCDD, 1994).

Kuraklık; meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik olmak üzere dört farklı gruba ayrılmaktadır (Wilhite ve Glantz, 1985; American Meteorological Society, 2004). Meteorolojik kuraklık, bir bölgedeki yağış eksikliğinin bölgedeki ortalama değerlere göre büyüklüğünü ve bu yağış eksikliğinin süresini kapsamaktadır. Yağış eksikliğine neden olan atmosfer koşullarının bölgenin iklimiyle doğrudan ilişkili oluşu, meteorolojik kuraklık için gerekli olan bölgesel değerlendirmeyi de vurgulamaktadır. Literatürdeki bazı tanımlara göre, meteorolojik kuraklık sadece belirli bir dönemdeki yağış eksikliğinin büyüklüğü ile değil, aynı zamanda belirli bir eşğin altına düşen yağışlı gün sayısı ile de tanımlanmaktadır (Wilhite, 2000). Tarımsal kuraklık, bitkilerin morfolojik özellikleri incelenirken zemin neminin, bitkilerin minimum gereksiniminin ne ölçüde altına düştüğünü göstermektedir (Liu vd., 2016). Hidrolojik kuraklık; nehirlerde azalan akımlar, göllerde düşen su seviyeleri, barajlarda ve yeraltı su kaynaklarında

azalan su seviyeleri ile kendini gösteren hidrolojik sistemlerdeki su eksikliği olarak tanımlanabilir (Tallaksen ve Van Lanen, 2004). Düşük akımlar ve hidrolojik kuraklık arasındaki farkı ayırt etmek son derece büyük bir öneme sahiptir; kuraklığın aksine düşük akımlar her yıl tekrarlanan bir olguyu temsil eder. Ancak, belirli bir bölgede uzun süreli olarak gözüken düşük akımlar kuraklık analizlerinde de dikkate alınmalıdır (Önöz ve Bayazit, 2008). Sosyoekonomik kuraklık ise su kaynaklarının su talebini karşılayamaması ve bunun sonucunda toplum, ekonomi ve çevre üzerinde olumsuz etkilerin ortaya çıkması olarak tanımlanabilir (Dinar ve Mendelsohn, 2013). Şekil 1’de kuraklığın farklı türleri arasındaki ilişki ve yayılımı gözükmektedir.



Şekil 1. Kuraklığın farklı türleri arasındaki ilişkisi ve yayılımı (Wilhite, 2000)

Yağışlardaki azalma ile kendini gösteren meteorolojik kuraklık, daha sonra zemin neminde azalma ile tarımsal kuraklığa ve sonrasında hidrolojik sistemlerdeki su eksikliği ile hidrolojik kuraklığa yayılır.

Kuraklık, diğer doğal afetlerin aksine yavaşça ortaya çıkar ve oluşumu gibi bir bölge üzerindeki etkisi de aylarca ve hatta yıllarca sürebilir. Kuraklığın direkt ve dolaylı etkileri, kuraklığın gerçekleştiği bölgenin dışına çıkabilir ve hatta küresel ölçeğe dahi ulaşabilir. Tarım ve sanayi gibi birçok sektörün suya bağımlı oluşu kuraklığın etkilerini büyütmemekte ve karmaşıktır. Bu sebeple, kuraklığın doğru bir şekilde izlenmesi ve gerekli kuraklık önleme stratejilerinin geliştirilmesi hayati bir önem taşımaktadır.

Kuraklık analizlerinde sıklıkla kullanılan kuraklık indisleri, kuraklığı sayısal terimlerle ifade etmeyi sağlarken aynı zamanda yağış ve akım gibi ham verilere kıyasla kuraklığı daha kapsamlı bir şekilde temsil ederler (Wilhite, 2000; Keyantash ve Dracup, 2002). Literatürde birçok farklı kuraklık indisi bulunmakta olup hepsinin kendine özgü avantaj ve sınırlamaları mevcuttur. Meteorolojik kuraklığın değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan indislerden birkaçı; Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI; McKee vd., 1993), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI; Vicente-Serrano vd., 2010), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI; Palmer, 1965) olarak sıralanabilir. SPI, sadece yağış eksikliğine dayalı olarak belirli bir dönemdeki kuraklık koşullarını değerlendirirken, SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyonu birlikte dikkate alarak, buharlaşmanın kuraklık üzerindeki etkisini de hesaba

katarak belirli bir dönemdeki kuraklık koşullarını değerlendirmektedir (Gümüş, 2023). Tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi genellikle zemin nemine bağlı olup literatürde sıkça kullanılan indislerden birkaçı; Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndisi (NDVI; Kogan, 1995), Mahsul Nem İndisi (CMI; Palmer, 1968) olarak sıralanabilir. Hidrolojik kuraklığın değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan kuraklık indislerine örnek olarak; Standartlaştırılmış Akım İndisi (SSFI; Modarres, 2006), Akım Kuraklık İndisi (SDI; Nalbantis ve Tsakiris, 2008) ve Yüzey Su Temini İndisi (SWSI; Shafer ve Dezman, 1982) verilebilir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de iklim değişikliği ile daha da artan kuraklığın etkileri gözükmemekte ve ülkemizi birçok açıdan olumsuz olarak etkilemektedir. Kuraklığın izlenmesi ve etkilerinin önlenmesi ile ilgili ülkemizde de birçok çalışma bulunmaktadır (Aksoy vd., 2018; Çavuş ve Aksoy, 2019, 2020; Kömüşçü, 2001; Yüce vd., 2023).

Bu çalışma kapsamında, literatürde sıklıkla kullanılan SPI ve SSFI kuraklık indisleri kullanılarak Çoruh Havzası'nda kuraklık analizi yapılmış ve meteorolojik kuraklık ile hidrolojik kuraklık arasındaki ilişki incelenmiştir. Havzada bulunan 5 adet akım gözlem istasyonu için 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık SPI ve SSFI kuraklık indisleri hesaplanmış, daha sonrasında bu indisler arasındaki ilişki doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler aracılığı ile incelenerek meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa geçiş incelenmiştir.

METOT

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, bilinmeyen bir noktadaki verinin eldesi için bilinen noktadaki verileri ve noktalar arasındaki uzaklığı kullanır. Noktalar arasındaki uzaklığa ters orantılı olmak üzere bir ağırlıklandırma yaparak istenilen noktadaki bilinmeyen veriyi elde eder. Yöntem kapsamında ağırlıkların hesaplanması Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p} \quad (1)$$

Denklem 1'de d , enterpolasyon yapılacak nokta ile enterpolasyonda kullanılacak olan nokta arasındaki uzaklığı temsil etmektedir. Kullanılacak olan noktalar için ağırlıklar hesaplandıktan sonra yapılacak olan enterpolasyon işlemi Denklem 2'de gösterilmiştir.

$$u(x) = \sum_{i=1}^N w_i x_i \quad (2)$$

Standartlaştırılmış Kuraklık Indisleri

Gerek kuraklığın izlenmesinde gerekse risk analizlerinde standartlaştırılmış kuraklık indislerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden birkaçı; bu indislerin sadeliği, standartlaştırılmış olmaları ile zaman ve mekânda kullanım esnekliği olarak sıralanabilir (Farahmand ve AghaKouchak, 2015). Bu çalışma kapsamında meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar sırası ile SPI ve SSFI ile karakterize edilmiştir. İlk olarak McKee vd. (1993) tarafından ortaya çıkarılan SPI aynı zaman Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kuraklık karakterizasyonu için önerilmektedir. SPI'nin hesaplanma aşamaları şu şekilde detaylandırılabilir:

1. Gözlemlenen yağış verileri istenilen zaman ölçeğine göre birleştirilir.
2. İstenilen zaman ölçeğine göre birleştirilmiş yağış verilerine uygun bir olasılık dağılım fonksiyonu, genellikle Gamma dağılımı, uyarlanır. Gamma dağılımı Denklem 3'te gösterilmiştir.

$$\begin{cases} G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \\ \Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \end{cases} \quad (3)$$

Dağılım parametreleri maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak Denklem 4'teki gibi türetilir:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \\ \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \\ A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \end{cases} \quad (4)$$

Denklem 4'te n gözlem sayısını, \bar{x} ise yağış verilerinin ortalama değerini ifade etmektedir. Gamma dağılımının $x = 0$ için tanımsız olduğu göze alındığında, istenilen zaman ölçeğine göre birleştirilmiş yağış verileri arasında sıfır değerleri olabileceğinden kümülatif olasılık $G(x)$, Denklem 5'te gösterilen $H(x)$ 'e dönüştürülür.

$$H(x) = (1 - q)G(x) + q \quad (5)$$

Denklem 5'te q sıfır yağış olasılığını, $G(x)$ ise tamamlanmamış Gamma fonksiyonunun kümülatif olasılığı temsil etmektedir.

3. Kümülatif olasılık $H(x)$ daha sonra standart normal dağılım fonksiyonunun tersine girdi olarak verilerek standart normal rastgele değişken z 'ye dönüştürülür.

Son aşamada gerçekleştirilen standartlaştırma işlemi SPI'ni zamansal ve mekânsal açıdan karşılaştırılabilir kılar. SPI'nin hesaplanmasında yağış verisi üzerinde uygulanan bu adımlar başka hidrolojik değişkenler üzerinde uygulanırsa farklı kuraklık tiplerinin incelenmesi için farklı standartlaştırılmış indisler elde edilir (Aghakouchak, 2014). Bu çalışma kapsamında, akım verileri kullanılarak SSFI farklı zaman ölçeklerinde hesaplanmıştır. Akım verileri için genel olarak kabul edilen bir olasılık dağılım fonksiyonu bulunmadığından, havza kapsamındaki akım verileri üzerinde gerçekleştirilen uyum iyiliği testlerine bağlı olarak log-normal dağılım seçilmiş olup log-normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 6'da verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \frac{1}{x} \exp \left\{ -\frac{[\ln(x) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (6)$$

Yağış eksikliklerinin farklı su kaynaklarına yayılma süresi önemli derecede değişkenlik gösterdiğinden, yağış eksikliklerinin birleştirildiği zaman ölçekleri farklı kuraklık tiplerini ifade etmektedir (Vicente-Serrano ve Lopez-Moreno, 2005). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında hidrolojik kuraklıkların meteorolojik kuraklıklara tepki süresini incelemek amacıyla 1 aylık zaman ölçeğinde hesaplanan SSFI değerlerinin farklı zaman ölçeklerinde hesaplanmış olan SPI değerleriyle ilişkisi irdelenmiştir.

Pearson Korelasyon Katsayısı ve Ortak Bilgi (MI)

Pearson korelasyon katsayısı, hidrolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir bağımlılık ölçütüdür. Denklem 7'de rastgele değişkenler X ve Y için Pearson korelasyon katsayısının formülü gösterilmektedir.

$$R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

Bu denklemde n veri sayısını, (x_i, y_i) ise i 'inci örnek çiftini temsil etmektedir. Pearson korelasyon katsayısının kullanımı, rastgele değişkenler arasında doğrusal bir bağımlılık olduğu varsayımına dayanmaktadır. Hidrolojik sistemlerde doğrusal olmayan ilişkilerin sıkça gözlemlendiği göz önüne alındığında, SSFI ve SPI arasındaki doğrusal olmayan bağımlılığın ihmal edilmesi kuraklık tepki süresinin yanlış hesaplanmasına neden olabilir (Fang vd., 2020).

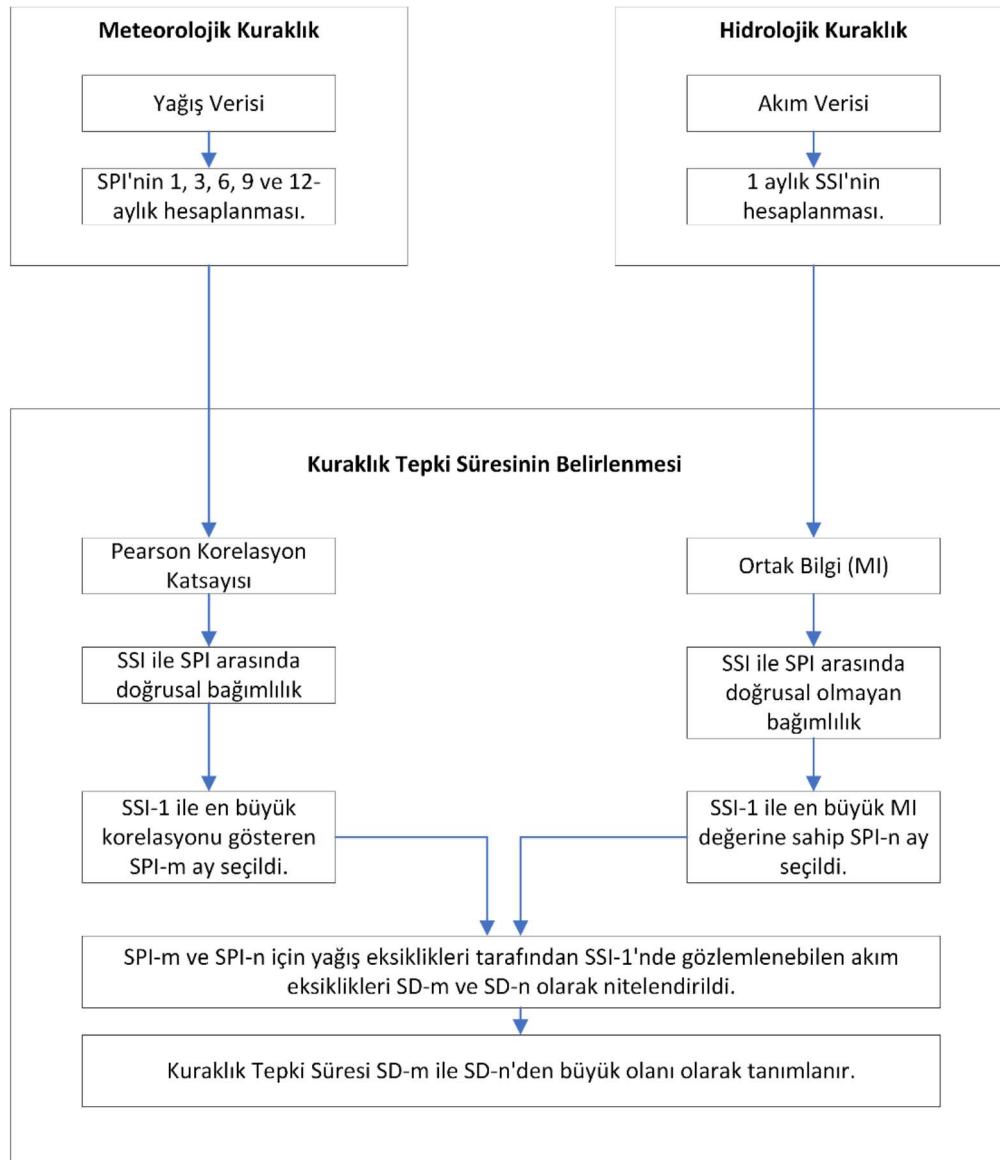
Pearson korelasyon katsayısının doğrusal olmayan bağımlılıkları belirlemedeki sınırlamaları nedeniyle bu çalışma kapsamında doğrusal olmayan ve kaotik ilişkilerin belirlenmesinde etkili olan

Ortak Bilgi (MI), SPI ve SSFI arasındaki ilişkinin belirlenmesinde iki aşamalı bir yöntem kapsamında kullanılmıştır. Denklem 8’de iki rastgele değişken arasındaki MI gösterilmiştir.

$$I_{XY} = \iint f_{XY}(x, y) \log \frac{f_{XY}(x, y)}{f_X(x)f_Y(y)} dx dy \quad (8)$$

Bu denklemde, $f_{XY}(x, y)$, $f_X(x)$ ve $f_Y(y)$ marjinalleri için ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunu temsil etmektedir. Enformasyon teorisi açısından bakıldığında I_{XY} , X ’in bilgisine bağlı olarak Y hakkında azaltılmış belirsizlik olarak yorumlanabilir. Bu çalışmada ortak bilgi değerleri R paketi “infotheo” kullanılarak elde edilmiştir.

Çalışmada öncelikli olarak standartlaştırılmış indisler SSFI ve SPI sırasıyla 1-aylık ve 1, 3, 6, 9 ve 12-aylık zaman ölçeklerinde hesaplanmıştır. Sonrasında, hesaplanan 1-aylık SSFI değerleri ile farklı zaman ölçeklerinde hesaplanan SPI değerleri arasında çapraz korelasyon yapılarak SSFI-1 değerleri ile en büyük korelasyona sahip SPI zaman ölçeği bulunmuştur. Aynı işlem MI ile tekrarlanmış olup en yüksek MI değerine sahip SPI zaman ölçeği elde edilmiştir. Yöntemin ikinci aşamasında seçilmiş olan SPI zaman ölçekleri için yağış eksikliklerinin ($SPI \leq 0$) akım eksikliklerinin ($SSFI \leq 0$) ne kadarını yansıtabildiğine bakılmış ve bu aşamada akım eksikliklerini daha çok yansıtan zaman ölçeği kuraklık tepki süresi olarak seçilmiştir. Yöntemin aşamaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kuraklık tepki süresini belirlemek için kullanılan yöntemin aşamaları (Fang vd., 2020)

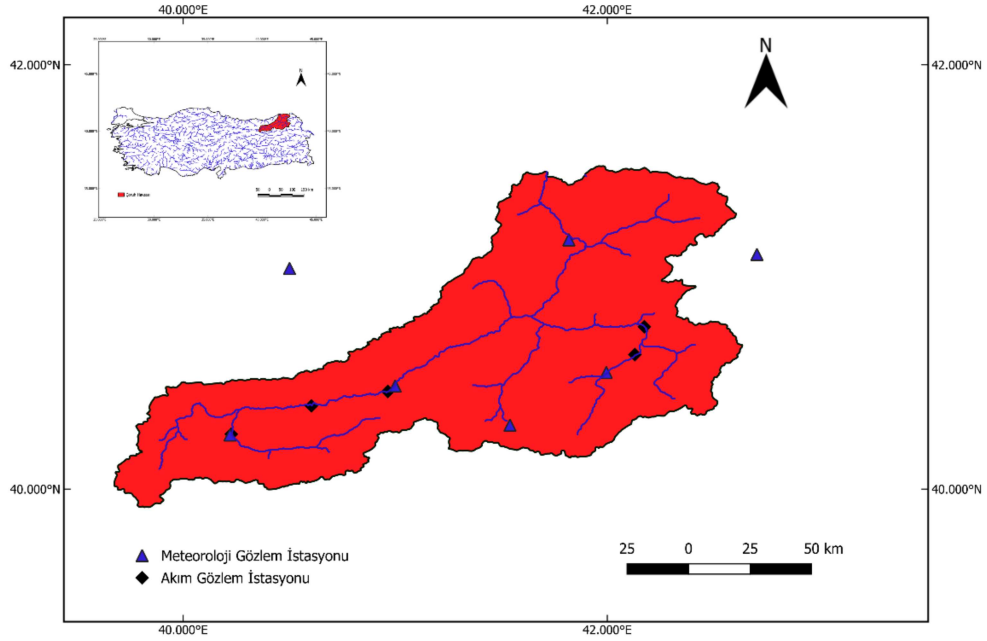
ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Türkiye, her biri farklı topografya, morfoloji ve meteorolojik koşullara sahip 25 hidrolojik havzaya bölünmüştür. Bu çalışma kapsamında, Çoruh Havzası'nda bulunan 5 farklı akım gözlem istasyonuna ait aylık ortalama akım verileri ve 7 farklı meteoroloji gözlem istasyonuna ait aylık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. Seçilen havza genelindeki beş akım gözlem istasyonundan yalnızca iki tanesinin konumunda meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Geriye kalan üç akım gözlem istasyonu için yağış verileri, ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi kullanılarak, en yakın meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler, yalnızca seçilen akım gözlem istasyonlarının bulundukları konumlar için gerçekleştirilmiştir. Seçilen akım ve meteoroloji gözlem istasyonları ile ilgili bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çoruh Havzası kapsamında seçilen akım ve meteoroloji gözlem istasyonları.

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Yaklaşık Yükselti (m)	Gözlem Aralığı	Konum
E2304	Çoruh Nehri - Bayburt	1545	1941-2011	40°13'36" D - 40°15'32" K
E2316	Çoruh Nehri - İspir Köprüsü	1170	1964-2011	40°57'53" D - 40°27'37" K
E2320	Çoruh Nehri - Laleli	1365	1970-2011	40°36'16" D - 40°23'31" K
E2325	Oltu Suyu - Aşağı Kumlu	1762	1973-2011	42°07'48" D - 40°38'02" K
E2329	Oltu Suyu - Coşkunlar	1004	1981-2011	42°10'28" D - 40°45'55" K
17040	Rize	3	1930-2021	40°30'04" D - 41°02'24" K
17045	Artvin	628	1948-2021	41°49'07" D - 41°10'30" K
17046	Ardahan	1827	1958-2020	42°42'20" D - 41°06'21" K
17089	Bayburt	1584	1959-2021	40°13'14" D - 40°15'16" K
17666	İspir	1222	1959-2021	40°59'58" D - 40°29'09" K
17668	Oltu	1312	1965-2020	41°59'42" D - 40°32'59" K
17688	Tortum	1672	1959-2021	41°32'27" D - 40°18'04" K

Çoruh Havzası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Karadeniz Bölgesi olarak da bilinen bölgede yer almakta olup, yaklaşık 20.000 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir. Konumu nedeniyle, Çoruh Havzası, Doğu Anadolu Bölgesi'nin karasal iklimi ile Karadeniz'in iç kesim iklimi arasında geçiş iklimi özellikleri sergilemektedir. Havzanın iklimi, Karadeniz iklimine göre daha sert, ancak Doğu Anadolu Bölgesi'nin iklimine göre daha ılımandır. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise serin ve yağışlı geçer. Çoruh Nehri, Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük nehirlerinden biri olarak önemli bir konuma sahiptir. Doğu Karadeniz Dağları ile Mescit Dağları arasında akarak, sonunda Batum Limanı'nın güneyinde Karadeniz'e dökülür. Toplam uzunluğu yaklaşık 466 kilometredir. Şekil 3'te Çoruh Havzası ve çalışma kapsamında seçilen istasyonlar görülmektedir (SYGM, 2020).



Şekil 3. Çoruh Havzası ve seçilen istasyonlar

Çalışma kapsamında kullanılan akım verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden, yağış verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir.

BULGULAR

Kuraklık Karakteristikleri

Seçilen bütün istasyonlar için 1, 3, 6, 9 ve 12-aylık olmak üzere toplamda 5 farklı zaman ölçeğinde SPI ve SSFI değerleri hesaplanmış olup -1, -1.5 ve -2 eşikleri için kuraklık sayıları, kuraklık süreleri ve kuraklık şiddetleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sadeliği adına sadece E2304 Çoruh – Bayburt istasyonu için hesaplanan SPI ve SSFI değerlerinin kuraklık karakteristikleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. 17089 Bayburt meteoroloji gözlem istasyonunda farklı zaman ölçeklerinde SPI ile hesaplanan meteorolojik kuraklıklar ve karakteristik özellikleri

Eşik Değeri	Zaman Ölçeği (Ay)	Kuraklık Olaylarının Sayısı	Süre (Ay)			Şiddet (-)		
			Ort.	Medyan	Maks.	Ort.	Medyan	Maks.
-1	1	39	1.2	1	3	1.98	1.47	7.11
	3	22	1.86	1	4	3.14	2.02	11.05
	6	15	3.2	2	12	5.14	2.67	24.29
	9	11	4.27	4	12	6.95	4.97	27.73
	12	8	5.37	5	12	9.19	6.88	29.46
-1.5	1	19	1.21	1	3	2.53	1.89	7.11
	3	11	1.81	1	4	3.87	3.19	11.05
	6	8	2.5	1	8	5.2	2.14	18.66
	9	6	4	3	11	8.15	4.82	26.53
	12	6	3.5	2.5	11	7.59	4.36	28.29
-2	1	8	1.25	1	2	3.21	2.57	5.47
	3	4	2	2	3	5.5	5.15	9.19
	6	3	3	2	6	7.54	4.9	15.28
	9	4	2.5	2	5	6.39	4.68	14.04
	12	3	4.33	1	11	10.78	2.03	28.29

Tablo 3. E2304 Çoruh Nehri – Bayburt akım gözlem istasyonunda farklı zaman ölçeklerinde SSFI ile hesaplanan hidrolojik kuraklıklar ve karakteristik özellikleri

Eşik Değeri	Zaman Ölçeği (Ay)	Kuraklık Olaylarının Sayısı	Süre (Ay)			Şiddet (-)		
			Ort.	Medyan	Maks.	Ort.	Medyan	Maks.
-1	1	17	2.53	1	10	4.04	1.28	20.8
	3	9	4.44	4	11	7.5	6.05	21.68
	6	5	8.6	4	25	14.57	5.26	45.88
	9	3	13	11	25	23.16	17.38	48.44
	12	2	18	18	25	33.65	33.65	51.16
-1.5	1	10	2.4	2	6	4.58	3.84	13.25
	3	5	5.4	4	10	10.43	7.58	21.68
	6	5	5	5	10	10.07	9.83	22.11
	9	2	13.5	13.5	20	26.95	26.95	42.18
	12	2	15	15	23	29.8	29.8	48.57
-2	1	3	2.33	2	4	5.46	4.25	9.92
	3	5	2	1	5	4.57	2.32	12
	6	4	3.25	2	8	7.32	4.39	18.46
	9	2	8	8	15	17.52	17.52	33.02
	12	1	16	16	16	35.57	35.57	35.57

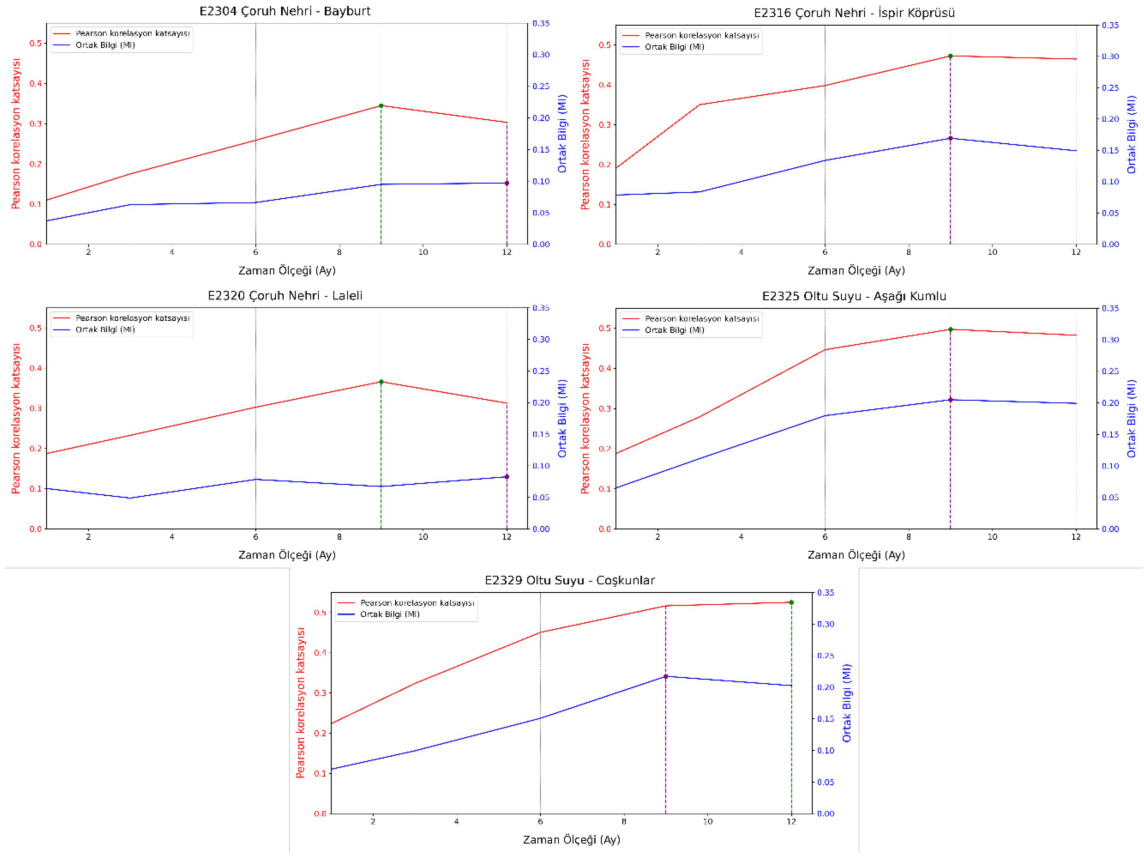
Kuraklık olaylarına bakıldığında meteorolojik kuraklıkların sayı olarak hidrolojik kuraklıklara göre fazla iken şiddet ve süre olarak daha az olduğu görülmektedir. Meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa geçişte kuraklık olaylarının sayısı azalırken şiddet ve sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yağış olarak gelen su, çeşitli yeraltı katmanlarından geçerek yeraltı suyuna karışır. Bu süreçte, suyun birçok yeraltı filtresinden geçmesi, yağıştaki değişkenliklerin akarsu akışındaki etkisini azaltır ve daha dengeli bir akarsu akışına neden olur. Böylece, düzensiz yağışlara rağmen akarsu akışında denge sağlanır. Meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa geçişte de kuraklık olaylarının sayısının azalması ancak şiddet ve sürelerinin artmasında bu yeraltı filtrelerinin önemli bir etkisi vardır (Shun ve Duffy, 1999).

Havza kapsamındaki kurak dönemler incelendiğinde, daha önce Terzi ve Önöz (2023) tarafından da belirtildiği üzere 2000 ile 2002 yılları arasında gerçekleşen hidrolojik kuraklık olayının havzanın en şiddetli hidrolojik kuraklık olayı olduğu görülmektedir. Yine benzer şekilde 2000 ile 2001 yılları arasında gerçekleşen meteorolojik kuraklık olayının ise havzanın en şiddetli meteorolojik kuraklık olayı olduğu söylenebilir.

Kuraklığın Yayılması

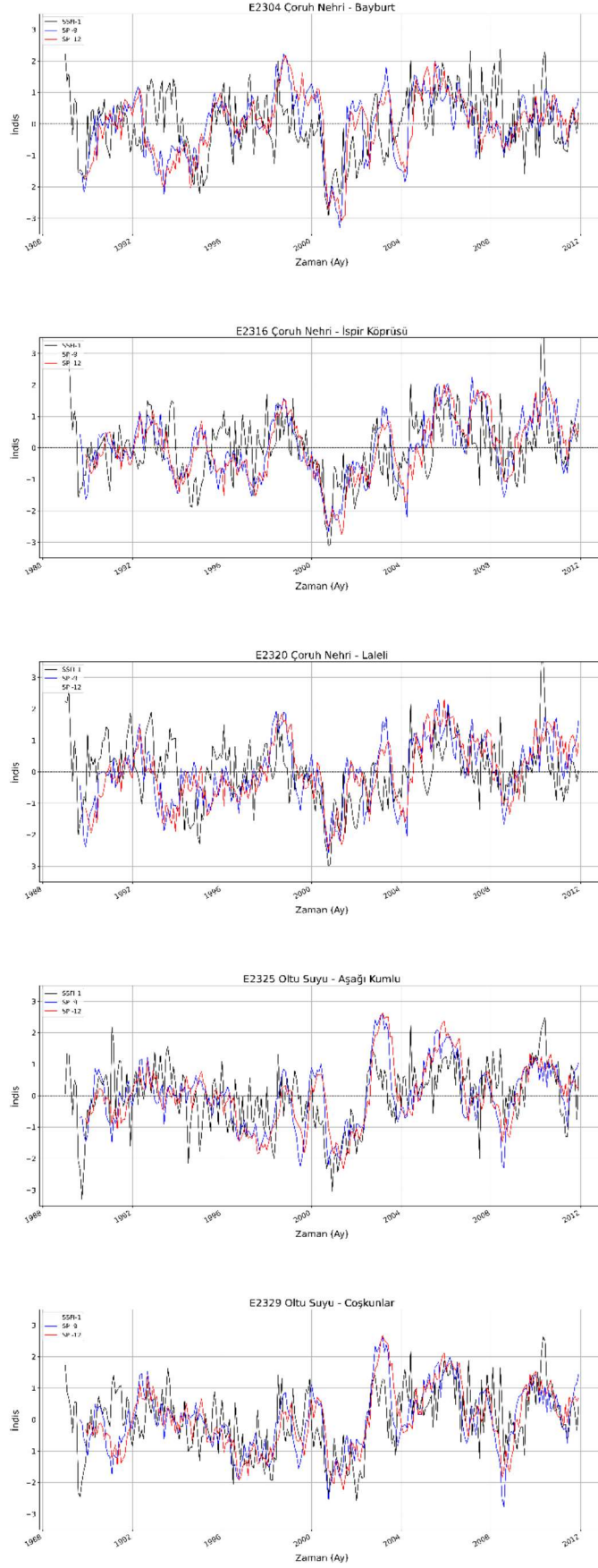
Meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa yayılmanın incelenmesi için uyguladığımız iki aşamalı yöntem kapsamında seçilen her istasyon için farklı zaman ölçeklerinde SPI değerleri ile 1 aylık SSFI değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları ve Ortak Bilgi (MI) değerleri Şekil 4'te görülmektedir.

SSFI-1 değerleri ile en yüksek korelasyonu sağlayan SPI-m zaman ölçeği ile en yüksek ortak bilgi değerine sahip SPI-n zaman ölçeği her bir istasyon için belirlenmiştir. Belirlenen m ve n zaman ölçekleri için hesaplanmış olan SPI değerleri için yağış eksikliklerinin ($SPI \leq 0$) akım eksikliklerinin ($SSFI \leq 0$) ne kadarını yansıtabildiğine bakılmış ve bu aşamada akım eksikliklerini daha çok yansıtan zaman ölçeği kuraklık tepki süresi olarak seçilmiştir. Seçilen istasyonların tümü için kuraklık tepki süresi 9 ay olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı zaman ölçeklerinde Pearson korelasyon katsayıları ve MI değerleri

Yapılan analizler değerlendirildiğinde SSFI-1 değerlerinin gerek Pearson korelasyon katsayısına göre gerekse ortak bilgi değerlerine göre en yüksek bağımlılığı gösterdiği SPI zaman ölçekleri 9-aylık ve 12-aylık ölçekler olmuştur. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki bu ilişkinin daha iyi gösterilebilmesi amacıyla Şekil 5'te SSFI-1, SPI-9 ve SPI-12 değerleri her bir istasyon için ayrı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Seçilen istasyonlar için SSFI-1, SPI-9 ve SPI-12 değerleri

Grafikler incelendiğinde, hesaplanan SPI-9 ve SPI-12 değerlerinin SSFI-1 sonuçlarında görülebilen ve daha önce de Terzi (2024) tarafından belirtildiği üzere havzanın en şiddetli hidrolojik kuraklık olayları olan 1994-1995 ve 2000-2002 kuraklıklarını yansıtabildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen Pearson korelasyon analizi ve MI'yi kullanan iki aşamalı yöntem sonuçlarında da gözüktüğü üzere SPI-9, SPI-12'ye göre hidrolojik kuraklık olaylarını daha iyi yansıtmaktadır.

SONUÇLAR

Kuraklığın yayılımının incelenmesi ve daha iyi anlaşılması gerek kuraklığın izlenmesi gerekse kuraklığın etkilerinin önlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Literatürde, Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın arasındaki doğrusal bağımlılığın incelendiği birçok çalışma bulunması rağmen doğrusal olmayan bağımlılıkların incelendiği çalışmalara pek rastlanmamaktadır. Özellikle ülkemizde bu tarz çalışmaların sayısının artması, ülkemizdeki kuraklık durumunun daha iyi anlaşılması ve kuraklık önleme stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple, daha önce literatürde meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasında ilişkinin incelenmediği Çoruh Havzası, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Kuraklığın bir türden başka bir türe yayılmasında gecikmenin büyük bir rol oynaması nedeniyle bu çalışma Çoruh Havzası'nda hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığı tepki süresini detaylı bir biçimde incelemektedir.

Çalışmada her bir zaman ölçeği için SPI ve SSFI ile kuraklık analizi yapılmış ve kuraklık karakteristikleri belirlenmiştir. Beklenildiği üzere, zaman ölçeği arttıkça kuraklıkların sıklığı azalırken şiddeti ve süresinin arttığı gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında hesaplanan 1, 3, 6, 9 ve 12-aylık SPI değerleri 1-aylık SSFI değerleri ile çapraz korelasyona tabi tutularak veri setleri arasındaki en büyük doğrusal bağımlılığın hangi zaman ölçeğinde olduğu gözlemlenmiştir. Veri setleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkinin incelenmesi için MI kullanılmış ve doğrusal olmayan bağımlılığın en büyük olduğu zaman ölçekleri her bir istasyon için belirlenmiştir. Çoruh Havzası kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, meteorolojik kuraklıktan hidrolojik kuraklığa geçişin kuraklık olaylarının sayısını azaltırken şiddetini ve süresini arttırdığı gözlemlenmiştir. Hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığa tepki süresinin 9 ay arasında olduğu belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda gerek veri setinin büyüklüğünün artırılması gerekse zemin nemi gibi farklı değişkenlerin de hesaplamalara dahil edilmesi havzalardaki kuraklık durumunun ve kuraklığın yayılımının bütünsel ve ayrıntılı olarak incelenmesi için yararlı olacaktır. Aynı zamanda kuraklık çeşitleri arasındaki ilişkinin incelenmesinde Kopula fonksiyonları gibi farklı yöntemlerin kullanılması da bu araştırmaların derinliğini arttıracaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında kullanılan akım verilerini internet sitesinde paylaştığı için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne, yağış verilerini isteğimiz doğrultusunda bizimle paylaşan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve bu çalışmaya ve şahsıma verdiği desteklerden ötürü değerli hocam Prof. Dr. Bihret Önöz'e teşekkürlerimi sunarım.

REFERANSLAR

- AghaKouchak, A. (2014). A baseline probabilistic drought forecasting framework using standardized soil moisture index: Application to the 2012 United States Drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7), 2485–2492. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2485-2014>
- Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M. I., Eris, E., Selek, B., ... & Cavus, Y. (2018, September). SPI-based drought severity-duration-frequency analysis. *In 13th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Izmir/Turkey.
- American Meteorological Society. (2004). Statement on meteorological drought. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85, 771-773.

- Çavuş, Y., & Aksoy, H. (2019). Spatial drought characterization for Seyhan River basin in the Mediterranean region of Turkey. *Water*, 11(7), 1331. <https://doi.org/10.3390/w11071331>
- Çavuş, Y., & Aksoy, H. (2020). Critical drought severity/intensity-duration-frequency curves based on precipitation deficit. *Journal of Hydrology*, 584. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124312>
- Dinar, A., & Mendelsohn, R. O. (2013). *Handbook on climate change and agriculture*. Edward Elgar.
- Fang, W., Huang, S., Huang, Q., Huang, G., Wang, H., Leng, G., & Wang, L. (2020). Identifying drought propagation by simultaneously considering linear and nonlinear dependence in the Wei River basin of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 591. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125287>
- Farahmand, A., & AghaKouchak, A. (2015). A generalized framework for deriving nonparametric standardized drought indicators. *Advances in Water Resources*, 76, 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.11.012>
- Glantz, M. H., & Katz, R. W. (1977). When is a drought a drought? *Nature*, 267(5608), 192–193. <https://doi.org/10.1038/267192a0>
- Gümüş, V. (2023). Evaluating the effect of the SPI and SPEI methods on drought monitoring over Turkey. *Journal of Hydrology*, 626. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130386>
- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167–1180. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1167>
- Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA Polar-orbiting Satellite Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655–668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0655:dotlit>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0655:dotlit>2.0.co;2)
- Kömüşçü, A. U. (2001). An Analysis of Recent Drought Conditions in Turkey in Relation to Circulation Patterns. *Drought Network News (1994-2001)*, 13(2), 22. <https://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/22> adresinden alındı.
- Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Li, S., Liu, Y., & Ma, Y. (2016). Agricultural Drought Monitoring: Progress, challenges, and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, 26(6), 750–767. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1297-9>
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179-184), Anaheim, January 17-22, 1993.
- Modarres, R. (2006). Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(3), 223–233. <https://doi.org/10.1007/s00477-006-0058-1>
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2008). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881–897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>
- Önöz, B., & Bayazit, M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27(4), 247-251.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought*. US Department of Commerce. Weather Bureau, Research Paper No. 45, p. 58.
- Reidmiller, D. R., Avery, C. W., Easterling, D. R., Kunkel, K. E., Lewis, K. L. M., et al. (Eds.). (2018). *Impacts, risks, and adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment, Vol. II*. U.S. Global Change Research Program

- Shafer, B.A., & Dezman, L.E. (1982, January). Development of surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought condition in snowpack runoff areas. *Proceeding of the Western Snow Conference*.
- Shun, T., & Duffy, C. J. (1999). Low-frequency oscillations in precipitation, temperature, and runoff on a west facing mountain front: A hydrogeologic interpretation. *Water Resources Research*, 35(1), 191–201. <https://doi.org/10.1029/98wr02818>
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) (2020). *Çoruh Havzası Taşkın Yönetim Planı*. Ankara.
- Tallaksen, L., & Van Lanen, H. A. J. (2004). Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Developments in water science*, 48. Elsevier.
- Terzi, T.B. (2024). *Çoruh, Seyhan ve Ceyhan havzalarında kuraklık analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Danışman: Prof. Dr. Bihret Önöz
- Terzi, T.B., & Önöz, B. (2023). Drought analysis in the Coruh River Basin based on standardized streamflow index. In A. Özkök & M. Kekeçoğlu (Eds.), *Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Research and Technology* (pp. 22-29).
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (1994). *United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*.
- Vicente-Serrano, S. M., & López-Moreno, J. I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: An evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous Mediterranean Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(5), 523–533. <https://doi.org/10.5194/hess-9-523-2005>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation Evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009jcli2909.1>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Wilhite, D.A. (2000). Chapter 1 drought as a natural hazard: concepts and definitions. *University of Nebraska - Lincoln DigitalCommons@University of Nebraska – Lincoln*.
- Yüce, M. I., Deger, I. H., & Esit, M. (2023). Hydrological drought analysis of Yeşilirmak Basin of Turkey by Streamflow Drought Index (SDI) and Innovative Trend Analysis (ITA). *Theoretical and Applied Climatology*, 153(3–4), 1439–1462. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04545-7>